

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: - (2020)

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>

2020

Chapitre Kapitel 1

Surveillance de
l'environnement
Résumé

Umweltüberwachung
Zusammenfassung

Tâches et programme de mesure
Résultats de la surveillance 2020
Evaluation

Auftrag und Messprogramm
Ergebnisse der Umweltüberwachung 2020
Beurteilung

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 radio-protection (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. Par contre les résultats de

mesures spéciales (par ex. mesure dans les vertèbres, dents de lait, ^{14}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 nouveau réseau automatique de surveillance de la radioactivité dans l'air (URAnet aero) est pleinement opérationnel depuis septembre 2018. Il remplace l'ancien réseau RADAIR, mis en service après l'accident de Tchernobyl et devenu obsolète. Ce nouveau réseau permet d'identifier et de quantifier les radionucléides présents dans l'air et génère une alarme en cas de dépassement des seuils fixés. Il est constitué de 15 sondes de mesure, réparties sur l'ensemble du territoire (voir Figure 1). Les différentes régions géographiques de la Suisse sont couvertes, le réseau étant toutefois plus dense dans les régions à la fois fortement peuplées et aussi concernées par d'éventuels rejets de radioactivité dans l'air en provenance d'une centrale nucléaire.

Le nouveau réseau est capable de détecter des niveaux de radioactivité largement plus faibles que

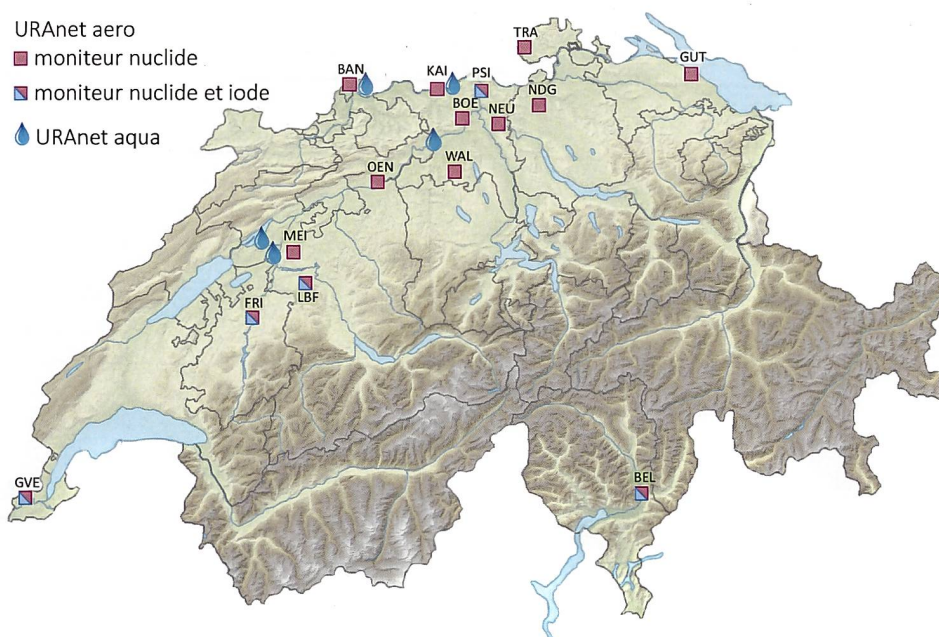


Figure 1:
Réseau automatique de surveillance de la radioactivité dans l'air (URAnet aero) et dans les cours d'eau (URAnet aqua).

son prédécesseur (limite de détection de l'ordre de 1 à 2.5 milli-becquerels par mètre cube (mBq/m³) pour le césium-137 (¹³⁷Cs) 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. Avec la mise en service du volet dédié à la surveillance de l'air, la Suisse dispose d'un réseau de surveillance automatique de la radioactivité dans l'environnement approprié et performant.

Résultats de la surveillance 2020

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 2020 sont généralement restés comparables à ceux des années précédentes et montrent que la radioactivité naturelle est prédominante dans ces compartiments environnementaux. Les résultats des mesures des filtres aérosols à haut débit, disponibles sur Internet (www.radenviro.ch), ont ainsi montré que la radioactivité de l'air provient pour l'essentiel des radionucléides naturels tels que le ⁷Be cosmogénique ou le ²¹⁰Pb. D'infimes

concentrations de radioactivité artificielle, en particulier de ¹³⁷Cs, 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 ¹³⁷Cs 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.

Des valeurs de ¹³⁷Cs situées dans la gamme supérieure des concentrations habituellement mesurées en Suisse ont été enregistrées en avril 2020, en particulier à Güttingen; à cette période de nombreux foyers d'incendie de forêt se sont déclarés en Ukraine et se sont étendus jusqu'à atteindre l'environnement proche de l'ancienne centrale nucléaire de Tchernobyl. Il ne peut être exclu que la valeur un peu plus élevée de ¹³⁷Cs mesurée à la station de Güttingen à la fin du mois d'avril soit en partie attribuable aux incendies de forêt en Ukraine. Cependant, il est tout aussi possible que la grave sécheresse d'avril en Suisse soit responsable de cette valeur plus élevée. Les résultats de la surveillance des précipitations tendent à montrer que du ¹³⁷Cs en provenance d'Ukraine a atteint la Suisse en avril, car ce radionucléide a été mesuré au-dessus de la limite de détection dans toutes les stations situées au Nord des Alpes en avril (valeur maximale de 2 mBq/l à Güttingen), ce qui est assez inhabituel et indicateur d'un apport extérieur (voir chapitre 4.1).

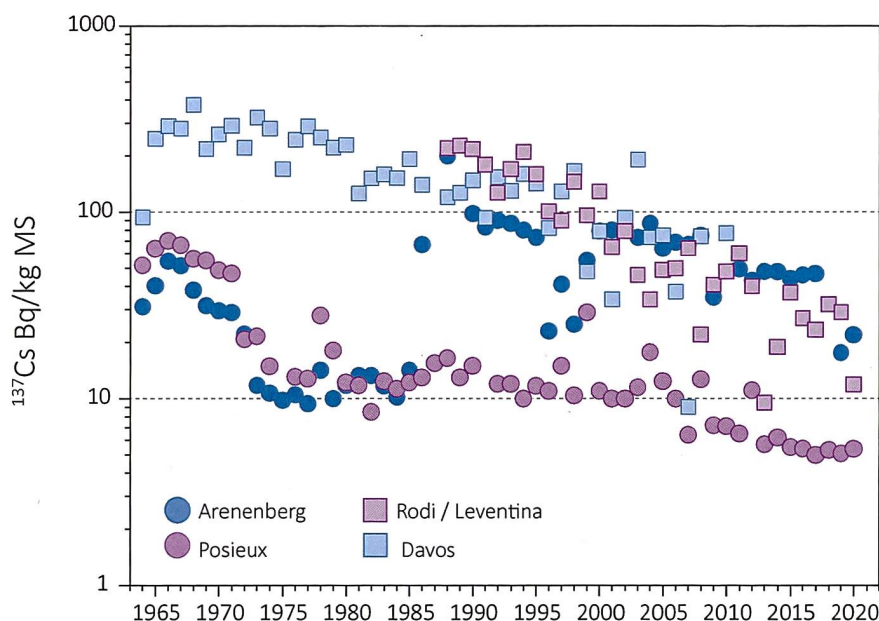


Figure 2:
¹³⁷Cs (en Bq/kg de matière sèche) dans les échantillons de sol de différentes stations de Suisse (1964 - 2020).

A l'exception de ces traces sporadiques de ^{137}Cs , aucun émetteur gamma d'origine artificielle n'a été décelé dans les précipitations en 2020. Il en va de même pour les rivières.

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

Dans l'herbe et les denrées alimentaires, c'est aussi le ^{40}K naturel qui domine. Les radionucléides artificiels comme le ^{137}Cs ou le ^{90}Sr (voir figure 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}Cs est généralement restée inférieure à la limite de détection qui

se situe entre 0.02 et 1 Bq/l selon les laboratoires de mesure. Seuls quelques échantillons de lait sur les 142 analysés en 2020 ont présenté une activité en ^{137}Cs mesurable: la valeur maximale de 15.8 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}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 ses retombées radioactives en 1986, ce qui explique que le ^{137}Cs y soit toujours mesurable à des niveaux plus élevés dans certains échantillons, plus de 30 ans après l'accident. Les activités mesurées en 2020 sont toutefois toutes restées nettement inférieures à la valeur maximale de 600 Bq/kg admise pour le ^{137}Cs selon l'Ordonnance Tchernobyl pour les denrées contaminées à la suite de cet accident. Les teneurs en ^{90}Sr mesurées dans 67 échantillons de lait par le canton de BS, l'IRA et le laboratoire de Spiez étaient très basses en 2020, avec une valeur maximale de 0.2 Bq/l et une valeur médiane de 0.03 Bq/l. Le ^{90}Sr mesuré en Suisse provient des retombées des essais nucléaires des années 60 et les régions d'altitude, recevant davantage de précipitations, ont été plus touchées que les régions de plaine.

Un seul échantillon de céréales a présenté une activité très faible (0.2 Bq/kg) mais mesurable de ^{137}Cs ; dans les 18 autres échantillons de céréales ainsi que dans les 28 échantillons de fruits et légumes prélevés en Suisse en 2020, la concentration de ^{137}Cs est restée inférieure à la limite de détection. Les valeurs de ^{90}Sr mesurées dans les céréales étaient également très basses, situées entre 0.04 et 0.23 Bq/kg.

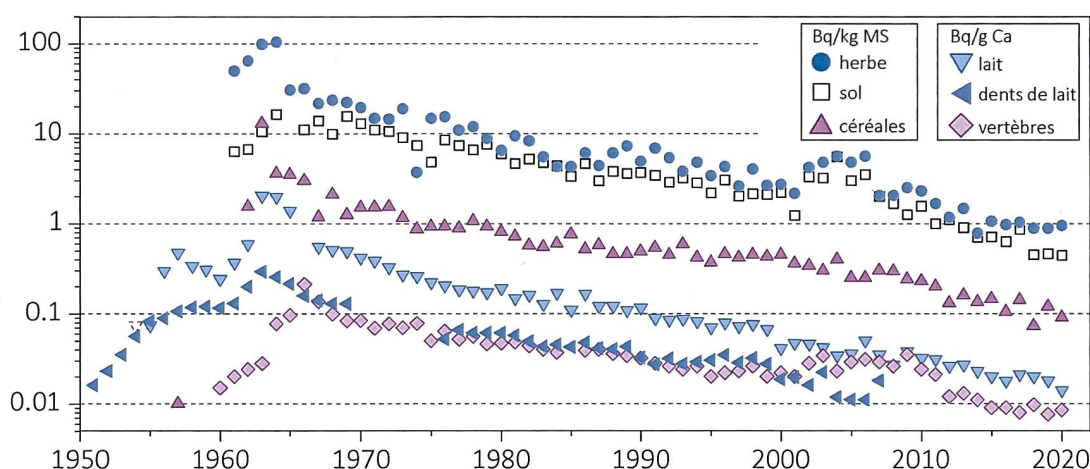


Figure 3:
 ^{90}Sr dans divers échantillons prélevés entre 1950 et 2020.

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 2020, 957 sangliers ont ainsi fait l'objet d'une mesure de tri, réalisée sur place à l'aide d'un instrument dosimétrique. Comme l'an passé, un dépassement de la valeur maximale pour le ^{137}Cs , fixée à 600 Bq/kg selon l'Ordonnance Tchernobyl, a été constatée dans env. 5% des cas et les sangliers concernés ont été confisqués par le vétérinaire cantonal. En 2020, le canton des Grisons a également mené une campagne de mesure similaire: 13 sangliers sur les 43 contrôlés ont dû être confisqués. Bien que les sangliers soient largement les plus contrôlés, 37 autres échantillons de gibier suisse (cerf, chevreuil, chamois) ont également été analysés en 2020, mais aucun dépassement de la valeur maximale pour le ^{137}Cs de l'ordonnance de Tchernobyl n'a été constaté dans ces échantillons.

A noter que si certains champignons sauvages indigènes, notamment les bolets bays et les pholiotas ridés présentent toujours des valeurs accrues de ^{137}Cs , très peu d'échantillons de ce type ont été analysés par les laboratoires cantonaux en 2020.

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}Cs . En 2020, le laboratoire cantonal de Bâle a encore analysé 26 échantillons de denrées alimentaires (thé, sauces, etc) en provenance du Japon. Seuls quatre échantillons ont présenté une activité en ^{137}Cs mesurable au-dessus de la limite de détection (moyenne des valeurs mesurées $0.4 \pm 0.3 \text{ Bq/kg}$).

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). Le laboratoire cantonal de BS a ainsi mesuré les émetteurs gamma et le ^{90}Sr dans 26 échantillons de poissons et 34 échantillons d'épices importées ainsi que dans des aliments pour nourrissons (10 échantillons importés et 3 échantillons suisses). Les résultats obtenus sont conformes aux valeurs usuelles attendues. Les analyses effectuées par le laboratoire cantonal de ZH sur les produits importés ont essentiellement porté sur les champignons (frais, séchés ou en boîte) qui sont connus pour accumuler davantage le ^{137}Cs . La plupart des échantillons n'ont présenté que de faibles activités de ^{137}Cs , avec sporadiquement quelques valeurs plus élevées (maximum de 76 Bq/kg m.f.) mais toutes les valeurs mesurées sont restées nettement inférieures à la valeur maximale pour le ^{137}Cs fixée dans l'Ordonnance Tchernobyl.

Ainsi, les seuls dépassements de la valeur maximale pour le ^{137}Cs de l'Ordonnance Tchernobyl (600 Bq/kg)

constatés en Suisse en 2020 l'ont été dans des échantillons de sangliers (plus de 60) chassés en Suisse, au Sud des Alpes. Ceux-ci se nourrissent en effet parfois de truffes de cerf, des champignons non comestibles pour l'homme, qui accumulent le ^{137}Cs déposé au sol il y a près de 35 ans, après l'accident de Tchernobyl, et qui entretemps a migré dans les couches plus profondes, où se trouvent ces champignons.

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

Surveillance du voisinage des centrales nucléaires

Les valeurs limites pour les émissions des centrales nucléaires sont fixées par l'autorité compétente de telle sorte qu'aucune personne résidant à proximité ne puisse recevoir une dose efficace supérieure à 0.3 mSv/an (rayonnement direct compris). L'exploitant doit mesurer ses émissions et en communiquer le bilan à l'IFSN. Des analyses effectuées en parallèle par l'exploitant, l'IFSN et l'OFSP sur des filtres à aérosols et à iode ainsi que sur des échantillons d'eau en phase de rejet permettent de vérifier régulièrement les valeurs déclarées aux autorités. Les divers contrôles ont confirmé le respect des limites réglementaires par les exploitants en 2020.

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 à cette date, un nouveau règlement concernant le rejet de substances radioactives ainsi que la surveillance de la radioactivité et du rayonnement direct dans le voisinage de la centrale nucléaire de Mühleberg (CNM) est entré en vigueur, 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.

L'IFSN, en concertation avec l'OFSP, avait renforcé le programme existant de surveillance de la radioactivité dans l'environnement au voisinage de la CNM, en particulier dans le milieu terrestre, pour la période 2017-2019, i.e. avant sa mise à l'arrêt; ce programme complémentaire avait pour objectif de permettre l'évaluation objective de l'impact radiologique éventuel des travaux de désaffectation de la CNM sur l'environnement et la population avoisinante. Les résultats de ce programme spécifique ont été publiés en avril 2021 dans le rapport commun IFSN-OFSP intitulé «Programme complémentaire: Point zéro démantèlement de la centrale nucléaire de Mühleberg (CNM) 2017-2019».

Les résultats 2020 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}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 de l' ^{16}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 lors d'un contrôle périodique sur site effectué par l'IFSN en 2020 où une valeur instantanée de débit de dose de 0.32 $\mu\text{Sv/h}$ a été mesurée (voir chapitre 8.2). Toutefois, l'évaluation des TLD disposés à la clôture de la CNM a montré une élévation moyenne (calculée sur la base de la valeur trimestrielle mesurée) de la dose ambiante de 0.007 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 relation avec la valeur directrice de dose liée à la source de 0.3 mSv/an puisqu'aucun membre du public ne réside pour de longue période en ces endroits.

Les résultats de surveillance des immisissions ont montré un faible marquage de l'environnement au voisinage des centrales nucléaires, même si les méthodes de mesure, d'une grande sensibilité, ont permis de mettre en évidence les traces de radionucléides produits par ces installations. Ainsi des valeurs accrues de ^{14}C , rejeté dans l'atmosphère par les centrales nucléaires lors de leur exploitation, ont été mises en évidence dans les feuillages (augmentation maximale, par rapport à la station de référence, de 99 pour mille aux environs de la centrale de Leibstadt). A titre indicatif, notons qu'une activité supplémentaire de 100 pour mille de ^{14}C dans les denrées alimentaires induit une dose annuelle supplémentaire de l'ordre de 1 micro-Sv. 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 ont été, en 2020, supérieurs à ceux des années précédentes (avec le ^{60}Co et le ^{54}Mn comme isotopes dominants), mais 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}Mn ou de ^{60}Co dans les échantillons

mensuels d'eau de l'Aar. Par contre, l'augmentation des activités rejetées dans le milieu aquatique par la CNM s'est traduit immédiatement par l'apparition de traces sporadiques de ^{54}Mn et ^{60}Co dans les échantillons de sédiments prélevés à Hagneck, mais également à Klingnau et Pratteln pour le ^{54}Mn . A noter que les activités rejetées dans l'Aar en 2020 proviennent à près de 90% de la centrale nucléaire de Mühleberg. Le ^{60}Co , systématiquement décelé par le passé dans les échantillons de sédiments, n'avait pas pu être mesuré en 2019 en raison de la diminution des rejets de la CNM. Les activités mesurées en 2020 sont très faibles et ne présentent pas de risque pour la santé; elles témoignent de l'efficacité des programmes de surveillance mis en œuvre.

Le ^{137}Cs présent dans les échantillons d'eau et de sédiments de l'Aar et du Rhin, provient quant à lui essentiellement de la remobilisation 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}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-juin, où, comme chaque année, on constate une légère augmentation dans l'Aar (env. 10 Bq/l dans l'Aar 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. A noter qu'une augmentation de la concentration journalière de ^3H dans l'eau de l'Aar en aval de la centrale de Mühleberg a pu être mesurée par l'Université de Berne en juin 2020 (jusqu'à 5 Bq/l) dans le cadre de son programme spécifique de mesure à très haute sensibilité. Si cette augmentation est directement liée à un rejet autorisé de tritium par la CNM (256 GBq de ^3H), les activités rejetées étaient 100 fois inférieures à la limite annuelle de rejet encore en vigueur en juin 2020¹ et n'ont pas

¹ Une nouvelle valeur limite de rejet pour le tritium dans les effluents liquides, 10 fois inférieure à celle qui prévalait en régime d'exploitation, a été fixée dans le nouveau règlement concernant le rejet de substances radioactives, entré en vigueur en septembre 2020, avec la décision de désaffectation.

entraîné d'augmentation de la concentration mensuelle moyenne du tritium de l'eau de l'Aar. Cette dernière est en effet restée inférieure à 2 Bq/l. Les mesures de surveillance usuelles ne peuvent donc pas mettre en évidence des variations de courte durée d'une si faible ampleur.

Les analyses des poissons prélevés dans l'Aar et le Rhin en aval des centrales nucléaires suisses en 2020 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, Döttingen et Pratteln.

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

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 et Gösgen, et env. 0.002 mSv pour Mühleberg et Leibstadt) 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

Le deuxième long arrêt du CERN (Long Shutdown 2) qui a débuté en décembre 2018 s'est poursuivi pendant toute l'année 2020. La quasi totalité des installations du CERN étant à l'arrêt, les rejets de substances radioactives dans l'environnement et l'impact radiologique du centre de recherche sur la population avoisinante ont été particulièrement faibles en 2020.

Le bilan et le contrôle des émissions de ses installations effectués par le CERN ont indiqué presque uniquement des rejets de tritium dans l'air et dans l'eau. Les niveaux de rayonnement diffusés sont restés le plus souvent nuls. Ce constat est confirmé par le programme de surveillance indépendant mis en œuvre par l'OFSP autour du centre de recherche. Les résultats des mesures effectuées en 2020 n'ont révélé la présence d'aucun radionucléide à courte demi-vie produit par les accélérateurs du CERN,

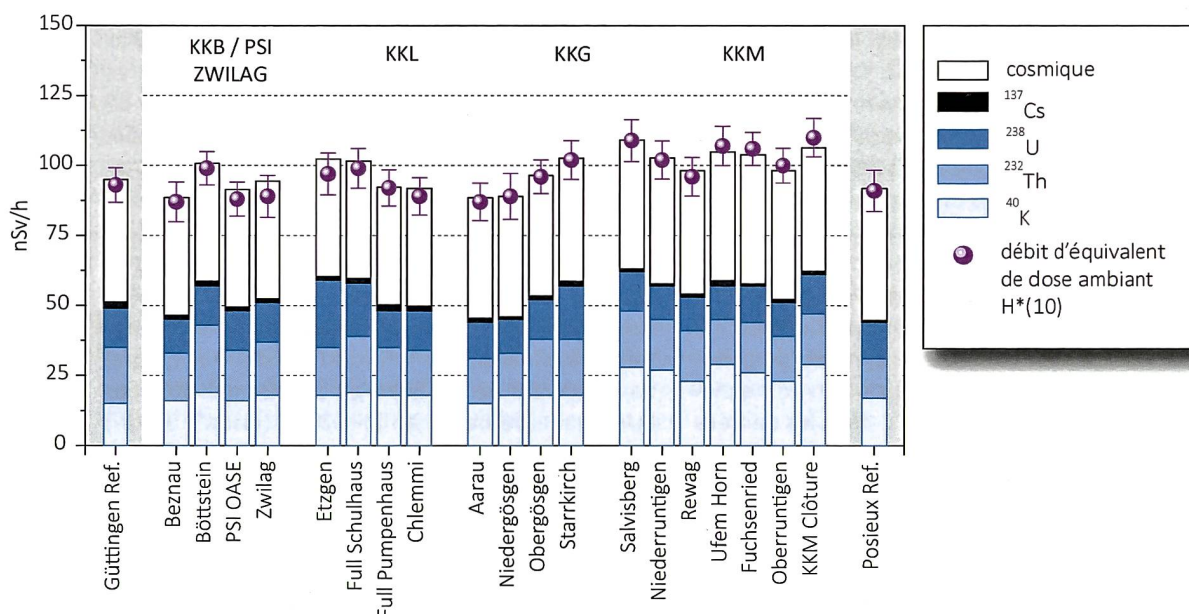


Figure 4:

Contributions individuelles à l'exposition ambiante ($H^*(10)$) attribuables aux différents radionucléides présents sur les sites examinés par l'OFSP en 2020 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.

contrairement aux années précédentes, ou des traces de ^{24}Na ou d' ^{131}I étaient sporadiquement enregistrées. Ainsi, hormis des traces de ^{22}Na détectées dans le sol dans l'enceinte du centre de recherche, les résultats des mesures effectuées dans l'air et le milieu terrestre au voisinage du CERN ainsi que dans les eaux et sédiments du Nant d'Avril ne se sont pas distingués de ceux enregistrés hors influence de ses installations.

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 2020 une dose supplémentaire inférieure à 0.007 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. Ainsi, la station de mesure URAnet aero du PSI a pu mesurer des traces de $^{24}\text{Na}^2$, un radionucléide artificiel de courte période (demi-vie de 15h) dans les aérosols de l'air le 28.09.2020. L'évaluation du spectre a montré un signal faible mais significatif provenant de ce radionucléide avec une concentration d'activité d'env. 1 mBq/m³ moyennée sur toute la période de collecte, à savoir 12h. Bien qu'inhabituelles, les activités rejetées sont restées nettement inférieures aux limites de rejet autorisées, aussi bien annuelle qu'à court terme. Cette légère augmentation de la radioactivité dans l'air, de courte durée (env. 10 minutes) et localement limitée, n'a pas eu de conséquences pour la santé. La détection d'une si faible concentration de radioactivité dans l'air par la sonde URAnet montre toutefois l'efficacité du système et son bon état de fonctionnement. Hormis cet exemple et quelques valeurs sporadiquement plus élevées de tritium dans les précipitations, les résultats de la surveillance au voisinage du PSI étaient similaires à ceux enregistrés à la station de référence de Güttingen.

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 2020, 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 2020, 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 Niederrangen, avec toutefois une forte diminution (facteur 2 environ) par rapport à 2019. 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 350 Bq/l en 2020, avec une valeur maximale de 1'450 Bq/l en janvier. Cette valeur représente env. 7 % 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. Même si des valeurs plus élevées de tritium sont toujours mesurées dans les denrées alimentaires récoltées au voisinage de l'entreprise, la tendance observée est également à la baisse. La valeur médiane des concentrations de tritium dans les distillats des 12 échantillons de fruits et légumes prélevés en août 2020 par le laboratoire cantonal de BE s'est ainsi élevée à 30 Bq/l avec une valeur maximale de 220 Bq/l, soit une diminution significative par rapport aux années précédentes. Dans les échantillons de lait, les concentrations en tritium étaient encore plus faibles (valeur maximale de 11 Bq/l). Les doses supplémentaires qui résulteraient de la consommation régulière de tels produits (eaux de pluie et légumes) ne dépasseraient pas quelques $\mu\text{Sv}/\text{an}$ et ne présentent donc aucun risque pour la santé.

La baisse générale des valeurs de tritium mesurées dans les différents compartiments environnementaux s'explique par la diminution significative des émissions de tritium dans l'air par mb Microtec en 2020. Cette réduction des émissions résulte, d'une part, de la diminution de la production en raison de la pandémie, et d'autre part, de la mise en service, fin 2019, d'un nouveau dispositif d'épuration des gaz. L'entreprise s'était en effet engagée fin 2017 à rénover son système de ventilation pour réduire les émissions. L'entreprise a encore d'autres projets

² Pour plus de détails, le lecteur pourra également consulter le site <https://www.radenviro.ch/fr/detection-de-traces-de-sodium-24-dans-lair-par-un-de-tecteur-uranet-aero>.

pour réduire ses émissions. La SUVA, en tant qu'autorité de surveillance, suit la situation de près.

Les concentrations de tritium mesurées dans les échantillons hebdomadaires de précipitations de Teufen/AR, au voisinage de l'entreprise RC Tritec, ont poursuivi leur tendance à la baisse. Avec une valeur maximale de 61 Bq/l et une médiane de 22 Bq/l, les valeurs mesurées dans les précipitations de Teufen en 2020 sont ainsi parmi les plus basses enregistrées depuis le début de la surveillance.

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

Héritages radiologiques

Le plan d'action radium 2015-2022, 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 2020, mais les visites sur le terrain ont dû être restreintes durant une grande partie de l'année 2020 en raison de la pandémie de COVID-19. L'OFSP tentera de rattraper le retard accumulé en faisant appel à des soutiens externes en 2021, si la situation sanitaire le permet.

Selon l'état au 31 décembre 2020, 752 biens-fonds ont été examinés dans le cadre du plan d'action (représentant plus de 4'300 appartements ou objets commerciaux). La démarche de diagnostic consiste à mesurer le débit de dose sur toute la surface du bâtiment ou de l'espace extérieur concerné. En présence de traces de ^{226}Ra dans des locaux intérieurs, l'OFSP évalue la dose efficace reçue par les personnes qui séjournent dans le bâtiment sur la base des résultats de mesure et de scénarios d'exposition. En cas de dépassement de la dose efficace de 1 mSv par an pour les occupant(e)s, un assainissement s'avère nécessaire. Pour ce qui est des espaces extérieurs, une valeur seuil de 1'000 Bq/kg a été fixée pour la concentration de ^{226}Ra dans la terre.

Parmi les biens-fonds examinés, 120 (soit environ 16%) requièrent un assainissement au sens de l'art. 153 de l'ORaP, 77 appartements ou objets commerciaux et 77 espaces extérieurs étant concernés. Les travaux d'assainissement sont terminés ou en cours dans 105 biens-fonds. En ce qui concerne les locaux intérieurs, les doses estimées pour l'occupant actuel ou futur potentiellement le plus exposé se situent dans la majorité des cas (64) entre 1 et 5 mSv/an. Dans 8 appartements, la dose potentiellement reçue par la personne la plus exposée se situe entre 5 et 10 mSv/an, dans quatre appartements entre 10 et 15 mSv/an et dans un appartement entre 15 et 20 mSv/an. Les valeurs maximales de radium mesurées dans des échantillons de terre prélevés dans les 77 jardins

à assainir s'élèvent en moyenne à 28'000 Bq/kg. Dans un cas, elles avoisinent ponctuellement les 668'200 Bq/kg.

Par ailleurs, l'OFSP a déjà identifié 14 anciens sites industriels figurant au cadastre des sites pollués au sens de l'OSites qui nécessitent un assainissement lié au ^{226}Ra . L'OFSP a par ailleurs découvert des pollutions chimiques dans dix biens-fonds supplémentaires non-inscrits au cadastre des sites pollués et nécessitant également un assainissement lié au radium. L'OFSP coordonne au cas par cas l'assainissement de parcelles avec des pollutions mixtes avec les cantons concernés. Les cas complexes sont discutés au sein du «groupe de soutien sur les pollutions mixtes» constitué de représentants 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.

La surveillance des anciennes décharges susceptibles de contenir des déchets contaminés au radium constitue un volet spécifique du plan d'action, mené en étroite collaboration avec l'OFEV ainsi que les communes et cantons concernés. L'exemple de l'ancienne décharge du Lischenweg à Bienne a montré qu'il est possible encore aujourd'hui de découvrir des déchets contaminés au radium avec des niveaux de radioactivité parfois élevés dans les anciennes décharges même s'il s'agit de contaminations très localisées.

Un concept permettant de sélectionner les anciennes décharges inscrites au cadastre des sites pollués pouvant potentiellement contenir des déchets contaminés au radium et de les classer en trois catégories de risque sur la base de critères prédéfinis a été élaboré par l'OFSP, en collaboration avec l'OFEV. Pour les 2 catégories pour lesquelles le risque ne peut être négligé (catégories B et C), les mesures qui devront être mises en oeuvre en cas de travaux d'excavation (catégorie B et C) ou pour la surveillance à long terme (catégorie C) ont été définies.

Durant l'année 2020, l'OFSP a envoyé le concept en consultation à tous les cantons concernés par la problématique des déchets contaminés au radium dans les anciennes décharges, à savoir Berne, Bâle-Campagne, Bâle-Ville, Fribourg, Genève, Jura, Neuchâtel, Saint-Gall, Soleure, Schaffhouse, Vaud, Tessin et Zürich. Il a demandé aux cantons les plus touchés (Berne, Genève, Jura, Neuchâtel et Soleure) d'établir leur liste respective de décharges nécessitant des mesures de radioprotection en cas d'ouverture (catégorie B).

Le concept ayant été validé, l'OFSP prévoit de préciser les modalités de sa mise en oeuvre dans une directive. Il s'agira notamment de détailler les mesures à mettre en oeuvre en cas de travaux d'excavation ainsi que de préciser les responsabilités aussi bien pour les contrôles que pour

l'élimination des déchets. Sur la base des listes déjà envoyées par les cantons, plus de 100 décharges de catégorie B ont été identifiées.

Pour les informations détaillées, se référer au chapitre 9.4.

Utilisation de substances radioactives dans les hôpitaux

Les hôpitaux utilisent depuis de nombreuses années de l' ^{131}I pour le diagnostic et le traitement de maladies de la thyroïde. Les patients suivant une thérapie à l'iode et ayant reçu moins de 200 MBq (1 méga Bq = 10^6 Bq) en ambulatoire peuvent quitter l'hôpital après la thérapie. Les patients ayant reçu plus de 200 MBq doivent être isolés dans des chambres spéciales pendant les premières 48 heures au moins suivant le traitement. Les excréments de ces patients sont collectés dans des cuves de décroissance dédiées au contrôle des eaux usées et ne sont rejetées dans l'environnement qu'après diminution de leur activité en dessous des valeurs limites d'immissions. Dans le cadre de la surveillance de l'environnement, des échantillons d'eaux usées sont prélevés chaque semaine dans les stations d'épuration des grandes agglomérations et analysés afin de déterminer leur concentration en ^{131}I (voir plus bas).

D'autres radionucléides comme l' ^{90}Y , le ^{177}Lu et depuis 2018 le ^{166}Ho sont également utilisés par des applications diagnostiques et thérapeutiques. Si l'utilisation du premier est en diminution constante depuis 2010, l'activité annuelle totale de ^{177}Lu appliquée en Suisse a plus que triplé entre 2007 et 2018 et a encore augmenté de 50% entre 2019 et 2020. Ce radionucléide est utilisé pour le traitement des cancers de la prostate. En 2020, il est le radionucléide le plus largement utilisé en médecine nucléaire, avec des activités appliquées plus de 2 fois supérieures à celles de l' ^{131}I . Le ^{166}Ho , utilisé depuis 2018 pour le traitement des tumeurs du foie est en 2020, le 4^{ème} radionucléide en termes d'activité annuelle appliquée en Suisse.

L'utilisation du ^{223}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. 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}I , ^{177}Lu et ^{223}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 et eaux de lavage des fumées des usines d'incinération

L'OFSP coordonne également un programme spécifique de prélèvements et de mesures de la radioactivité (émetteurs gamma et ^3H) 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. Celle des usines d'incinération vise à s'assurer, autant que possible, qu'aucun déchet radioactif ne soit accidentellement ou intentionnellement éliminé par le circuit des ordures conventionnelles. 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 ces portiques de détection permet de couvrir ces exigences, elle n'empêchera pas l'incinération accidentelle de ^3H , un émetteur bêta pur qui ne peut être décelé par ces portiques.

Les résultats de ces mesures ont montré que même si des traces d' ^{131}I utilisé par les hôpitaux sont parfois détectées dans les eaux des stations d'épuration, les valeurs se situent nettement en dessous des valeurs limites d'immissions définies dans l'ordonnance sur la radioprotection. En 2020, aucun pic de concentration de tritium n'a été enregistré par le laboratoire cantonal de Bâle-Ville dans les eaux de lavage des fumées de l'UVTD de Bâle, phénomène régulièrement observé par le passé, mais dont l'origine n'a pu être éclaircie malgré les recherches de la SUVA et de l'OFSP. 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 des résultats des mesures individuelles des échantillons journaliers, l'activité totale incinérée avait été estimée à env. 700 GBq, soit le double de l'activité maximale qui pourrait être légalement incinérée avec l'accord préalable de l'autorité selon l'Art.116 de l'ORaP. Le caractère récurrent de la situation constituant un facteur aggravant, l'OFSP a déposé une plainte auprès du ministère public de la confédération en 2020. Une enquête a été ouverte pour tenter de déterminer si l'élimination de ces déchets radioactifs en tant qu'ordures conventionnelles vers l'UVDT de Bâle a eu lieu par négligence ou de manière intention-

nelle. Les mesures réalisées dans les eaux de lavage des fumées des autres usines d'incinération n'ont mis en évidence aucun résultat inhabituel.

Pour les informations détaillées, se référer au chapitre 9.3.

Radioactivité assimilée par le corps humain

L'assimilation de radionucléides par l'intermédiaire de la nourriture peut être recensée par des mesures au corps entier (pour les émetteurs gamma) ainsi que par des analyses de la teneur en ^{90}Sr dans les dents de lait et les vertèbres humaines. Sur la base des résultats des mesures au corps entier réalisées aux hôpitaux universitaires genevois pendant près de 40 ans, il est possible de déterminer les activités du ^{40}K présent naturellement dans le corps humain: celles-ci s'élèvent en moyenne à environ 56 Bq/kg chez les femmes et à 71 Bq/kg chez les hommes. La teneur en ^{90}Sr dans les vertèbres et les dents de lait n'est plus aujourd'hui que de l'ordre de la dizaine de mBq/g de calcium (figure 4). Le strontium est assimilé par le corps humain comme le calcium dans les os et les dents. Les vertèbres sont choisies comme indicateur de la contamination du squelette car ce sont des os particulièrement spongieux, échangeant rapidement le calcium avec le plasma sanguin. Le prélèvement de vertèbres sur des personnes décédées dans l'année en cours permet de déterminer le niveau de contamination de la chaîne alimentaire en ^{90}Sr . Quant à la formation des dents de lait, elle débute, dans les mois précédant la naissance et se poursuit durant la période d'allaitement. La mesure du strontium s'effectue lorsque la dent de lait tombe d'elle-même. Elle donne une indication rétroactive de la contamination de la chaîne alimentaire de la mère à l'époque de la naissance de l'enfant. Les valeurs de strontium mesurées dans les dents de lait (figure 4) sont donc répertoriées en fonction de l'année de naissance de l'enfant. Ceci explique que les courbes relatives aux dents de lait et au lait montrent une évolution pratiquement parallèle.

Pour les informations détaillées, se référer 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 2020, comme les années précédentes, nettement inférieures aux limites légales; le risque sanitaire correspondant peut donc être considéré comme très faible.

Il existe des différences régionales de répartition de la radioactivité naturelle et artificielle dans l'environnement.

Si la radioactivité naturelle est essentiellement influencée par la géologie, la part de radioactivité artificielle, comme conséquence des essais nucléaires et de l'accident de Tchernobyl, est, elle aussi, distribuée de manière inhomogène sur le territoire suisse. Le ^{137}Cs radioactif de Tchernobyl a par exemple principalement été déposé au Tessin où il est encore présent dans de nombreux échantillons, ainsi que, dans une moindre mesure, sur les reliefs jurassiens et dans certaines parties du nord-est de la Suisse. Les concentrations mesurées diminuent régulièrement depuis 1986, mais des dépassements de la valeur maximale pour le ^{137}Cs fixée dans l'Ordonnance Tchernobyl sont toujours observés en 2020 dans certaines denrées sensibles et en particulier dans la viande de certains sangliers chassés au Tessin ainsi que dans les Grisons.

Les résultats des mesures effectuées dans le cadre de la surveillance des centrales nucléaires et des centres de recherche sont semblables à ceux enregistrés au cours des années précédentes. Même si des traces de radionucléides émis par ces installations sont décelables dans l'environnement, (par exemple le ^{14}C dans les feuillages ou le ^{60}Co et le ^{54}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, bien qu'en nette diminution par rapport aux années précédentes, ont atteint en 2020 7% de la valeur limite d'immissions pour le tritium dans les eaux accessibles au public. Si des valeurs plus élevées de ^3H ont également été mesurées dans les échantillons de denrées alimentaires prélevées dans cette localité, elles n'ont pas présenté de risque pour la santé des consommateurs. Quant aux rejets d'effluents radioactifs liquides par les hôpitaux, ils ne sont décelables que sporadiquement dans les eaux des stations d'épuration des grandes villes. 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, les conséquences radiologiques liées au fonctionnement des centrales nucléaires, centres de recherche et industries sont restées très faibles pour les populations avoisinantes. Les traces de radioactivité artificielle décelées reflètent un fonctionnement normal de ces installations et témoignent de l'efficacité des programmes de surveillance mis en œuvre.

1.2

Umweltüberwachung : Zusammenfassung

S. Estier, P. Steinmann

Sektion Umweltradioaktivität (URA), BAG, 3003 Bern

Auftrag und Messprogramm

Überwachung der 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, Depo- nien und Kehrverbrennungsanlagen.

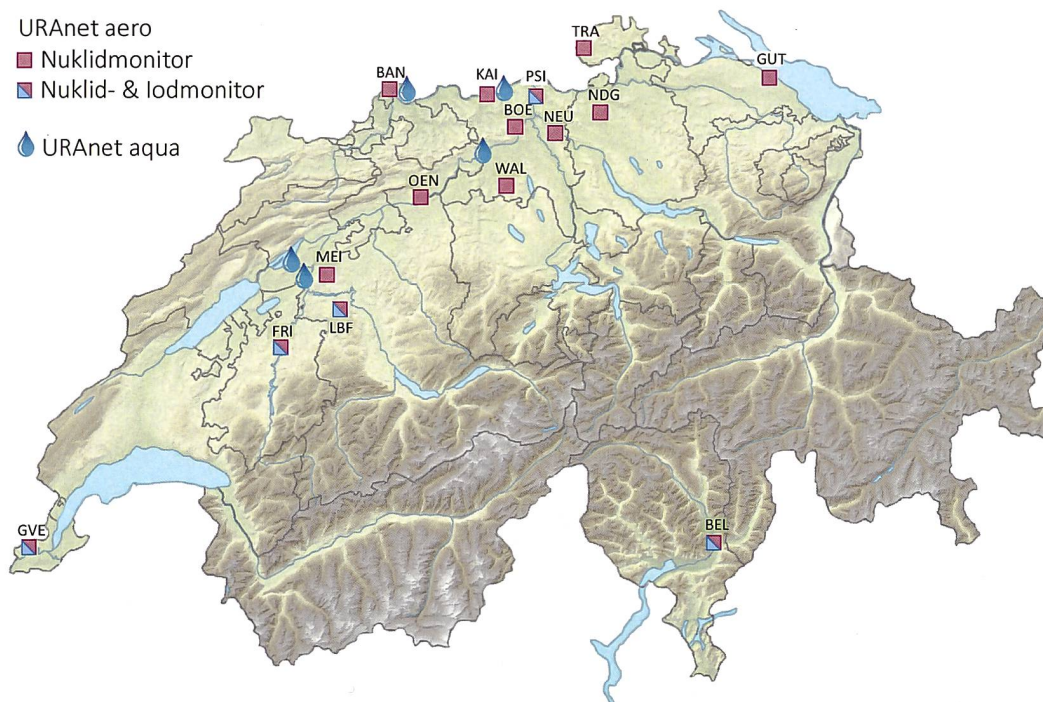
Automatische Messnetze (Figur 1) erfassen die Gamma- Dosisleistung über das ganze Land (NADAM = Alarm- und Messnetz zur Bestimmung der Dosisleistung) sowie speziell in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK = Mess- netz in der Umgebung der Kernanlagen zur Bestimmung der Dosisleistung). Die kontinuierliche 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 Fluss- wassers. Zusätzlich zu den automatischen Messungen werden von Aerosolen, Niederschlägen und Flusswasser kontinuierlich Proben für empfindliche Messungen im Labor entnommen. Die Überwachung von Sedimenten, Erdproben, Gras, Milch und Lebensmitteln (inklusive Importe) erfolgt stichprobenweise. Die Daten werden in einer nationalen Datenbank beim BAG erfasst. Die Messresultate der automatischen Messnetze sowie ein Grossteil der Ergebnisse der Labormessungen sind auf www.radenviro.ch abrufbar. Hingegen werden die Ergeb- nisse von speziellen Messprogrammen (z.B. Messungen von Wirbelknochen oder Milchzähnen; ^{14}C -Messungen in Baumblättern) zurzeit noch ausschliesslich im hier vor- liegenden Jahresbericht publiziert. Die Messprogramme sind vergleichbar mit denjenigen unserer Nachbarländer. Die Methoden für die Probenentnahme und die Messpro-

gramme entsprechen dem aktuellen Stand von Wissen- schaft und Technik. Die Qualitätskontrolle erfolgt durch eine regelmässige Teilnahme der Laboratorien an natio- nalen und interna-tionalen Vergleichsmessungen.

Das automatische Messnetz URAnet

Das neue automatische Messnetz zur Überwachung der Radioaktivität in der Luft (URAnet aero) ist seit Septem- ber 2018 vollständig in Betrieb. Es ersetzt das veraltete RADAIR Messnetz, das nach dem Reaktorunfall in Tschern- obyl aufgebaut wurde. Das neue Messnetz ermöglicht die Identifikation und Quantifizierung der einzelnen im Aerosol vorhandenen Radionuklide (Gammaemitter) und alarmiert wenn vordefinierte Warnschwellen über- schritten 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 besie- deltem Gebiet verdichtet.

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



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

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

Ergebnisse der Umweltüberwachung 2020

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

Die Resultate 2020 der Überwachung der Radioaktivität in Luft, Niederschlag, Gras und Boden sind vergleichbar mit jenen aus den Vorjahren und bestätigen, dass in diesen Umweltkompartimenten der überwiegende Teil der Radioaktivität natürlichen Ursprungs ist. Die Luftmessungen mit Hochvolumen-Aerosolfiltern (für online-Resultate siehe www.radenviro.ch) zeigen im Wesentlichen natürliche Radionuklide wie das kosmogene ^7Be oder ^{210}Pb . Dank der hohen Empfindlichkeit der eingesetzten Messverfahren werden jedoch auch regelmässig kleinste Konzentrationen von künstlichen Radionukliden, insbesondere ^{137}Cs , auf den Aerosolfiltern nachgewiesen. Schweizer Böden enthalten immer noch ^{137}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}Cs ist für die Spuren verantwortlich ist, die heute noch in Schweizer Aerosolfiltern gemessen werden. Ein Anstieg der ^{137}Cs Konzentrationen in der Luft aufgrund erhöhter Staubaufwirbelung während Trockenperioden ist ein Phänomen, das regelmässig beobachtet wird.

Im April 2020 wurden (insbesondere in Güttingen) ^{137}Cs -Werte im oberen Bereich der in der Schweiz üblicherweise gemessenen Konzentrationen beobachtet. Zu dieser Zeit wüteten in der Ukraine zahlreiche Waldbrände, die sich auf die Umgebung des ehemaligen Kernkraftwerks Tschernobyl ausbreiteten. Es ist daher nicht auszuschliessen, dass der Ende April an der Station Güttingen gemessene erhöhte ^{137}Cs -Wert mit diesen Waldbränden zusammenhängt. Ausbreitungsrechnungen des IRSN unterstützen diese These. Es ist natürlich aber auch möglich, dass die starke Trockenheit in der Schweiz im April für den höheren Wert verantwortlich ist. Die Ergebnisse der Messungen von Regenproben deuten ebenfalls darauf hin, dass im April ^{137}Cs aus der Ukraine in die Schweiz gelangt ist, da dieses Radionuklid an allen Stationen

nördlich der Alpen über der Nachweisgrenze gemessen wurde (Maximalwert von 2 mBq/l in Güttingen), was recht ungewöhnlich ist und auf einen externen Eintrag hinweist (siehe Kapitel 4.1).

Mit Ausnahme dieser und sporadischen Spuren wurde im Jahr 2020 keine künstliche Radioaktivität im Niederschlag nachgewiesen. Dasselbe gilt für die Flüsse. Die Aktivität von natürlichem Tritium ist im Niederschlag und im Flusswasser im Allgemeinen unter 2 Bq/l. Künstlicher Tritiumeintrag durch Einleitungen aus Kernkraftwerken und bestimmten Industrien wird manchmal im Niederschlag in der Nähe oder im Flusswasser flussabwärts dieser Betriebe festgestellt (siehe entsprechende Abschnitte zu diesen Betrieben).

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

In Gras- und Lebensmittelproben dominiert das natürliche ^{40}K . Künstliche Radionuklide wie ^{137}Cs oder ^{90}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}Cs -Gehalt meist unter der Nachweisgrenze von 0.02 bis 1 Bq/l, je nach Messlabor. Nur wenige der 142 Milchproben, die im Berichtsjahr analysiert wurden, wiesen eine messbare ^{137}Cs -Aktivität auf: Der Maximalwert von 15.8 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}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}Cs auch mehr als 30 Jahre nach dem Unfall in einigen Proben immer noch in höheren Konzentrationen gemessen werden kann. Die im Jahr 2020 gemessenen Aktivitäten blieben jedoch alle deutlich unter dem Höchstwert der Tschernobyl-Verordnung von 600 Bq/kg für ^{137}Cs in durch

diesen Unfall kontaminierten Lebensmitteln. Die vom Kantonalen Laboratorium BS, dem IRA in Lausanne und dem Labor Spiez gemessenen ^{90}Sr -Konzentrationen in 67 Milchproben waren 2020 sehr tief, mit einem maximal gemessenen Wert von 0.2 Bq/l und einem Medianwert von 0.03 Bq/l. Das in der Schweiz gemessene ^{90}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 (0.2 Bq/kg), aber messbare ^{137}Cs -Aktivität; in den anderen 18 Getreideproben sowie in den 28 Obst- und Gemüseproben, die 2020 in der Schweiz gesammelt wurden, blieb die ^{137}Cs -Konzentration unter der Nachweisgrenze. Die im Getreide gemessenen ^{90}Sr -Werte waren ebenfalls sehr niedrig und lagen zwischen 0.04 und 0.23 Bq/kg.

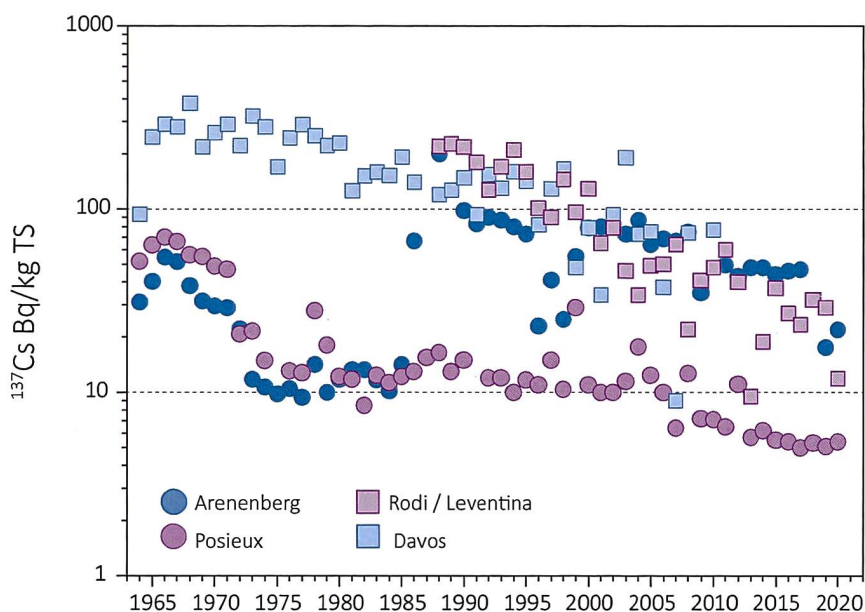
Der Kanton Tessin setzte die systematische Überwachung der auf seinem Territorium bejagten Wildschweine fort, die 2013 in Zusammenarbeit mit dem BAG eingeführt wurde. Im Jahr 2020 wurden 957 Wildschweine vor Ort mit einem dosimetrischen Instrument ausgemessen. Wie letztes Jahr wurde in rund 5% der Fälle der Höchstwert aus der Tschernobylverordnung von 600 Bq/kg für ^{137}Cs überschritten und die betroffenen Wildschweine wurden vom Kantonstierarzt beschlagnahmt. Im Jahr 2020 führte auch der Kanton Graubünden eine ähnliche Messaktion durch: 13 der 43 getesteten Wildschweine mussten beschlagnahmt werden. Obwohl Wildschweine am häufigsten untersucht wurden, wurden im Jahr 2020 auch 37 andere Proben von Schweizer Wild (Hirsche, Rehe, Gämsen) analysiert. In diesen Proben wurde keine Überschrei-

tung des Höchstwertes für ^{137}Cs der Tschernobyl-Verordnung festgestellt.

Es ist anzumerken, dass einige einheimische Wildpilze, insbesondere Steinpilze und Faltenpilze, zwar immer noch erhöhte Werte von ^{137}Cs aufweisen, aber im Jahr 2020 nur sehr wenige Pilzproben von den kantonalen Laboratorien analysiert wurden.

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}Cs gezeigt. Im Jahr 2020 analysierte das kantonale Laboratorium in Basel 26 Lebensmittelproben (Tee, Saucen usw.) aus Japan. Nur vier Probe (Tee) zeigten eine messbare ^{137}Cs -Aktivität oberhalb der Nachweisgrenze (Mittel der Messwerte 0.4 ± 0.3 Bq/kg).

Lebensmittelimporte aus anderen Ländern und speziell aus Osteuropa wurden, wie jedes Jahr, von den Kantonalen Laboratorien (BS, ZH) ebenfalls analysiert. Das KL BS hat Gammastrahler und ^{90}Sr in 26 Proben von importiertem Fisch und 34 Proben von importierten Gewürzen sowie in Babynahrung (10 importierte Proben und 3 Schweizer Proben) gemessen. Die Ergebnisse stimmen mit den erwarteten Werten überein. Die vom KL ZH durchgeführten Analysen von Importprodukten konzentrierten sich auf Pilze (frisch, getrocknet oder in Dosen), von denen bekannt ist, dass sie mehr ^{137}Cs anreichern. Die meisten Proben wiesen nur geringe ^{137}Cs -Aktivitäten auf, vereinzelt auch höhere Werte (maximal 76 Bq/kg Frischgewicht), aber sämtliche Werte blieben deutlich unterhalb des



Figur 2:

^{137}Cs (in Bq/kg Trockenmasse) in Bodenproben verschiedener Stationen der Schweiz (1964 - 2020).

Höchstwertes für ^{137}Cs aus der Tschernobyl-Verordnung.

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

Die einzigen Überschreitungen des Höchstwertes für ^{137}Cs aus der Tschernobyl-Verordnung (600 Bq/kg), die 2020 in der Schweiz festgestellt wurden, betrafen Proben von rund 60 Wildschweinen, die in der Schweiz südlich der Alpen gejagt wurden. Wildschweine ernähren sich gerne von Hirschtrüffeln. Diese für die Menschen ungeniessbaren Pilze wachsen in tieferen Bodenschichten und reichern dort das vor nahezu 35 Jahren nach dem Tschernobyl-Unfall auf dem Boden abgelagerte, aber inzwischen nach unten gewanderte, ^{137}Cs an.

Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 4, 5 und 7.2.

Überwachung in der Umgebung von Kernanlagen

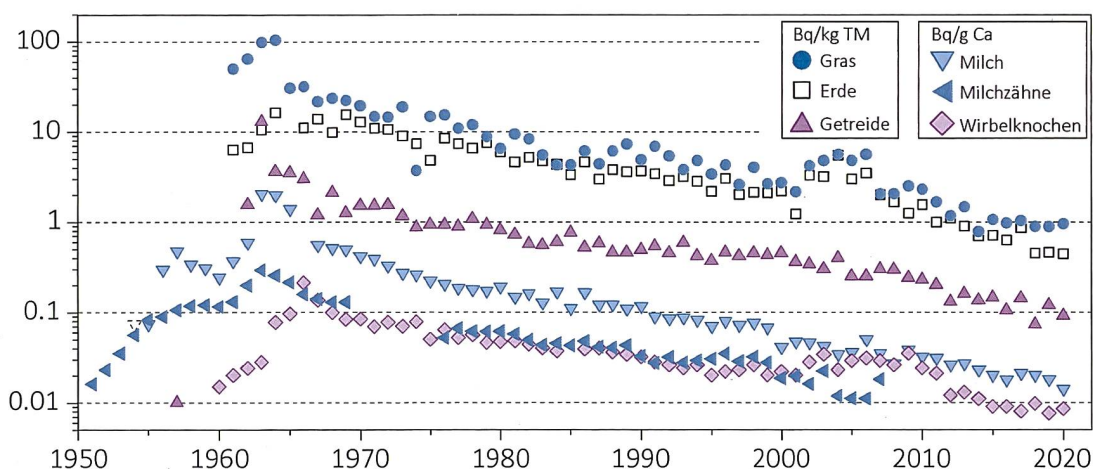
Bei den Kernkraftwerken werden die Grenzwerte für die Emissionen radioaktiver Stoffe durch die Bewilligungsbehörde so festgelegt, dass niemand der in der Umgebung wohnt eine Dosis von mehr als 0.3 mSv pro Jahr erhalten kann (einschliesslich direkte Strahlung). Der Betreiber muss seine Emissionen erfassen und dem ENSI mitteilen. Die den Behörden gemeldeten Abgaben werden regelmässig durch parallele Messungen von Betreibern, ENSI und BAG

an Aerosol- und Iodfiltern sowie Abwasserproben überprüft. Die verschiedenen Kontrollen haben bestätigt, dass die schweizerischen Kernkraftwerke die Abgabengrenzwerte 2020 eingehalten haben.

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.

Das ENSI hatte in Absprache mit dem BAG das bestehende Programm zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (insbesondere Boden und Gras) in der Umgebung des KKM für den Zeitraum 2017-2019, also vor der Stilllegung, verstärkt. Ziel dieses zusätzlichen Programms war es, eine Grundlage für die objektive Beurteilung der möglichen radiologischen Auswirkungen der Stilllegungsarbeiten auf die Umwelt sowie Anwohnerinnen und Anwohner zu schaffen. Die Ergebnisse dieses Programms wurden im April 2021 im gemeinsamen ENSI-BAG-Bericht mit dem Titel «Ergänzungsprogramm: Nullpegelmessung Rückbau Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) 2017-2019» veröffentlicht.

Die Ergebnisse der Überwachung der Kernanlagen 2020 zeigten die erwarteten Ergebnisse. Wie schon in der Vergangenheit konnten an gewissen



Figur 3:
 ^{90}Sr in verschiedenen, zwischen 1950 und 2020 entnommenen Proben (logarithmische Skala).

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}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}N verschwunden, jedoch können die Stilllegungsarbeiten selber zu einer kurzzeitig erhöhten Dosis am Zaun führen. Dies wurde 2020 bei einer periodischen Vor-Ort-Kontrolle durch das ENSI festgestellt, bei der ein Momentanwert der Dosisleistung von 0.32 $\mu\text{Sv/h}$ gemessen wurde (siehe Kapitel 8.2). Die Auswertung der TLD am Zaun des KKM ergab jedoch eine durchschnittliche Erhöhung der Umgebungsdosis (berechnet auf der Basis des gemessenen Quartalswertes) von 0.007 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 Immissionsgrenzwerte für Direktstrahlung für die Ortsdosis gelten und sich nicht auf Personendosen beziehen. Diese Werte können daher nicht mit dem quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0.3 mSv/Jahr für die Bevölkerung verglichen werden, da sich keine Person aus der Bevölkerung für lange Zeit am Zaun aufhält.

Die Ergebnisse des Immissionsüberwachungsprogramms rund um die Kernkraftwerke zeigten, dass die Auswirkungen der Kernkraftwerke auf die Umwelt 2020 gering blieben. Mit hochempfindlichen Messmethoden konnten Spuren der Abgaben an die Atmosphäre festgestellt werden, etwa erhöhte Werte für ^{14}C im Laub (maximale Erhöhung gegenüber der Referenzstation von 99 Promille in der Umgebung des Kernkraftwerks Leibstadt). Zur Orientierung: Eine zusätzliche ^{14}C -Aktivität von 100 Promille in den Lebensmitteln würde zu einer zusätzlichen jährlichen Dosis von einem Mikrosievert führen. Das einzige andere gelegentlich nachgewiesene Radionuklid aus Abgaben an die Atmosphäre ist Tritium, das im Niederschlag gemessen wird, mit sehr geringen Aktivitäten.

Die flüssigen radioaktiven Abgaben aus dem KKM waren im Jahr 2020 höher als in den Vorjahren (mit ^{60}Co und ^{54}Mn als dominierende Isotope), blieben aber unter dem Zielwert von 1 GBq/Jahr und führten nicht zu einem messbaren Anstieg der ^{54}Mn - oder ^{60}Co -Konzentrationen in den monatlichen Wasserproben aus der Aare. Hingegen führte der Anstieg der Abgaben ins Flusswasser zum Auftreten von sporadischen Spuren von ^{54}Mn und ^{60}Co in Sedimentproben, die in Hagneck genommen wurden, sowie für ^{54}Mn auch in Sedimentproben von Klingnau und Pratteln. Es ist zu beachten, dass fast 90% der im Jahr 2020 in die Aare eingeleiteten Aktivitäten aus dem Kernkraftwerk Mühleberg stammen. ^{60}Co , das in der Vergangenheit

systematisch in Sedimentproben nachgewiesen wurde, konnte 2019 aufgrund der Verringerung der Einleitungen aus dem KKM nicht gemessen werden. Die im Jahr 2020 gemessenen Aktivitäten sind sehr gering und stellen kein Gesundheitsrisiko dar; sie spiegeln die Wirksamkeit der durchgeführten Überwachungsprogramme wider.

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

Die vom IRA durchgeführten $^{239+240}\text{Pu}$ und ^{241}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 Juni, wo wie jedes Jahr eine leichte Erhöhung der Werte in der Aare festgestellt wurde (10 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.

Im Juni 2020 hat die Universität Bern im Rahmen ihres hochempfindlichen Messprogramms einige erhöhte Tageswerte für die Konzentration von ^3H im Aarewasser unterhalb des Kraftwerks Mühleberg festgestellt (bis zu 5 Bq/l). Ursache dieses Anstiegs war eine genehmigte Abgabe von Tritium aus dem KKM. Die abgegebene Aktivität (256 GBq ^3H) war 100-mal geringer als die im Juni 2020¹ noch geltende jährliche Abgabelimite und führte nicht zu einem messbaren Anstieg der durchschnittlichen monatlichen Tritiumkonzentration im Aarewasser, die unter 2 Bq/l blieb. Die Routineüberwachung mit Monatsproben ist nicht darauf ausgelegt derart geringe kurzfristige Schwankungen zu erkennen.

Analysen von Fischen aus der Aare und dem Rhein flussabwärts der Schweizer Kernkraftwerke ergaben 2020 keine Hinweise auf künstliche Gammastrahler. Das Gleiche gilt für das untersuchte Grundwasser in Aarberg, Döttingen, Gösgen und Pratteln.

¹ Im Rahmen der Stilllegungsverfügung ist im neuen, ab September 2020 gültigen Abgabereglement eine angepasste Limite für die Abgabe von Tritium im Abwasser festgelegt, die zehnmal tiefer ist als jene während der Betriebsphase.

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

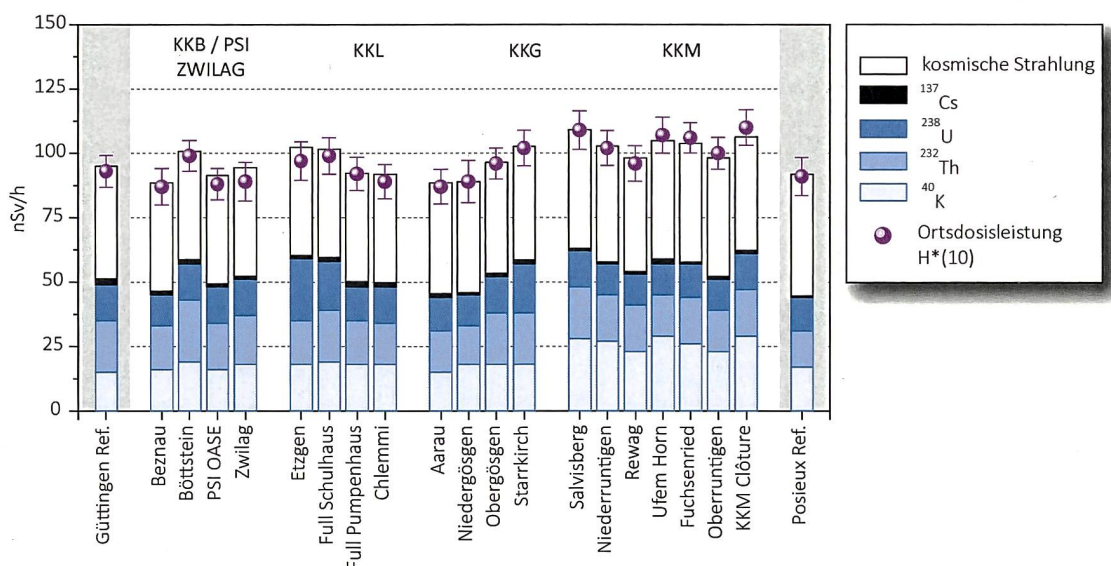
Doch selbst wenn die Exposition der Bevölkerung durch die Emissionen der Kernkraftwerke im Vergleich zu natürlichen oder medizinischen Quellen zu sehr niedrigen Dosen führt (jährliche zusätzliche Dosis für meistbetroffene Erwachsene von <0.001 mSv für KKB und KKG bzw. 0.002 mSv für KKL und KKM), ist 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 zweite lange Abschaltung des CERN (Long Shut-down 2) die im Dezember 2018 begann dauerte auch das ganze Jahr 2020 noch an. Da praktisch alle Anlagen abgeschaltet waren, waren die Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt und damit die radiologischen Auswirkungen für die umliegende Bevölkerung 2020 besonders tief. Die interne Emissionskontrolle der Anlagen durch das CERN ergab fast ausschliesslich Tritiumfreisetzungen in Luft und Wasser. Die Streustrahlungswerte blieben grösstenteils Null. Dies wird durch das vom BAG rund um das Forschungszentrum durchgeführte unabhängige Überwachungsprogramm bestätigt. Die Ergebnisse der 2020 durchgeführten Messungen ergaben keine von den CERN-Beschleunigern produzierten Radionuklide; dies im Unterschied zu früheren Jahren, wo sporadisch Spuren von ^{24}Na oder ^{131}I aufgezeichnet wurden. So unterscheiden sich, abgesehen von Spuren von ^{22}Na im Boden innerhalb der Umzäunung des Forschungszentrums, die Ergebnisse der Messungen von Luft, Boden und Bewuchs aus der Nähe des CERN sowie von Wasser und Sedimenten der Nant d'Avril nicht von Proben, die ausserhalb des Einflusses der Anlagen genommen wurden.

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



Figur 4:

Beiträge zur Ortsdosis ($H^*(10)$) durch die verschiedenen Radionuklide, die vom BAG 2020 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.

Jahr ausmachen darf. Die Auswertungen des ENSI zeigen, dass die tatsächlichen Abgaben des PSI/ZWILAG 2020 zu einer zusätzlichen Dosis für Anwohner von weniger als 0.007 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.

So meldete das vom BAG betriebene Luftüberwachungsnetz URAnet aero am PSI am 28. September 2020 Spuren des künstlichen kurzlebigen Radionuklids ^{24}Na ² (Halbwertszeit 15 h). Die Spektrenauswertung zeigte ein schwaches, aber signifikantes Signal dieses Radionuklids mit einer Aktivitätskonzentration von ca. 1 mBq/m³ gemittelt über den gesamten Sammelzeitraum von 12 h. Obwohl ungewöhnlich, blieben die freigesetzten Aktivitäten weit unter den bewilligten Abgabelimiten, sowohl jährlich als auch kurzfristig. Dieser leichte Anstieg der Radioaktivität in der Luft, der kurzlebig (ca. 10 Minuten) und lokal begrenzt war, hatte keine gesundheitlichen Folgen. Der Nachweis einer so geringen Konzentration von Radioaktivität in der Luft durch die URAnet-Sonde zeigt jedoch die Effizienz dieses Systems. Abgesehen von diesem Beispiel und einigen sporadisch höheren Werten von Tritium im Niederschlag waren die Überwachungsergebnisse in der Umgebung des PSI ähnlich wie an der Referenzstation in Güttingen.

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 2020 haben alle betroffenen Betriebe die in ihren jeweiligen Bewilligungen festgehaltenen Abgabelimiten respektiert. Zur Kontrolle der Immissionen in der Umgebung dieser Betriebe führt das BAG ein spezifisches Überwachungsprogramm durch. Auf Tritium untersucht werden Niederschläge, Luftfeuchtigkeit, Gewässer und in einigen Fällen auch Lebensmittel.

Wie in den vorangegangenen Jahren zeigten die Resultate der Überwachung 2020 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 2019 deutlich zurückgingen (ungefähr um einen Faktor 2). Die Tritiumkonzentration im Niederschlag bei der Messstation «Firma» (in der Nachbarschaft der Firma mb-microtec, Niederwangen) betrug 2020 im Mittel 350 Bq/l mit einem Maximum von 1'450 Bq/l im Januar. Dieser Wert entspricht ca. 7% des in der neuen Strahlenschutzverordnung festgelegten Immissionsgrenzwertes von 20'000 Bq/l für öffentlich zugängliche Gewässer. Diese im Niederschlag gemessenen 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 30 Bq/l, mit einem Höchstwert von 220 Bq/l, was einen deutlichen Rückgang gegenüber 2019 bedeutet. In Milchproben waren die Tritiumkonzentrationen noch tiefer, mit einem Maximum von 11 Bq/l. Die zusätzlichen Dosen, die sich aus dem regelmässigen Verzehr solcher Produkte (Regenwasser und Gemüse) ergeben würden, entsprächen ein paar wenigen µSv/Jahr und stellen daher kein Gesundheitsrisiko dar.

Der Rückgang der in den verschiedenen Umweltkompartimenten gemessenen Tritiumwerte ist auf die deutliche Reduzierung der Emissionen durch mb Microtec im Jahr 2020 zurückzuführen. Diese Verringerung resultiert zum einen aus dem pandemiebedingten Produktionsrückgang und zum anderen aus der Inbetriebnahme einer neuen Gasreinigungsanlage Ende 2019. Das Unternehmen hat sich Ende 2017 verpflichtet, seine Lüftungsanlage zu erneuern, um die Emissionen zu reduzieren und hat noch weitere Projekte, um seine Emissionen zu reduzieren. Die SUVA als Aufsichtsbehörde beobachtet die Situation genau.

Die Tritiumkonzentrationen in den wöchentlichen Regenproben von Teufen/AR in der Umgebung der Firma RC Tritec sind deutlich tiefer. Mit einem Maximum von 61 Bq/l und einem Medianwert von 22 Bq/l gehören die dort im Jahr 2020 gemessenen Tritiumkonzentrationen zu den tiefsten seit Beginn der Überwachung.

Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 5, 9.1 und 9.3.

Radium-Altlasten

Der vom Bundesrat im Mai 2015 verabschiedete Aktionsplan Radium 2015-2022 hat das Ziel, die durch die Verwendung von radiumhaltiger Leuchtfarbe in der Uhrenindustrie bis in die 1960er Jahre entstandenen Altlasten zu bewältigen. Die Arbeit in den vier verschiedenen Achsen des Aktionsplans wurde im Jahr 2020 fortgesetzt, jedoch musste die Feldarbeit während eines grossen Teils des Jahres 2020 aufgrund der Pandemie COVID-19 reduziert werden. Das BAG wird versuchen, den Rückstand mit

² Für weitere Angaben siehe auch: URAnet aero: Detektor erfasst Spuren von Natrium-24 in der Luft – Radenviro

externer Unterstützung im Jahr 2021 aufzuholen, sofern es die gesundheitliche Situation erlaubt.

Stand 31. Dezember 2020 wurden im Rahmen des Aktionsplans 752 Objekte untersucht (das entspricht mehr als 4'300 Wohnungen oder Gewerbelokalitäten). Bei der Diagnose wird die Dosisleistung auf der gesamten Fläche des betroffenen Gebäudes oder Aussenbereichs gemessen. Werden in Innenräumen Spuren von Radium festgestellt, so evaluiert das BAG anhand der Messergebnisse und mit Expositionsszenarien die zusätzliche Jahresdosis, der sich die Gebäudenutzenden aussetzen könnten. Diese Szenarien sollen ausschliessen, dass jemand, der diese Räumlichkeiten derzeit oder künftig nutzt, einer Strahlung oberhalb des Grenzwertes von 1 Millisievert (mSv) pro ausgesetzt wird. Zeigt die Abschätzung, dass der Grenzwert von 1 mSv pro Jahr für die Bewohner überschritten werden kann, so werden die Räumlichkeiten saniert. Gärten werden saniert, wenn die ^{226}Ra -Konzentration in der Erde den Grenzwert von 1'000 Bq/kg übersteigt.

Von den untersuchten Objekten sind 120 (ca. 16%) nach Art. 153 StSV sanierungsbedürftig: 77 Wohnungen bzw. Gewerberäumlichkeiten und 77 Aussenanlagen. Bei 105 Liegenschaften sind die Sanierungsarbeiten bereits abgeschlossen oder im Gange. Bei Innenräumen liegen die geschätzten Dosen für die potenziell am stärksten exponierten derzeitigen oder zukünftigen Bewohner in den meisten Fällen (64) zwischen 1 und 5 mSv/Jahr. In 8 Wohnungen liegt diese Dosis zwischen 5 und 10 mSv/Jahr, in vier Wohnungen zwischen 10 und 15 mSv/Jahr und in einer Wohnung zwischen 15 und 20 mSv/Jahr. Die maximalen Radiumkonzentrationen in Bodenproben aus den 77 zu sanierenden Gärten betrugen durchschnittlich 28'000 Bq/kg. Der höchste gemessene Wert lag bei 668'200 Bq/kg.

Darüber hinaus hat das BAG bereits rund 14 ehemalige Industriestandorte im Kataster der belasteten Standorte gemäss Altlastenverordnung identifiziert, die im Zusammenhang mit ^{226}Ra sanierungsbedürftig sind.

Das BAG hat ausserdem chemische Verschmutzungen auf zehn weiteren Liegenschaften entdeckt, die nicht im Kataster der belasteten Standorte enthalten waren und die ebenfalls einer Radiumsanierung bedürfen. Das BAG koordiniert die Sanierung von Liegenschaften mit Mischkontaminationen fallweise mit den betroffenen Kantonen. Komplexe Fälle werden in der Begleitgruppe «pollutions mixtes» besprochen, die sich aus Vertretern des BAG, des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) und der Suva zusammensetzt, um die Einhaltung der Strahlen-

schutz- und Umweltschutzgesetzgebung sowie der Arbeitnehmerschutzvorschriften sicherzustellen.

Die Überwachung von ehemaligen Deponien mit Verdacht auf radiumhaltige Abfälle bildet einen weiteren Schwerpunkt des Aktionsplans. Hier arbeitet das BAG eng mit dem BAFU sowie den betroffenen Gemeinden und Kantonen zusammen. Das Beispiel der ehemaligen Deponie Lischenweg in Biel hat gezeigt, dass es auch heute noch möglich ist auf Deponien stark mit Radium kontaminierte Abfälle zu finden, wenn auch lokal eng begrenzt.

Das BAG hat in Zusammenarbeit mit dem BAFU ein Konzept entwickelt, um die im Altlastenkataster aufgeführten ehemaligen Deponien zu finden, die potenziell ^{226}Ra kontaminierte Abfälle enthalten könnten. Die betroffenen Deponien wurden dann auf der Grundlage vordefinierter Kriterien in drei Risikokategorien eingeteilt. Für die beiden höheren Risikokategorien wurden spezifische Strahlenschutz- und/oder Überwachungsmassnahmen festgelegt, die bei Aushubarbeiten auf der Deponie (Kategorie B und C) beziehungsweise bei einer Langzeitüberwachung (Kategorie C) umgesetzt werden müssen.

Im Jahr 2020 schickte das BAG das Konzept zur Vernehmlassung an alle Kantone, die von der Problematik betroffen sind, d.h. Bern, Basel-Landschaft, Basel-Stadt, Freiburg, Genf, Jura, Neuenburg, St. Gallen, Solothurn, Schaffhausen, Waadt, Tessin und Zürich. Die am stärksten betroffenen Kantone (Bern, Genf, Jura, Neuenburg und Solothurn) wurden gebeten, eigene Listen von Deponien zu erstellen, die im Falle von Aushubarbeiten Strahlenschutzmassnahmen erfordern (Kategorie B).

Nachdem das Konzept nun validiert ist, will das BAG die Details der Umsetzung in einer Wegleitung festlegen. Dabei werden insbesondere die Massnahmen bei Aushubarbeiten und die Zuständigkeiten für die Überwachung und die Abfallentsorgung festgelegt. Anhand der bereits von den Kantonen eingesandten Listen wurden mehr als 100 Deponien der Kategorie B identifiziert.

Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 9.4.

Verwendung von radioaktiven Stoffen Spitälern

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

ersten 48 Stunden in speziellen Zimmern isoliert werden. Die Ausscheidungen dieser Patienten werden in speziellen Abwasserkontrollanlagen gesammelt und erst nach Abklingen unter die bewilligten Immissionsgrenzwerte an die Umwelt abgegeben. Im Rahmen der Umgebungsüberwachung werden wöchentliche Sammelproben von Abwasser aus den Kläranlagen der grösseren Agglomerationen auf ^{131}I untersucht (siehe unten).

Zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken kommen auch andere Radionuklide wie ^{90}Y , ^{177}Lu und seit 2018 auch ^{166}Ho zum Einsatz. Während ersteres seit 2010 immer weniger verwendet wird, hat sich die Gesamtaktivität des eingesetzten ^{177}Lu zwischen 2007 und 2018 mehr als verdreifacht und von 2019 auf 2020 noch einmal um 50% erhöht. Dieses Radionuklid wird für die Behandlung von Prostata-Krebs eingesetzt. Im Jahr 2020 war es das in der Nuklearmedizin weitaus am meisten verwendete Radionuklid. Die eingesetzten ^{177}Lu Aktivitäten übertrafen diejenigen von ^{131}I um mehr als das Doppelte. Das seit 2018 zur Behandlung von Lebertumoren verwendete ^{166}Ho war 2020, an den eingesetzten Aktivitäten gemessen, das vierthöchste Radionuklid in der Schweiz.

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

Es ist anzumerken, dass diese Radionuklide zwar selten in Flusswasser nachgewiesen werden, Spuren davon jedoch in Sedimenten zu finden sind. So werden beispielsweise in Schwebeteilchen des Rheins (bei Weil am Rhein gesammelt) regelmässige Spuren von ^{131}I , ^{177}Lu und ^{223}Ra nachgewiesen.

Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 9.2.

Kläranlagen und Waschwasser aus der Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen

Das BAG koordiniert auch ein Programm zur Probenahme und Messung der Radioaktivität (Gammastrahler und Tritium) von Wasser aus Kläranlagen und Waschwasser aus der Rauchgasreinigung von Kehrrechtverwertungsanlagen (KVA). Die Überwachung der Kläranlagen erfasst die Abgaben bestimmter radioaktiver Stoffe durch Industrie und Spitäler ins Abwasser und damit an die Umwelt. 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 KVAs 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 Ergebnisse dieser Messungen haben gezeigt, dass zwar manchmal Spuren von in den Spitälern verwendetem ^{131}I im Wasser von Kläranlagen nachgewiesen werden, die Werte aber deutlich unter den in der StSV festgelegten Immissionsgrenzwerten liegen. 2020 hat das Kantonale Laboratorium Basel-Stadt keine Spitzen in den Konzentrationen von Tritium im Rauchgasreinigungswasser der KVA in Basel festgestellt, ein Phänomen, das in der Vergangenheit regelmässig beobachtet wurde, dessen Herkunft aber trotz Untersuchungen der SUVA und des BAG nicht geklärt werden konnte. Im Januar 2019 hatte das Kantonale Laboratorium Basel-Stadt im Abwasser der Rauchgasreinigungsanlage der KVA Basel in einer Wochenmischprobe eine ausserordentlich hohe Tritiumkonzentration von 833'000 Bq/l festgestellt. Die daraus abgeschätzte Gesamtaktivität von rund 700 GBq Tritium beträgt mehr als das Doppelte der maximal bewilligungsfähigen Wochenabgabe (StSV Art. 116). Da das wiederholte Auftreten der Situation einen erschwerenden Faktor darstellte, reichte das BAG im Jahr 2020 eine Beschwerde bei der Bundesanwaltschaft ein. Es wurde eine Untersuchung eingeleitet, um festzustellen, ob diese Entsorgung von radioaktivem Abfall als konventioneller Abfall in der KVA fahrlässig oder vorsätzlich war. Messungen des Rauchgasreinigungswassers aus anderen Kehrrechtverwertungsanlagen ergaben keine ungewöhnlichen Ergebnisse.

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}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 menschli-

chen Körper vorkommende ^{40}K zu quantifizieren: Es findet sich im Mittel in Konzentrationen von rund 56 Bq/kg bei den Frauen und 71 Bq/kg bei den Männern. Die ^{90}Sr -Konzentration in den Wirbelknochen und Milchzähnen liegt heutzutage nur noch bei rund einem Zehntel mBq/g Kalzium (Figur 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}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.

Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 6.1.

Beurteilung

In der Schweiz blieben 2020 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 Umweltraadioaktivität bestehen regionale Unterschiede. Die natürliche Radioaktivität wird im Wesentlichen durch die Geologie beeinflusst, aber auch der Anteil der künstlichen Radioaktivität als Folge der Atomwafferversuche und des Reaktorunfalls von Tschernobyl ist inhomogen über das Land verteilt. Radioaktives ^{137}Cs aus Tschernobyl wurde beispielsweise vornehmlich im Tessin abgelagert und ist dort heute noch immer in vielen Proben messbar. In geringerem Ausmass gab es auch erhöhten Ablagerungen in höheren Lagen des Jurabogens und in Teilen der Nordostschweiz. Die gemessenen Konzentrationen nehmen zwar seit 1986 kontinuierlich ab, das Radiocäsium aus Tschernobyl ist aber dennoch verantwortlich für die 2020 in bestimmten Lebensmitteln, insbesondere in Wildschweinfleisch aus den Kantonen Tessin und Graubünden, 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}C in Baumblättern oder ^{60}Co und ^{54}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 Tritium-verarbeitenden Industrien zeigt in der unmittelbaren Nähe einen deutlich messbaren Einfluss von Tritium auf die Umwelt (Regen und Lebensmittel). In Niederwangen zeigten die 2020 im Regen festgestellten Tritiumkonzentrationen einen deutlichen Rückgang gegenüber früheren Jahren und erreichten maximal 7% 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. Abgaben von Radionukliden mit dem Abwasser aus Spitälern sind nur sporadisch im Wasser in Kläranlagen grösserer Städte nachweisbar.

Die gezielte Überwachung von Wasser aus Kläranlagen, Rauchgasreinigungswasser aus Verbrennungsanlagen und Sickerwasser aus Deponien erbrachte keine ungewöhnlichen Ergebnisse.

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 und Industrien sehr gering geblieben ist. Die tiefen Messwerte für künstliche Radionuklide in der Umwelt zeigen ein ordnungsgemässes Funktionieren dieser Betriebe und können als Bestätigung für die Wirksamkeit der Überwachungsprogramme gedeutet werden.

