

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: - (2016)

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: 02.02.2025

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

Chapitre / Kapitel 1

**Surveillance
de l'environnement :
Résumé**

**Umweltüberwachung :
Zusammenfassung**

1.1

Surveillance de l'environnement : Résumé

S. Estier, P. Steinmann

Section Radioactivité de l'environnement, OFSP/URA, 3003 Berne

Tâches et programme de mesures

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

Conformément aux art. 104 à 106 de l'ordonnance sur la radioprotection (ORaP), l'OFSP est responsable de la surveillance des rayonnements ionisants et de la radioactivité dans l'environnement.

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

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

Afin de répondre à l'ensemble de ces objectifs, l'OFSP élabore chaque année un programme de prélèvements d'échantillons et de mesures en collaboration avec l'IFSN, la SUVA et les cantons. 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.

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 (figure 1) enregistrent le débit de dose ambiant gamma dans tout le pays (réseau automatique NADAM de mesure et d'alarme pour l'irradiation ambiante) et en particulier au voisinage des centrales nucléaires (réseau automatique de surveillance du débit de dose au voisinage des centrales nucléaires, MADUK). La radioactivité des aérosols et des eaux de rivière est mesurée en continu grâce aux réseaux automatiques de mesure de l'OFSP, RADAIR (Réseau Automatique de Détection dans l'Air d'Immissions Radioactives) et son successeur URAnet

(volet «aero» pour la surveillance de l'air et volet «aqua» pour la surveillance de l'eau, voir plus bas). Des prélèvements d'échantillons d'aérosols, de précipitations et d'eaux de rivière sont effectués en continu; 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. Depuis 2015,

les résultats des mesures des réseaux automatiques ainsi que la majorité des résultats des mesures effectuées en laboratoire sont consultables en ligne sur le site www.radenviro.ch. Ce site web nouvellement créé montre tous les résultats des mesures de la radioactivité effectuées en Suisse dans des échantillons de l'environnement, tels que l'air, le sol, l'herbe, le lait ou l'eau. 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 encore disponibles que dans le rapport publié annuellement. Les programmes de surveillance sont comparables à ceux en vigueur dans les pays voisins. Les techniques d'échantillonnage et les programmes de mesure correspondent à l'état actuel des connaissances et de la technique. Le contrôle de la qualité s'effectue par la participation régulière des laboratoires à des intercomparaisons nationales et internationales.

Nouveau réseau automatique de mesure URAnet

Le Conseil fédéral a décidé en mai 2013 que l'ancien réseau automatique de surveillance de l'air (RADAIR) exploité par l'OFSP devait être rénové et étendu à la surveillance en continu des eaux de rivière. Le volet aquatique du réseau (URAnet aqua), qui comporte 5 sondes de mesure installées dans l'Aar et le Rhin,

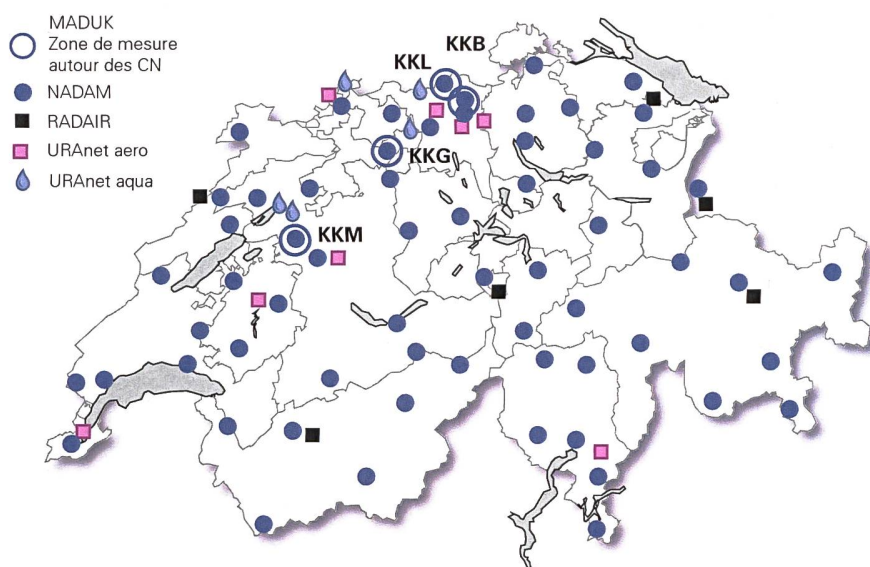


Figure 1: Réseaux de mesure automatique pour la surveillance de l'air en Suisse (débit de dose et aérosols) et réseau URAnet aqua pour la surveillance des cours d'eau.

est opérationnel depuis novembre 2015. Le remplacement des anciens moniteurs RADAIR par les nouvelles sondes de mesure du réseau URAnet dédiées à la surveillance de l'air (URAnet aero) a quant à lui démarré en 2016, avec la mise en service de 8 nouvelles stations (Liebefeld, Bözberg, Neuenhof, Fribourg, Basel, CERN, PSI et Bellinzona). Les moniteurs RADAIR de Basel, Bellinzona, CERN et Fribourg ont été mis hors service fin 2016. L'amélioration de la surveillance est substantielle puisque les nouveaux moniteurs permettent l'identification des radionucléides (émetteurs gamma) présents dans les aérosols et leur quantification individuelle, alors que les moniteurs RADAIR mesuraient uniquement les activités α et β totales. Dans l'appel d'offres OMC, l'OFSP a exigé que le nouveau système soit à même de fournir, en fonctionnement normal, un résultat de mesure de la concentration des radioisotopes dans l'air au moins toutes les 12 heures avec une limite de détection $\leq 30\text{mBq/m}^3$ pour le césium-137. Les performances réelles dépassent ces exigences, puisque les limites de détection effectivement mesurées pour ce radionucléide se situent entre 1 et 2.5 mBq/m^3 pour une mesure de 12 heures. Les 7 sondes restantes qui composeront le réseau URAnet aero seront livrées en 2017. Le nouveau réseau devrait ainsi être pleinement opérationnel début 2018.

Résultats de la surveillance 2016

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 obtenus en 2016 sont restés semblables 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, ainsi que le ^{210}Pb et d'autres produits de filiation du radon. Dans les précipitations, la radioactivité est principalement liée au ^7Be ainsi qu'au tritium, tous deux produits par le rayonnement cosmique. Pour le tritium, un apport artificiel par les rejets des centrales nucléaires et de certaines industries est également mesurable en différents endroits (voir chapitres consacrés à la surveillance de ces entreprises). Dans les rivières, la teneur en tritium est généralement de quelques Bq/l.

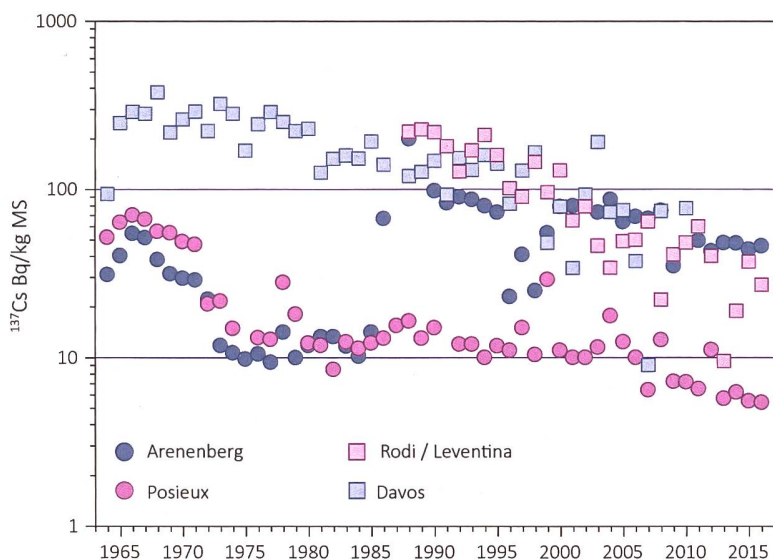


Figure 2:
 ^{137}Cs (en Bq/kg de matière sèche) dans les échantillons de sol de différentes stations de Suisse (1964-2016).

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

Dans l'herbe et les denrées alimentaires, c'est aussi le ^{40}K naturel qui domine. Les radionucléides artificiels comme le ^{137}Cs ou le ^{90}Sr (voir figure 4), qui sont absorbés par les plantes à travers leurs racines, ne sont décelables dans l'herbe que sous forme de traces. Leur répartition régionale est similaire à celle enregistrée pour le sol. Les échantillons de céréales ainsi que

de fruits et légumes prélevés en Suisse n'ont pas présenté d'activité artificielle significative. 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 trois échantillons sur plus de 140 analysés en 2016 ont présenté une concentration de ^{137}Cs mesurable. Il s'agit d'un échantillon en provenance du Tessin (5.9 Bq/l) et

de deux échantillons prélevés aux Grisons (2 et 4 Bq/l). Aucun dépassement de la valeur de tolérance, fixée à 10 Bq/l pour ce radionucléide dans le lait, n'a donc été constaté. Rappelons que le Tessin a été la région la plus touchée de Suisse par les retombées radioactives consécutives à l'accident de Tchernobyl, ce qui explique que le ^{137}Cs y soit toujours mesurable dans certains échantillons 30 ans après l'accident. Avec une valeur maximale de 0.6 Bq/l et une valeur médiane de 0.04 Bq/l, les teneurs en ^{90}Sr enregistrées dans les 60 échantillons de lait analysés en 2016 sont toutes restées bien inférieures à la valeur de tolérance fixée à 1 Bq/l pour ce radionucléide.

Certains champignons sauvages indigènes, notamment les bolets bais et les pholiotas ridés présentent toujours des valeurs accrues de ^{137}Cs . Cependant seuls 3 échantillons de champignons sauvages indigènes ont été analysés par les laboratoires cantonaux en 2016 et aucun dépassement de la valeur de tolérance, fixée à 600 Bq/kg pour le césium dans les champignons sauvages, n'a été constaté. 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 2016, 566 sangliers ont ainsi fait l'objet d'une mesure de tri, réalisée sur place à l'aide d'un instrument dosimétrique. Dans 3% des cas, un dépassement de la valeur limite pour le ^{137}Cs , fixée à 1'250 Bq/kg, a été constatée et les sangliers concernés ont été confisqués par le vétérinaire cantonal. Les valeurs de ^{137}Cs mesurées dans tous les autres échantillons de gibier (cerf, chevreuil,...) analysés en 2016 par les laboratoires cantonaux de GR, TI et ZH sont restées inférieures à la valeur de tolérance fixée à 600 Bq/kg pour ce radionucléide dans la viande de chasse.

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. 82 échantillons, dont 22 thés, mais également des sauces au soja, des céréales, des algues, de fruits de mer et d'autres denrées alimentaires en provenance du Japon ont ainsi été analysés par les laboratoires cantonaux en 2016. Si le ^{137}Cs est toujours décelable dans la plupart des échantillons de thé, la valeur maximale enregistrée s'élève à 8.4 Bq/kg et est significativement plus basse que celles enregistrées les années précédentes. Notons que des traces de ^{134}Cs ont encore été décelées dans 5 échantillons, indiquant que la contamination est attribuable aux retombées radioactives consécutives à l'accident de Fukushima. Dans les autres échantillons de denrées alimentaires en provenance du Japon analysés en 2016, le ^{137}Cs n'est pratiquement plus mesurable. Aucun dépassement de la valeur de tolérance, fixée à 10 Bq/kg pour les isotopes du césium, n'a donc été enregistré dans les produits en provenance du Japon au cours de l'année sous revue.

Des analyses de denrées alimentaires importées provenant d'autres pays, notamment d'Europe de l'Est, ont également été effectuées comme chaque année par les laboratoires cantonaux. Ces analyses ont essentiellement porté sur les baies des bois (et produits à base de baies des bois), la viande de gibier et les champignons sauvages, qui sont connus pour accumuler davantage le ^{137}Cs . Deux échantillons de confiture de myrtilles ont présenté des activités spécifiques en ^{137}Cs supérieures à la valeur de tolérance fixée à 100 Bq/kg pour ce radionucléide dans les baies des bois. Le laboratoire cantonal de Bâle Ville a par ailleurs mesuré le ^{137}Cs et le ^{90}Sr dans 31 échantillons de café ainsi que dans 30 échantillons de nourriture pour nourrissons sans relever de valeur particulière.

Ainsi, les quelques dépassements des valeurs de tolérance et des valeurs limites constatés en 2016 dans les denrées alimentaires (indigènes ou importés) sont, même 30 ans plus tard, toujours liés à l'accident de Tchernobyl.

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

Surveillance du voisinage des centrales nucléaires

Les valeurs limites pour les émissions des centrales nucléaires sont fixées par l'autorité compétente de telle sorte qu'aucune personne résidant à proximité ne puisse recevoir une dose efficace supérieure à 0.3 mSv/an (rayonnement direct compris). L'exploitant doit mesurer ses émissions et en communiquer le bilan à l'IFSN. Des analyses effectuées en parallèle par l'exploitant, l'IFSN et l'OFSP sur des filtres à aérosols et à iode ainsi que sur des échantillons d'eau en phase de rejet permettent de vérifier régulièrement les valeurs déclarées aux autorités. Les divers contrôles ont confirmé le respect des limites réglementaires par les exploitants en 2016.

La contribution du rayonnement direct est clairement mesurable en certains points de la clôture des centrales de Leibstadt et de Mühleberg. A Leibstadt par exemple, l'évaluation des dosimètres disposés à la clôture de la centrale a montré une élévation de la dose ambiante annuelle pouvant atteindre 0.8 mSv (après soustraction du bruit de fond naturel qui s'élève à 0.7 mSv/an). La valeur limite d'immission pour le rayonnement direct a toutefois été respectée par toutes les installations en 2016. Il convient de relever qu'il s'agit ici de dose ambiante et non de dose à la personne. Ces valeurs ne sont donc pas à mettre en relation avec la valeur directrice de dose liée à la source de 0.3 mSv/an puisqu'aucun membre du public ne réside pour de longue période en ces endroits.

Les résultats du programme de surveillance des immissions, coordonné par l'OFSP autour des centrales nucléaires, ont montré que l'impact de ces dernières sur l'environnement est resté faible en 2016 (voir Chapitre 8.5 du présent rapport). Les méthodes de mesure, d'une grande sensibilité, ont permis de mettre en évidence les traces des rejets atmosphériques, comme des valeurs accrues de ^{14}C dans les feuillages (augmentation maximale, par rapport à la station de référence, de 134 pour mille aux environs de la centrale de Leibstadt). A titre indicatif, notons qu'une activité supplémentaire de 100 pour mille de ^{14}C dans les denrées alimentaires induit une dose annuelle supplémentaire de l'ordre de 1 micro-Sv. Les concentrations de tritium dans les précipitations sont restées faibles, à l'exception de quelques valeurs plus élevées au voisinage de Beznau mais qui ont pour origine probable les rejets du PSI, tout proche.

Contrairement aux années précédentes, aucune trace de ^{54}Mn , ^{58}Co ou de ^{60}Co n'a pu être mise en évidence dans les échantillons d'eau de l'Aar ou du Rhin, prélevés en aval des centrales nucléaires. Par le passé, de faibles traces de ces radionucléides, essentiellement rejetés par la centrale nucléaire de Mühleberg étaient régulièrement détectés à Hagneck pendant la période de révision (août-septembre), lorsque les rejets sont les plus importants. Le ^{137}Cs présent dans les échantillons d'eau de l'Aar et du Rhin, provient quant à lui essentiellement de la remobilisation des dépôts de Tchernobyl et des essais d'armes atomiques des années 60. Les traces des rejets liquides des centrales nucléaires sont par contre clairement mesurables dans les échantillons mensuels de sédiments dans lesquels du ^{54}Mn et du ^{60}Co sont régulièrement mis en évidence. Le ^{58}Co n'est décelé que dans les sédiments prélevés à Hagneck pendant ou juste après la période de révision.

Les concentrations mensuelles du tritium dans l'Aar et le Rhin sont généralement restées inférieures à la limite de détection de 2 Bq/l à l'exception de la période mai-juin, où, comme chaque année, on constate une légère augmentation (10.7 Bq/l dans l'Aar à Brugg) en raison de rejets plus importants d'eau contenant du tritium par la centrale nucléaire de Gösgen.

Les analyses des poissons prélevés dans l'Aar et le Rhin en aval de KKM, KKB et KKL en 2016 n'ont pas révélé la présence de radionucléide d'origine artificielle. Le constat est le même pour l'examen des eaux des nappes phréatiques. Les résultats des mesures de la radioactivité dans les denrées alimentaires prélevées au voisinage des centrales sont semblables à ceux enregistrés ailleurs sur le Plateau Suisse.

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

Hormis les 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 l'influence de ces installations. 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).

1. Surveillance de l'environnement: Résumé

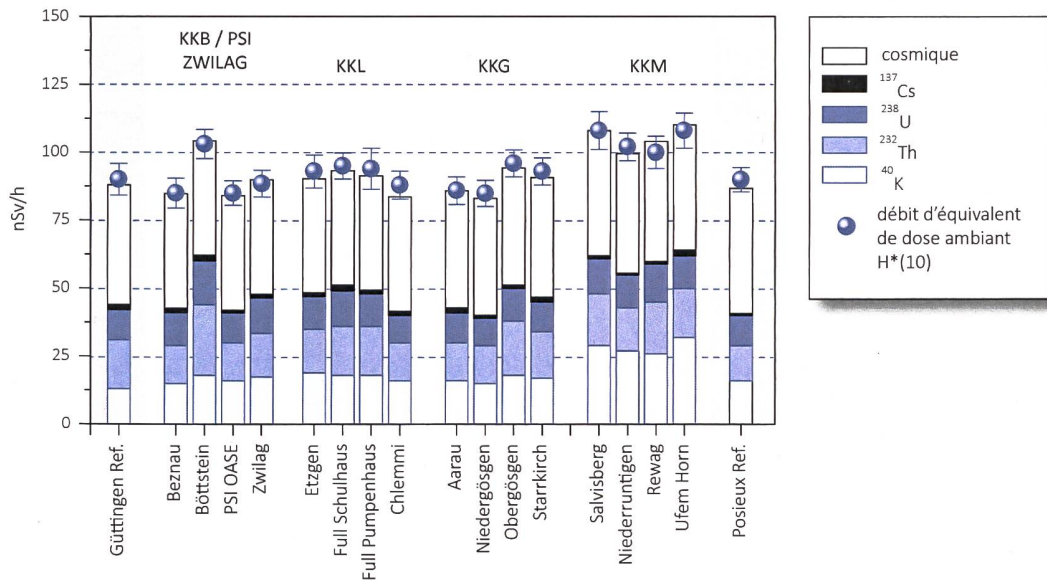


Figure 3:

Contributions individuelles à l'exposition ambiante ($H^*(10)$) attribuables aux différents radionucléides présents sur les sites examinés par l'OFSP en 2016 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.

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

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

Surveillance des centres de recherche

Le contrôle des émissions des installations du CERN a indiqué des rejets effectifs nettement en dessous des limites réglementaires en 2016. Ce constat est confirmé par le programme de surveillance indépendant mis en oeuvre par l'OFSP autour du centre de recherche. Les résultats des mesures effectuées ont révélé la présence de traces sporadiques de certains radioisotopes produits par les accélérateurs du CERN, notamment le ²⁴Na, l'⁴¹Ar et le ¹³¹I dans l'air ou le ²²Na et le ⁵⁴Mn dans l'eau. L'impact radiologique du fonctionnement du CERN sur l'environnement et la population avoisinante est toutefois resté très faible puisque les activités maximales des radioéléments attribuables au centre de recherche relevées dans l'environnement n'ont représenté que d'infimes fractions des valeurs limites fixées par la législation suisse sur la radioprotection.

La dose d'irradiation reçue par la population vivant au voisinage du PSI/ZWILAG ne doit pas excéder, au total 0.15 mSv/an pour les deux installations. En 2016, les rejets effectifs du PSI ont entraîné une dose de 0.006 mSv, soit moins de 5% de cette valeur. La quasi-totalité de cette dose provient des rejets de gaz rares de courte période produits dans les accélérateurs de particules de la zone West de l'institut. La surveillance de l'environnement est assurée par le PSI ainsi que par les autorités qui effectuent des mesures supplémentaires de manière indépendante. Hormis quelques valeurs sporadiquement plus élevées de tritium dans les précipitations, les résultats de la surveillance au voisinage du PSI n'ont pas mis en évidence de marquage de l'environnement dû au fonctionnement des installations du centre de recherche.

Pour les informations détaillées, se référer au chapitre 8.

Tritium dans l'industrie

Certaines entreprises industrielles utilisent également des substances radioactives. Le tritium est le radionucléide le plus utilisé dans ce domaine en Suisse, par exemple pour la fabrication de sources lumineuses au gaz de tritium ou pour la production de marqueurs radioactifs au tritium pour la recherche. Ces entreprises sont tenues de communiquer à l'autorité de surveillance le bilan de leurs émissions. En 2016, 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 et les eaux superficielles.

Les résultats de cette surveillance montre un marquage significatif de l'environnement (précipitations, denrées alimentaires) par le tritium, à proximité immédiate de ces entreprises, notamment à Niederwangen. Les concentrations de tritium enregistrées dans les précipitations à la station Firma située au voisinage de l'entreprise mb Microtec se sont ainsi élevées en moyenne à 405 Bq/l en 2016, avec une valeur maximale de 1'990 Bq/l en août. Cette valeur représente 17% de la limite d'immissions pour le tritium dans les eaux accessibles au public. Des valeurs plus élevées de tritium ont également été mesurées dans les distillats de denrées alimentaires (lait, fruits et légumes) récoltés début septembre au voisinage de l'entreprise. La valeur maximale enregistrée, atteignant 212 Bq/l dans une salade, reste toutefois nettement inférieure à la valeur de tolérance pour le tritium dans les denrées alimentaires, fixée à 1'000 Bq/kg dans l'OSEC. Ces denrées ne représentent donc pas de risque pour la santé du consommateur.

Avec une valeur maximale de 120 Bq/l et une moyenne de 45 Bq/l, les concentrations de tritium mesurées dans les échantillons hebdomadaires de précipitations de Teufen/AR, au voisinage de l'entreprise RC Tritec, sont, quant à elles, les plus basses enregistrées depuis la mise en place de la surveillance.

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

Héritages radiologiques

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

Ce plan d'action prévoit en particulier la mesure de plus de 500 bâtiments abritant jadis des ateliers de posage de peinture au radium, principalement des places de travail à domicile situées dans l'Arc jurassien. Depuis 2014 et jusqu'à fin 2016, 200 bâtiments regroupant 1'051 appartements (ou locaux commerciaux) ont fait l'objet d'un diagnostic du radium. En présence de traces de radium dans des locaux intérieurs, l'OFSP évalue la dose annuelle supplémentaire pouvant être reçue par les occupants sur la base des résultats de mesure et de scénarios d'exposition. Ces scénarios ont pour objectif d'exclure, pour tout occupant actuel ou futur, une exposition supérieure à la limite de dose de 1 mSv/an tolérée pour la population suisse. Si le résultat de cette estimation montre que cette valeur peut être dépassée pour l'occupant potentiellement le plus exposé à la présence de radium, alors la décision est prise d'assainir les locaux. Pour les jardins, un assainissement est requis en cas de dépassement de la valeur seuil de 1'000 becquerels par kilogramme (Bq/kg) pour la concentration en radium dans la terre sèche.

Au 31 décembre 2016, 41 bâtiments avait fait l'objet d'une décision d'assainissement, dont 34 appartements et 21 jardins. En ce qui concerne les appartements à assainir, les doses estimées pour l'occupant actuel ou futur potentiellement le plus exposé se situent entre 1 et 2 mSv/an dans 14 appartements, entre 2 et 5 mSv/an dans 15 appartements, entre 5 et 10 mSv/an dans 2 appartements et entre 10 et 15 mSv/an dans 3 appartements. Les valeurs maximales de radium mesurées dans des échantillons de terre prélevés dans les 21 jardins à assainir s'élevaient en moyenne à près de 8'400 Bq/kg; elles avoisinent dans un cas les 32'000 Bq/kg.

La surveillance des décharges susceptibles de contenir des déchets contaminés au radium constitue un second volet du plan d'action, mené en étroite collaboration avec l'Office fédéral de l'environnement 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. En cas de travaux d'excavation, il est nécessaire d'assurer la protection des travailleurs et de mettre en place des mesures

pour éviter la dispersion de la radioactivité dans l'environnement. Plus de 8'000 anciennes décharges en activité avant 1970 sont répertoriées dans le cadastre des sites pollués dans les cantons potentiellement concernés par des héritages radiologiques. En 2016, des critères ont été définis pour permettre la priorisation des cas. Relevons que tant qu'une ancienne décharge reste fermée et que les déchets potentiellement contaminés sont inaccessibles, le risque sanitaire lié à la présence de radium est très faible. Ainsi, 44 décharges candidates à un assainissement conventionnel selon l'ordonnance sur l'assainissement des sites pollués ont été retenues pour examiner le bien-fondé d'y mettre en place une surveillance du radium. Les investigations correspondantes débiteront en 2017.

Emissions de radionucléides provenant des hôpitaux

Les hôpitaux utilisent 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 . Les résultats des mesures ont montré que même si des traces d' ^{131}I sont parfois détectées, les valeurs se situent nettement en dessous des valeurs limites d'immissions définies dans l'ordonnance sur la radioprotection.

D'autres radionucléides comme l' ^{90}Y et le ^{177}Lu sont également utilisés par des applications diagnostiques et thérapeutiques. Si l'utilisation du premier est en diminution, l'activité annuelle totale de ^{177}Lu appliquée en Suisse a triplé en 10 ans et dépasse depuis 2015 celle du ^{131}I .

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

Radioactivité assimilée par le corps humain

L'assimilation de radionucléides par l'intermédiaire de la nourriture peut être recensée par des mesures au corps entier et par des analyses de la teneur en ^{90}Sr dans les dents de lait et les vertèbres humaines. Les mesures au corps entier réalisées aux hôpitaux universitaires genevois depuis près de 40 ans ont pu être poursuivies en 2016. Les résultats de ces mesures ont montré des valeurs de ^{137}Cs inférieures à la limite de détection de 1 Bq/kg.

Le ^{40}K naturel s'élève en moyenne à environ 57 Bq/kg chez les femmes et à 70 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 quelques centièmes de Bq/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

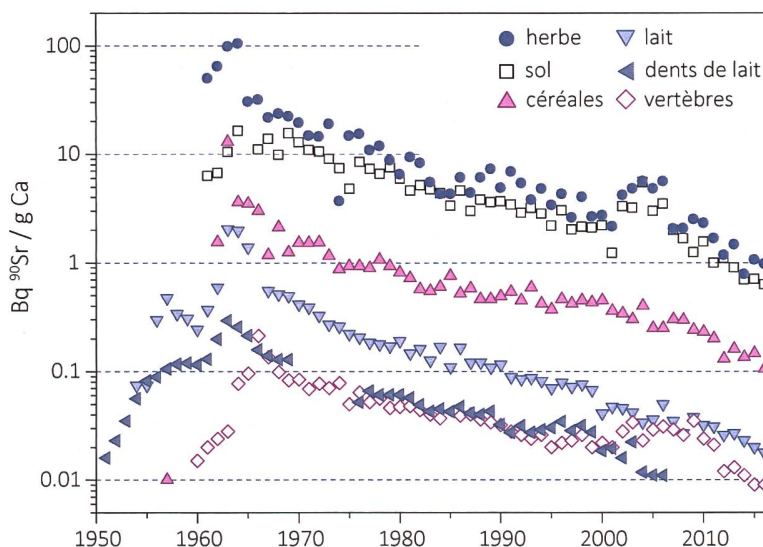


Figure 4: ^{90}Sr dans divers échantillons prélevés entre 1950 et 2016.

mois précédant la naissance et se poursuit durant la période d'allaitement. La mesure du strontium s'effectue lorsque la dent de lait tombe d'elle-même. Elle donne une indication rétroactive de la contamination de la chaîne alimentaire de la mère à l'époque de la naissance de l'enfant. Les valeurs de strontium mesurées dans les dents de lait (figure 4) sont donc répertoriées en fonction de l'année de naissance de l'enfant. Ceci explique que les courbes relatives aux dents de lait et au lait montrent une évolution pratiquement parallèle.

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

Evaluation

En Suisse, les concentrations de radionucléides dans l'environnement et les doses d'irradiation de la population dues aux sources de rayonnements artificielles sont restées en 2016, 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 il est encore responsable des dépassements des valeurs limites observés dans la viande de certains sangliers chassés au Tessin en 2016.

Les résultats des mesures effectuées dans le cadre de la surveillance des centrales nucléaires et des centres de recherche sont semblables à ceux enregistrés au cours des années précédentes. Même si des traces de radionucléides émis par ces installations sont décelables dans l'environnement, (par exemple le ^{14}C dans les feuillages ou les isotopes du cobalt dans les sédiments au voisinage des centrales nucléaires ou encore le ^{24}Na ou l' ^{131}I dans l'air au voisinage des centres de recherche), les rejets qui en sont à l'origine sont nettement inférieurs aux limites autorisées et aucun dépassement des valeurs limites d'immission n'a été constaté. La surveillance mise en oeuvre au voisinage des entreprises utilisatrices de tritium a montré un marquage de l'environnement (précipitations, denrées alimentaires) par ce radionucléide à proximité immédiate de ces entreprises. Les concentrations enregistrées dans les précipitations ont ainsi atteint au maximum 17% de la valeur limite d'immissions pour le tritium dans les eaux accessibles au public.

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 oeuvre.

1.2

Umweltüberwachung: Zusammenfassung

S. Estier, P. Steinmann

Sektion Umweltradioaktivität (URA), BAG, 3003 Bern

Auftrag und Messprogramm

Überwachung der Umweltradioaktivität

Die Strahlenschutzverordnung (StSV) überträgt in Artikel 104 bis 106 dem BAG die Verantwortung für die Überwachung der ionisierenden Strahlung und der Radioaktivität in der Umwelt.

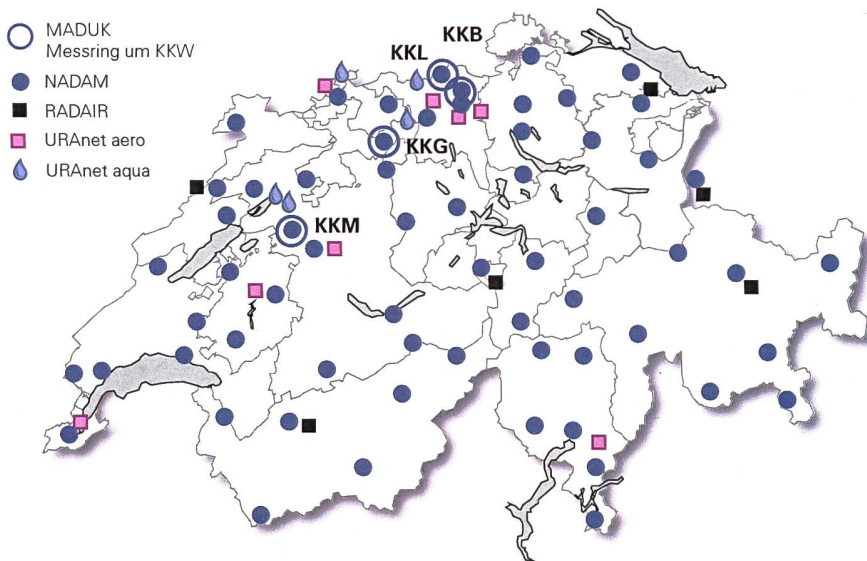
Das angewandte Überwachungsprogramm besteht aus mehreren Teilen. Ziel ist einerseits der schnelle Nachweis jeder zusätzlichen radioaktiven Belastung künstlichen Ursprungs, die schwerwiegende Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung haben kann (Strahlenunfall). Mit dem Überwachungsprogramm sollen andererseits auch die Referenzwerte für die Umweltradioaktivität in der Schweiz und deren Schwankungen bestimmt werden, damit die Strahlendosen für die Schweizer Bevölkerung ermittelt werden können. Diese allgemeine Überwachung umfasst zudem die Messung der Kontaminationen infolge 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 Anlagen, 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 Überwachung der Emissionen (effektive Freisetzung von radioaktiven Stoffen) dieser Unternehmen und setzt sich mit der Kontrolle der Immissionen (effektiv gemessene Konzentrationen) in der Umwelt fort. Um allen diesen Zielen nachzukommen, erstellt das BAG jährlich ein Probenahme- und Messprogramm in Zusammenarbeit mit dem ENSI, der Suva und den Kantonen. 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.

Messprogramm (siehe auch 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), mit denen sich die auf dem Boden abgelagerte Radioaktivität direkt erfassen lässt, vervollständigen diese Analysen. Mit Untersuchungen der Radioaktivität im menschlichen Körper werden auch Kontrollen am Ende der Kontaminationskette durchgeführt.

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



Figur 1:
Messnetze zur Überwachung der Luft in der Schweiz (Dosisleistung und Aerosole) und URAnet aqua für die Messung der Fliessgewässer.

Automatische Messnetze (Fig. 1) erfassen die Dosisleistung im ganzen Land (NADAM = Alarm- und Messnetz zur Bestimmung der Dosisleistung), in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK = Messnetz in der Umgebung der Kernanlagen zur Bestimmung der Dosisleistung). Die kontinuierliche Überwachung der Radioaktivität der Aerosole und des Flusswassers wird durch die automatischen Messnetze des BAG sichergestellt: RADAIR (bisheriges Aerosol-Messnetz mit Alpha/Beta-Monitoren) sowie sein Nachfolger URAnet mit Aerosol-Monitoren (URAnet aero) und Flusswassersonden (URAnet aqua). Zusätzlich werden von Aerosolen, Niederschlägen und Flusswasser kontinuierlich Proben für empfindliche Messungen entnommen.

Die Überwachung von Sedimenten, Erdproben, Gras, Milch und Lebensmitteln (inklusive Importe) erfolgt stichprobenweise. Die Daten werden in einer nationalen Datenbank beim BAG erfasst. Seit 2015 sind Messresultate der automatischen Messnetze sowie ein Grossteil der Ergebnisse der Labormessungen auf www.radenviro.ch abrufbar. Diese neugeschaffene Internetplattform zeigt die Resultate der Messungen von Umweltproben, wie Luft-, Boden-, Gras-, Milch- oder Wasserproben. Hingegen werden die Ergebnisse von speziellen Messprogrammen (z.B. Messungen von Wirbelknochen oder Milchzähnen; ^{14}C -Messungen in Baumblättern) zurzeit noch ausschliesslich im hier vorliegenden Jahresbericht publiziert. Die Messprogramme sind vergleichbar mit denjenigen unserer Nachbarländer. Die Methoden für die Probenentnahme und die Messprogramme entsprechen dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. Die Qualitätskontrolle erfolgt durch eine regelmässige Teilnahme der Laboratorien an nationalen und internationalen Vergleichsmessungen.

Erneuerung der automatischen Messnetze: Projekt URAnet

Der Bundesrat hat im Mai 2013 entschieden, dass das alte Messnetz für die Radioaktivität der Luft, RADAIR, erneuert und auf die kontinuierliche Überwachung von Flusswasser ausgedehnt werden soll. Der Teil «Flusswasser» (URAnet aqua) ist mit fünf Sonden in der Aare und im Rhein seit November 2015 in Betrieb. Für den Teil Aerosolmessungen (URAnet aero) begann ab 2016 die Ersetzung der alten RADAIR Alpha/Beta-Monitore durch neue spektrometrische Messstationen. Bisher sind 8 Stationen installiert (Liebefeld, Bözberg, Neuenhof, Fribourg, Basel, CERN, PSI und Bellinzona). Im Gegenzug wurden die RADAIR-Stationen Basel, Bellinzona, CERN und Fribourg Ende 2016 ausser Betrieb genommen. Die neuen spektrometrischen URAnet Luftmonitore bringen eine substantielle Verbesserung der Überwachung der Radioaktivität der Luft, da sie die einzelnen im Aerosol vorhandenen Radionuklide identifizieren können, wogegen RADAIR nur Gesamtalpha- und Gesamtbetaaktivitäten ermittelte. In der WTO-Ausschreibung hat das BAG für die neuen Detektoren eine Nachweisgrenze von

30 mBq/m³ für ¹³⁷Cs innerhalb 12 Stunden gefordert. Die beschafften Geräte übertreffen diese Anforderung mit Nachweisgrenzen zwischen 1 und 2.5 mBq/m³ nach 12 Stunden Sammel- und Messzeit. Mit der Installation von 7 weiteren Sonden wird URAnet aero 2017 vervollständigt und ab Anfang 2018 komplett in Betrieb sein.

Ergebnisse der Umweltüberwachung 2016

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

Die Resultate 2016 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 hauptsächlich kosmogenes ⁷Be sowie ²¹⁰Pb und weitere Radonfolgeprodukte. Bei den Niederschlägen ist die Radioaktivität vorwiegend auf ⁷Be und Tritium - beides Produkte der kosmischen Strahlung - zurückzuführen. Für das Tritium stellen aber Abgaben aus Kernkraftwerken und gewissen Industriebetrieben weitere Quellen dar (siehe entsprechende Abschnitte zu diesen Betrieben).

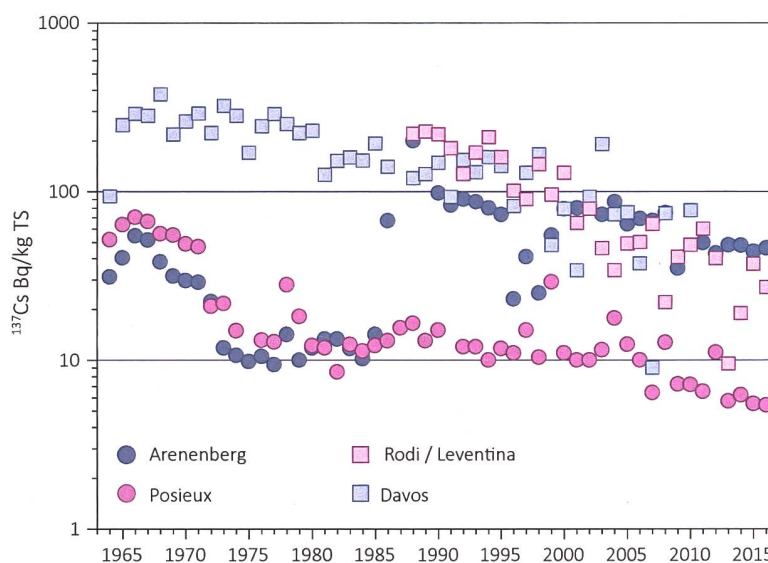
In den Flüssen beträgt der natürlich bedingte Tritiumgehalt in der Regel nur wenige Bq/l.

Im Erdboden dominieren die natürlichen Radionuklide der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen sowie das ⁴⁰K. Die künstlichen Isotope aus den Ablagerungen aus der Luft 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 ¹³⁷Cs (siehe Figur 4) und ⁹⁰Sr immer noch etwas höher als im Mittelland. Künstliche Alphastrahler wie ²³⁹Pu und ²⁴⁰Pu sowie ²⁴¹Am treten im Erdboden nur in sehr geringen Spuren auf.

In Gras- und Lebensmittelproben dominiert das natürliche ⁴⁰K. Künstliche Radionuklide wie ¹³⁷Cs oder ⁹⁰Sr (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. Die Getreideproben zeigten keine nennenswerten Aktivitäten von künstlichen Radioisotopen. Bei der Kuhmilch lag der ¹³⁷Cs Gehalt meist unter der Nachweisgrenze von

ca. 0.02 bis 1 Bq/l. Lediglich 3 von über 140 im Berichtsjahr gemessenen Milchproben zeigten messbare Konzentrationen von ¹³⁷Cs. Eine der Proben stammt aus dem Tessin (5.9 Bq/l) und zwei aus Graubünden (2 und 4 Bq/l). Der Toleranzwert von 10 Bq/l Milch wurde nicht überschritten. Die Südschweiz war ja die vom Tschernobyl-Unfall am stärksten betroffene Gegend der Schweiz, was erklärt, warum das ¹³⁷Cs auch mehr als 30 Jahre nach dem Unfall noch messbar ist. Die ⁹⁰Sr-Gehalte der 60 daraufhin untersuchten Milchproben lagen alle unterhalb des Toleranzwertes von 1 Bq/l (Maximalwert: 0.6 Bq/l).

Gewisse einheimische Wildpilze, zum Beispiel Zigeuner (Reifpilz) oder Maronenröhrling, können immer noch erhöhte Gehalte von ¹³⁷Cs aufweisen. Im Berichtsjahr wurden allerdings lediglich 3 Wildpilzproben



Figur 2:
¹³⁷Cs (in Bq/kg Trockenmasse) in Bodenproben verschiedener Stationen der Schweiz (1964-2016).

analysiert, wobei keine Überschreitungen des Toleranzwertes von 600 Bq/kg für Radiocäsium in Wildpilzen auftraten. Im 2016 hat der Kanton Tessin die systematischen Kontrollen von auf der Jagd erlegten Wildschweinen weitergeführt. Die dabei angewendeten Triagemessungen mit einem Dosisleistungsmessgerät wurden im Jahr 2013 durch den Kanton in Zusammenarbeit mit dem BAG eingeführt. Die Kampagne 2015 zeigte bei 3% der erlegten 566 Tiere eine Überschreitung des Grenzwertes für ^{137}Cs in Wild von 1'250 Bq/kg. Das Fleisch dieser Tiere wurde durch den Kantonstierarzt konfisziert. Die in anderen Wild-Proben (Hirsch, Gams, etc.) aus den Kantonen GR, TI und ZH gemessenen ^{137}Cs -Werte blieben alle unterhalb des Toleranzwertes von 600 Bq/kg.

Nach dem Reaktorunfall in Fukushima-Daiichi hat die Schweiz gleich wie die Europäische Union ein Programm für die Kontrolle von Lebensmittelimporten aus Japan aufgestellt. 82 Proben, darunter 22 Tees, aber auch Sojasaucen, Getreide, Algen, Meeresfrüchte und andere Lebensmittel aus Japan, wurden 2016 von den Kantonalen Laboratorien untersucht. Zwar konnte ^{137}Cs in den meisten Teeproben aus Japan nachgewiesen werden, aber der höchste gefundene Wert betrug 8.4 Bq/kg und lag damit deutlich tiefer, als in den ersten Jahren nach dem Unfall. In fünf Teeproben wurden auch Spuren von ^{134}Cs gemessen, ein klarer Hinweis darauf, dass die Kontamination auf den durch den Reaktorunfall verursachten, radioaktiven Niederschlag zurückzuführen ist. In allen anderen Proben aus Japan ist ^{137}Cs praktisch nicht mehr nachweisbar. Damit kam es in den 2016 untersuchten Lebensmittelproben aus Japan zu keinen Toleranzwertüberschreitung für radioaktives Cäsium (Toleranzwert Cs-Isotope in allgemeinen Lebensmitteln: 10 Bq/kg).

Lebensmittelimporte aus anderen Ländern und speziell aus Osteuropa wurden, wie jedes Jahr, ebenfalls von den Kantonalen Laboratorien analysiert. Meist handelte es sich dabei um Proben von Wildbeeren (und Produkte aus Wildbeeren), Wildfleisch und Wildpilzen - alles Lebensmittel die bekannt dafür sind ^{137}Cs anzureichern. Zwei Heidelbeerkonfitüren zeigten ^{137}Cs Werte oberhalb des Toleranzwertes, der für dieses Radioisotop in Wildbeeren auf 100 Bq/kg festgelegt ist. Das Kantonale Laboratorium Basel-Stadt hat 2016 auch eine Messkampagne mit Kindernahrungsmittel durchgeführt, ohne erhöhte Radioaktivität festzustellen.

Insgesamt sind also die wenigen 2016 in der Schweiz festgestellten Toleranz- und Grenzwertüberschreitungen in Lebensmittel (einheimische und importierte), auch mehr als 30 Jahre danach, noch immer eine Folge des Reaktorunfalles in Tschernobyl.

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 Jahres- und Kurzzeitabgabengrenzwerte 2016 eingehalten haben.

An einigen Stellen der Arealzäune der Kernkraftwerke Leibstadt und Mühleberg ist Direktstrahlung aus dem Werk messbar. In Leibstadt etwa zeigt die Auswertung der am Zaun angebrachten Dosimeter für die jährliche Umgebungsdosis Werte von bis zu 0.8 mSv (nach Abzug des natürlichen Untergrundes von 0.7 mSv/ Jahr). Der Immissionsgrenzwert für Direktstrahlung ist gleichwohl bei allen Kernkraftwerken 2016 eingehalten. Hier ist zu beachten, dass die Immissionsgrenzwerte für Direktstrahlung für die Ortsdosis gelten und sich nicht auf Personendosen beziehen. Die effektiven Personendosen aufgrund der Direktstrahlung aus den Kernkraftwerken sind wesentlich kleiner, da sich keine Person aus der Bevölkerung dauerhaft am Zaun aufhält.

Die Ergebnisse des Überwachungsprogramms der Immissionen, das vom BAG in der Umgebung der Kernkraftwerke organisiert wird, zeigen für 2016 nur einen geringen Einfluss auf die Umwelt (siehe Kapitel 8.5 des vorliegenden Berichtes). Mit hochempfindlichen Messmethoden konnten Spuren der Abgaben an die Atmosphäre festgestellt werden, etwa erhöhte Werte für ^{14}C im Laub. Die maximale Erhöhung gegenüber der Referenzstation betrug 134 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

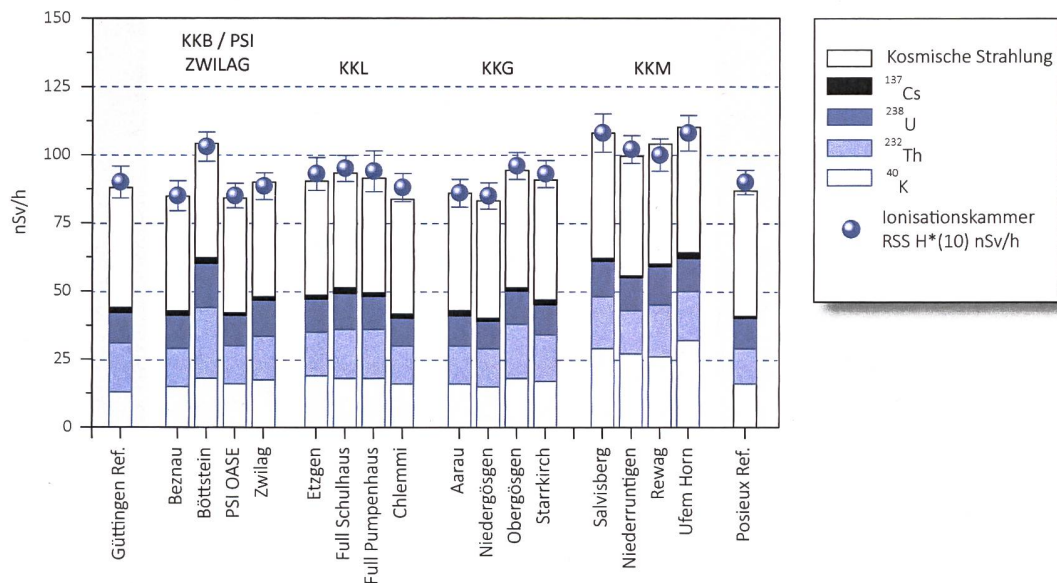


Figure 3:

Beiträge zur Ortsdosis ($H^*(10)$) durch die verschiedenen Radionuklide, die vom BAG 2016 an verschiedenen Stellen in der Umgebung der Schweizer Kernkraftwerke sowie an den Referenzstandorten Güttingen und Posieux (grau unterlegt) gemessen wurden. Diese Beiträge wurden ausgehend von Messungen durch In-situ-Gammaspektrometrie berechnet. Ausserdem ist das Ergebnis der direkten Messung der Gesamtdosis mit Hilfe einer Ionisationskammer dargestellt. Damit lässt sich die Zuverlässigkeit der Methode abschätzen (siehe auch Kapitel 3.1).

Mikrosievert führen. Die Tritiumkonzentrationen im Niederschlag in der Umgebung der Kernkraftwerke sind 2016 tief geblieben, mit Ausnahme einiger etwas höherer Werte beim Kernkraftwerk Beznau, die aber wahrscheinlich von Abgaben aus dem nahegelegenen PSI herrühren.

Im Gegensatz zu früheren Jahren enthielten die Wasserproben aus Aare und Rhein flussabwärts der Kernkraftwerke 2016 keine messbaren Spuren von ^{54}Mn , ^{58}Co oder ^{60}Co . Dies war in anderen Jahren typischerweise für die August/Septemberproben bei Hagneck der Fall, während der jährlichen Revision des KKW Mühlebergs. 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). Klar sichtbar sind die Abgaben der Kernkraftwerke über das Abwasser dagegen in den monatlichen Sedimentproben, wo ^{54}Mn und ^{60}Co regelmässig nachgewiesen werden. In den Sedimentproben bei Hagneck ist während und kurz nach der Revision des KKW Mühleberg auch ^{58}Co nachweisbar.

Die Monatsmittelwerte für Tritium in der Aare und im Rhein blieben meist unter der Nachweisgrenze von 2 Bq/l mit Ausnahme der Monate Mai und Juni wo wie jedes Jahr in der Aare bei Brugg eine leichte Erhöhung der Werte gemessen wurde (10.7 Bq/l). Die Ursache ist die Abgabe von Tritium-haltigem Abwasser durch das KKW Gösgen vor der Revision. Die Resultate der Radioaktivitätsmessungen in Lebensmitteln aus der Umgebung der Kernkraftwerke waren ähnlich wie jene von Proben aus entfernten Gebieten im Mittelland.

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

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

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

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

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

Überwachung der Forschungszentren

Beim CERN hat die interne Emissionskontrolle der Anlagen gezeigt, dass die tatsächlichen Abgaben 2016 deutlich unter den gesetzlichen Grenzwerten lagen. Dies bestätigt auch das unabhängige Überwachungsprogramm des BAG, das in der Umgebung des Forschungszentrums durchgeführt wurde. Die Messergebnisse zeigten vereinzelt Spuren der Radionuklide, die in den Beschleunigern des CERN erzeugt werden, namentlich ^{24}Na , ^{41}Ar und ^{131}I in der Luft sowie ^{22}Na und ^{54}Mn im Wasser. Die Strahlenbelastung durch das CERN für die Umwelt und die Bevölkerung in der Umgebung bleibt sehr gering, da die maximalen Aktivitäten der Radionuklide, die auf die Tätigkeit des CERN zurückzuführen sind, weniger als 1 Prozent des in der Schweiz geltenden Immissionsgrenzwerts erreichen.

Beim PSI und beim Zwiilag blieb im Jahr 2016 die Dosis für die Bevölkerung unterhalb von 5% der für beide Anlagen zusammen maximal erlaubten 0.15 mSv/Jahr. Die Abgabe von kurzlebigen Edelgasen aus den Teilchenbeschleuniger am PSI-West ist für praktisch die ganze für das PSI berechnete Dosis von 0.006 mSv/Jahr verantwortlich. Die Umweltüberwachung wird vom PSI selber sowie mit unabhängigen Messungen durch die Behörden durchgeführt. Ausser einigen sporadisch auftretenden erhöhten Tritiumkonzentrationen im Regenwasser zeigten die Überwachungsmessungen keinen Einfluss der Forschungseinrichtungen des PSI auf die Umwelt.

Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 8.

Tritium aus der Industrie

Auch Industriebetriebe setzen radioaktive Stoffe ein. Tritium ist in der Schweiz das am häufigsten industriell verwendete Radionuklid und wird zum Beispiel zur Herstellung von Tritiumgas-Leuchtquellen oder von radioaktiven Markern für die Forschung verwendet. Im Jahr 2016 haben alle betroffenen Betriebe die Vorgaben für die Abgabe von radioaktiven Stoffen eingehalten. Das BAG führt ein spezifisches Überwachungsprogramm zur Kontrolle der Immissionen in der Umgebung dieser Betriebe durch. Auf Tritium untersucht werden Niederschläge, Luftfeuchtigkeit und Gewässer. Die Resultate dieser Überwachungen zeigen einen signifikanten Einfluss der Abgaben auf die Tritiumwerte in Umweltproben (Niederschlag und Nahrungsmittel) aus der unmittelbaren Umgebung dieser Industriebetriebe, besonders in Niederwangen. Dort betrug die Tritiumkonzentration im Niederschlag bei der Station «Firma» im Mittel 405 Bq/l mit einem Maximum von 1'990 Bq/l im August. Dieser Wert entspricht 17% des in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Immissionsgrenzwertes für öffentlich zugängliche Gewässer. Erhöhte Tritiumwerte fanden sich auch in den anfangs September in der Nachbarschaft des Unternehmens genommenen Lebensmittelproben (Milch, Früchte und Gemüse). Aber auch der höchste Werte - in einem Salat gemessene 212 Bq/l Wasser - bleibt fast fünfmal unterhalb des entsprechenden Toleranzwertes aus der FIV. Ein gesundheitliches Risiko ist beim Konsum dieser Lebensmittel also nicht gegeben.

Mit einem Maximum von 120 Bq/l und einem Mittelwert von 45 Bq/l waren die Tritiumkonzentrationen in den wöchentlichen Regenproben von Teufen/AR, in der Umgebung der Firma RC Tritec, 2016 die tiefsten seit Beginn der Überwachung der Immissionen dieses Unternehmens.

Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 5, 9.1 und 9.3.

Radium-Altlasten

Der vom Bundesrat im Mai 2015 verabschiedete «Aktionsplan Radium 2015 - 2019» hat das Ziel, die durch die Verwendung von radiumhaltiger Leuchtfarbe bis in die 1960er Jahre entstandenen Altlasten zu bewältigen. Der Aktionsplan beinhaltet namentlich die Messung von mehr als 500 vorwiegend im Jura-bogen gelegenen Gebäuden, in denen früher Ateliers (insb. Heimarbeitsplätze) untergebracht waren, die mit Radium-Leuchtfarbe gearbeitet haben. Seit September 2014 bis Ende 2016 wurden in 200 Gebäuden mit 1051 Wohnungen (oder Gewerbelokalen) eine Radiumdiagnose durchgeführt. Wenn in Innenräumen Spuren von Radium festgestellt werden, evaluiert das BAG anhand von Messergebnissen und Expositionsszenarien die zusätzliche Jahresdosis, der sich die Gebäude-Nutzenden aussetzen könnten. Diese Szenarien sollen ausschliessen, dass jemand, der diese Räumlichkeiten derzeit oder künftig nutzt, einer Strahlung oberhalb des Grenzwertes von 1 Millisievert (mSv) pro Jahr für die Schweizer Bevölkerung, ausgesetzt ist. Zeigt die Abschätzung, dass der Grenzwert von 1 mSv pro Jahr für die dem Radium potenziell am meisten ausgesetzte Person überschritten werden kann, wird entschieden, die Räumlichkeiten zu sanieren. Gärten sind sanierungsbedürftig, wenn die Radiumkonzentration in der Erde den Grenzwert von 1'000 Becquerel pro Kilogramm Trockengewicht (Bq/kg) übersteigt. Bis zum 31. Dezember 2016 wurde ein Sanierungsbedarf in 41 Gebäuden (34 Wohnungen und 21 Gärten) festgestellt. In 14 der zu sanierenden Wohnungen lag die Dosisabschätzung für den meistbetroffenen Bewohner bei 1 - 2 mSv/Jahr; in 15 Wohnungen bei 2 - 5 mSv/Jahr in 2 Wohnungen bei 5 - 10 mSv/Jahr und in 3 Wohnungen zwischen 10 und 15 mSv/Jahr. In den Bodenproben der zu sanierenden Gärten betrug der Durchschnitt der gemessenen Radiumhöchstwerte 8400 Bq/kg. In einem Fall wurde lokal eine Konzentration von bis zu 32'000 Bq/kg gemessen.

Die Überwachung von Deponien mit Verdacht auf radiumhaltige Abfälle bildet einen zweiten Schwerpunkt des Aktionsplans. Hier arbeitet das BAG eng mit dem Bundesamt für Umwelt 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. Werden solche Deponien geöffnet, so ist es notwendig, den Schutz der Arbeiter zu gewährleisten und die Abgabe des Radiums an die Umwelt zu verhindern. Die Altlastenkataster der Kantone, welche potentiell von der Radonproblematik betroffen sind, umfassen mehr als 8'000 Deponien, welche vor 1970 in Betrieb waren. 2016 wurden die Kriterien festgelegt, um die verschiedenen Fälle zu priorisieren. Bisher sind 44 Deponien, bei welchen eine Sanierung gemäss den Vorgaben der Altlastenverordnung ansteht, vermerkt worden, um weiter abzuklären, ob eine Radiumüberwachung notwendig ist. Die entsprechenden Untersuchungen werden 2017 beginnen. Ist bei einer Altlast keine Sanierung notwendig und sind potentiell radiumhaltige Abfälle unzugänglich, so ist das davon ausgehende Gesundheitsrisiko sehr klein.

Emissionen von Radionukliden aus den Spitälern

In Spitälern wird bei der Diagnostik und Behandlung von Schilddrüsenerkrankungen ¹³¹I verwendet. Iodtherapie-Patienten, die mit weniger als 200 MBq (1 MegaBq = 10⁶ Bq) ambulant 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 ¹³¹I untersucht. Die Messungen haben gezeigt, dass in den Abwasserproben manchmal Spuren von ¹³¹I nachweisbar sind, diese jedoch deutlich unter den Immissionsgrenzwerten gemäss Strahlenschutzverordnung liegen.

Zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken kommen auch andere Radionuklide wie ⁹⁰Y und ¹⁷⁷Lu zum Einsatz. Während ersteres immer weniger verwendet wird, hat sich die Gesamtaktivität des eingesetzten ¹⁷⁷Lu über die letzten 10 Jahre verdreifacht und übertrifft seit 2015 diejenige von ¹³¹I.

Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 9.2 und 9.3.

Messungen am menschlichen Körper

Die Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung lässt sich durch Ganzkörpermessungen und die Analyse des ^{90}Sr -Gehalts in Milchzähnen und Wirbelknochen von Menschen bestimmen.

Die seit rund 40 Jahren durchgeführten Ganzkörpermessungen am Universitätsspital in Genf konnten im Jahr 2016 weitergeführt werden. Die Resultate der Messungen ergaben ^{137}Cs -Werte, die unter der Nachweisgrenze von 1 Bq/kg lagen. Für das natürliche ^{40}K wurden im Mittel Werte von rund 57 Bq/kg bei den Frauen und 70 Bq/kg bei den Männern gemessen.

Die ^{90}Sr -Konzentration in den Wirbelknochen und Milchzähnen liegt heutzutage bei nur einigen Hundertstel Bq/g Kalzium (Figur 4). Strontium wird vom menschlichen Körper ebenso wie Kalzium in Knochen und Zähnen eingelagert. Die Wirbelknochen werden als Indikator für die Kontamination des Skeletts herangezogen, weil diese Knochen eine besonders ausgeprägte Schwammstruktur aufweisen und rasch Kalzium über das Blutplasma austauschen. An Wirbelknochen von im laufenden Jahr verstorbenen Personen lässt sich das Ausmass der Kontamination der Nahrungskette mit ^{90}Sr eruieren. Die Milchzähne wiederum bilden sich in den Monaten vor der Geburt und während der Stillphase. Der Strontiumgehalt wird gemessen, wenn der Milchzahn von selbst ausfällt. Er gibt im Nachhinein einen Anhaltspunkt darüber, wie stark die Nahrungskette der Mutter zum Zeitpunkt der Geburt des Kindes kontaminiert war. Die in den Milchzähnen gemessenen Strontiumwerte (Figur 4) sind deshalb nach Geburtsjahr der Kinder aufgeführt. Dies erklärt, weshalb die Kurven zu den Milchzähnen und zur Milch beinahe parallel verlaufen.

Für weiterführende Informationen siehe Kapitel 6.1 und 6.2.

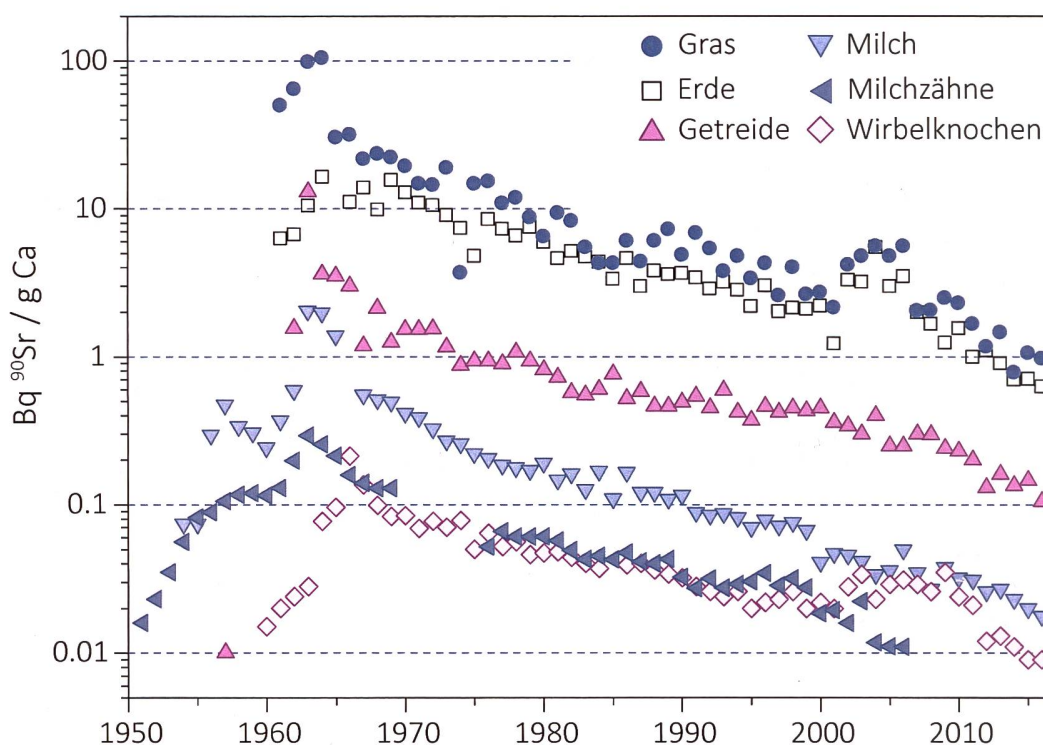


Figure 4:
 ^{90}Sr in verschiedenen, zwischen 1950 und 2016 entnommenen Proben (logarithmische Skala).

Beurteilung

In der Schweiz lagen 2016 die Radioaktivitätswerte in der Umwelt sowie die Strahlendosen der Bevölkerung aufgrund künstlicher Strahlenquellen, wie in den Vorjahren, deutlich unter den gesetzlichen Grenzwerten. Das entsprechende Strahlenrisiko kann daher als sehr klein eingestuft werden.

Bei der natürlichen und der künstlichen Umweltradioaktivität bestehen regionale Unterschiede. Die natürliche Radioaktivität wird im Wesentlichen durch die Geologie beeinflusst, aber auch der Anteil der künstlichen Radioaktivität als Folge der Atomwaffenversuche und des Reaktorunfalls von Tschernobyl ist inhomogen über das Land verteilt. Radioaktives ^{137}Cs aus Tschernobyl wurde beispielsweise vornehmlich im Tessin abgelagert und ist dort heute noch immer in vielen Proben messbar. Zu erhöhten Ablagerungen kam es auch 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 2016 in einigen Wildscheinfleischproben aus dem Tessin festgestellten Grenzwertüberschreitungen.

Die Ergebnisse der Umgebungsüberwachung von Kernkraftwerken und Forschungsanstalten sind vergleichbar mit jenen aus früheren Jahren. Spuren von emittierten Radionukliden können in der Umgebung zwar nachgewiesen werden: zum Beispiel ^{14}C in Blättern oder Kobaltisotope in Sedimenten in der Umgebung von Kernkraftwerken sowie kurzlebige Radionuklide wie ^{24}Na und ^{131}I in der Luft bei Forschungszentren. Die Abgaben, welche diese Spuren in der Umwelt hinterlassen haben sind aber deutlich unterhalb der bewilligten Mengen und sie haben zu keinen Immissionsgrenzwertüberschreitungen geführt.

Die Überwachung der Tritium-verarbeitenden Industrien zeigt in deren unmittelbarer Nähe einen deutlich messbaren Einfluss von Tritium auf die Umwelt (Regen und Lebensmittel). Auch hier wurden die Grenzwerte eingehalten. Die maximale gemessene Konzentration entspricht einer Ausschöpfung von 17% des Immissionsgrenzwertes für Tritium in öffentlich zugänglichen Gewässern.

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

