

**Zeitschrift:** Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz = Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse = Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera

**Herausgeber:** Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz

**Band:** - (2021)

**Rubrik:** Surveillance de l'environnement : résumé = Umweltüberwachung : Zusammenfassung

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 26.04.2025

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



Chapitre  
Kapitel  
1

Surveillance de  
l'environnement  
Résumé

Umweltüberwachung  
Zusammenfassung

Tâches et programme de mesure  
Résultats de la surveillance 2021  
Evaluation

Auftrag und Messprogramm  
Ergebnisse der Umweltüberwachung 2021  
Beurteilung

2021

# 1.1

## Surveillance de l'environnement : Résumé

**S. Estier, P. Steinmann**

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

### Tâches et programme de mesures

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

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

Le programme de surveillance mis en œuvre comporte plusieurs volets. Il a d'une part pour objectif la détection rapide de tout apport supplémentaire de radioactivité d'origine artificielle, pouvant avoir des conséquences graves sur la santé de la population (accident radiologique). Le programme de surveillance vise, d'autre part, à déterminer les niveaux de référence de la radioactivité dans l'environnement en Suisse ainsi que leurs fluctuations, afin de pouvoir évaluer les doses de rayonnements 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 que de l'accident de Tchernobyl.

Par ailleurs, la surveillance mise en place doit permettre de déterminer l'impact effectif des centrales nucléaires ainsi que des centres de recherche ou des entreprises utilisant des substances radioactives sur l'environnement et sur la population avoisinante. Cette surveillance spécifique, focalisée autour des installations disposant d'une autorisation stricte de rejet de substances radioactives dans l'environnement, s'effectue en collaboration avec les autorités de surveillance respectives, l'Inspection

Fédérale de la Sécurité Nucléaire (IFSN) pour les centrales nucléaires, la SUVA pour les industries. Elle commence par le contrôle des émissions (rejets de substances radioactives) de ces entreprises, afin de s'assurer que les limites sont respectées, et se poursuit par la surveillance de leurs immissions, à savoir des concentrations effectivement mesurées dans l'environnement.

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

#### Programme de mesures (voir annexes 3 et 4)

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

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

Des réseaux automatiques de mesure enregistrent le débit de dose ambiant gamma dans tout le pays (réseau automatique NADAM de mesure et d'alarme pour l'irradiation ambiante) et en particulier au voisinage des centrales nucléaires (réseau automatique de surveillance du débit de dose au voisinage des centrales nucléaires, MADUK). La radioactivité des aérosols et des eaux de rivière (figure 1) est mesurée en continu grâce au réseau automatique de mesure URAnet de l'OFSP (volet «aero» pour la surveillance de l'air et volet «aqua» pour la surveillance de l'eau, voir plus bas). En plus des mesures automatiques, des prélèvements d'échantillons d'aérosols, de précipitations et d'eaux de rivière sont effectués en continu afin de procéder à des analyses très sensibles en laboratoire; la surveillance des sédiments, du sol, de l'herbe, du lait et des denrées alimentaires (y compris les importations) s'effectue dans le cadre de contrôles par sondage. Les données sont enregistrées dans une banque de données nationale administrée par l'OFSP. Les résultats des mesures des réseaux automatiques ainsi que la majorité des résultats des mesures de la radioactivité dans des échantillons environnementaux effectuées en laboratoire sont consultables en ligne sur le site [www.radenviro.ch](http://www.radenviro.ch). Par contre les résultats de

mesures spéciales (par ex. mesure dans les vertèbres, dents de lait,  $^{14}\text{C}$  dans les feuillages, etc.) ne sont, pour l'heure, disponibles que dans le rapport publié annuellement. Les programmes de surveillance sont comparables à ceux en vigueur dans les pays voisins. Les techniques d'échantillonnage et les programmes de mesure correspondent à l'état actuel des connaissances et de la technique. Le contrôle de la qualité s'effectue par la participation régulière des laboratoires à des intercomparaisons nationales et internationales.

### Réseau automatique de surveillance URAnet

Le réseau automatique de surveillance de la radioactivité dans l'air, URAnet aero, est pleinement opérationnel depuis septembre 2018. Il remplace l'ancien réseau RADAIR, mis en service après l'accident de Tchernobyl et devenu obsolète. 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 aussi concernées par d'éventuels rejets de radioactivité dans l'air en provenance d'une centrale nucléaire.

Le réseau URAnet aero est capable de détecter des niveaux de radioactivité largement plus faibles que son prédécesseur (limite de détection de l'ordre de

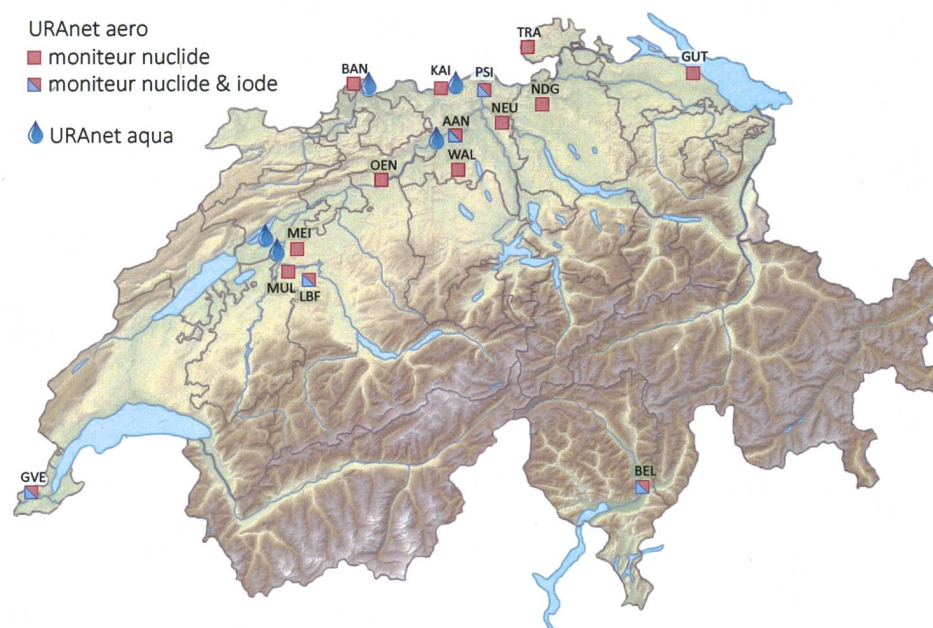


Figure 1: Réseau automatique de surveillance de la radioactivité dans l'air (URAnet aero) et dans les cours d'eau (URAnet aqua).

3 à 7 milli-becquerels par mètre cube ( $mBq/m^3$ ) pour le  $^{137}Cs$  sur une mesure de 12 heures). Une telle sensibilité rend possible la détection automatique de très faibles concentrations de radioactivité dans l'air, même si celles-ci ne présentent pas de danger pour la santé, et permet ainsi une meilleure évaluation des doses reçues par la population.

Le volet du réseau dédié à la surveillance des eaux de l'Aar et du Rhin (URAnet aqua), qui comprend cinq sondes aquatiques, est opérationnel depuis 2015.

## Résultats de la surveillance 2021

### 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 2021 sont généralement restés comparables à ceux des années précédentes et montrent que la radioactivité naturelle est prédominante dans ces compartiments environnementaux. Les résultats des mesures des filtres aérosols à haut débit, disponibles sur Internet ([www.radenviro.ch](http://www.radenviro.ch)), ont ainsi montré que la radioactivité de l'air provient pour l'essentiel des radionucléides naturels tels que le  $^7Be$  cosmogénique ou le  $^{210}Pb$ . D'infimes concentrations de radioactivité artificielle, en particulier de  $^{137}Cs$ , sont toutefois régulièrement détectées sur les filtres aérosols, grâce à la très grande sensibilité des méthodes de mesure mises en œuvre. Les sols suisses contiennent en effet du  $^{137}Cs$  provenant des retombées de l'accident de Tchernobyl en 1986 ainsi que des essais atomiques en atmosphère

des années 60. C'est la remise en suspension dans l'air de ce césium encore présent dans les sols qui est à l'origine des traces encore mesurées aujourd'hui en Suisse dans les filtres aérosols. Une augmentation des concentrations liées à une plus forte remise en suspension en période sèche est un phénomène régulièrement observé.

Aucun émetteur gamma d'origine artificielle n'a été décelé dans les précipitations en 2021. Il en va de même pour les rivières, à l'exception de traces sporadiques de  $^{137}Cs$ , provenant de l'érosion des sols.

La teneur en tritium d'origine naturelle est généralement inférieure à 2 Bq/l dans les précipitations et les eaux fluviales. Un apport artificiel de tritium 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 fig. 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.

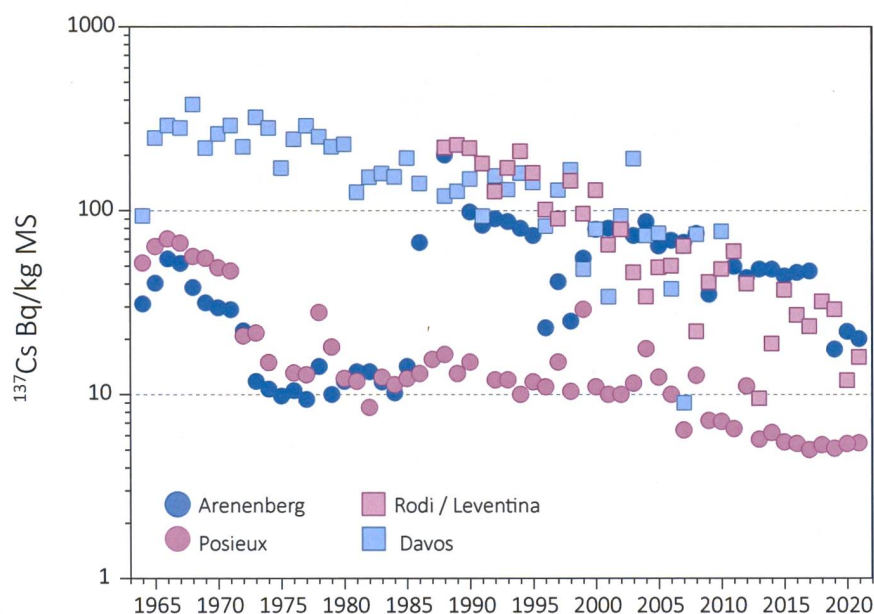


Figure 2:  
 $^{137}Cs$  (en Bq/kg de matière sèche) dans les échantillons de sol de différentes stations de Suisse (1964 - 2021).

Dans l'herbe et les denrées alimentaires, c'est aussi le  $^{40}\text{K}$  naturel qui domine. Les radionucléides artificiels comme le  $^{137}\text{Cs}$  ou le  $^{90}\text{Sr}$  (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.

Dans le lait de vache, la teneur en  $^{137}\text{Cs}$  est généralement restée inférieure à la limite de détection. Seuls quelques échantillons de lait sur les 130 analysés en 2021 ont ainsi présenté une activité en  $^{137}\text{Cs}$  mesurable: la valeur maximale de 9.9 Bq/l a été enregistrée dans un échantillon prélevé dans les Centovalli; de faibles activités, inférieures à 1 Bq/l, ont également été mesurées dans d'autres échantillons de lait provenant du Tessin et des vallées sud des Grisons. Ces traces de  $^{137}\text{Cs}$  proviennent essentiellement des retombées de l'accident de Tchernobyl. Rappelons qu'en Suisse les régions situées au Sud des Alpes, et en particulier au Tessin, ont été les plus touchées par ces retombées radioactives en 1986, ce qui explique que le  $^{137}\text{Cs}$  y soit toujours mesurable dans certains échantillons, 35 ans après l'accident. Les activités mesurées en 2021 sont toutefois restées nettement inférieures à la valeur maximale de 600 Bq/kg admise pour le  $^{137}\text{Cs}$  selon l'Ordonnance Tchernobyl. Les teneurs en  $^{90}\text{Sr}$  mesurées dans 65 échantillons de lait par le canton de BS, l'IRA et le laboratoire de Spiez étaient très basses en 2021, avec une valeur maximale de 0.3 Bq/l et une valeur médiane de 0.04 Bq/l. Le  $^{90}\text{Sr}$  mesuré en Suisse provient des retombées des essais nucléaires des années 60. Les régions d'altitude, recevant davantage de précipitations, ont ainsi été plus touchées que les régions de plaine.

Un seul échantillon de céréales a présenté une activité très faible (0.3 Bq/kg) mais mesurable de  $^{137}\text{Cs}$ ; dans les 17 autres échantillons de céréales ainsi que dans les 25 échantillons de fruits et légumes prélevés en Suisse en 2021, la concentration de  $^{137}\text{Cs}$  est restée inférieure à la limite de détection. Les valeurs de  $^{90}\text{Sr}$  mesurées dans les céréales étaient également très basses, situées entre 0.03 et 0.21 Bq/kg.

Cette année encore, le canton du Tessin a poursuivi le contrôle systématique des sangliers chassés sur son territoire mis en place en 2013 en collaboration avec l'OFSP. En 2021, 1'774 sangliers ont ainsi fait l'objet d'une mesure de tri, réalisée sur place à l'aide d'un instrument dosimétrique. Vingt animaux, soit seulement 1% des cas, dépassaient la valeur maximale pour le  $^{137}\text{Cs}$ , fixée à 600 Bq/kg selon l'Ordonnance Tchernobyl. Ce pourcentage est en nette baisse par rapport aux années précédentes. Des mesures de contrôle en laboratoire ont révélé une valeur maximale de  $^{137}\text{Cs}$  de 2'662 Bq/kg. Les sangliers concernés ont été confisqués par le vétérinaire cantonal. Rappelons que la consommation par les sangliers de truffes de cerf, des champignons non comestibles pour l'homme qui accumulent le  $^{137}\text{Cs}$ , est à l'origine de la contamination de ces animaux. Le  $^{137}\text{Cs}$  déposé au sol après l'accident de Tchernobyl a, par la suite, migré dans les couches plus profondes, où poussent ce type de champignons. Dans les régions de Suisse où la déposition au sol fut très importante, comme au Tessin, la concentration de  $^{137}\text{Cs}$  dans les truffes de cerf peut dépasser 10'000 Bq/kg. Les sangliers, qui en sont friands, les détèrent et les consomment et le  $^{137}\text{Cs}$  est ensuite transféré dans leur viande.

Les concentrations de  $^{137}\text{Cs}$  mesurées dans les 27 échantillons de viande de sanglier en provenance du canton du Valais sont restées faibles,

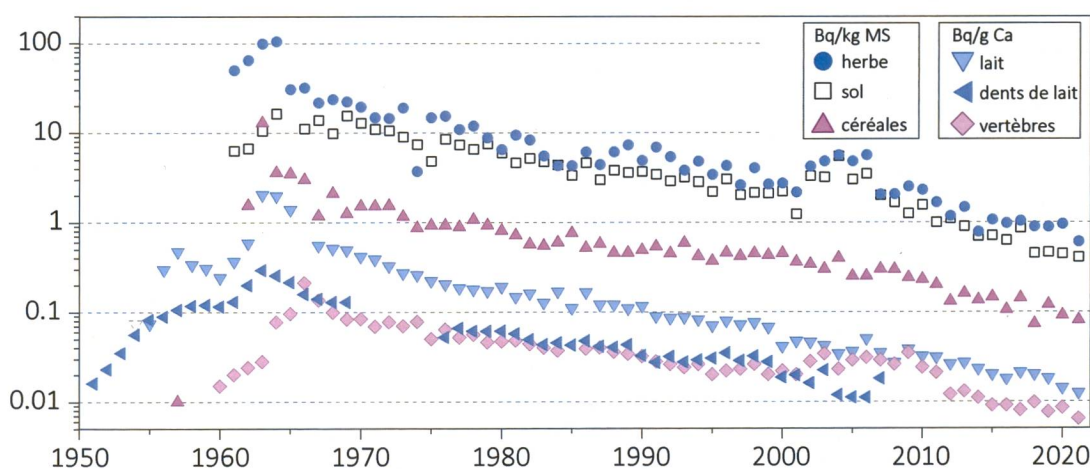


Figure 3:  
 $^{90}\text{Sr}$  dans divers échantillons prélevés entre 1950 et 2021.

avec une valeur maximale de 9.7 Bq/kg. Cinq échantillons de gibier (cerf, chevreuil) prélevés dans le canton des Grisons ont donné des valeurs comprises entre 4 et 143 Bq/kg de  $^{137}\text{Cs}$ . Dans le seul échantillon de sanglier en provenance des Grisons, la concentration en  $^{137}\text{Cs}$  s'élevait à 104 Bq/kg.

Certains champignons sauvages indigènes, notamment les bolets bais et les pholiotés ridées présentent toujours des valeurs accrues de  $^{137}\text{Cs}$ . Ainsi parmi les 155 échantillons de champignons indigènes analysés en 2021 par les cantons du Tessin et des Grisons, 5 (soit env. 3%) dépassaient la valeur maximale de 600 Bq/kg fixée pour le  $^{137}\text{Cs}$  dans l'ordonnance Tchernobyl. La valeur maximale enregistrée s'est élevée à 1'970 Bq/kg (masse fraîche).

Dans les autres denrées alimentaires indigènes analysées par les laboratoires cantonaux (fromages, baies, confitures), les concentrations de  $^{137}\text{Cs}$  sont restées inférieures aux limites de détection (de l'ordre de 0.3 Bq/kg).

Suite à l'accident de Fukushima-Daichi, la Suisse comme l'Union Européenne, a initié un programme de contrôle des denrées alimentaires en provenance du Japon. Depuis 2017, les échantillons analysés en Suisse en provenance du Japon n'ont que rarement présenté des traces de  $^{137}\text{Cs}$ . En 2021, les laboratoires cantonaux de BS et ZH ont analysé 32 échantillons de denrées alimentaires (thé, légumes, assaisonnements, etc.) en provenance du Japon. Seul l'échantillon de champignons shiitake séchés a présenté une activité en  $^{137}\text{Cs}$  mesurable (56 Bq/kg de masse sèche).

Des analyses de denrées alimentaires importées provenant d'autres pays, notamment d'Europe de l'Est, ont également été effectuées comme chaque année par les laboratoires cantonaux (BS, ZH): 154 échantillons ont ainsi été analysés par spectrométrie gamma en 2021. Dans environ 10% de ces échantillons, des concentrations de  $^{137}\text{Cs}$  supérieures à 10 Bq/kg (masse fraîche) ont été mesurées. La valeur la plus élevée (env. 200 Bq/kg (masse fraîche)) a été relevée dans un échantillon de craterelles jaunes.

Aucun dépassement de la valeur maximale pour le  $^{137}\text{Cs}$  n'a ainsi été enregistré en Suisse dans les denrées alimentaires importées en 2021.

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

### Surveillance du voisinage des centrales nucléaires

Les valeurs limites pour les émissions des centrales nucléaires sont fixées par l'autorité compétente de telle sorte qu'aucune personne résidant à proximité ne puisse recevoir une dose efficace supérieure à 0.3 mSv/an (rayonnement direct compris). L'exploitant doit mesurer

ses émissions et en communiquer le bilan à l'IFSN. Des analyses effectuées en parallèle par l'exploitant, l'IFSN et l'OFSP sur des filtres aérosols et des cartouches d'iode (charbon actif) 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 2021.

Rappelons que 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 un nouveau règlement relatif au rejet de substances radioactives dans l'environnement ainsi qu'à la surveillance de la radioactivité et du rayonnement direct dans le voisinage de la centrale nucléaire de Mühleberg (CNM) est entré en vigueur à cette date, seules certaines limites de rejet ont pour l'heure été adaptées. La surveillance de la radioactivité dans l'environnement se poursuit, quant à elle, comme en régime d'exploitation.

Les résultats 2021 de la surveillance mise en oeuvre au voisinage des centrales nucléaires sont conformes à ce qui était attendu. Ainsi, comme par le passé, le rayonnement direct a pu être clairement détecté en certains points de la clôture de la centrale de Leibstadt, pouvant conduire à une dose supplémentaire d'au maximum 0.02 mSv par semaine. Ce rayonnement résulte de la désintégration radioactive du  $^{16}\text{N}$ , à courte demi-vie, qui est produit dans le réacteur. En outre, les installations de stockage des déchets peuvent contribuer à une augmentation de la dose locale à la clôture. Avec l'arrêt de la production à Mühleberg, la contribution du  $^{16}\text{N}$  disparaît, toutefois, les travaux de démantèlement, tels que ceux qui ont lieu à la CNM, peuvent entraîner des augmentations temporaires de la dose locale à la clôture. Ceci a été constaté à plusieurs reprises en 2021 lors des contrôles ponctuels effectués par l'IFSN à la clôture, avec des valeurs instantanées de débit de dose variant entre 0.08 (fond naturel) et 0.32  $\mu\text{Sv/h}$ . Des valeurs plus élevées de débit de dose ont également été enregistrées à la clôture de la CNM par l'OFSP dans le cadre des mesures par spectrométrie in situ. Toutefois, l'évaluation des TLD disposés à la clôture de la CNM a montré une élévation moyenne (calculée sur la base des valeurs trimestrielles mesurées) de la dose ambiante d'au maximum 0.016 mSv par semaine, après soustraction du bruit de fond naturel.

Ces valeurs respectent l'Art.79 de l'ORaP sur la limitation des doses ambiantes en dehors des secteurs contrôlés et surveillés, puisqu'aucune personne ne séjourne de manière durable en ces endroits. Il convient en effet de relever qu'il s'agit ici de dose ambiante et non de dose à la personne. Ces valeurs ne sont donc pas à mettre en rela-

tion avec la valeur directrice de dose liée à la source de 0.3 mSv/an puisqu'aucun membre du public ne réside pour de longue période en ces endroits.

Si la très grande sensibilité des méthodes de mesure mises en oeuvre dans le cadre de la surveillance des immissions a permis de mettre en évidence les traces de radionucléides produits par les centrales nucléaires, le marquage de l'environnement dans leur voisinage demeure faible.

Des valeurs accrues de  $^{14}\text{C}$ , rejeté dans l'atmosphère par les centrales nucléaires lors de leur exploitation, ont ainsi été mises en évidence dans les feuillages (augmentation maximale, par rapport à la station de référence, de 61 pour mille aux environs de la centrale de Leibstadt). La dose annuelle supplémentaire induite par l'ingestion régulière de denrées alimentaires présentant une telle activité supplémentaire de  $^{14}\text{C}$  serait toutefois inférieure à 1 micro-Sv. Le seul autre radionucléide provenant des rejets atmosphériques occasionnellement détecté est le tritium mesuré dans les précipitations, avec des activités très faibles.

Les rejets d'effluents radioactifs liquides par la CNM en 2021 ont été comparables à ceux des années 2017-2019, alors que la centrale était encore en exploitation. Les activités rejetées sont restées inférieures à la valeur cible de 1 GBq/an et n'ont pas conduit à une augmentation mesurable des concentrations de  $^{54}\text{Mn}$  ou de  $^{60}\text{Co}$  dans les échantillons mensuels d'eau de l'Aar. L'emprunte des rejets liquides des centrales nucléaires sur le milieu aquatique est essentiellement mesurable dans les sédiments. En 2021, des traces de  $^{60}\text{Co}$  ont ainsi été mesurées dans un échantillon de sédiments prélevé à Hagneck et de faibles activités de  $^{54}\text{Mn}$  ont été sporadiquement décelées dans les sédiments prélevés à Hagneck, mais également à Klingnau et Pratteln. Les activités mesurées sont très faibles et ne présentent pas de risque sanitaire; elles témoignent de l'efficacité des programmes de surveillance mis en oeuvre.

Le  $^{137}\text{Cs}$  présent dans les échantillons d'eau et de sédiments de l'Aar et du Rhin, provient quant à lui essentiellement de la remobilisation des dépôts de Tchernobyl et des essais d'armes atomiques des années 60.

Les résultats des mesures de  $^{239+240}\text{Pu}$  et de  $^{241}\text{Am}$  effectuées par l'IRA sur différents échantillons de l'environnement aquatique (eaux de l'Aar et du Rhin, plantes aquatiques, sédiments) collectés en aval des centrales nucléaires n'ont pas montré de marquage propre aux rejets des centrales, les rapports isotopiques  $^{241}\text{Am} / ^{239+240}\text{Pu}$  indiquant une contribution

très majoritaire des retombées des essais nucléaires des années 60.

Les concentrations mensuelles du tritium dans l'Aar et le Rhin sont généralement restées inférieures à la limite de détection de 2 Bq/l à l'exception de la période avril-mai, où, comme chaque année, on constate une légère augmentation dans l'Aar (env. 13 Bq/l à Brugg en avril) et dans une moindre mesure dans le Rhin, en raison de rejets plus importants d'eau contenant du tritium par la centrale nucléaire de Gösgen avant la période de révision.

Les analyses des poissons prélevés dans l'Aar et le Rhin en aval des centrales nucléaires suisses en 2021 n'ont révélé la présence d'aucun radionucléide d'origine artificielle. Il en va de même pour l'examen des échantillons des eaux des nappes phréatiques prélevées à Aarberg, Schönenwerd, Böttstein et Muttenz.

En ce qui concerne l'ancienne centrale nucléaire de Lucens, aucune valeur significativement plus élevée de tritium n'a plus été enregistrée dans son système de drainage depuis la mise en place par l'OFSP du programme de surveillance rapprochée au printemps 2012.

Hormis les quelques exemples précités et comme le montre la figure 4, les résultats des mesures environnementales effectuées au voisinage des installations nucléaires ne se distinguent pas de ceux enregistrés dans les endroits situés hors de leur influence. Ils montrent que la radioactivité d'origine naturelle prédomine et que les contaminations détectables proviennent principalement des essais nucléaires des années 60 et de l'accident de Tchernobyl ( $^{137}\text{Cs}$ ).

Même si l'exposition de la population attribuable aux rejets des centrales nucléaires conduit à des doses très faibles (doses supplémentaires annuelles pour les adultes les plus exposés situées entre <0.001 mSv pour Beznau, Gösgen et Leibstadt, et env. 0.002 mSv pour Mühleberg) par rapport à celles d'origine naturelle ou médicale, les autorités se doivent de poursuivre les contrôles et les études avec le plus de précision possible, afin de répondre aux différents objectifs à la fois d'ordre scientifique, réglementaire et d'information du public.

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

### Surveillance des centres de recherche

Après 2 ans d'arrêt pour maintenance, la majorité des installations du CERN ont progressivement été remises en service en 2021. Le LHC quant à lui n'a



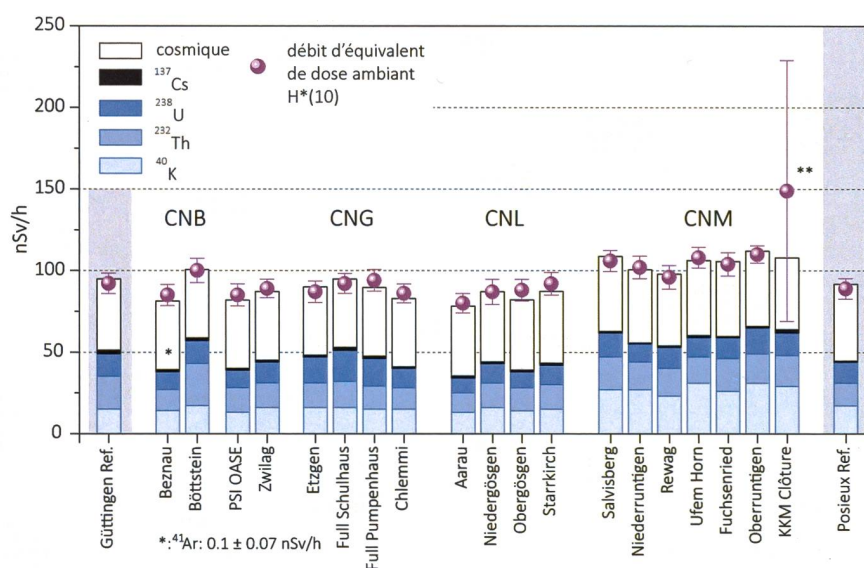


Figure 4:

Contributions individuelles à l'exposition ambiante ( $H^*(10)$ ) attribuables aux différents radionucléides présents sur les sites examinés par l'OFSP en 2021 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. \*\* La valeur plus élevée de débit de dose mesurée à la clôture de KKM est due à la présence de matériaux issus des travaux de démantèlement, stockés temporairement sur le site (voir chap. 3.1).

fonctionné que pour une brève période de tests à très faibles intensités, en vue de son redémarrage en 2022.

Le bilan et le contrôle des émissions de ses propres installations effectués par le CERN en 2021, 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 aux membres du public Suisse est demeurée inférieure à 0.002 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 était très faible. Si des traces des radionucléides de courte demi-vie produits par les installations du CERN, comme le  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{41}\text{Ar}$  ou  $^{131}\text{I}$ , ont sporadiquement pu être décelées dans l'air au voisinage du centre de recherche en 2021, leurs concentrations ne représentaient que d'infimes fractions des limites d'immissions dans l'air définies dans l'Ordonnance sur la radioprotection. Les autres résultats des mesures dans l'air, le milieu terrestre ou encore les eaux et sédiments du Nant d'Avril ne se sont que peu distingués de ceux enregistrés dans les stations de mesures de référence, situées hors influence du CERN.

La dose d'irradiation supplémentaire reçue par la population vivant au voisinage du PSI/ZWILAG ne doit pas excéder, au total, 0.15 mSv/an pour les deux installations, avec une part fixée à 0.05 mSv pour le ZWILAG. Selon l'évaluation de l'IFSN, les rejets effectifs du PSI ont entraîné en 2021 une dose supplémentaire inférieure à 0.011 mSv

pour la population avoisinante. La quasi-totalité de cette dose provient des rejets de gaz rares de courte période produits dans les accélérateurs de particules de la zone West de l'institut. La surveillance de l'environnement est assurée par le PSI ainsi que par l'OFSP qui effectue des mesures supplémentaires de manière indépendante.

Hormis quelques valeurs sporadiquement plus élevées de tritium dans les précipitations, les résultats de la surveillance au voisinage du PSI n'ont pas mis en évidence de marquage de l'environnement dû au fonctionnement des installations du centre de recherche.

Pour les informations détaillées, se référer au chapitre 8.

### Tritium dans l'industrie

Certaines entreprises industrielles utilisent également des substances radioactives. Le tritium est le radionucléide le plus utilisé dans ce domaine en Suisse, par exemple pour la fabrication de sources lumineuses au gaz de tritium ou pour la production de marqueurs radioactifs au tritium pour la recherche. Ces entreprises sont tenues de communiquer à l'autorité de surveillance le bilan de leurs émissions. En 2021, toutes les entreprises concernées ont respecté les valeurs limites pour les rejets fixées dans leur autorisation. L'OFSP met en œuvre un programme de surveillance spécifique pour contrôler les immissions autour de ces entreprises. Le tritium est ainsi analysé dans les précipitations, l'humidité de l'air, les eaux superficielles et dans certains cas, les denrées alimentaires.

En 2021, comme au cours des années précédentes, les résultats de cette surveillance ont montré un marquage significatif de l'environnement (précipitations, denrées alimentaires) par le tritium, à proximité immédiate de ces entreprises, notamment à Niederwangen, avec toutefois une forte diminution par rapport aux années précédentes. Les concentrations de tritium enregistrées dans les précipitations à la station Firma, située au voisinage de l'entreprise mb microtec, se sont élevées en moyenne à 365 Bq/l en 2021, avec une valeur maximale de 780 Bq/l. Cette valeur représente 3.9% de la valeur limite d'immissions fixée dans l'ORaP à 20'000 Bq/l pour le tritium dans les eaux accessibles au public. Ces valeurs sont parmi les plus basses enregistrées depuis 2008. Des valeurs plus élevées de tritium sont toujours mesurées dans les denrées alimentaires récoltées au voisinage de l'entreprise, mais la tendance observée est également à la baisse. Les concentrations de tritium dans les distillats des 12 échantillons de fruits et légumes prélevés fin août 2021 par le laboratoire cantonal de BE se sont échelonnées entre 3 et 140 Bq/l, avec une valeur médiane de 40 Bq/l. Dans les distillats des 3 échantillons de lait frais, les concentrations en tritium étaient de l'ordre de 10 Bq/l (9.7-10.2 Bq/l). Les doses supplémentaires qui résulteraient de la consommation régulière de tels produits (eaux de pluie et légumes) ne dépasseraient pas 1 µSv/an et ne présentent donc pas de risque pour la santé. La baisse générale des valeurs de tritium mesurées dans les différents compartiments environnementaux au voisinage de mb microtec s'explique par la diminution significative des émissions de tritium dans l'air par l'entreprise depuis 2020, suite à la mise en œuvre de diverses améliorations techniques.

Les concentrations de tritium mesurées dans les échantillons hebdomadaires de précipitations de Teufen/AR, au voisinage de l'entreprise RC Tritec sont restées basses en 2021, avec une valeur maximale de 54 Bq/l et une valeur médiane de 34 Bq/l. Ces valeurs sont comparables à celles enregistrées en 2020 et comptent parmi les plus faibles enregistrées depuis le début de la surveillance.

Notons finalement que l'OFSP et la SUVA ont initié en début octobre 2021 un programme de surveillance du tritium dans les précipitations et l'humidité de l'air au voisinage de l'entreprise Smolsys située à Root dans le canton de Lucerne, celle-ci disposant également d'une autorisation de rejet de tritium dans l'environnement. Les résultats pour l'année 2021 ne sont que très parcellaires, mais indiquent un faible marquage de l'environnement, avec des concentrations de  $^3\text{H}$  s'échelonnant entre < 5 et 16 Bq/l dans les précipitations.

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

## Héritages radiologiques

Le plan d'action radium 2015-2022, approuvé par le Conseil fédéral en mai 2015, vise à régler le problème des héritages radiologiques liés à l'application de peinture luminescente au radium dans l'industrie horlogère jusque dans les années 1960. Les travaux dans les quatre différents axes du plan d'action ont été poursuivis en 2021, mais les visites sur le terrain ont à nouveau dû être restreintes durant plusieurs mois en raison de la pandémie de COVID-19, en particulier dans la sphère privée qui représente 80% des biens-fonds concernés. Les restrictions sanitaires ont ainsi entraîné un retard d'une année sur les diagnostics et les assainissements, et ce, malgré les soutiens externes supplémentaires engagés pour les diagnostics. Pour combler ce retard, le Conseil fédéral a approuvé en avril 2022 la prolongation du plan d'action radium jusqu'à fin 2023.

### *Projet sectoriel «Bâtiments»*

Selon l'état au 31 décembre 2021, 880 biens-fonds ont fait l'objet d'un diagnostic lié au radium-226 ( $^{226}\text{Ra}$ ), représentant 80% des biens-fonds recensés dans l'inventaire. En cas de dépassement de la dose efficace de 1 mSv par an pour les occupants et les occupantes, un assainissement s'avère nécessaire. Pour ce qui est des espaces extérieurs, la valeur de seuil est fixée à 1'000 Bq/kg pour la concentration de  $^{226}\text{Ra}$  dans la terre.

Parmi les 880 biens-fonds examinés, 137 (soit environ 16%) requièrent un assainissement au sens de l'art. 153 de l'ORaP. Les travaux d'assainissement sont terminés ou en cours dans 118 biens-fonds. Dans les 86 appartements (ou objets commerciaux) ayant fait l'objet d'une décision d'assainissement, les doses estimées se situent entre 1 et 2 mSv/an dans 43 appartements, entre 2 et 5 mSv/an dans 28 appartements, entre 5 et 10 mSv/an dans 9 appartements, entre 10 et 15 mSv/an dans 5 appartements et entre 15 et 20 mSv/an dans 1 appartement.

Les valeurs maximales de radium mesurées dans des échantillons de terre prélevés dans les 87 jardins à assainir s'élèvent en moyenne à 30'000 Bq/kg. Dans un cas, elles avoisinent ponctuellement les 668'200 Bq/kg.

La présence de pollutions mixtes (chimique et radiologique) a par ailleurs été constatée dans près de 20% des espaces extérieurs à assainir. L'OFSP coordonne au cas par cas l'assainissement de ces parcelles avec les cantons concernés. Les cas complexes sont discutés au sein du groupe de soutien sur les pollutions mixtes constitué de représentants et représentantes de l'OFSP, de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et de la Suva, afin d'assurer le respect des législations sur la radioprotection et sur la protection de l'environnement, ainsi que des règles de protection des travailleurs et des travailleuses.

### *Projet sectoriel «Décharges»*

Le projet sectoriel «décharges» a d'une part pour objectif de recenser les anciennes décharges susceptibles de contenir des déchets contaminés au  $^{226}\text{Ra}$  et d'autre part, de définir les mesures à prendre pour protéger l'environnement et la santé de la population ainsi que des travailleurs et des travailleuses des dangers liés à la présence de ces déchets.

En octobre 2021, l'OFSP a publié le rapport technique «Recensement et gestion des anciennes décharges susceptibles de contenir des déchets contaminés au radium» sous [www.bag.admin.ch/heritages-radium](http://www.bag.admin.ch/heritages-radium) (Héritages au radium dans des décharges). Ce rapport, élaboré en collaboration avec l'OFEV et en accord avec les cantons concernés, détermine la méthode d'identification des anciennes décharges potentiellement affectées, leur classement en trois catégories de risque, ainsi que les mesures de protection à mettre en œuvre, en particulier lors de travaux d'excavation.

Les cantons principalement touchés (Berne, Genève, Jura, Neuchâtel et Soleure) ont procédé à la classification de leurs anciennes décharges selon le processus défini. Plus de 280 anciennes décharges susceptibles de contenir des déchets contaminés au  $^{226}\text{Ra}$  ont ainsi été identifiées. La liste correspondante est publiée sous le même lien à titre informatif. L'OFSP prépare actuellement une directive visant à concrétiser la mise en œuvre à long terme des processus de surveillance et à clarifier les responsabilités des différentes parties prenantes. Il est prévu de consulter les cantons principalement concernés dans le courant de l'année 2022.

*Pour les informations détaillées, se référer au chapitre 9.5.*

### **Utilisation de substances radioactives dans les hôpitaux**

Les hôpitaux utilisent depuis de nombreuses années de l' $^{131}\text{I}$  (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 la thérapie. Les patients ayant reçu plus de 200 MBq doivent être isolés dans des chambres spéciales pendant les premières 48 heures au moins suivant le traitement. Les excréments de ces patients sont collectés dans des cuves de décroissance dédiées au contrôle des eaux usées et ne sont rejetées dans l'environnement qu'après diminution de leur activité en dessous des valeurs limites d'immissions.

D'autres radionucléides comme l' $^{90}\text{Y}$ , mais surtout le  $^{177}\text{Lu}$  (demi-vie d'env. 7j) sont également utilisés pour des applications diagnostiques et thérapeutiques. Ce dernier,

utilisé pour le traitement des cancers de la prostate, est aujourd'hui le radionucléide le plus largement appliqué en médecine nucléaire. Après avoir augmenté de 50% entre 2019 et 2020, l'activité totale de  $^{177}\text{Lu}$  appliquée en Suisse a encore pratiquement doublé en 2021 par rapport à l'année précédente pour atteindre 10.8 TBq. Pour tenir compte de la radiotoxicité, on calcule l'activité du  $^{177}\text{Lu}$  en équivalent  $^{131}\text{I}$ , ce qui donne 0.23 TBq d'équivalent iode  $^{131}\text{I}$  (à comparer aux 2.5 TBq d' $^{131}\text{I}$  appliqués en Suisse en 2021). Après une diminution de son utilisation d'un facteur 5 env. entre 2010 et 2020, l'application d' $^{90}\text{Y}$  a fortement (facteur 3) augmenté en 2021 par rapport à 2020.

L'utilisation du  $^{223}\text{Ra}$  (premières applications en 2013) a, quant à elle, nettement diminué depuis 2017 et est aujourd'hui très faible par rapport à celle d'autres radionucléides.

Dans le cadre de la surveillance de l'environnement, des échantillons d'eaux usées sont prélevés chaque semaine dans les stations d'épuration des grandes agglomérations et analysés afin de déterminer les concentrations des émetteurs gamma ( $^{131}\text{I}$ ,  $^{177}\text{Lu}$ ). Des mesures en continu à l'aide d'une sonde automatique ont également été effectuées en 2021 (voir «surveillance des eaux des stations d'épuration»). On notera que si ces radionucléides sont rarement détectés dans les eaux de rivière, on peut en retrouver des traces dans les sédiments. Ainsi des traces de  $^{131}\text{I}$ ,  $^{177}\text{Lu}$  et  $^{223}\text{Ra}$  sont régulièrement mis en évidence dans les particules en suspension prélevées dans le Rhin à Weil am Rhein.

*Pour davantage d'informations, consulter le chapitre 9.2*

### **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  $^3\text{H}$ ) des eaux des stations d'épuration ainsi que des eaux de lavage des fumées des usines d'incinération des déchets. La surveillance des stations d'épuration permet d'évaluer les rejets de certaines substances radioactives dans l'environnement par les industries et les hôpitaux via les eaux usées. Les radionucléides utilisés en médecine nucléaire étant de courte (quelques jours) à très courte (1 à 2 h) demi-vie, ils ne sont généralement pas détectés par le programme usuel de mesures en laboratoire compte tenu du délai entre prélèvement et mesures. Pour cette raison des mesures en continu ont également été réalisées en 2021 à l'aide d'une sonde automatique de mesure dans les eaux des stations d'épuration de Berne et Bellinzona. Ces mesures ont montré que l' $^{131}\text{I}$ , le  $^{177}\text{Lu}$  et l' $^{111}\text{In}$  n'apparaissent que sporadiquement et à de faibles concentrations dans l'environnement, car

ils sont retenus dans les réservoirs de décroissance des hôpitaux jusqu'à ce que la plupart soient désintégrés. Les radionucléides à vie très courte  $^{99m}\text{Tc}$  et  $^{18}\text{F}/^{68}\text{Ga}$  ne nécessitent pas de rétention dans les hôpitaux en raison de la limite d'immission élevée et ont par conséquent été régulièrement détectés lors des mesures en continu. Cette surveillance a par ailleurs montré que les limites d'immission de tous les radionucléides étaient déjà respectées en moyenne hebdomadaire à l'entrée des STEP. Les mesures dans des STEP sélectionnées seront poursuivies, car elles fournissent de précieuses informations supplémentaires sur les émissions des hôpitaux, qui représentent globalement une source non négligeable de radionucléides artificiels dans l'environnement.

La surveillance des usines d'incinération vise à s'assurer, autant que possible, qu'aucun déchet radioactif ne soit accidentellement ou intentionnellement éliminé par le circuit des ordures conventionnelles. A noter que de nombreuses usines d'incinération sont équipées de portique de détection (émetteurs gamma) pour prévenir toute incinération de déchets contaminés par des substances radioactives.

Avec l'entrée en vigueur de la nouvelle ORaP en 2018, les usines d'incinération sont tenues de contrôler, selon une procédure adéquate, l'éventuelle présence d'émetteurs gamma dans les déchets avant leur incinération. Si l'installation systématique de portiques de détection permet de couvrir ces exigences, elle n'empêchera pas l'incinération accidentelle de  $^3\text{H}$ , un émetteur bêta pur qui ne peut être décelé par ces portiques.

La surveillance de la radioactivité dans les eaux de lavage des fumées des usines d'incinération n'a révélé aucun résultat inhabituel en 2021. En janvier 2019, le laboratoire cantonal de Bâle-Ville avait mesuré une concentration particulièrement élevée de tritium (833'000 Bq/l) dans un échantillon hebdomadaire. Sur la base de ces résultats, l'activité totale incinérée avait été estimée à env. 700 GBq. Bien que cet incident n'ait pas eu de conséquences pour la santé de la population, le caractère récurrent du phénomène avait conduit l'OFSP à déposer une plainte auprès du ministère public de la confédération en 2020. L'enquête n'a malheureusement pas permis de retrouver l'origine de la source incinérée.

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  $^{226}\text{Ra}$  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  $^{226}\text{Ra}$  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  $^{226}\text{Ra}$  dans les eaux est fixée à 580 mBq/l. Les résultats des mesures effectuées en 2021 ont confirmé que les concentrations de  $^{226}\text{Ra}$  dans les eaux de percolation des décharges dans lesquelles des déchets contenant du  $^{226}\text{Ra}$  ont été déposés ces dernières années sont faibles et bien inférieures à la valeur limite d'immission.

*Pour les informations détaillées, se référer au chapitre 9.3 et 9.4.*

### Radioactivité assimilée par le corps humain

L'assimilation de radionucléides par l'intermédiaire de la nourriture peut être recensée par des mesures au corps entier (pour les émetteurs gamma) ainsi que par des analyses de la teneur en  $^{90}\text{Sr}$  dans les dents de lait et les vertèbres humaines. 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  $^{40}\text{K}$  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  $^{90}\text{Sr}$  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 3). 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  $^{90}\text{Sr}$ . 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 3) 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. Notons que le programme de mesure de  $^{90}\text{Sr}$  dans les dents de lait touche probablement à sa fin: les activités sont aujourd'hui très basses ( $< 10 \text{ mBq/g Ca}$ ) et il devient de plus en plus difficile d'obtenir des tailles d'échantillons suffisantes pour être en mesure de quantifier de tels niveaux de  $^{90}\text{Sr}$ .

*Pour les informations détaillées, se référer au chapitre 6.1.*

## Evaluation

En Suisse, les concentrations de radionucléides dans l'environnement et les doses d'irradiation de la population dues aux sources de rayonnements artificielles sont restées en 2021, comme les années précédentes, nettement inférieures aux limites légales; le risque sanitaire correspondant peut donc être considéré comme très faible.

Il existe des différences régionales de répartition de la radioactivité naturelle et artificielle dans l'environnement. Si la radioactivité naturelle est essentiellement influencée par la géologie, la part de radioactivité artificielle, comme conséquence des essais nucléaires et de l'accident de Tchernobyl, est, elle aussi, distribuée de manière inhomogène sur le territoire suisse. Le  $^{137}\text{Cs}$  radioactif de Tchernobyl a par exemple principalement été déposé au Tessin et dans certaines vallées du sud des Grisons où il est encore mesurable dans de nombreux échantillons 35 ans après l'accident. Les concentrations mesurées diminuent régulièrement depuis 1986, mais des dépassements de la valeur maximale pour le  $^{137}\text{Cs}$  fixée dans l'Ordonnance Tchernobyl sont toujours observés en 2021 au Tessin dans certaines denrées sensibles comme les sangliers ou certains 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  $^{14}\text{C}$  dans les feuillages ou le  $^{60}\text{Co}$  et le  $^{54}\text{Mn}$  dans les sédiments en aval des centrales nucléaires), les rejets qui en sont à l'origine sont nettement inférieurs aux limites autorisées et n'ont conduit à aucun dépassement des valeurs limites d'immissions. La surveillance mise en œuvre au voisinage des entreprises utilisatrices de tritium a montré un marquage nettement mesurable de l'environnement (précipitations, denrées alimentaires) par ce radionucléide à proximité immédiate de ces entreprises. A Niederwangen, les concentrations maximales de tritium enregistrées dans les précipitations sont en nette diminution par rapport aux années précédentes et n'ont pas dépassé 4% de la valeur limite d'immissions pour le tritium dans les eaux accessibles au public. Si des

valeurs plus élevées de  $^3\text{H}$  ont également été mesurées dans les échantillons de denrées alimentaires prélevées dans cette localité, elles n'ont pas présenté de risque pour la santé des consommateurs. Quant aux rejets d'effluents radioactifs liquides par les hôpitaux, la surveillance a montré que les limites d'immission sont respectées déjà à l'entrée des stations d'épuration des grandes villes. La surveillance spécifique des eaux des stations d'épuration, des eaux de lavage des fumées des usines d'incinération ainsi que des eaux de percolation des décharges n'a, quant à elle, mis en évidence aucun résultat inhabituel.

En conclusion, l'impact radiologique liées au fonctionnement des centrales nucléaires, centres de recherche, industries et hôpitaux est resté très faible pour les populations avoisinantes. Les traces de radioactivité artificielle décelées dans l'environnement reflètent un fonctionnement normal de ces installations et témoignent de l'efficacité des programmes de surveillance mis en œuvre.

# 1.2

## Umweltüberwachung : Zusammenfassung

**S. Estier, P. Steinmann**

Sektion Umweltradioaktivität (URA), BAG, 3003 Bern

### Auftrag und Messprogramm

#### Überwachung der 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, damit die Strahlendosen für die Schweizer Bevölkerung ermittelt werden können. Diese allgemeine Überwachung umfasst zudem die Messung der Kontaminationen als Folge der oberirdischen Kernwaffenversuche der USA und der Sowjetunion in den 50er und 60er Jahren sowie des Reaktorunfalls von Tschernobyl.

Mit der Überwachung müssen sich ausserdem die effektiven Auswirkungen von Kernanlagen, Forschungszentren und Unternehmen, die radioaktive Substanzen einsetzen, auf die Umwelt und die Bevölkerung in der Umgebung feststellen lassen. Diese spezifische Überwachung der Betriebe, welche über eine streng beschränkte Bewilligung zur Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umwelt verfügen, erfolgt in Zusammenarbeit mit den betreffenden Aufsichtsbehörden, das heisst mit dem eidgenössischen

Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) für die Kernkraftwerke und der Suva für die Industriebetriebe. Sie beginnt mit der Überprüfung der Einhaltung der

Abgabelimiten bei den Emissionen (Freisetzung von radioaktiven Stoffen) und setzt sich mit der Überwachung der Immissionen, d.h. der effektiv in der Umwelt gemessenen Konzentrationen, fort.

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

#### Messprogramm (siehe Anhänge 3 und 4)

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

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

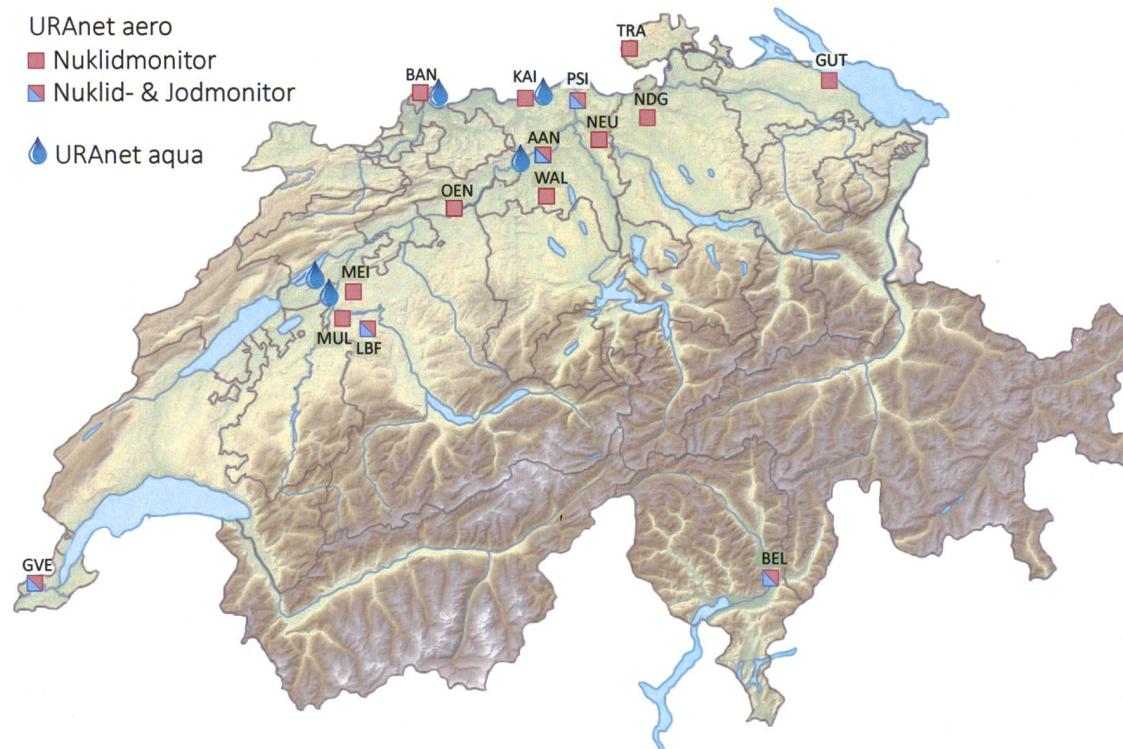
Automatische Messnetze (Figur 1) erfassen die Gamma-Dosisleistung über das ganze Land (NADAM = Alarm- und Messnetz zur Bestimmung der Dosisleistung) sowie speziell in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK = Messnetz in der Umgebung der Kernanlagen zur Bestimmung der Dosisleistung). Die kontinuierliche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

### Das automatische Messnetz URAnet

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

Das URAnet-Messnetz ist auch bezüglich Empfindlichkeit deutlich besser als sein Vorgänger: für eine 12-Stunden Messung erreicht es eine Nachweisgrenze von 3 bis 7  $\text{mBq/m}^3$  für  $^{137}\text{Cs}$ . Diese hohe Empfindlichkeit erlaubt es sehr geringe Konzentrationen von Radioaktivität in der Luft rasch zu erkennen, auch wenn diese noch keine Gefahr für die Gesundheit darstellen, und ermöglicht so, die Abschätzung der Strahlendosis für die Bevölkerung zu verbessern.

Der Teil «Flusswasser» von URAnet (URAnet aqua) ist mit fünf Sonden in der Aare und im Rhein seit November 2015 in Betrieb.



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

## Ergebnisse der Umweltüberwachung 2021

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

Die Resultate 2021 der Überwachung der Radioaktivität in Luft, Niederschlag, Gras und Boden sind vergleichbar mit jenen aus den Vorjahren und bestätigen, dass in diesen Umweltkompartimenten der überwiegende Teil der Radioaktivität natürlichen Ursprungs ist. Die Luftmessungen mit Hochvolumen-Aerosolfiltern (für online-Resultate siehe [www.radenviro.ch](http://www.radenviro.ch)) zeigen im Wesentlichen natürliche Radionuklide wie das kosmogene  $^7\text{Be}$  oder  $^{210}\text{Pb}$ . Dank der hohen Empfindlichkeit der eingesetzten Messverfahren werden jedoch auch regelmässig kleinste Konzentrationen von künstlichen Radionukliden, insbesondere  $^{137}\text{Cs}$ , auf den Aerosolfiltern nachgewiesen. Schweizer Böden enthalten immer noch  $^{137}\text{Cs}$  aus dem Fallout des Tschernobyl-Unfalls von 1986 und den Atomtests in der Atmosphäre in den 1960er Jahren. Das Aufwirbeln von Bodenpartikeln mit dem darin enthaltenen  $^{137}\text{Cs}$  ist für die Spuren verantwortlich ist, die heute noch in Schweizer Aerosolfiltern gemessen werden. Ein Anstieg der  $^{137}\text{Cs}$  Konzentrationen in der Luft aufgrund erhöhter Staubaufwirbelung während Trockenperioden ist ein Phänomen, das regelmässig beobachtet wird.

Im Niederschlag waren im Jahr 2021 keine künstliche Radioaktivität nachweisbar. Das stimmt auch für die Flüsse, bis auf einige sporadische Spuren von  $^{137}\text{Cs}$ , das durch Ausschwemmen von Partikeln aus Böden stammt.

Die Aktivität von natürlichem Tritium ist im Niederschlag und im Fluswasser im Allgemeinen unter 2 Bq/l. Künstlicher Tritiumeintrag durch Einleitungen aus Kernkraftwerken und bestimmten Industrien wird manchmal im Niederschlag in der Nähe oder im Fluswasser flussabwärts dieser Betriebe festgestellt (siehe entsprechende Abschnitte zu diesen Betrieben).

Im Erdboden dominieren die natürlichen Radionuklide der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen sowie das  $^{40}\text{K}$ . Künstliche Radioisotope im Boden stammen aus Ablagerungen aus der Luft und zeigen regionale Unterschiede, die mit dem unterschiedlichen «Fallout» von Radioaktivität aus den oberirdischen Kernwaffenversuchen in den frühen 60er Jahren (besonders  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  und  $^{137}\text{Cs}$ ) und dem Tschernobyl-Reaktorunfall (vorwiegend  $^{137}\text{Cs}$ ) zusammenhängen. In den Alpen und Südalpen sind die Werte von  $^{137}\text{Cs}$  (siehe Figur 2) und  $^{90}\text{Sr}$  immer noch etwas höher als im Mittelland. Künstliche Alphastrahler wie

$^{239}\text{Pu}$  und  $^{240}\text{Pu}$  sowie  $^{241}\text{Am}$  treten im Erdboden nur in sehr geringen Spuren auf.

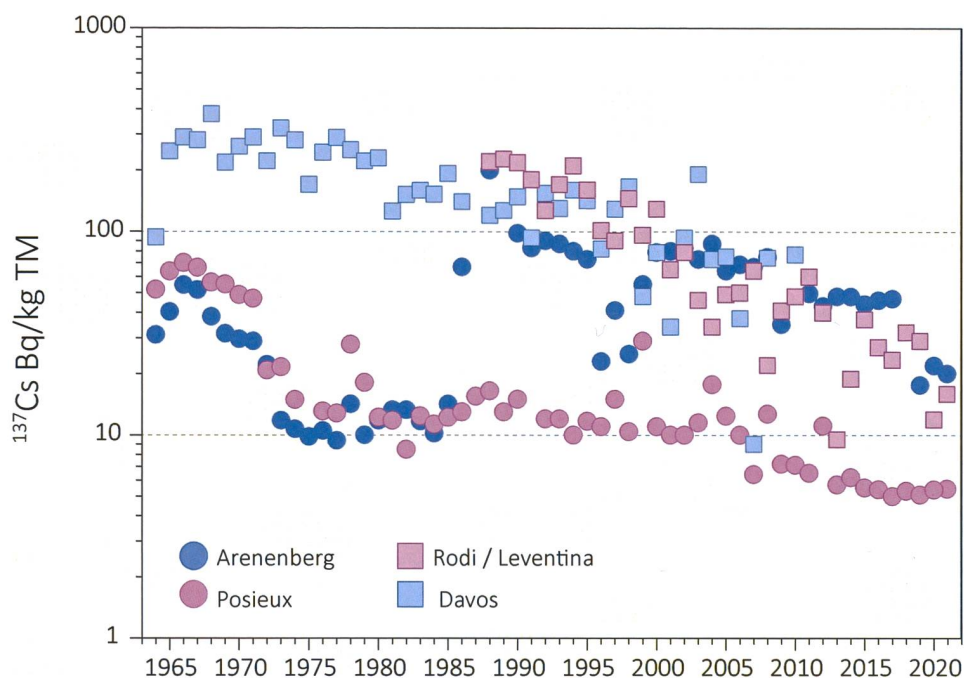
In Gras- und Lebensmittelproben dominiert das natürliche  $^{40}\text{K}$ . Künstliche Radionuklide wie  $^{137}\text{Cs}$  oder  $^{90}\text{Sr}$  (siehe Figur 3), die von den Pflanzen über die Wurzeln aufgenommen werden, sind im Gras nur noch in Spuren vorhanden. Die regionale Verteilung ist dabei ähnlich wie für den Boden.

In Kuhmilch blieb der  $^{137}\text{Cs}$ -Gehalt meist unter der Nachweisgrenze. Nur wenige der 130 Milchproben, die im Berichtsjahr analysiert wurden, wiesen eine messbare  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität auf: Der Maximalwert von 9.9 Bq/l wurde in einer Probe aus dem Centovalli festgestellt; andere Milchproben aus dem Tessin sowie den Bündner Südtälern zeigten ebenfalls geringe messbare Aktivitäten (< 1 Bq/l). Diese Spuren von  $^{137}\text{Cs}$  sind hauptsächlich auf den Fallout aus dem Tschernobyl-Unfall zurückzuführen. Es ist zu bedenken, dass in der Schweiz die Regionen südlich der Alpen, insbesondere das Tessin, 1986 am stärksten vom radioaktiven Fallout betroffen waren, was erklärt, warum  $^{137}\text{Cs}$  auch 35 Jahre nach dem Unfall in einigen Proben immer noch in höheren Konzentrationen gemessen werden kann. Die im Jahr 2021 gemessenen Aktivitäten blieben jedoch alle deutlich unter dem Höchstwert der Tschernobyl-Verordnung von 600 Bq/kg für  $^{137}\text{Cs}$ . Die vom Kantonalen Laboratorium BS, dem IRA in Lausanne und dem Labor Spiez gemessenen  $^{90}\text{Sr}$ -Konzentrationen in 65 Milchproben waren 2021 sehr tief, mit einem maximal gemessenen Wert von 0.3 Bq/l und einem Medianwert von 0.04 Bq/l. Das in der Schweiz gemessene  $^{90}\text{Sr}$  stammt aus dem Fallout der Atombombentests in den 1960er Jahren, wobei die höher gelegenen Regionen, die mehr Niederschläge erhalten, stärker betroffen waren als die Tieflandregionen.

Nur eine Getreideprobe zeigte eine sehr geringe (0.3 Bq/kg), aber messbare  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität; in den anderen 17 Getreideproben sowie in den 25 Obst- und Gemüseproben, die 2021 in der Schweiz gesammelt wurden, blieb die  $^{137}\text{Cs}$ -Konzentration unter der Nachweisgrenze. Die im Getreide gemessenen  $^{90}\text{Sr}$ -Werte waren ebenfalls sehr niedrig und lagen zwischen 0.04 und 0.21 Bq/kg.

Der Kanton Tessin setzte die systematische Überwachung der auf seinem Territorium bejagten Wildschweine fort, die 2013 in Zusammenarbeit mit dem BAG eingeführt wurde. Im 2021 wurden 1'774 Wildschweine vor Ort mit einem dosimetrischen Instrument ausgemessen. Nur 20 Tiere, also knapp 1% der Fälle, überschritten den Höchstwert aus der Tschernobylverordnung von 600 Bq/kg für  $^{137}\text{Cs}$ . Dieser Prozentsatz ist deutlich niedriger als in den letzten Jahren. Nachmessungen im Labor zeigten einen





Figur 2:  
 $^{137}\text{Cs}$  (in Bq/kg Trockenmasse) in Bodenproben verschiedener Stationen der Schweiz (1964 - 2021).

$^{137}\text{Cs}$ -Höchstwert von 2'662 Bq/kg. Die betroffenen Wildschweine wurden vom Kantonstierarzt beschlagnahmt. Die Ursache der Kontamination der Wildschweine ist bekanntlich der Verzehr von Hirschrüffel, ein für Menschen ungeniessbarer, in tieferen Bodenschichten wachsender Pilz, der  $^{137}\text{Cs}$  aufnimmt. Das  $^{137}\text{Cs}$ , das nach dem Unfall in Tschernobyl auf dem Boden abgelagert wurde, wanderte seither allmählich in diese tieferen Schichten, wo es sich jetzt in Hirschrüffeln anreichert. In Regionen mit einer hohen Deposition von  $^{137}\text{Cs}$  nach dem Unfall, wie im Tessin, kann die Konzentration von  $^{137}\text{Cs}$  in Hirschrüffeln 10'000 Bq/kg übersteigen. Wildschweine lieben diese Trüffel, graben sie aus und verzehren sie, wodurch das  $^{137}\text{Cs}$  in ihr Fleisch übergeht.

Die in den 27 Fleischproben von Wildschweinen aus dem Kanton Wallis gemessenen  $^{137}\text{Cs}$ -Konzentrationen blieben mit einem Höchstwert von 9.7 Bq/kg niedrig. Fünf Wildfleischproben (Hirsch, Reh) aus dem Kanton Graubünden ergaben Werte zwischen 4 und 143 Bq/kg  $^{137}\text{Cs}$ . In der einzigen Wildschweinprobe aus dem Kanton Graubünden betrug die  $^{137}\text{Cs}$ -Konzentration 104 Bq/kg.

Gewisse einheimische Wildpilze, insbesondere Steinpilze und Reispilze weisen immer noch erhöhte Werte von  $^{137}\text{Cs}$  auf. So überschritten von den 155 Proben einheimischer Pilze, die 2021 von den Kantonen Tessin und Graubünden analysiert wurden, 5 Proben (das sind rund 3%) den in der Tschernobyl-Verordnung festgelegten Höchstwert von 600 Bq/kg für  $^{137}\text{Cs}$ . Der höchste registrierte Wert betrug 1'970 Bq/kg (Frischmasse).

In den anderen einheimischen Lebensmitteln, die von den kantonalen Laboratorien analysiert wurden (Käse, Beeren, Konfitüren), lagen die  $^{137}\text{Cs}$ -Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze (in der Grössenordnung von 0.3 Bq/kg).

Nach dem Reaktorunfall in Fukushima-Daiichi hat die Schweiz gleich wie die Europäische Union ein Programm für die Kontrolle von Lebensmittelimporten aus Japan aufgestellt. Seit 2017 haben in der Schweiz analysierte Proben aus Japan nur noch selten Spuren von  $^{137}\text{Cs}$  gezeigt. Im Jahr 2021 analysierten die kantonalen Laboratorien BS und ZH 32 Lebensmittelproben (Tee, Gemüse, Würzen, usw.) aus Japan. Einzig ein getrockneter Shiitake-Pilz zeigte eine messbare  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität (56 Bq/kg Trockengewicht).

Lebensmittelimporte aus anderen Ländern und speziell aus Osteuropa wurden, wie jedes Jahr, von den kantonalen Laboratorien (BS, ZH) ebenfalls analysiert; im Berichtsjahr waren es 154 Proben, die gammaspektrometrisch analysiert wurden. In etwa 10% dieser Proben wurden  $^{137}\text{Cs}$ -Konzentrationen von mehr als 10 Bq/kg Frischmasse gemessen. Der höchste Wert (ca. 200 Bq/kg Frischmasse) wurde in einer Probe der Gelben Kraterelle festgestellt.

Somit wurde in der Schweiz keine Überschreitung des Höchstwertes für  $^{137}\text{Cs}$  in Lebensmitteln registriert, die im Jahr 2021 importiert wurden.

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. 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 2021 haben bestätigt, dass die Betreiber die gesetzlichen Grenzwerte einhalten.

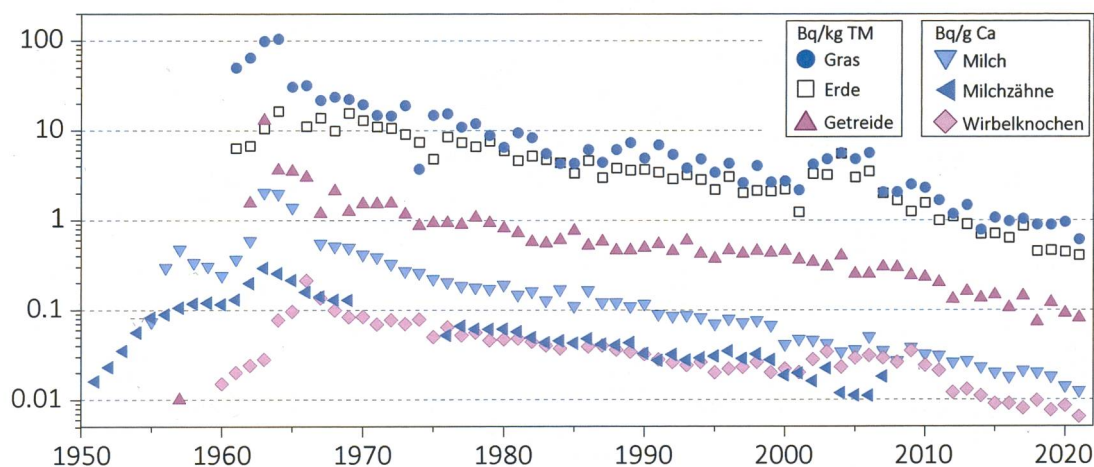
Das Kernkraftwerk Mühleberg wurde am 20. Dezember 2019 für die Stromproduktion abgeschaltet und am 15. September 2020 von der BKW definitiv stillgelegt. Dies markiert den Übergang vom Regime mit einer Betriebsbewilligung zu jenem der Stilllegungsverfügung. Mit der Stilllegung ist ein neues Reglement für die Abgaben von radioaktiven Stoffen sowie die Überwachung der Radioaktivität und der Direktstrahlung in der Umgebung des Kernkraftwerks Mühleberg in Kraft. Darin wurden bisher nur bestimmte Grenzwerte für die Abgaben angepasst. Die Überwachung der Radioaktivität in der Umgebung wird wie im Betriebsregime fortgesetzt.

Die Ergebnisse der Überwachung der Kernanlagen 2021 zeigten die erwarteten Ergebnisse. Wie schon in der Vergangenheit konnten an gewissen Stellen am Zaun des KKW Leibstadt die Direktstrahlung deutlich gemessen werden, was zu einer zusätzlichen Dosis von bis zu 0.02 mSv pro Woche führen

kann. Diese Strahlung entsteht durch den radioaktiven Zerfall des im Reaktor erzeugten kurzlebigen  $^{16}\text{N}$ . Darüber hinaus können die Abfalllager zu einer Erhöhung der Ortsdosis am Zaun beitragen. Mit der Stilllegung des KKW Mühleberg ist die Strahlung durch  $^{16}\text{N}$  verschwunden, jedoch können die Stilllegungsarbeiten selber zu einer kurzzeitig erhöhten Dosis am Zaun führen. Dies wurde 2021 bei den Stichprobenkontrollen des ENSI am Arealzaun mehrfach festgestellt, wobei die Messwerte der Dosisleistung zwischen 0.08 (natürlicher Hintergrund) und 0.32  $\mu\text{Sv/h}$  schwankten. Höhere Dosisleistungswerte am Zaun des KKM wurden auch vom BAG im Rahmen der Messungen mit der In-situ-Spektrometrie beobachtet. Die Auswertung der am Zaun des KKM angebrachten TLD-Dosimeter ergab jedoch eine durchschnittliche Erhöhung der Umgebungsdosis (berechnet auf Basis der gemessenen Quartalswerte) von 0.016 mSv pro Woche, nach Abzug des natürlichen Hintergrundes.

Diese Werte erfüllen die Anforderungen von Art. 79 der StSV zur Begrenzung der Ortsdosis ausserhalb von Kontroll- und Überwachungsbereichen, da sich keine Person dauerhaft an diesen Orten aufhält. Hier ist zu beachten, dass die Direktstrahlungs-Immissionsgrenzwerte für die Ortsdosis gelten und sich nicht auf Personendosen beziehen. Diese Werte können daher nicht mit dem quellenbezogenen Dosisrichtwert für die Bevölkerung von 0.3 mSv/Jahr verglichen werden, da sich keine Person aus der Bevölkerung für lange Zeit am Zaun aufhält.

Die Ergebnisse des Immissionsüberwachungsprogramms rund um die Kernkraftwerke zeigten, dass die Auswirkungen der Kernkraftwerke auf die Umwelt 2021 gering blieben. Mit hochempfindlichen



Figur 3:  
 $^{90}\text{Sr}$  in verschiedenen, zwischen 1950 und 2021 entnommenen Proben (logarithmische Skala).

Messmethoden konnten dennoch Spuren der Abgaben an die Atmosphäre festgestellt werden, etwa erhöhte Werte für  $^{14}\text{C}$  in Baumblätter (maximale Erhöhung gegenüber der Referenzstation von 61 Promille in der Umgebung des Kernkraftwerks Leibstadt). Zur Orientierung: Eine zusätzliche  $^{14}\text{C}$ -Aktivität von 100 Promille in den Lebensmitteln würde zu einer zusätzlichen jährlichen Dosis von einem Mikrosievert führen. Das einzige andere gelegentlich nachgewiesene Radionuklid aus Abgaben an die Atmosphäre ist Tritium, das im Niederschlag gemessen wird, mit sehr geringen Aktivitäten.

Die Abgaben flüssiger radioaktiver Stoffe durch das KKM im Jahr 2021 waren vergleichbar mit denen der Jahre 2017-2019, als das KKM noch in Betrieb war. Die abgegebene Aktivität lag unter dem Zielwert von 1 GBq/Jahr und führte nicht zu einem messbaren Anstieg der Konzentrationen von  $^{54}\text{Mn}$  oder  $^{60}\text{Co}$  in den monatlichen Wasserproben der Aare. Die Auswirkungen der flüssigen Abgaben aus Kernkraftwerken auf die aquatische Umwelt sind hauptsächlich in den Sedimenten messbar. So wurden 2021 in einer Sedimentprobe aus Hagneck Spuren von  $^{60}\text{Co}$  gemessen und sporadisch geringe Aktivitäten von  $^{54}\text{Mn}$  in Sedimenten aus Hagneck, Klingnau und Pratteln nachgewiesen. Die gemessenen Aktivitäten sind sehr niedrig und stellen kein Gesundheitsrisiko dar; sie spiegeln die Wirksamkeit der durchgeführten Überwachungsprogramme wider.

Das  $^{137}\text{Cs}$ , welches in Wasser- und Sedimentproben aus Aare und Rhein vorhanden ist, stammt im Wesentlichen aus der Remobilisierung von alten Ablagerungen (Tschernobyl und Atombombenversuche der 60er Jahre).

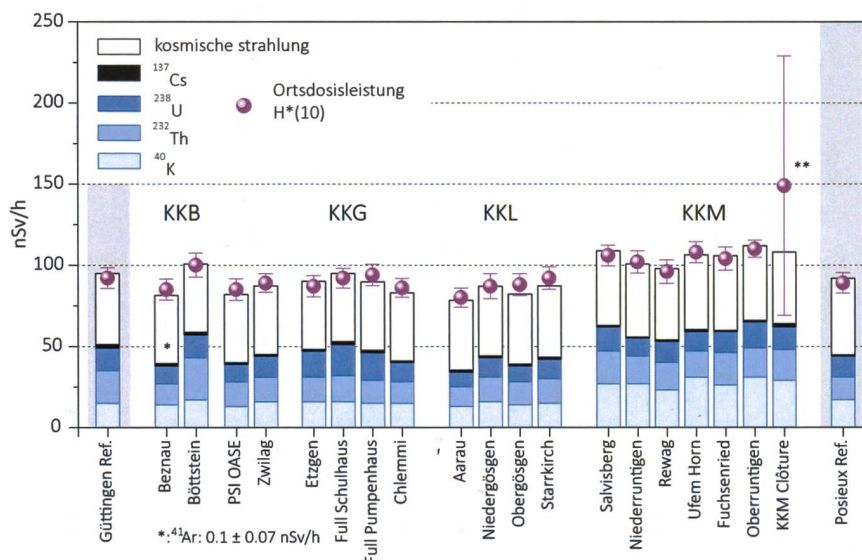
Die vom IRA durchgeführten  $^{239+240}\text{Pu}$  und  $^{241}\text{Am}$  Messungen an verschiedenen, stromabwärts der Kernkraftwerke entnommenen Proben der aquatischen Umwelt (Wasser aus Aare und Rhein, Wasserpflanzen, Sedimente) ergaben keinen Hinweis auf einen möglichen Einfluss durch Abgaben der Kernkraftwerke, vielmehr deuten die  $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$  Isotopenverhältnisse auf einen überwiegenden Beitrag des Fallouts aus den Atombombentests der 1960er Jahre hin.

Die Monatsmittelwerte für Tritium in der Aare und im Rhein blieben meist unter der Nachweisgrenze von 2 Bq/l mit Ausnahme der Monate April bis Mai, wo wie jedes Jahr eine leichte Erhöhung der Werte in der Aare festgestellt wurde (13 Bq/l in der Aare bei Brugg im April) und in etwas geringerem Ausmass im Rhein. Die Ursache ist die Abgabe von Tritium-haltigem Abwasser durch das KKW Gösgen vor der Revision.

Analysen von Fischen aus der Aare und dem Rhein flussabwärts der Schweizer Kernkraftwerke ergaben 2021 keine Hinweise auf künstliche Gammastrahler. Das Gleiche gilt für das untersuchte Grundwasser in Aarberg, Schönenwerd, Böttstein und Muttenz.

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

Wie die Figur 4 zeigt ergaben die Umweltmessungen in der Umgebung der Kernkraftwerke, mit Ausnahme der



**Figur 4:** Beiträge zur Ortsdosis ( $H^*(10)$ ) durch die verschiedenen Radionuklide, die vom BAG 2021 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. \*\* Die erhöhte Dosisleistung, die am Zaun des KKM gemessen wurde, ist auf das Vorhandensein von Materialien aus den Stilllegungsarbeiten zurückzuführen, die zeitweise auf dem Gelände gelagert wurden (siehe Kap. 3.1).

erwähnten Beispiele, keine Unterschiede gegenüber Orten ausserhalb deren Einflussbereichs. Die natürliche Radioaktivität dominiert demnach, und die messbaren Kontaminationen sind vorwiegend eine Folge der Kernwaffenversuche in den 60er-Jahren und des Reaktorunfalls in Tschernobyl ( $^{137}\text{Cs}$ ).

Doch selbst wenn die Exposition der Bevölkerung durch die Emissionen der Kernkraftwerke im Vergleich zu natürlichen oder medizinischen Quellen zu sehr niedrigen Dosen führt (jährliche zusätzliche Dosis für meistbetroffene Erwachsene von  $< 0.001$  mSv für KKB und KKG und KKL bzw.  $0.002$  mSv für KKM), ist das sorgfältige Weiterführen von Kontrollen und Studien durch die Behörden unabdingbar, um den verschiedenen wissenschaftlichen und gesetzlichen Zielsetzungen Rechnung zu tragen und die Öffentlichkeit detailliert informieren zu können.

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

### Überwachung der Forschungszentren

Die vom CERN im Jahr 2021 durchgeführte Bilanzierung und Überwachung der Emissionen aus seinen eigenen Anlagen in Kombination mit den Dosisberechnungen für die Bevölkerung der Referenzgruppen hat gezeigt, dass die Organisation den in ihren Vorschriften festgelegten Grenzwert von  $0.3$  mSv/Jahr eingehalten hat. Die maximale effektive Dosis für die Schweizer Öffentlichkeit blieb unter  $0.002$  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 sehr gering sind. Zwar konnten in der Luft in der Umgebung des Forschungszentrums im Jahr 2021 sporadisch Spuren der von den CERN-Anlagen produzierten Radionuklide kurzer Halbwertszeit wie  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{41}\text{Ar}$  oder  $^{131}\text{I}$  nachgewiesen werden, ihre Konzentrationen betragen jedoch nur einen Bruchteil der in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Immissionsgrenzwerte für die Luft. Die übrigen Ergebnisse der Luft-, Boden-, Wasser- und Sedimentmessungen im Nant d'Avril unterschieden sich nur geringfügig von den Ergebnissen der Referenzmessstationen, die sich ausserhalb des Einflussbereichs des Forschungszentrums befinden.

Die zusätzliche Dosis für die Bevölkerung in der Umgebung von PSI/ZWILAG darf für beide Anlagen zusammen maximal  $0.15$  mSv pro Jahr betragen, wobei der Beitrag des ZWILAG höchstens  $0.05$  mSv im Jahr ausmachen darf. Die Auswertungen des ENSI zeigen,

dass die tatsächlichen Abgaben des PSI/ZWILAG 2021 zu einer zusätzlichen Dosis für Anwohner von weniger als  $0.011$  mSv führten. Die Abgabe von kurzlebigen Edelgasen aus den Teilchenbeschleuniger am PSI-West ist für praktisch die ganze Dosis verantwortlich. Die Umweltüberwachung wird vom PSI selber sowie mit unabhängigen Messungen durch die Behörden durchgeführt.

Abgesehen von sporadisch erhöhten Tritiumwerten im Niederschlag zeigten die Ergebnisse der Überwachung in der Umgebung des PSI keine Umweltbelastungen durch den Betrieb der Anlagen des Forschungszentrums.

*Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 8.*

### Tritium aus der Industrie

Gewisse Industriebetriebe setzen ebenfalls radioaktive Stoffe ein. Tritium ist das in der Schweiz am häufigsten industriell verwendete Radionuklid und wird zum Beispiel zur Herstellung von Tritiumgas-Leuchtquellen oder von radioaktiven Markern für die Forschung verwendet. Die Betriebe führen Buch über ihre Emissionen von radioaktiven Stoffen und melden diese der Aufsichtsbehörde. Im Jahr 2021 haben alle betroffenen Betriebe die in ihren jeweiligen Bewilligungen festgehaltenen Abgabelimiten respektiert. Zur Kontrolle der Immissionen in der Umgebung dieser Betriebe führt das BAG ein spezifisches Überwachungsprogramm durch. Auf Tritium untersucht wer den Niederschläge, Luftfeuchtigkeit, Gewässer und in einigen Fällen auch Lebensmittel.

Wie in den vorangegangenen Jahren zeigten die Resultate der Überwachung 2021 einen signifikanten Einfluss der Tritium-Emissionen auf Umweltproben (Niederschlag und Nahrungsmittel) aus der unmittelbaren Umgebung dieser Industriebetriebe, besonders bei Niederwangen, wobei die gemessenen Konzentrationen dort verglichen mit früheren Jahren deutlich zurückgingen. Die Tritiumkonzentration im Niederschlag bei der Messstation «Firma» (in der Nachbarschaft der Firma mb-microtec, Niederwangen) betragen 2021 im Mittel  $365$  Bq/l mit einem Maximum von  $780$  Bq/l. Dieser Wert entspricht ca.  $3.9\%$  des in der neuen Strahlenschutzverordnung festgelegten Immissionsgrenzwertes von  $20'000$  Bq/l für öffentlich zugängliche Gewässer. Werte gehören zu den niedrigsten seit 2008. Erhöhte Tritiumwerte zeigten auch in der Umgebung des Unternehmens geerntete Lebensmittel – aber auch hier mit einer Tendenz zu tieferen Werten. Der Median von  $12$  Destillaten von im August in der Umgebung des Betriebes geernteten Früchten und lag bei  $40$  Bq/l, mit

einer Spannweite der Werte zwischen von 3 bis 140 Bq/l. In Destillaten von 3 Milchproben waren die Tritiumkonzentrationen um 10 Bq/l (9.7-10.2 Bq/l). Die zusätzlichen Dosen, die sich aus dem regelmässigen Verzehr solcher Produkte (Regenwasser und Gemüse) ergeben könnten, überträfen 1  $\mu$ Sv/Jahr nicht und stellen daher kein Gesundheitsrisiko dar.

Der Rückgang der Tritiumkonzentrationen in den verschiedenen Umweltkompartimenten in der Umgebung von mb-microtec erklärt sich durch die deutliche Reduzierung der Emissionen seit 2020, nach der Umsetzung verschiedener technischer Verbesserungen.

Die Tritiumkonzentrationen in den wöchentlichen Regenproben von Teufen/AR in der Umgebung der Firma RC Tritec blieben 2021 tief, mit einem Maximum von 54 Bq/l und einem Medianwert von 34 Bq/l. Diese Werte sind vergleichbar mit denen des Jahres 2020 und gehören zu den niedrigsten seit Beginn der Überwachung.

Schliesslich sei angemerkt, dass das BAG und die SUVA Anfang Oktober 2021 ein Programm zur Überwachung von Tritium im Niederschlag und in der Luftfeuchtigkeit in der Umgebung des Unternehmens Smolsys in Root im Kanton Luzern gestartet haben, das ebenfalls über eine Genehmigung zur Freisetzung von Tritium in die Umwelt verfügt. Die Ergebnisse für das Jahr 2021 sind noch lückenhaft, deuten aber auf eine geringe Umweltmarkierung hin, wobei die Tritium-Konzentrationen im Niederschlag zwischen <5 und 16 Bq/l liegen.

*Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 5, 9.1 und 9.3.*

## Radium-Altlasten

Der Aktionsplan Radium 2015-2022, der im Mai 2015 vom Bundesrat genehmigt wurde, soll das Problem der radiologischen Altlasten lösen, die durch die Anwendung von radiumhaltiger Leuchtfarbe in der Uhrenindustrie bis in die 1960er-Jahre entstanden sind. Die Arbeiten in den vier verschiedenen Schwerpunkten des Aktionsplans wurden 2021 fortgesetzt, allerdings musste die Feldarbeit wegen der COVID-19-Pandemie erneut über mehrere Monate hinweg eingeschränkt werden, insbesondere im privaten Bereich, der 80% der betroffenen Grundstücke ausmacht. Die gesundheitlichen Einschränkungen führten somit zu einer Verzögerung der Diagnosen und Sanierungen um ein Jahr, und dies trotz der zusätzlichen externen Unterstützung, die für die Diagnosen eingesetzt wurde. Um den Rückstand aufzuholen hat der Bundesrat den Aktionsplan Radium im April 2022 bis Ende 2023 verlängert.

### *Teilprojekt «Gebäude»*

Stand 31. Dezember 2021 wurden bei 880 Liegenschaften Diagnosen im Zusammenhang mit Radium-226 ( $^{226}\text{Ra}$ ) durchgeführt, was 80% der im Inventar erfassten Liegenschaften entspricht. Wird die effektive Dosis von 1 mSv pro Jahr für die Bewohnerinnen und Bewohner überschritten, ist eine Sanierung notwendig. Für den Aussenbereich gilt ein Schwellenwert von 1'000 Bq/kg für die Konzentration von  $^{226}\text{Ra}$  in der Erde.

Von den 880 untersuchten Liegenschaften sind 137 (rund 16%) sanierungsbedürftig im Sinne von Art. 153 StSV. Bei 118 Liegenschaften sind die Sanierungsarbeiten abgeschlossen oder im Gange.

In den 86 Wohnungen (oder Gewerbeobjekten), für die eine Sanierungsverfügung vorliegt, liegen die geschätzten Dosen in 43 Wohnungen zwischen 1 und 2 mSv/Jahr, in 28 Wohnungen zwischen 2 und 5 mSv/Jahr, in 9 Wohnungen zwischen 5 und 10 mSv/Jahr, in 5 Wohnungen zwischen 10 und 15 mSv/Jahr und in 1 Wohnung zwischen 15 und 20 mSv/Jahr.

Die Höchstwerte für Radium, die in den Bodenproben aus den 87 zu sanierenden Gärten gemessen wurden, betragen im Durchschnitt 30'000 Bq/kg. In einem Fall wurden punktuell sogar 668'200 Bq/kg gemessen.

In rund 20% der zu sanierenden Aussenflächen wurden zudem Mischbelastungen (chemisch und radiologisch) festgestellt. Das BAG koordiniert die Sanierung dieser Grundstücke im Einzelfall mit den betroffenen Kantonen. Komplexe Fälle werden in der Unterstützungsgruppe «Mischbelastungen», bestehend aus Vertreterinnen und Vertretern des BAG, des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) und der Suva, besprochen, um die Einhaltung der Strahlenschutz- und der Umweltschutzgesetzgebung sowie den Schutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer sicherzustellen.

### *Teilprojekt «Deponien»*

Das Teilprojekt «Deponien» hat einerseits zum Ziel, ehemalige Deponien zu erfassen, die möglicherweise mit  $^{226}\text{Ra}$  kontaminierte Abfälle enthalten, und andererseits Massnahmen zu definieren, um die Umwelt und die Gesundheit der Bevölkerung sowie der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer vor den Gefahren zu schützen, die mit diesen Abfällen verbunden sind.

Im Oktober 2021 veröffentlichte das BAG den technischen Bericht «Erfassung und Verwaltung von ehemaligen Deponien, die radiumkontaminierte Abfälle enthalten könnten» unter [www.bag.admin.ch/heritages-radium](http://www.bag.admin.ch/heritages-radium) (Radiumaltlasten in Deponien). Dieser Bericht, der in Zusammenarbeit mit dem BAFU und in Absprache mit den betroffenen Kantonen erstellt wurde, legt die Methode zur Identifizierung potenziell betroffener ehemaliger

Deponien, ihre Einstufung in drei Risikoklassen sowie die insbesondere bei Aushubarbeiten zu ergreifenden Schutzmassnahmen fest.

Die hauptsächlich betroffenen Kantone (Bern, Genf, Jura, Neuenburg und Solothurn) haben ihre ehemaligen Deponien nach dem festgelegten Verfahren klassifiziert. Auf diese Weise wurden über 280 ehemalige Deponien identifiziert, die möglicherweise mit  $^{226}\text{Ra}$  kontaminierte Abfälle enthalten. Die entsprechende Liste ist unter obigem Link veröffentlicht. Das BAG bereitet derzeit eine Richtlinie vor, die die langfristige Umsetzung der Überwachungsprozesse konkretisieren und die Verantwortlichkeiten der verschiedenen Interessengruppen klären soll. Es ist geplant, die hauptsächlich betroffenen Kantone im Laufe des Jahres 2022 zu konsultieren.

*Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 9.5.*

### Verwendung von radioaktiven Stoffen in Spitälern

In Spitälern wird bei der Diagnostik und Behandlung von Schilddrüsenerkrankungen  $^{131}\text{I}$  verwendet (Halbwertszeit 8 Tage). Jodtherapie-Patienten, die mit weniger als 200 MBq (1 MegaBq =  $10^6$  Bq) behandelt wurden, dürfen das Spital nach der Therapie verlassen. Bei über 200 MBq müssen die Patienten mindestens während den ersten 48 Stunden in speziellen Zimmern isoliert werden. Die Ausscheidungen dieser Patienten werden in speziellen Abwasserkontrollanlagen gesammelt und erst nach Abklingen unter die bewilligten Immissionsgrenzwerte an die Umwelt abgegeben.

Andere Radionuklide wie  $^{90}\text{Y}$ , aber vor allem  $^{177}\text{Lu}$  (Halbwertszeit ca. 7 Tage) werden ebenfalls für diagnostische und therapeutische Anwendungen genutzt. Letzteres wird zur Behandlung von Prostatakrebs eingesetzt und ist heute das häufigste in der Nuklearmedizin angewendete Radionuklid. Nach einem Anstieg um 50% zwischen 2019 und 2020 hat sich die in der Schweiz angewandte Gesamtaktivität von  $^{177}\text{Lu}$  im Jahr 2021 im Vergleich zum Vorjahr mit 10.8 TBq noch einmal fast verdoppelt. Um die Radiotoxizität zu berücksichtigen rechnet man die Aktivität von  $^{177}\text{Lu}$  in Äquivalent  $^{131}\text{I}$ ; dies ergibt 0.23 TBq Jod-Äquivalent (gegenüber 2.5 TBq für das eigentliche  $^{131}\text{I}$ ). Nachdem die Anwendung von  $^{90}\text{Y}$  zwischen 2010 und 2020 um ca. einen Faktor 5 zurückgegangen war, stieg die Anwendung von  $^{90}\text{Y}$  2021 im Vergleich zu 2020 wieder stark an (Faktor 3).

Die Verwendung von  $^{223}\text{Ra}$  (erste Anwendungen im Jahr 2013) ist hingegen seit 2017 deutlich zurückgegangen und ist heute im Vergleich zu anderen Radionukliden sehr gering.

Im Rahmen der Umweltüberwachung werden wöchentlich Abwasserproben aus den Kläranlagen der grossen Ballungsgebiete entnommen und auf die Konzentrationen von Gammastrahlern ( $^{131}\text{I}$ ,  $^{177}\text{Lu}$ ) analysiert. Kontinuierliche Messungen mit einer automatischen Sonde wurden 2021 ebenfalls durchgeführt (siehe unten). Es ist anzumerken, dass diese Radionuklide zwar selten in Flusswasser nachgewiesen werden, Spuren davon jedoch in Sedimenten gefunden werden können. So werden Spuren von  $^{131}\text{I}$ ,  $^{177}\text{Lu}$  und  $^{223}\text{Ra}$  regelmässig in Schwebstoffen aus dem Rhein bei Weil am Rhein nachgewiesen.

*Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 9.2.*

### 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 Kehrrechtverwertungsanlagen (KVA). Die Überwachung der Kläranlagen mit Labormessungen von Abwasserproben erfasst die Abgaben bestimmter radioaktiver Stoffe durch Industrie und Spitäler ins Abwasser und damit an die Umwelt. Da die in der Nuklearmedizin verwendeten Radionuklide eine kurze (wenige Tage) bis sehr kurze (1 bis 2 h) Halbwertszeit haben und aufgrund Verzögerung zwischen Probenahme und Messung in der Regel nicht mit dem üblichen Programm mit Labormessungen nachgewiesen werden können, wurden 2021 auch kontinuierliche Messungen mit einer automatischen Messsonde im Zulauf der Kläranlagen von Bern und Bellinzona durchgeführt. Die Nuklide  $^{131}\text{I}$ ,  $^{177}\text{Lu}$  und  $^{111}\text{In}$  treten dort nur sporadisch und in tiefen Konzentrationen auf, da sie in den Spitälern in Abklingtanks zurückgehalten werden, bis der Grossteil zerfallen ist. Die sehr kurzlebigen Nuklide  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  und  $^{18}\text{F}/^{68}\text{Ga}$  erfordern aufgrund des hohen Immissionsgrenzwertes keine Rückhaltung im Spital und sind dementsprechend regelmässig nachweisbar. Die Immissionsgrenzwerte aller Radionuklide sind im Wochenmittel bereits im Zulauf der ARAs eingehalten. Messungen in ausgewählten ARAs werden weitergeführt, da sie wertvolle zusätzliche Informationen zu den Emissionen der Spitäler geben, die insgesamt doch ein nicht zu vernachlässigende Quelle für künstliche Radionuklide in der Umwelt darstellen.

Der Zweck der Überwachung von KVAs besteht darin, soweit wie möglich sicherzustellen, dass kein radioaktiver Abfall versehentlich oder absichtlich mit dem Siedlungsabfall entsorgt wird. Viele KVAs sind bereits heute mit Portaldetektoren (Gamma-detektoren) ausgestattet, um die Verbrennung von

radioaktiv kontaminierten Abfällen zu verhindern. Mit dem Inkrafttreten der neuen StSV im Jahr 2018 sind die KVAAs dazu verpflichtet mit einem geeigneten Verfahren die angelieferten Abfälle auf das Vorhandensein von Gammastrahlern zu prüfen. Die systematische Installation von Portalmonitoren deckt diese Anforderung ab, verhindert jedoch nicht die versehentliche Verbrennung von Tritium, einem reinen Betastrahler, der von diesen Portalen nicht detektiert werden kann.

Die Überwachung der Radioaktivität im Rauchgaswaschwasser von KVAAs ergab 2021 keine ungewöhnlichen Ergebnisse. Im Januar 2019 hatte das Kantonale Laboratorium Basel-Stadt in einer wöchentlichen Probe eine besonders hohe Tritiumkonzentration (833'000 Bq/l) gemessen. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse war die gesamte verbrannte Aktivität auf ca. 700 GBq geschätzt worden. Obwohl dieser Vorfall keine Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung hatte, veranlasste die Wiederholung des Phänomens das BAG 2020 dazu, bei der Bundesanwaltschaft eine Anzeige einzureichen. Die Ermittlungen führten leider nicht zum Auffinden des Ursprung der verbrannten Quelle.

Art. 114 StSV erlaubt unter bestimmten Voraussetzungen die Deponierung von schwach radioaktiven Abfällen mit Zustimmung der Genehmigungsbehörde. Diese Möglichkeit gilt insbesondere für  $^{226}\text{Ra}$ -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  $^{226}\text{Ra}$  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  $^{226}\text{Ra}$  in Gewässern ist auf 580 mBq/l festgelegt. Die Ergebnisse der Messungen im Jahr 2021 bestätigten, dass die  $^{226}\text{Ra}$ -Konzentrationen im Sickerwasser von Deponien, in denen in den letzten Jahren  $^{226}\text{Ra}$ -haltige Abfälle abgelagert wurden, niedrig sind und weit unter dem Immissionsgrenzwert liegen.

*Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 9.3.*

## Vom menschlichen Körper aufgenommene Radioaktivität

Die Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung lässt sich durch Ganzkörpermessungen (für Gamma-Emitter) und die Analyse des  $^{90}\text{Sr}$ -Gehalts in Milchzähnen und Wirbelknochen von Menschen bestimmen. Anhand der Resultate der seit rund 40 Jahren durchgeführten Ganzkörpermessungen am Universitätsspital in Genf ist es möglich das natürlich im menschlichen Körper vorkommende  $^{40}\text{K}$  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  $^{90}\text{Sr}$ -Konzentration in den Wirbelknochen und Milchzähnen liegt heutzutage nur noch bei rund einem Zehntel mBq/g Kalzium (Figur 3). 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  $^{90}\text{Sr}$  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 3) sind deshalb nach Geburtsjahr der Kinder aufgeführt. Dies erklärt, weshalb die Kurven zu den Milchzähnen und jene zur Milch beinahe parallel verlaufen. Es ist anzumerken, dass das Programm zur Messung von  $^{90}\text{Sr}$  in Milchzähnen wahrscheinlich zu Ende geht: Die Aktivitäten sind heute sehr niedrig (< 10 mBq/g Ca) und es wird immer schwieriger, ausreichende Probengrößen zu erhalten, um solche  $^{90}\text{Sr}$ -Werte quantitativ zu bestimmen.

*Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 6.1.*

## Beurteilung

In der Schweiz blieben 2021 die Konzentrationen von Radionukliden in der Umwelt sowie die Strahlendosen der Bevölkerung aufgrund künstlicher Strahlenquellen, wie in den Vorjahren, deutlich unter den gesetzlichen Grenzwerten. Das entsprechende Strahlenrisiko kann daher als sehr klein eingestuft werden.

Bei der natürlichen und der künstlichen Umweltradioaktivität bestehen regionale Unterschiede. Die natürliche Radioaktivität wird im Wesentlichen durch die Geologie beeinflusst; aber auch der Anteil der künstlichen Radioaktivität als Folge der Atomwaffenversuche und des Reaktorunfalls von Tschernobyl ist inhomogen über das Land verteilt. Radioaktives  $^{137}\text{Cs}$  aus Tschernobyl wurde beispielsweise vornehmlich im Tessin und in den Bündner Südtälern abgelagert und ist dort heute noch immer in vielen Proben messbar – 35 Jahre nach dem Unfall. Die gemessenen Konzentrationen nehmen zwar seit 1986 kontinuierlich ab, das Radiocäsium aus Tschernobyl ist aber dennoch verantwortlich für die 2021 in bestimmten Lebensmitteln, insbesondere in Wildscheinfleisch und gewisse Pilze aus dem Kanton Tessin, festgestellten Grenzwertüberschreitungen.

Die Ergebnisse der Umgebungsüberwachung von Kernkraftwerken und Forschungsanstalten sind vergleichbar mit jenen aus früheren Jahren. Auch wenn Spuren der durch diese Betriebe emittierten Radionuklide in der Umwelt nachgewiesen werden können, zum Beispiel  $^{14}\text{C}$  in Baumblättern oder  $^{60}\text{Co}$  und  $^{54}\text{Mn}$

in Sedimenten flussabwärts von Kernkraftwerken, liegen die dafür verantwortlichen Abgaben deutlich unterhalb der bewilligten Mengen und haben zu keinen Immissionsgrenzwertüberschreitungen geführt. Die Überwachung der Tritiumverarbeitenden Industrien zeigt in derer unmittelbaren Nähe einen deutlich messbaren Einfluss von Tritium auf die Umwelt (Regen und Lebensmittel). In Niederwangen zeigten die 2021 im Regen festgestellten Tritiumkonzentrationen einen deutlichen Rückgang gegenüber früheren Jahren und erreichten maximal 4% des Immissionsgrenzwertes für Tritium in öffentlich zugänglichen Gewässern. In Lebensmitteln aus der Nachbarschaft des Betriebes ist Tritium zwar auch etwas erhöht, ohne aber ein gesundheitliches Risiko bei deren Konsum darzustellen. Bei den Abgaben von Radionukliden mit dem Abwasser aus Spitälern zeigt die Überwachung, dass die Immissionsgrenzwerte bereits im Zulauf der Kläranlagen grösserer Städte eingehalten ist. Die Überwachung des Wassers aus Kläranlagen, des Waschwassers aus Rauchgaswaschanlagen sowie Sickerwasser aus Deponien zeigte keine auffälligen Resultate.

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



