

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: - (2012)

Rubrik: Umwelt = Environnement

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 01.04.2026

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

Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz

Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse

Ergebnisse 2012
Résultats 2012



4

Umwelt Environnement

4.1 Radioactivité de l'air et des précipitations	56
Résumé	56
Air	56
RADAIR Réseau automatique de surveillance de l'air	57
Conclusions	63
4.2 Überwachung der Radioaktivität der Luft mit Militärflugzeugen	64
Zusammenfassung	64
Vorgeschichte	64
Messung der Proben	66
4.3 Radioaktivität in aquatischen Systemen	67
Zusammenfassung	67
Schwebstoffproben und Tritium im Rhein bei Weil	73
Allgemeine Überwachung	75
Kehrichtverbrennung	75
4.4 Radioactivité du sol et de l'herbe	76
Résumé	76
Introduction	76
Conclusions	79
4.5 Deponien, Altlasten und Tunnelausbruchmaterial	80
Messprogramm	80
Ergebnisse 2012	80



4.1

Radioactivité de l'air et des précipitations

S. Estier, P. Beuret, G. Ferreri, A. Gurtner, T. Marti, M. Müller, P. Steinmann

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

Résumé

Les résultats de la surveillance 2012 de la radioactivité dans l'air et les précipitations n'ont mis en évidence aucune valeur susceptible de représenter un danger pour la santé de la population. La radioactivité d'origine naturelle est nettement prépondérante dans ces compartiments environnementaux. Les méthodes de prélèvement et d'analyse mises en oeuvre, d'une grande sensibilité, ont toutefois permis la détection d'infimes concentrations de radionucléides d'origine artificielle dans les aérosols. Ceux-ci proviennent essentiellement de la remise en suspension d'anciennes contaminations, mais sont également produits localement dans les installations nucléaires ou les centres de recherche. Dans les précipitations, la radioactivité d'origine artificielle est également présente sous forme de trace, à l'exception du tritium, observé en plus grande quantité dans les pluies au voisinage des entreprises utilisatrices de tritium.

Air

L'OFSP exploite trois réseaux de surveillance de la radioactivité dans l'air. Le premier se compose de collecteurs d'aérosols à moyen débit (40 m³/h) et est principalement dédié à la surveillance des centrales nucléaires (Gösgen-Däniken, Leibstadt et Mühleberg), ainsi qu'à la surveillance de sites en altitude (Jungfrauoch). Le deuxième, d'une très grande sensibilité, est constitué de collecteurs d'aérosols à haut débit (env. 500 m³/h) situés à Posieux/FR¹, Cadenazzo/TI¹, Göttingen /TG, au CERN/GE et à Klingnau/AG. L'objectif étant de disposer de trois stations de référence (une pour l'ouest du Plateau suisse, une pour l'est du Plateau suisse et une pour le Sud des Alpes) pour la surveillance de la radioactivité dans l'environnement en Suisse, où l'ensemble des compartiments environnementaux (aérosols, précipitations, sols, herbes, lait) sont analysés. Finalement, l'OFSP gère les 11 stations automatiques de surveillance de l'air composant le réseau RADAIR.

Ces réseaux se distinguent par leur sensibilité et leur rapidité de réponse (intervalle de temps entre le début de la période de collection et la disponibilité des résultats de mesure) et remplissent des rôles bien distincts. Le réseau RADAIR, par exemple, est un système d'alerte dont l'objectif est de permettre une détection rapide d'une éventuelle hausse significative de la radioactivité dans l'air: les aérosols sont ainsi collectés et mesurés en continu sur des filtres déroulants et les résultats sont envoyés à la centrale toutes les 30 min. Cependant la limite de

¹ Les collecteurs anciennement situés à Oberschrot/FR et au Monte-Ceneri/TI ont été déménagés en juin 2011 à Posieux/FR, respectivement à Cadenazzo/TI dans le cadre de l'implémentation de la nouvelle stratégie de surveillance de l'OFSP.

détection pour une activité bêta artificielle nette n'est que d'environ 0.5 Bq/m³ pour des durées de collection et de mesure de 30 min. Dans le cas des collecteurs d'aérosols à haut débit, la période de collection s'élève à 1 semaine. Les filtres sont ensuite envoyés par poste puis mesurés en laboratoire. Le délai pour l'obtention des résultats est donc de quelques jours. Par contre les limites de détection sont très faibles, env. 0.5 µBq/m³ pour le ¹³⁷Cs. Ces installations permettent ainsi d'évaluer les niveaux réels de radioactivité présents dans l'environnement.

Collecteurs d'aérosols à haut débit

Les concentrations des différents radionucléides mesurées dans les filtres à aérosols provenant des 5 collecteurs à haut débit (High Volume Sampler) sont disponibles en ligne à l'adresse suivante: www.bag.admin.ch/hvs/. Ces filtres sont changés chaque semaine, puis envoyés au laboratoire de l'OFSP où ils sont analysés par spectrométrie gamma.

En résumé, pour l'année 2012, comme pour les années précédentes, les résultats des mesures montrent que les radio-éléments d'origine naturelle ⁷Be et ²¹⁰Pb prédominent. Des valeurs comprises entre 0.8 et 7.1 et entre 0.1 et 2.4 mBq/m³ ont été enregistrées respectivement pour ces deux isotopes. Des traces de ²²Na, également d'origine naturelle, ont été détectées dans les 5 stations (valeurs comprises entre 0.1 et 1.0 µBq/m³). Le ¹³⁷Cs, attribuable à la remise en suspension dans l'air des anciennes dépositions de Tchernobyl et des essais nucléaires atmosphériques des années 50 et 60, est l'unique radioélément d'origine artificielle régulièrement identifié, et ce, dans les 5 stations.

Des traces de ²⁴Na et de ¹³¹I ont été sporadiquement détectées dans les filtres aérosols du CERN (valeurs comprises entre 40 et 203 µBq/m³ ⁽²⁾ et entre 0.5 et 1.7 µBq/m³ respectivement). Ces radio-isotopes, d'une demi-vie de 15 h pour le ²⁴Na et de 8 jours pour le ¹³¹I, sont produits dans les accélérateurs de particules du centre de recherche. Notons que ces concentrations sont nettement inférieures aux limites d'immissions définies dans l'Ordonnance sur la radioprotection (ORaP) (100 Bq/m³ pour le ²⁴Na, et 2.7 Bq/m³ pour le ¹³¹I).

² Ces activités ont été calculées à la date de référence correspondant au début de la période de collection, en supposant une accumulation constante de ²⁴Na au cours de la période de collection et en tenant compte de sa décroissance au cours de la même période. Jusqu'en 2010, la date de référence correspondait à la date de fin de la période de collection, les activités pour les courtes périodes étaient sensiblement sous-estimées.

Remarquons encore qu'une faible activité de ¹³¹I (0.4-0.8 µBq/m³) a été enregistrée dans les filtres aérosols des stations de Posieux, de Güttingen et de Klingnau début février. Elle provient de rejets plus important dans l'atmosphère de ¹³¹I par un institut hongrois «Institute of Isotopes Ltd, Budapest» (période du rejet 20.01-30.01.12). Ce dernier était déjà à l'origine de l'¹³¹I détecté sur les filtres aérosols des collecteurs à haut débit de la majeure partie des pays d'Europe en novembre 2011. Notons que les traces de ces rejets n'ont pu être détectés à si grande distance du point d'émission que sur des échantillons provenant des collecteurs d'aérosols à grand volume (haute sensibilité).

Voisinage des centrales nucléaires

Les résultats des mesures des filtres aérosols des environs des centrales nucléaires de Mühleberg, Gösgen, Beznau (mesures PSI) et Leibstadt n'ont pas présenté de radioactivité d'origine artificielle mesurable en dehors du ¹³⁷Cs (0.3 à 1.7 µBq/m³) au cours de l'année 2012. Ce dernier provient de la remise en suspension d'anciennes contaminations (essais nucléaires des années 50 et 60 ainsi et accident de Tchernobyl). Comme dans les stations situées hors influence, la radioactivité des aérosols collectés au voisinage des centrales nucléaires est essentiellement d'origine naturelle. Avec des valeurs comprises respectivement entre 1.1 et 5.5 et entre 0.1 et 1.4 mBq/m³, les radionucléides ⁷Be et ²¹⁰Pb sont ainsi nettement prépondérants.

RADAIR

Réseau automatique de surveillance de l'air

Les modifications apportées en 2012

L'application Radair-Web fonctionne à présent sur un serveur public et remplace l'ancien site internet avec la même adresse, à savoir www.radair.ch. Depuis la fin de l'année 2012, les données sont exportées chaque demi-heure vers le serveur public. Le lecteur y trouve une carte des données actuelles et passées ainsi qu'une information sur l'état technique des moniteurs. Avec la page «Graphique», il peut également afficher les données de chaque paramètre mesuré par chaque moniteur sur une période de son choix.

L'utilisation d'Excel pour la gestion des données ne donnant pas satisfaction, une solution dédiée interagissant directement avec la base de données est en cours de réalisation.

Les essais effectués avec le moniteur de Fribourg, qui a été équipé d'un logiciel pilote pour la compen-

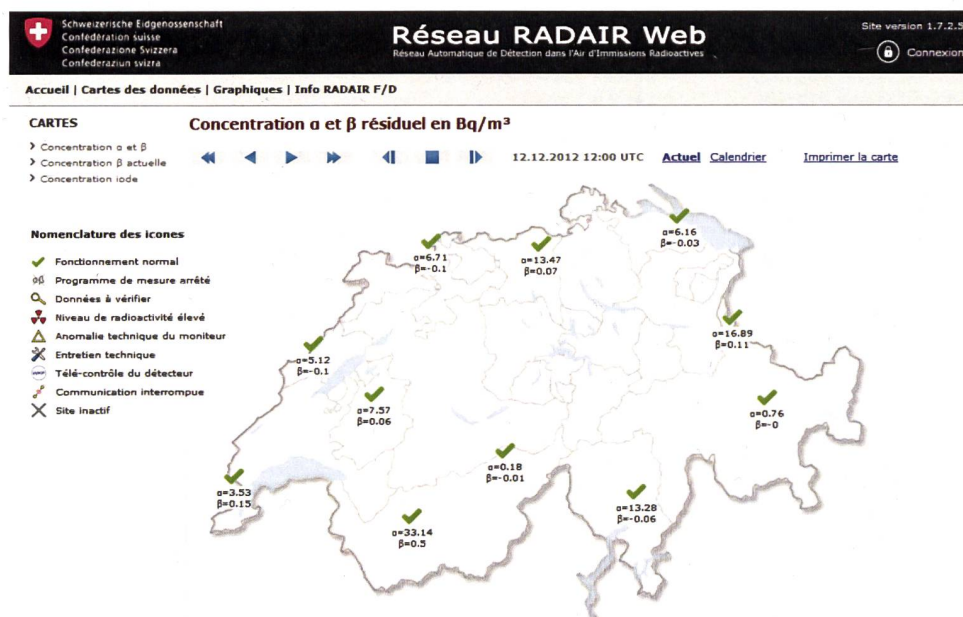


Figure 1:
Carte des données Radair de l'application Radair-Web accessible sur www.radair.ch.

sation automatique du facteur α/β se sont montrés concluants. Le nouveau logiciel a ainsi été installé sur 8 moniteurs parmi les 11 du réseau au cours de l'année 2012. Les trois derniers moniteurs seront équipés en 2013.

Le facteur de compensation (F), utilisé pour calculer l'activité β sur la base de l'activité alpha mesurée, fluctue quotidiennement et en fonction de la saison. L'idée à la base de ce nouveau logiciel est d'adapter en permanence ce facteur F pour tenir compte des fluctuations saisonnières et quotidiennes au lieu d'utiliser une valeur constante, modifiée périodiquement par un administrateur du système. Le but étant, d'une part d'automatiser la mesure le mieux possible et d'autre part d'améliorer la sensibilité. Pour cela, le moniteur effectue la moyenne glissante des n ($n > 10$) derniers rapports pour autant que ce dernier soit compris entre des valeurs seuils (par exemple, entre 0.6 et 1.2). Ce rapport moyen donnera le facteur F_m avec lequel la concentration β artificielle de la mesure en cours sera calculée.

Les premiers résultats obtenus avec cette méthode ont montré une amélioration significative de la sensibilité, avec un abaissement de la limite de détection pouvant aller jusqu'à un facteur 2 suivant les sites. L'autre conséquence a été une diminution du nombre des pré-alarmes de niveau 1, c'est-à-dire des dépassements de la concentration β actuelle d'origine naturelle > 5 Bq/m³, en particulier lors de brusques variations de la concentration alpha.

La figure 2 compare l'histogramme des concentrations bêta artificielle obtenues à Güttingen en 2011,

avec l'ancienne méthode de compensation, et celles de 2012, calculées avec la nouvelles méthode, pour des conditions de concentrations alpha équivalentes. Le nouveau logiciel a été installé en juin 2012. Elle montre que l'histogramme des valeurs 2012, avec la compensation automatique, est plus centré autour de zéro que celui de l'année 2011. Les histogrammes cumulés des 2 années dévoilent que pour 98% des valeurs, la limite de détection est diminuée d'un facteur 2.

Principe de mesure

Rappelons que les activités α totales mesurées dans l'environnement sont supposées d'origine naturelle: le gaz radon émanant du sol ainsi que ses produits de filiation.

Des mesures de radon ($^{222}\text{Rn} + ^{220}\text{Rn}$) ont été effectuées en 2012 aux stations du PSI et de Güttingen, à proximité des lignes d'aspiration. La figure 3 montre que la contribution des concentrations α mesurées par les moniteurs FHT59S provient bien essentiellement du radon et de ses produits de filiation.

Les moniteurs FHT59S utilisent un algorithme de compensation pour calculer la contribution potentielle d'émetteurs β artificiels à partir de la mesure α total et du rapport α/β (voir aussi le paragraphe «les modifications apportées en 2012»). Une alarme est déclenchée si la valeur de β artificielle calculée dépasse un seuil prédéfini.

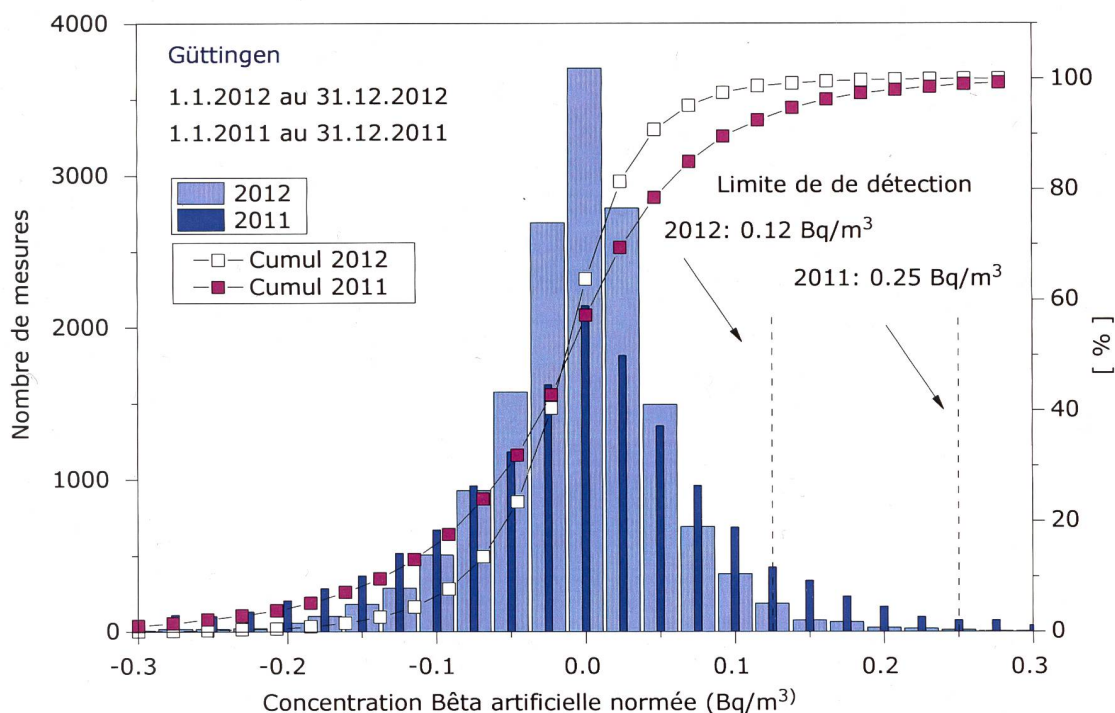


Figure 2:
Calcul de la concentration bêta artificielle normée à l'aide des deux méthodes de compensation.

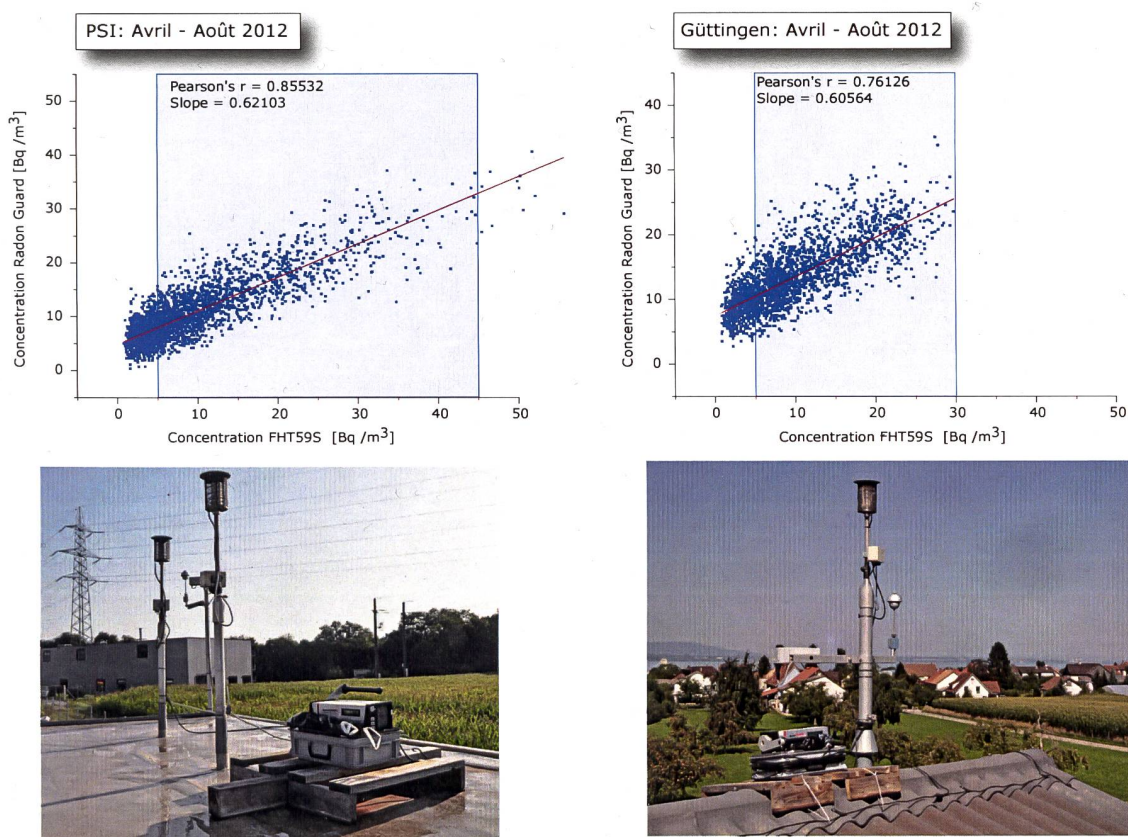


Figure 3:
Comparaison des concentrations alpha entre le moniteur d'aérosols «FHT59S» et un appareil de mesure du Radon «AlphaGuard» placé à proximité de la ligne d'aspiration. Mesures faites sur les sites du PSI et de Göttingen.

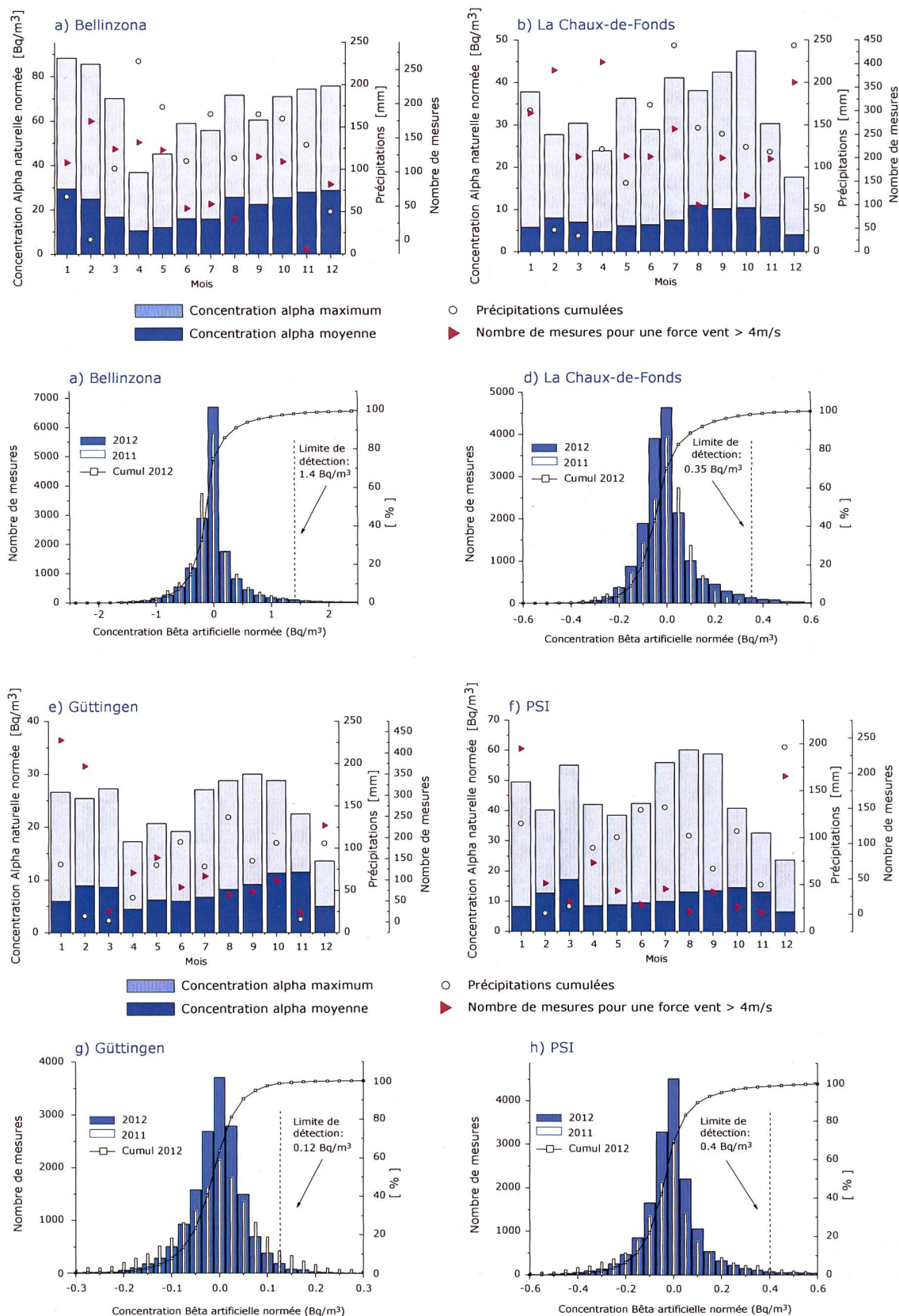


Figure 4 :

Les graphiques a), b), e) et f) montrent les concentrations alpha totales (d'origine naturelle) mensuelles moyennes et maximales ainsi que les précipitations mensuelles moyennes et la densité des vents enregistrées en 2012 aux stations de Bellinzona, La Chaux-de-Fonds, Güttingen et PSI. Les graphiques c), d), g) et h) représentent les histogrammes des concentrations bêta artificielles compensées obtenus en 2011 et 2012 à ces mêmes stations.

Résultats de mesure

Collecteurs d'aérosols:

Les activités α/β totales, mesurées par les moniteurs RADAIR, peuvent être consultées en temps réel sur Internet, à l'adresse www.radair.ch (mise à jour toutes les 30 min).

La figure 4 montre les concentrations alpha naturelles mensuelles moyennes et maximales relevées en 2012 aux stations de Bellinzona, de La Chaux-de-Fonds, de Güttingen et du PSI ainsi que les histogrammes des concentrations bêta artificielles obtenues après compensation.

Les concentrations α maximales enregistrées dans les différentes stations (cf graphiques a), b), e) et f)) dépendent de la nature géologique du sol et de l'environnement ainsi que des conditions météorologiques. Pour une station donnée, ces valeurs maximales fluctuent également au cours de l'année, d'un facteur 2 à 3.

Les différences marquées entre concentrations maximales et concentrations moyennes reflètent les importantes fluctuations diurnes-nocturnes de radioactivité naturelle allant de 5 à 90 Bq/m³ suivant les sites (le phénomène d'inversion thermique limite la dispersion verticale du radon et de ses produits de filiation qui s'accumulent alors près du sol durant la nuit). Aux mois de février-mars ainsi que d'octobre et de novembre lorsqu'il n'y a pas ou peu de résorption de l'inversion thermique, les émetteurs α et β restent piégés au niveau du sol sans être mélangés à de l'air frais et la concentration α moyenne reste ainsi relativement élevée durant le jour. Notons encore, d'une manière générale, que les concentrations naturelles les plus faibles se rencontrent au printemps où le brassage des masses d'air est plus important.

Plus les fluctuations de radioactivité naturelle sont importantes, plus la contribution d'origine artificielle est difficile à mettre en évidence et donc plus la limite de détection de la concentration β artificielle sera élevée. Suivant les sites, on observe ainsi un rapport d'environ 60 à 150 entre la limite de détection des concentrations β artificielles et les valeurs maximales des concentrations α . La présence irrégulière du radon et de ses produits de filiation sur le sol suisse est ainsi responsable des différences notables observées en fonction des sites dans les limites de détection de la radioactivité β d'origine artificielle. Les histogrammes de la concentration β (graphiques c, d, g et h de la figure 4) montrent ces limites. Malgré, un bon suivi de la compensation, les incidents de radioactivité plus petits que 0.2 à 1.5 Bq/m³ ne sont pas décelables.

De manière générale, les histogrammes des concentrations β artificielles moyennes normées enregistrés en 2011 et en 2012 montrent que la limite de détection à Bellinzona est restée la même, à La Chaux-de-Fonds elle a légèrement augmenté, à Güttingen et au PSI elle a diminué. Ces deux derniers moniteurs ont été équipés du nouveau logiciel de compensation en cours d'année 2012 (voir paragraphe «les modifications apportées en 2012»).

Notons pour terminer qu'aucune activité β d'origine artificielle supérieure à la limite de détection n'a été enregistrée par les collecteurs α/β en 2012.

Collecteur de Iode-131:

Les moniteurs de Bellinzona, de Fribourg, de Meyrin et du PSI mesurant l'iode gazeux (¹³¹I) n'ont pas décelé de valeurs supérieures à leur limite de détection (0.05 - 0.06 Bq/m³) au cours de l'année 2012. La figure 5 montre l'histogramme de la concentration moyenne du ¹³¹I enregistré dans les stations

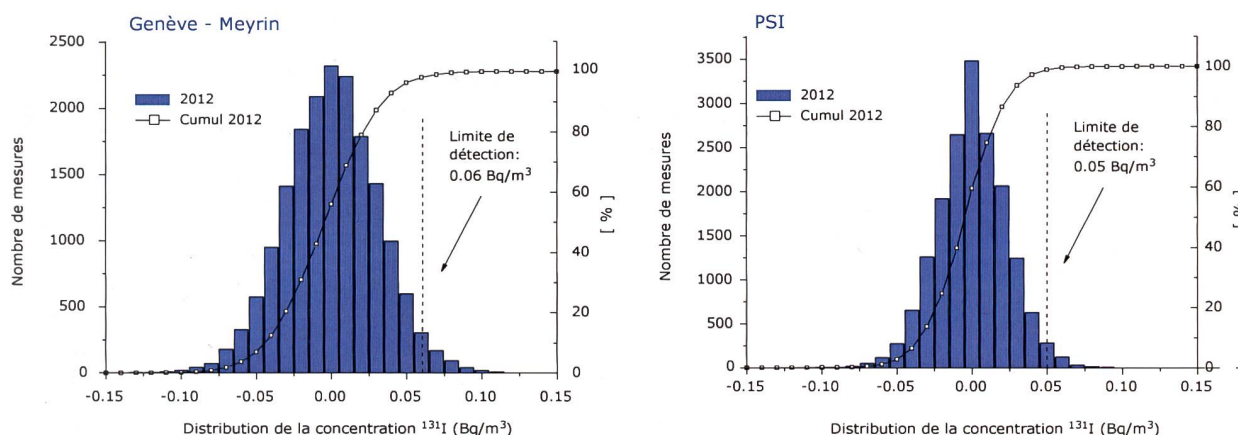


Figure 5:

Histogrammes de la concentration moyenne du ¹³¹I des stations de Genève et du PSI en 2012.

de Meyrin et du PSI. L'histogramme du moniteur de Genève est légèrement plus étalé que celui du PSI, car suite à une panne, le débit moyen était environ 15% plus bas que celui du PSI. Actuellement, les débits sont identiques, de l'ordre de 10 m³/h.

Les pannes:

Grâce à un entretien suivi, le taux de bon fonctionnement des moniteurs s'est situé en 2012 entre 80 et 95% suivant les stations pour les collecteurs d'aérosols et entre 95 à 99% pour les moniteurs d'iode pour lesquels les pannes mécaniques sont inexistantes. A noter que les périodes d'arrêt des moniteurs pour entretien sont également compris dans cette statistique. D'une manière générale, les pannes les plus courantes ont été, dans l'ordre de fréquence: le positionnement incorrect des filtres lors du changement de ces derniers, des pannes de climatisation des locaux, de communication et quelques courtes pannes de secteurs.

Précipitations

Mesure des émetteurs gamma

En 2012, des échantillons de pluie ont été collectés en continu aux environs des centrales nucléaires de Mühleberg, Leibstadt, Gösgen-Däniken et Beznau, au voisinage du PSI ainsi qu'à Posieux/FR, Güttingen/TG, Cadenazzo/TI, Cernier/NE et Davos/GR pour l'analyse mensuelle des émetteurs gamma.

A l'exception de traces sporadiques de ¹³⁷Cs (maximum de 1.4 ± 0.9 mBq/l enregistré à Cadenazzo), aucun émetteur gamma d'origine artificielle n'a été détecté dans les précipitations au cours de l'année 2012. Des valeurs comprises entre 0.1 et 4.0 Bq/l ont été mesurées pour le ⁷Be naturel.

Mesure du tritium

L'OFSP analyse depuis 2012 les concentrations en tritium dans les précipitations des stations de référence de Posieux/FR, Güttingen/TG et Cadenazzo/TI. Pour ces trois stations, les teneurs en tritium sont toujours restées inférieures à la limite de détection de 2 Bq/l, à l'exception de celle enregistrée en octobre dans l'échantillon de pluie de Cadenazzo où une concentration de 4.2 ± 0.5 Bq/l a été mesurée.

L'OFSP mesure également le ³H dans les précipitations du voisinage des centrales nucléaires de Mühleberg, Gösgen et Leibstadt. Le PSI analyse chaque mois les échantillons de pluie du voisinage du PSI, du ZWILAG ainsi que de la centrale nucléaire de Beznau. Les concentrations mensuelles de ³H enregistrées en 2012 dans les pluies du voisinage des centrales nucléaires de Mühleberg, de Gösgen et de Leibstadt sont restées proches de celles enregistrées dans les stations de référence situées hors influence de ces installations, avec des concentrations maximales de 2-3 Bq/l. A proximité de Beznau, du PSI et du ZWILAG, les concentrations sont généralement restées proches du seuil de détection de 1 à 2 Bq/l avec ponctuellement des valeurs légèrement plus élevées (valeur maximale de 38.5 Bq/l enregistrée au voisinage du PSI). Ces valeurs sont cependant très inférieures aux valeurs limites autorisées (voir Chapitre 8.5).

La surveillance des entreprises utilisatrices de tritium s'est poursuivie comme par le passé. Les concentrations de tritium mesurées en 2012 dans les échantillons de précipitations prélevés au voisinage de l'entreprise RC-Tritec à Teufen/AR sont comparables à celles de 2011, à l'exception d'une valeur plus élevée (1'300 Bq/l). Celles enregistrées près de l'entreprise mb-Microtec à Niederwangen/BE sont également restées stables. Avec une concentration de 1'860 Bq/l, c'est dans la station située au nord-est de l'entreprise (station «Firma Schär») qu'a été enregistrée la plus forte teneur en tritium dans un échantillon de précipitations au cours de l'année 2012. Cette valeur représente environ 17.5% de la valeur limite d'immissions fixée dans l'ordonnance sur la radioprotection (ORaP) pour les eaux accessibles au public. Les résultats des mesures du tritium dans les précipitations au voisinage des industries utilisatrices de tritium sont détaillés au Chapitre 9.3.

Notons encore que malgré la disparition totale des ateliers de posage spécialisés dans l'application de peintures luminescentes à base de tritium dans la région de La Chaux-de-Fonds depuis 2008, la surveillance du tritium dans les précipitations a été maintenue. Les résultats des mesures 2012 ont montré que toutes les concentrations en ³H sont restées inférieures à la limite de détection de 2 Bq/l dans ces échantillons.

Conclusions

Les résultats de la surveillance de la radioactivité dans l'air (aérosols) et les précipitations mise en oeuvre en 2012 par l'Office Fédéral de la Santé Publique ont montré que, dans ces compartiments environnementaux, la radioactivité d'origine naturelle domine nettement.

Le ^{137}Cs issu des essais nucléaires des années 50 et 60 ainsi que de l'accident de Tchernobyl est le seul radionucléide artificiel régulièrement détecté dans les aérosols. A ce dernier, s'ajoute des traces d' ^{24}Na et de ^{131}I ou d' ^{41}Ar sporadiquement mis en évidence au voisinage des centres de recherche (PSI, CERN). Dans les précipitations, on retrouve le ^{137}Cs ainsi que des concentrations plus élevées de tritium au voisinage des entreprises qui utilisent ce radionucléide pour la fabrication de sources lumineuses au gaz de tritium ou pour la production de marqueurs radioactifs au tritium pour la recherche.

Les concentrations en tritium dans les précipitations ont atteint au maximum 17.5% de la valeur limite d'immissions fixée dans l'ordonnance sur la radioprotection (ORaP). Dans l'air, les concentrations maximales enregistrées pour les radionucléides artificiels sont restées de plusieurs ordres de grandeur inférieures aux valeurs limites autorisées. La détection de si bas niveaux de radioactivité n'est possible que grâce à l'utilisation de techniques d'une grande sensibilité, dépassant le cadre strictement réglementaire. Toutefois, l'expérience a montré, notamment en 2011 suite à l'accident de Fukushima Dai-ichi, qu'il était indispensable de disposer d'un réseau d'une très grande sensibilité, permettant de mesurer les niveaux réels de radioactivité dans l'environnement afin de pouvoir informer de manière transparente la population et les instances publiques.

4.2 Überwachung der Radioaktivität der Luft mit Militärflugzeugen

M. Müller, S. Estier

Sektion Umweltradioaktivität, URA / BAG, 3003 BERN

Zusammenfassung

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

Vorgeschichte

In den 60er-Jahren wurden von den Grossmächten (USA, Grossbritannien, der damaligen UdSSR, später auch von Frankreich und China) zahlreiche Kernwaffenversuche (zuerst A-Bomben später auch H-Bomben) in der Atmosphäre durchgeführt. Diese führten zu einem deutlichen Anstieg der künstlichen Radioaktivität in Luft und Niederschlägen und als Folge davon auch in Boden, Pflanzen und Nahrungsmitteln. Die damalige KUER (Eidg. Kommission zur Überwachung der Radioaktivität) wurde bereits in den 50er-Jahren vom Bundesrat beauftragt, ein Überwachungsnetz für die Radioaktivität von Luft und Niederschlägen aufzubauen, um Behörden und Bevölkerung laufend über die Umweltradioaktivität und die daraus resultierenden Strahlendosen informieren zu können.

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

Im Ernstfall (d.h. bei einem Kernwaffeneinsatz oder einem schweren Kernkraftwerk-Unfall) müssen die Einsatzorgane rasch über allfällige Schutzmassnahmen für die Bevölkerung entscheiden können. Es ist deshalb notwendig, Zusammensetzung (Nuklidvektor), Ausmass und Lage einer solchen radioaktiven Wolke möglichst frühzeitig zu erfassen, bevor sich deren Radioaktivität auf Boden und Pflanzen ablagert. Dies führte dazu, dass in den 60er-Jahren in Zusammenarbeit der KUER mit den damaligen Flugzeugwerken Emmen Sammelgeräte entwickelt und im Windkanal kalibriert wurden, welche ermöglichten, mittels Militärflugzeugen Luftproben (Aerosole) aus 8'000 bis zu 12'000 m Höhe zu sammeln um hernach deren Radioaktivität im Labor mittels Gamma-Spektrometrie quantitativ und qualitativ zu analysieren. Ebenfalls ab Mitte der 60er-Jahre wurden am Physikinstitut der Universität Freiburg die ersten Ge(Li)-Detektoren in Betrieb genommen, die für solche Messungen vom Labor der KUER für die Analyse von Luftfiltern benutzt werden konnten.

Ab dem Jahr 2000 war ein Einsatz mit den Sammelgeräten der ersten Generation nicht mehr möglich, da die Tiger-Flugzeuge über eine andere Aufhängvorrichtung verfügen; zudem zeigte sich auch, dass die seit rund 30 Jahren eingesetzten Geräte

**Figur 1 & 2:**

Höhenluftfilter-Aggregate montiert an den beiden Flügeln eines Tigers sowie Detail-Aufnahme eines Sammelgerätes.

einer Überholung bedurften. Mit dieser Erneuerung und Anpassung sowie der erneuten Flugzulassung wurde RUAG Aerospace (die Nachfolgerin der Flugzeugwerke Emmen, die die Geräte damals gebaut hatte) beauftragt. Seit 2004 sind die Geräte wieder einsatzbereit und flugerprobt.

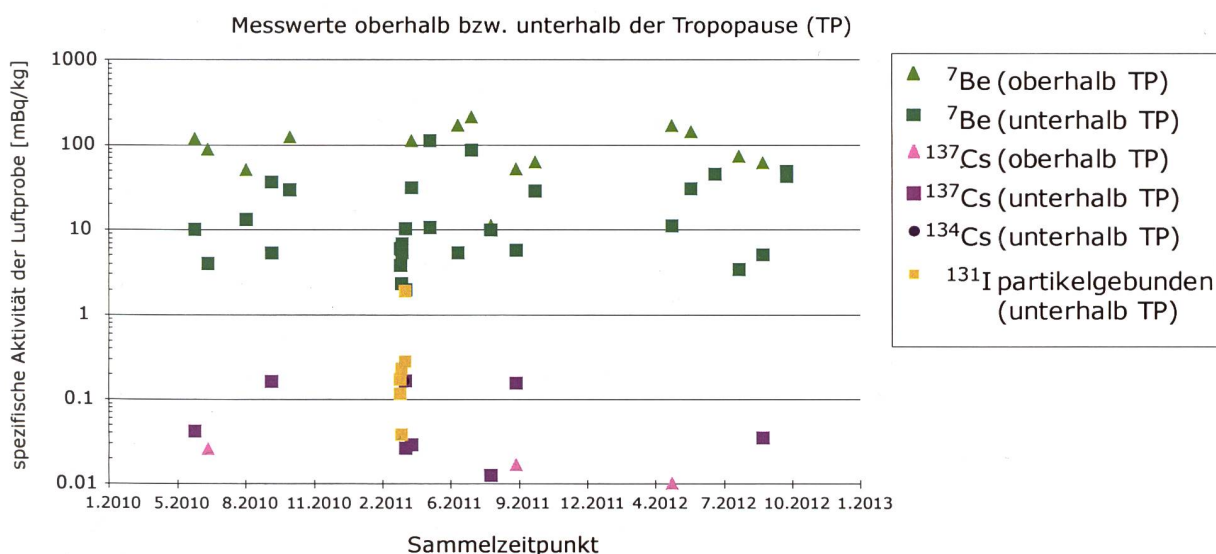
Sammlung der Proben

Die Probenahme der Aerosolpartikeln erfolgt mit Hilfe von Filters, welche in einem Sammelaggregat unter dem Flügel eines Tigers F-5F/E befestigt werden. Die Geräte können vom Piloten ferngesteuert geöffnet und geschlossen werden, was eine Probenahme unter vorgewählten Bedingungen (bzgl. Flughöhe, Flugroute, Dauer, Geschwindigkeit) ermöglicht. Die Geräte wurden im Windkanal kalib-

riert, sodass bei bekannter Flughöhe, Geschwindigkeit und Flugdauer die Anzahl gesammelter Kilogramm Luft ermittelt werden kann.

Die Flughöhe kann vom Auftraggeber gewählt werden, je nachdem, ob bei einem Ereignis die radioaktive Wolke bis in die Stratosphäre aufsteigt. Im Normalfall sind 6 Sammelflüge pro Jahr vorgesehen, wobei seit Anfangs 2010 Hin- und Rückflug abwechselungsweise über resp. unter der Tropopause erfolgen. Die Höhe der Tropopause wird täglich mit einem Ballonflug durch MeteoSchweiz in Payerne ermittelt.

Die Fluggeschwindigkeit beträgt normalerweise etwa 0.8 Mach. Bei einer durchschnittlichen Flugdauer von 20 bis 30 Minuten liegt die gesammelte Luftmenge somit zwischen 2'000 und 4'000 kg.

**Figur 3:**

^{7}Be -, ^{134}Cs -, ^{137}Cs - und partikelgebundene ^{131}I - Messwerte in mBq/kg Luft in den Jahren 2010-2012.

Als Filtermaterial wird ein Zellulosefilter (Sorte 0048, Art. Nr. 348987) von Whatman mit den Dimensionen 555 x 526 mm verwendet. Für die Messungen wird der Filter halbiert und eine Hälfte mit einer hydraulischen Presse mit 25 Tonnen zu einer Tablette von 63 mm Durchmesser und ca. 10 mm Dicke gepresst. Die andere Hälfte dient als Rückstellprobe sowie gegebenenfalls für weitere Analysen.

Messung der Proben

Die Messung erfolgt im Labor mittels hochauflösender Gammaspektrometrie, wo nach 1-2 Tagen Messzeit für ^{137}Cs eine Nachweisgrenze von 10 - 50 $\mu\text{Bq/kg}$ Luft erreicht wird. Anschliessend können an den Filtern weitere Untersuchungen, z.B. radiochemischer oder massenspektrometrischer Art durchgeführt werden.

Über die letzten drei Jahre liegt die durchschnittliche Konzentration (Medianwert) des kosmogenen Radionuklids ^7Be oberhalb der Tropopause bei 102 mBq/kg. Bei den Messungen 1km unterhalb der Tropopause liegt der Durchschnittswert bei 21 mBq/kg. Diese Werte sind in guter Übereinstimmung mit denjenigen von P. Winiger^{1,2,3,4}, die für ^7Be im Mittel 100 mBq/kg bzw. 20 mBq/kg 1000 m über bzw. unter der Tropopause ergaben.

Der grösste Teil der ^{137}Cs Werte lag im Jahr 2012 unter der Nachweisgrenze von 0.01 - 0.05 mBq/kg. In Figur 3 deutlich sichtbar sind die nach dem Reaktorunfall Fukushima (Japan) gemessenen ^{131}I Konzentrationen, welche jedoch infolge der Halbwertszeit von 8 Tagen schon kurze Zeit später nicht mehr messbar waren. Auch das Radionuklid ^{134}Cs konnte im Berichtsjahr nicht mehr nachgewiesen werden.

- 1 P. Winiger, O. Huber und J. Halter: Halbleitermessungen von Fallout. *Helv. Phys. Acta*, Vol. 41/5, pp. 645-649 (1968).
- 2 P. Winiger, O. Huber und J. Halter: Rechenmethoden zur Analyse von Halbleiterspektren. *Helv. Phys. Acta* Vol. 42/7-8, pp. 901-902, (1969).
- 3 P. Winiger, O. Huber und J. Halter: Rechenmethoden zur Analyse hochaufgelöster g-Spektren und ihre Anwendung auf Spaltfragmentgemische. *Helv. Phys. Acta*, Vol. 43/6, pp. 693-712 (1970).
- 4 P. Winiger, O. Huber, J. Halter und B. Michaud: Konzentrationsmessungen von ^7Be , ^{137}Cs und jungen Spaltfragmenten an der Tropopause. *Tellus* Vol. 28/5, 434-441.

4.3

Radioaktivität in aquatischen Systemen

J. Beer, A. Lück, S. Bollhalder

Eawag, Abteilung Surf/RT, 8600 Dübendorf

M. Zehringer

Kantonales Laboratorium Basel-Stadt, Postfach, 4012 Basel

Zusammenfassung

In den monatlichen Wasserproben von Aare und Rhein wurden hauptsächlich ^{58}Co , ^{60}Co und ^{54}Mn vom Kernkraftwerk Mühleberg, sowie ^{137}Cs nachgewiesen, das zum grössten Teil vom Tschernobylunfall und den Bombentests stammt. Infolge von Bauarbeiten im Hagneckkanal, bei denen vermutlich grössere Mengen an Sedimenten resuspendiert wurden, zeigen die Messungen im Wasser vereinzelt deutlich höhere Werte als auf Grund der Abgaben zu erwarten wäre. Als Folge der vor einigen Jahren reduzierten Abgaben von ^{58}Co und ^{60}Co durch das KKW Beznau lagen die Konzentrationen in den Wasserproben von Klingnau und Pratteln häufig unter der Nachweisgrenze. Punktuelle Messungen von Schwebstoffen im Rhein bei Weil zeigen die kurzlebigen Radionuklide ^{131}I und ^{177}Lu , welche in der Nuklearmedizin eingesetzt werden. In Fischen waren keine künstlichen Radionuklide nachweisbar. In Wasserpflanzen wurde ^{40}K sowie ^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn und ^{137}Cs gefunden, die vermutlich auf Sedimentverunreinigungen zurückzuführen sind. Messungen im Grundwasser der Pumpstationen Aarberg, Döttingen und Pratteln ergaben keine Hinweise auf infiltrierte künstliche Radionuklide. Im Abwasser der ARA Werdhölzli in Zürich konnten keine Spuren künstlicher Radionuklide gefunden werden.

Überwachung der Abgaben der Kernanlagen

Ziele

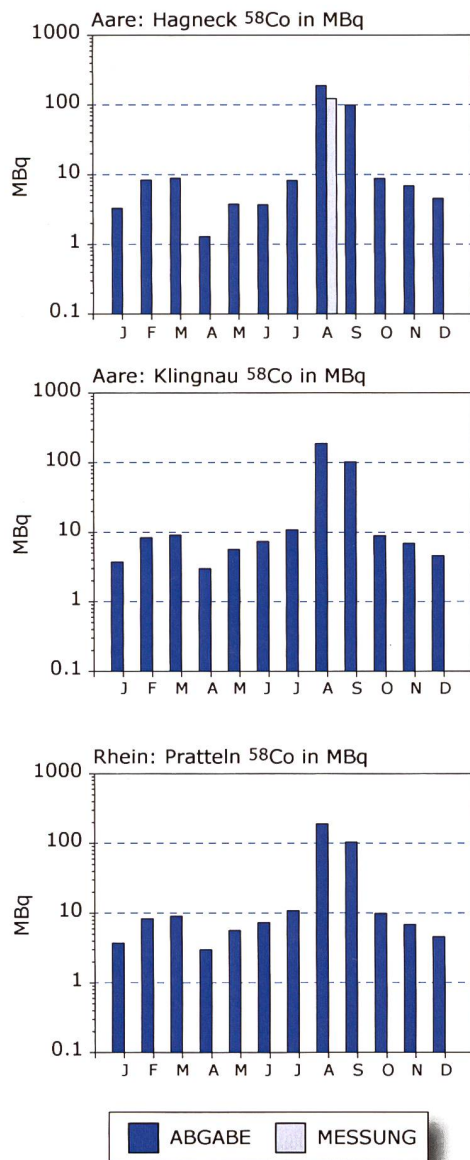
Die meisten künstlichen Radionuklide gelangen direkt über das Abwasser oder indirekt über den Niederschlag in den Wasserkreislauf. Das Ziel der kontinuierlichen Überwachung der Radioaktivität in aquatischen Systemen besteht vor allem darin, frühzeitig Änderungen in den Abgaben der entsprechenden Betriebe zu erkennen und die Gesamtkonaktivität, welche die Schweiz verlässt, zu bilanzieren.

Methoden

Die Aktivitäten aller an der Eawag gemessenen Radionuklide werden mittels Gammaskpektrometrie bestimmt. Sedimente, Fisch- und Pflanzenproben werden gefriergetrocknet und die Aktivität auf das Trockengewicht bezogen. In den grossvolumigen monatlichen Sammelproben von Hagneck, Klingnau und Pratteln werden die Radionuklide zuerst durch eine Eisenhydroxidfällung aufkonzentriert, getrocknet und anschliessend gemessen. Entsprechend dem jeweiligen Abfluss werden pro Tag automatisch zwischen 20 und 40 Proben genommen, was über einen Monat eine Gesamtprobe zwischen 50 und 200 Liter ergibt. Die mittleren Abflussmengen der drei Stationen waren 2012 bei Hagneck ca. $180 \text{ m}^3/\text{s}$, bei Klingnau ca. $610 \text{ m}^3/\text{s}$ und bei Pratteln ca. $1'200 \text{ m}^3/\text{s}$, was im Durchschnitt einer Zunahme von rund 50% gegenüber dem Vorjahr ent-

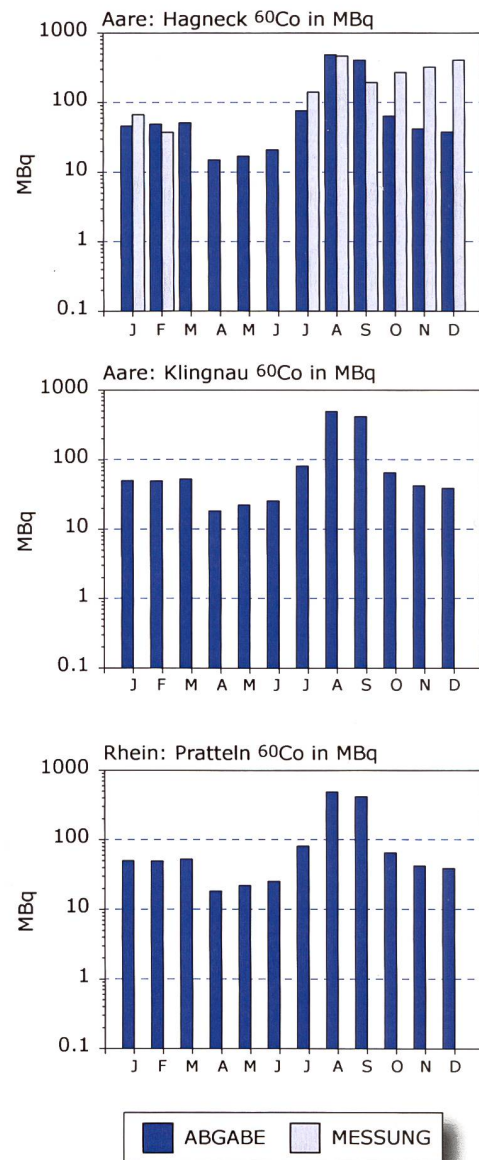
spricht. Die Nachweisgrenzen für ^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn und ^{137}Cs liegen je nach Wasserführung des Flusses bei 50 - 500 MBq in Hagneck, bei 200 - 700 MBq in Klingnau und bei 500 - 1'500 MBq in Pratteln. Die Rheinproben von Diepoldsau und Rekingen werden direkt gemessen. Dasselbe gilt für die Wasserproben aus Rhone und Ticino, die von der Sektion Umweltradioaktivität (URA) betreffend Gammaaktivität überwacht werden. Die Bestimmung der Tritiumaktivität wird durch die Sektion URA. Das Kantonale Labor Basel Stadt misst täglich Tritium in Proben

der Rheinüberwachungsstation Weil. Zusätzlich werden an einigen Tagen pro Monat Schwebstoffe aus dem Rhein gesammelt und gemessen. Bei den Probenahmestellen Hagneck, Klingnau und Pratteln sammelt die Eawag mit Hilfe von Sedimentfallen monatliche Schwebstoffproben. Infolge eines Umbaus des Wasserkraftwerks Hagneck ist die Schwebstoffkonzentration im Wasser zeitweise stark erhöht und nicht mehr immer repräsentativ für die entsprechenden Abgaben.



Figur 1:

^{58}Co -Aktivitäten im Wasser an den drei Probenahmestationen Hagneck, Klingnau und Pratteln. Die blauen Balken zeigen die totalen Abgaben der flussaufwärts liegenden Kernkraftwerke, welche vor allem während der Revisionen in den Sommermonaten erfolgen. Sie sind so gering, dass sie im Flusswasser nur noch ausnahmsweise nachgewiesen werden konnten. ^{58}Co stammt zu 95% von Mühleberg.



Figur 2:

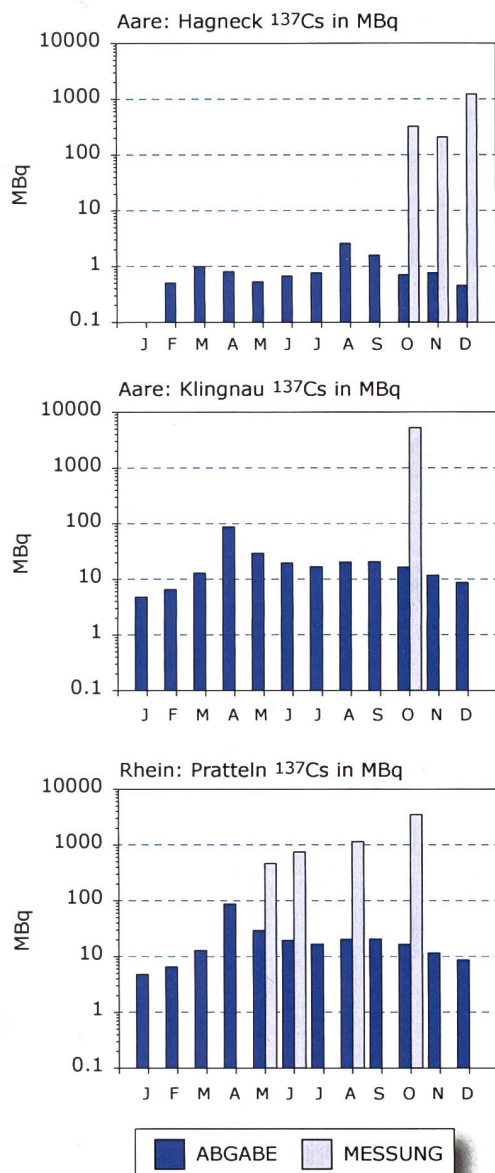
^{60}Co -Aktivitäten im Wasser an den drei Probenahmestationen Hagneck, Klingnau und Pratteln. Die Abgaben stammen vor allem von Mühleberg und können dementsprechend auch nur an der Messtelle Hagneck nachgewiesen werden. Die grössten Abgaben erfolgten im August und September während der Revision des KKW's Mühleberg. Die Messungen bei Hagneck stimmen generell gut mit den Abgaben von Mühleberg überein. Während der letzten 3 Monate übersteigen die Messungen die Abgaben jedoch zum Teil deutlich, was auf die erwähnten Bauarbeiten im Hagneckkanal zurückzuführen ist. Bei den folgenden Probenahmestellen liegen alle Messwerte unter der Nachweisgrenze.

Wasserproben

Die Abgaben der Kernkraftwerke werden mittels abflussproportionalen monatlichen Wasserproben an drei Standorten entlang von Aare und Rhein überwacht. Die Station Hagneck liegt unterhalb des Kernkraftwerks Mühleberg am Einfluss der Aare in den Bielersee, die Station Klingnau überwacht die Abgaben von Mühleberg, Beznau und Gösgen und die Station Pratteln schliesslich umfasst zusätzlich noch die Abgaben von Leibstadt in den Rhein. Die Figuren 1 bis 4 zeigen jeweils für die drei erwähn-

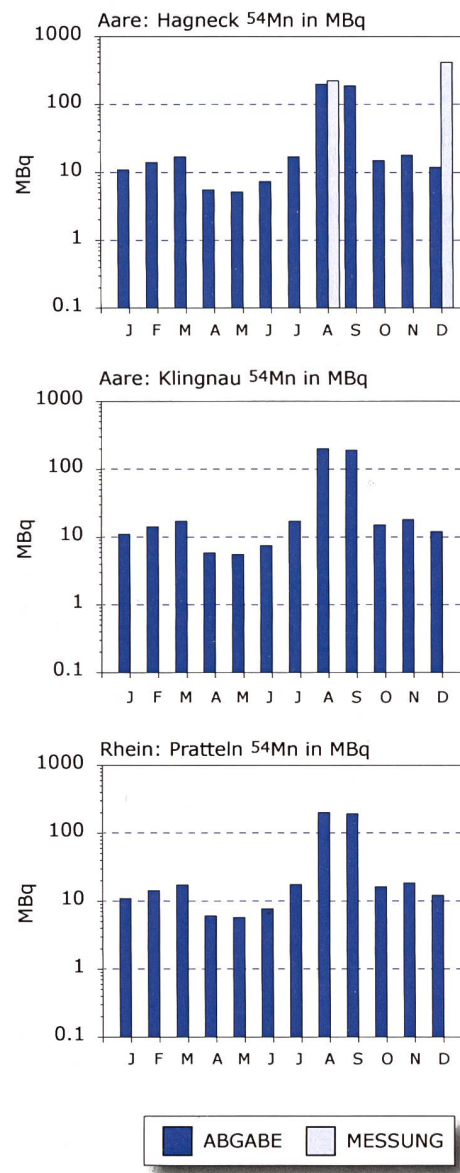
ten Probenahmestationen die total von den flussaufwärts liegenden Kernkraftwerken abgegebenen Aktivitäten von ^{58}Co , ^{60}Co , ^{137}Cs und ^{54}Mn zusammen mit den aufgrund der Messungen ermittelten Gesamtaktivitäten (gemessene spezifische Aktivität x mittlerer monatlicher Abfluss x Dauer der Sammelperiode).

^{58}Co , ^{60}Co und ^{54}Mn stammen zu mehr als 90% aus dem Kernkraftwerk Mühleberg. Die grössten Abgaben erfolgten im August und September während



Figur 3:

^{137}Cs -Aktivitäten im Wasser an den drei Probenahmestationen Hagneck, Klingnau und Pratteln. Der Vergleich der Messwerte mit den Abgaben zeigt, dass ^{137}Cs zum grössten Teil vom Tschernobylunfall und den Bombentests und nicht aus den Kernkraftwerken stammt.



Figur 4:

^{54}Mn -Aktivitäten im Wasser an den drei Probenahmestationen Hagneck, Klingnau und Pratteln. Die Abgaben stammen vor allem von Mühleberg mit stark erhöhten Werten während der Revision im Herbst. Während der Messwert vom August gut mit der Abgabe übereinstimmt, übertrifft der Messwert vom Dezember die Abgabe deutlich, ähnlich wie dies auch bei ^{60}Co beobachtet worden ist. Bei den Stationen Klingnau und Pratteln liegen die ^{54}Mn Aktivitäten unter der Nachweisgrenze.

der Revision. Bis und mit September stimmen die Abgaben gut mit den Messungen bei Hagneck überein. Während der letzten 3 Monate jedoch übersteigen die Messungen die Abgaben deutlich. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass durch Bauarbeiten im Hagneckkanal Sediment resuspendiert wurde. Da sich die chemisch reaktiven Radionuklide zum Teil an Partikel anlagern und im Bielersee und den Flüssen Aare und Rhein sedimentieren, sowie als Folge von Verdünnung durch Zuflüsse, liegen die Messwerte bei Klingnau und Pratteln meist unter der Nachweisgrenze.

Wie bereits in früheren Jahren liegen auch dieses Jahr die ^{137}Cs Messungen über den Abgaben (Fig. 3). Dieses Phänomen ist auf die Remobilisierung von ^{137}Cs vom Tschernobyl-Unfall und den Bombentests zurückzuführen und überwiegt die Abgaben deutlich.

Ausser den in den Figuren dargestellten Radionukliden wurden keine weiteren gammaaktive künstliche Radionuklide nachgewiesen, wohl aber natürliche wie ^7Be , ^{40}K und ^{210}Pb .

Beim Tritium zeigten die Wasserproben aus der Aare oberhalb des Kernkraftwerkes Mühleberg tiefe

Aktivitäten von 2 Bq/L ^3H oder weniger. Die Tritiumaktivitäten in den Monatsproben von der Aare bei Brugg/AG und vom Rhein bei Weil, unterhalb Basel, sind ebenfalls unter 2 Bq/L geblieben mit Ausnahme der Monate April bis Juni. In dieser Zeit gab das Kernkraftwerk Gösgen, wie jedes Jahr, Tritiumhaltiges Wasser ab, was zu leicht erhöhten Tritiumkonzentrationen im Flusswasser führte (siehe Figur 12 sowie Kapitel 8.5).

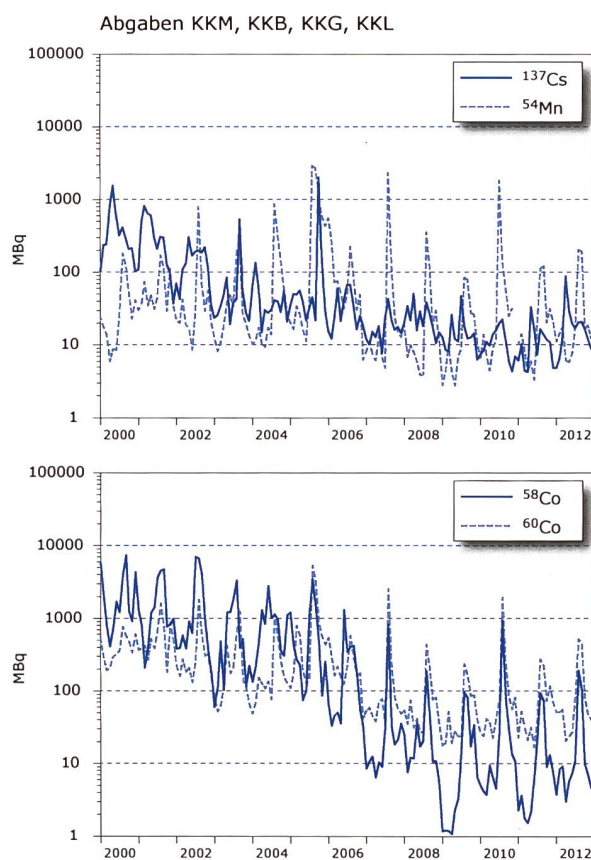
Jahresgesamtbilanz Pratteln ^{58}Co und ^{60}Co

Während in früheren Jahren aufgrund der abflussproportionalen Wasserproben eine Bilanzierung der monatlichen und jährlichen Aktivitäten gemacht werden konnte, liegen in den letzten Jahren die Messwerte immer häufiger unterhalb der Nachweisgrenze, obwohl die monatlichen Probenmengen bis zu 200 Liter betragen. Ausgehend von einer Nachweisgrenze von 50 mBq und den Abgaben und Abflusswerten für das Jahr 2012 zeigt Tabelle 1, welche Probenmengen in Kubikmetern Wasser für die einzelnen Messstationen mindestens benötigt werden unter der Annahme, dass die Abgaben gleichmässig über das ganze Jahr erfolgen und keine Verluste infolge Sedimentation entstehen. Berücksichtigt man aber, dass 70 - 80% der Abgaben in den Monaten August und September erfolgt sind und der Abfluss in 2012 vergleichsweise hoch war, so sollte mit den Werten in Tabelle 1 immer noch eine sinnvolle Bilanzierung möglich sein für ^{58}Co , ^{60}Co und ^{54}Mn . ^{137}Cs ist wegen des Tschernobylbeitrages sowieso nicht bilanzierbar. Allerdings ist es logistisch nicht möglich, jeden Monat mehr als zweihundert Liter Wasser pro Station einzusammeln und an die Eawag zu transportieren. Gemeinsam mit Rheinüberwachungsstation Weil am Rhein/AUEBS arbeitet die Eawag deshalb an der Entwicklung eines neuen Probenahmesystems, das es erlauben wird, Partikel, Schwebstoffe und gelöste Substanzen an den Probenahmestationen aus mindestens 1'000 Litern abzutrennen.

Tabelle 1:

Abschätzung der minimal benötigten Probenmengen für die drei Probenahmestationen in m³, um die verschiedenen Radionuklide nachweisen zu können. Als Grundlage wurde eine Nachweisgrenze von 50 mBq und die gesamten Abgabe- und Abflusswerte für das Jahr 2012 verwendet.

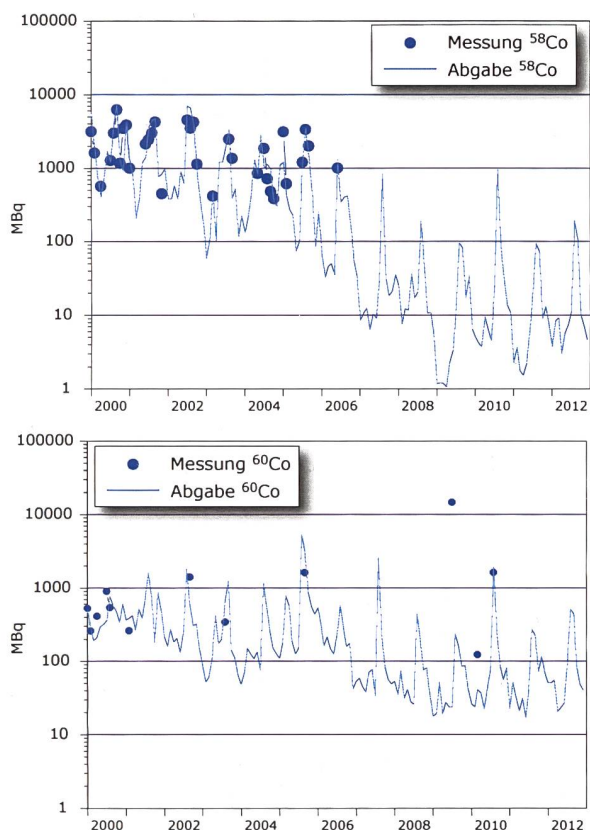
	Hagneck (m ³)	Klingnau (m ³)	Pratteln (m ³)
^{60}Co	0.2	0.7	1.4
^{58}Co	0.8	2.7	5.3
^{54}Mn	0.5	1.9	3.6
^{65}Zn	5.0	17.0	33.0
^{137}Cs	28.0	4.0	7.8
^{134}Cs	280.0	100.0	190.0



Figur 5: Monatliche Abgaben von ^{137}Cs und ^{54}Mn (oben) und ^{60}Co und ^{58}Co (unten) aller KKW's seit dem Jahr 2000.

Jahresgesamtbilanzen aller KKW's

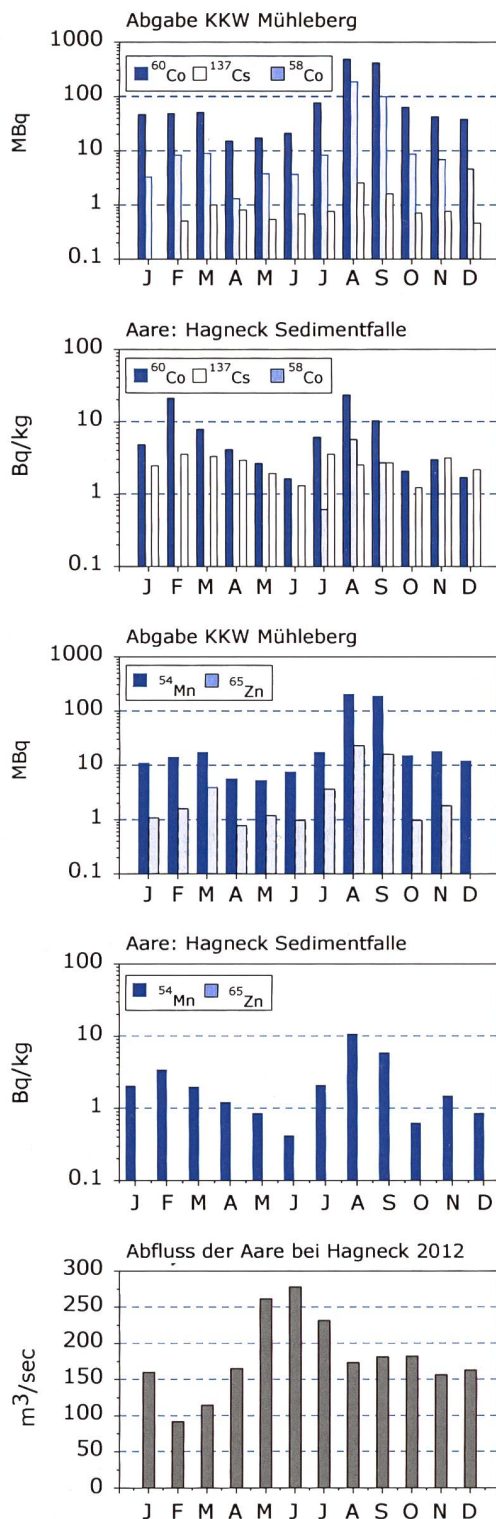
Figur 5 zeigt die gesamten monatlichen Abgaben aller KKW's seit dem Jahr 2000. Als Folge der Revisionen sind die Abgaben jeweils im Sommer am höchsten. Generell ist eine deutliche Abnahme zu beobachten, vor allem zwischen 2006 und 2007, die sich in den letzten Jahren stabilisiert hat. In Figur 6 sind die Abgaben der Co-Isotope zusammen mit den im Flusswasser gemessenen Werten dargestellt. Die wesentlich tieferen Abgaben der letzten Jahre vor allem bei ^{58}Co haben dazu geführt, dass die Messwerte meistens unterhalb der Nachweisgrenze liegen.



Figur 6: Monatliche Abgaben und Messungen von ^{58}Co und ^{60}Co während der letzten 13 Jahre. Es ist klar ersichtlich, dass die Abgaben vor allem im Sommer während der Revisionen erfolgen und über die Jahre deutlich abgenommen haben.

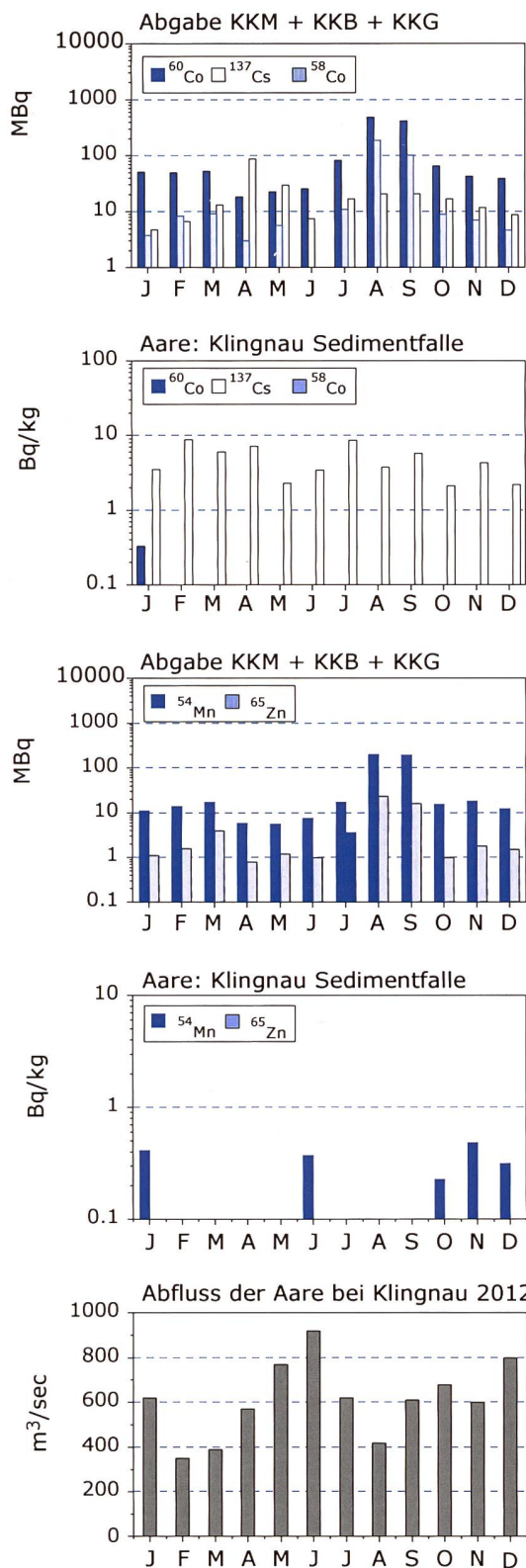
Sedimentproben

Da die meisten der von den Kernkraftwerken abgegebenen Radionuklide partikelreaktiv sind, wird ein Teil je nach den Flieseigenschaften von Aare und Rhein mehr oder weniger schnell sedimentiert und teilweise später wieder resuspendiert. Radionuklide, die sich an Liganden anlagern, sedimentieren dagegen nicht. Eine wichtige Senke für Radionuklide vom KKW Mühleberg stellt der Bielersee dar.

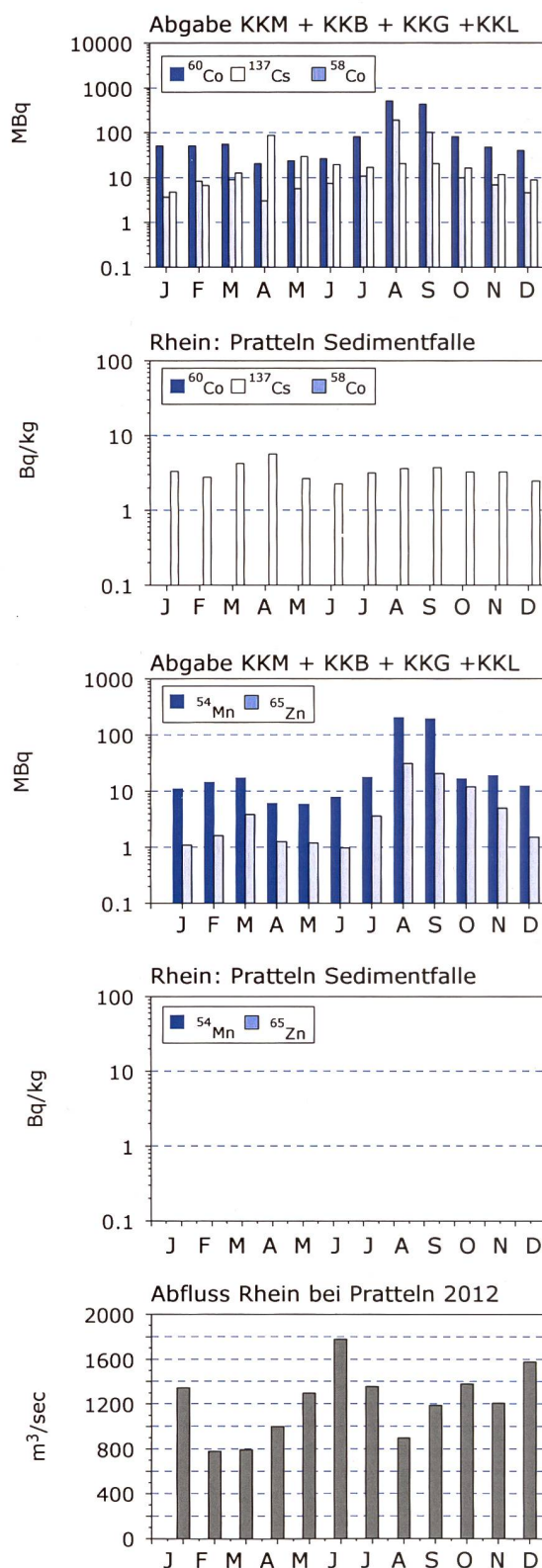


Figur 7:

In den ersten 4 Teilfiguren sind abwechselungsweise die Abgaben des Kernkraftwerks Mühleberg und anschließend die entsprechenden gemessenen Aktivitäten in den Sedimentfallenproben von Hagneck dargestellt. Die 5. Teilfigur zeigt die mittleren monatlichen Abflussmengen der Aare bei Hagneck. Abgaben und gemessene Konzentrationen zeigen mit Ausnahme von ^{137}Cs einen ähnlichen Verlauf mit hohen Werten im August und September.



Figur 8: Die Sedimentfallenproben von Klingnau zeigen vor allem ^{137}Cs , das nur zu einem geringen Teil aus den flussaufwärts liegenden Kernkraftwerken stammt. Vereinzelt sind noch Spuren von ^{60}Co und ^{54}Mn nachweisbar.



Figur 9: Die Sedimentfallen von Pratteln zeigen nur noch ^{137}Cs . ^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn und ^{65}Zn liegen unter der Nachweisgrenze (Tabelle 1).

Dies gilt vor allem für die kalte Winterzeit, wenn sich der See mischt. Im Sommer führt die Dichtestratifikation dazu, dass das Aarewasser ziemlich direkt durch den See fliesst und deshalb die Sedimentation wesentlich geringer ist. Um sich trotz dieser relativ komplexen Prozesse mindestens ein qualitatives Bild über die Sedimentationsvorgänge machen zu können, werden an den drei Probenahmestellen in relativ ruhigem Wasser Sedimentfallen ausgesetzt, in denen sich die Partikel jeweils über einen Monat ablagern. Die in den Sedimentfallen gemessenen spezifischen Aktivitäten sind in den Figuren 7 bis 9 dargestellt, wobei abwechselungsweise in den Teilfiguren die Abgaben in MBq und die entsprechenden gemessenen spezifischen Aktivitäten in Bq/kg gezeigt werden. In der letzten Teilfigur sind die jeweiligen Abflüsse in m³/s dargestellt. Wie bereits erwähnt, erfolgten die grössten Abgaben während der Revisionen im August und September. Dies zeigt sich auch in den Sedimentfallendaten, wobei als Folge des grösseren Abstandes von Mühleberg in Klingnau und Pratteln die Konzentrationen deutlich geringer sind und teilweise unter der Nachweisgrenze liegen. Bis auf ¹³⁷Cs, das auch aus der Umgebung stammt, und ⁶⁵Zn, das als Folge der geringen Abgaben nicht messbar war, zeigen die Messungen von Hagneck (Figur 7) generell den aufgrund der Abgaben erwarteten Verlauf. Nach dem Durchfliessen des Bielersees und des Klingnauer Staubeckens konnten nur noch relativ geringe spezifische Aktivitäten von ⁶⁰Co und ⁵⁴Mn und kein ⁶⁵Zn gemessen werden (Fig. 8). Keine Übereinstimmung zwischen Messungen und Abgaben findet man bei ¹³⁷Cs. Wie bereits erwähnt, lässt sich dieses Phänomen auf die Erosion von Böden zurückführen, die mit dem Tschernobyl und den Bombentests-Ausfall kontaminiert worden waren. Auch in Pratteln (Figur 8) war ¹³⁷Cs trotz der vergleichsweise geringen Abgaben immer gut messbar. ⁶⁰Co, ⁵⁸Co, ⁵⁴Mn und ⁶⁵Zn waren nicht mehr nachweisbar.

Fische und Wasserpflanzen

Im Jahr 2012 wurden an 4 Stellen Fische aus der Aare untersucht. Ein Alet aus der alten Aare unterhalb des Kernkraftwerks Mühleberg, ein Alet aus der Restwasserstrecke der Aare unterhalb des KKW Gösgen, ein Alet aus dem Klingnauer Stausee unterhalb von Beznau, sowie eine Brachse bei der Fischtreppe in Birsfelden. Alle Fische wurden zuerst filetiert und anschliessend gefriergetrocknet. Bei allen Fischen wurde natürliches ⁴⁰K (~ 500 Bq/kg) gefunden. Künstliche Radionuklide konnten keine nachgewiesen werden.

Da im Jahr 2011 mehrfach ¹³¹I in Wasserpflanzen festgestellt worden war, wurden in diesem Jahr regelmässig Wasserpflanzen gesammelt. In den 11

Proben lagen die ¹³¹I Konzentrationen durchwegs unter der Nachweisgrenze von typischerweise 3 - 8 Bq/kg. Dafür wurden in einzelnen Monaten (z.B. September) unerwartet hohe Konzentrationen von ⁵⁴Mn (250 Bq/kg), ⁵⁸Co (160 Bq/kg), ⁶⁰Co (500 Bq/kg) und ⁴⁰K (1'300 Bq/kg) gemessen, was vermutlich auf einen erhöhten Sedimentanteil infolge der Bauarbeiten zurückzuführen ist.

Grundwasser

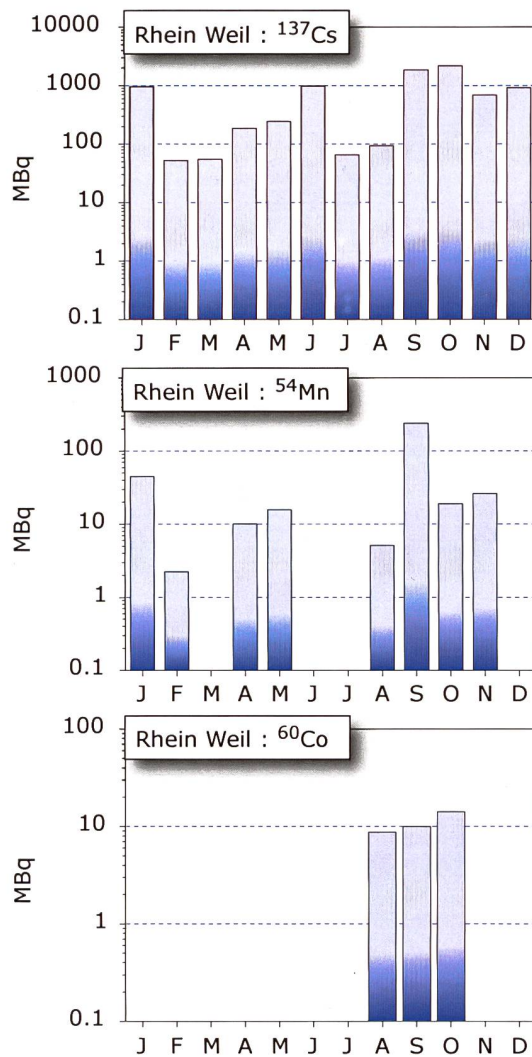
In den Grundwasserproben von Aarberg (6.9.2012), Döttingen (8.11.2012) und Pratteln (12.7.2012) (je 100 Liter) konnten keine künstliche Radionuklide nachgewiesen werden. Die Werte liegen unter den Nachweisgrenzen von typischerweise 0.4 Bq pro 1'000 Liter.

Schwebstoffproben und Tritium im Rhein bei Weil

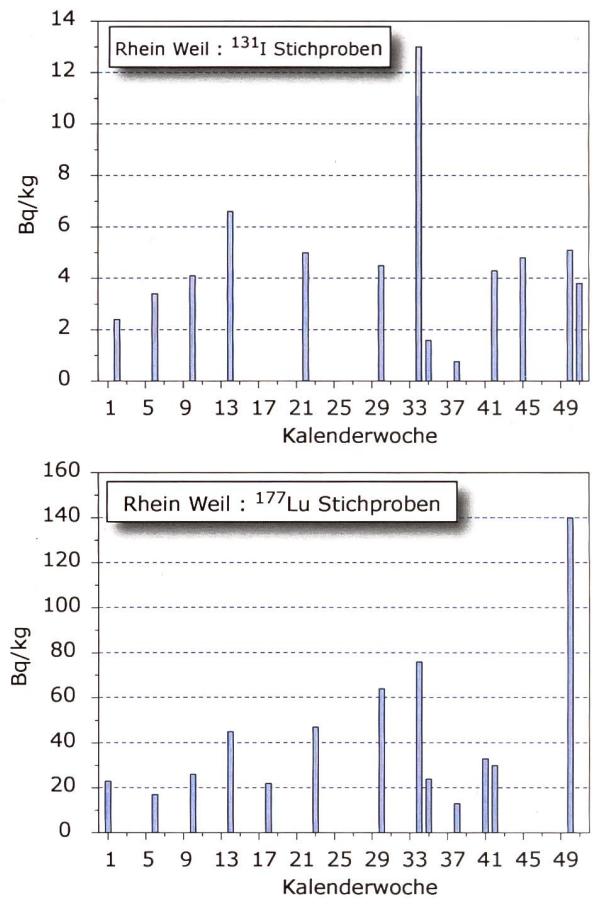
Das Amt für Umweltschutz Basel-Stadt zieht monatlich Schwebstoffproben im Rhein bei Basel (internationale Rheinüberwachungsstation Weil a. R.). Während 0.3 bis 4 Tagen wird Rheinwasser aus der Rheinquerprofilmischung zentrifugiert.

Die gewonnenen Schwebstoffe werden gefriergetrocknet und gemahlen. Zur Berechnung der Monatsfrachten werden die aus den Aktivitäten ermittelten Tagesfrachten mit dem mittleren Monatsabfluss in Monatsfrachten umgerechnet. Dabei ist zu beachten, dass diese Hochrechnung mit einer grossen Unsicherheit behaftet ist, da sie auf der Annahme beruht, dass die 0.3 - 4 Tagesproben repräsentativ für den ganzen Monat sind und die Abgaben der Kernkraftwerke kontinuierlich erfolgen, was nicht der Fall ist. Zur Frachtberechnung werden die Tagesabflussdaten der Messstelle Rheinhalle bei Basel verwendet. Der Vergleich der Messwerte (Figur 10) mit den Abgaben (siehe Figuren 8 und 9) zeigt, dass ¹³⁷Cs primär noch vom Tschernobylunfall und den Bombentests und nicht aus den Kernkraftwerken stammt. Die berechneten ⁵⁴Mn Frachten stimmen recht gut mit den Abgaben (Figur 7) überein, während ⁶⁰Co nur noch selten nachgewiesen werden kann und generell tiefere Werte zeigt.

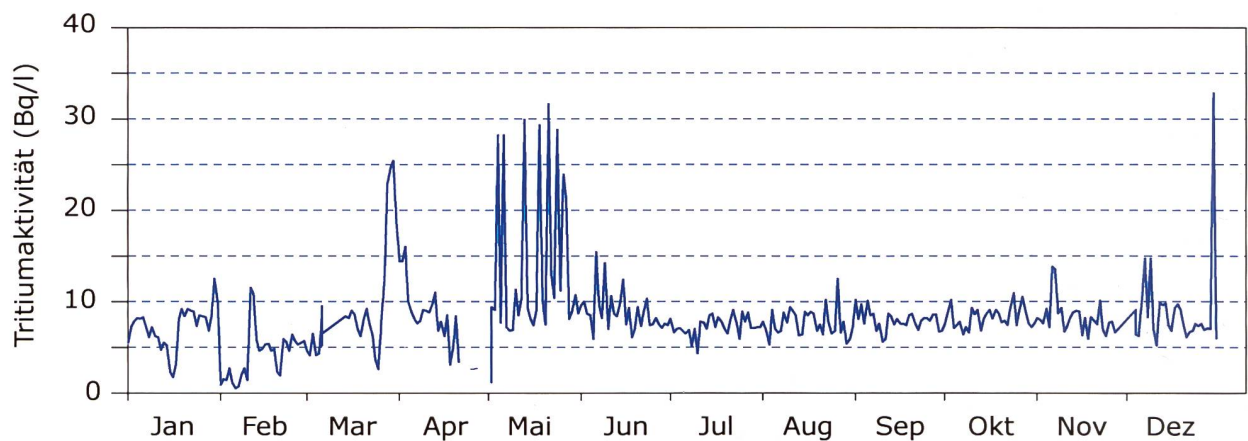
Zusätzlich zu den relativ langlebigen Radionukliden aus den Kernkraftwerken, konnten bei den Stichprobenhaften Messungen bei Weil auch die kurzlebigen Radionuklide ¹³¹I (Halbwertszeit: 8 Tage) und ¹⁷⁷Lu (Halbwertszeit: 6.7 Tage) nachgewiesen werden (Fig. 11). Diese werden in der Nuklearmedizin zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken eingesetzt.



Figur 10:
 ^{60}Co , ^{54}Mn und ^{137}Cs Aktivitäten in Schwebstoffen im Rhein bei der internationalen Rheinüberwachungsstation Weil a. Rhein unterhalb von Basel.



Figur 11:
Spezifische Aktivitäten von ^{131}I und ^{177}Lu in Schwebstoffen, welche in der Nuklearmedizin eingesetzt werden. Wegen der unregelmässigen Abgaben und der kurzen Halbwertszeit von ca. 1 Woche wurden diese Messwerte nicht auf Monatswerte hoch gerechnet. Wochen ohne Werte bedeuten, dass die Messung unter der Nachweisgrenze lag.



Figur 12:
Tritiummessungen bei der Rheinüberwachungsstation Weil am Rhein.

Die täglichen Tritium-Messungen des Kantonslabors Basel sind in Figur 12 dargestellt und zeigen deutlich höhere Werte im Mai als Folge der Abgaben des Kernkraftwerkes Gösgen (siehe auch Kapitel 8.6).

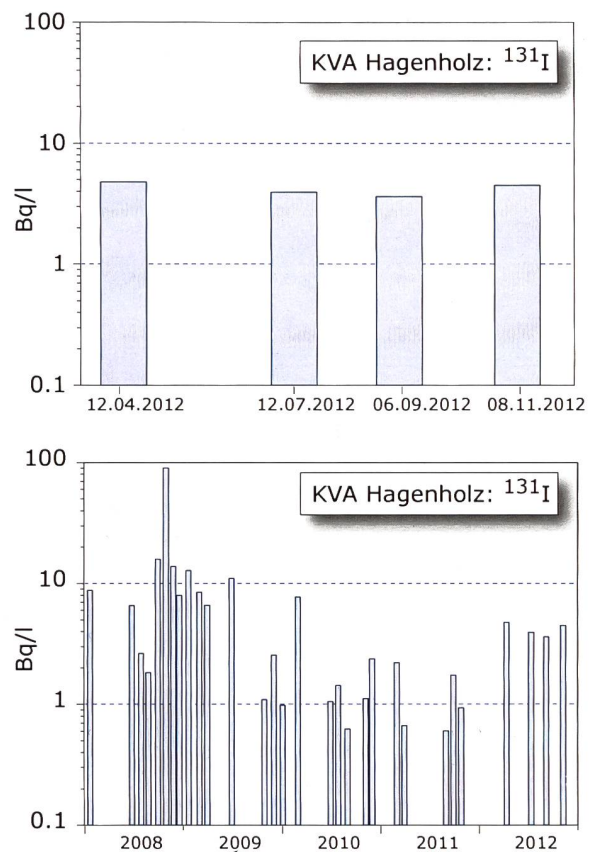
Allgemeine Überwachung

An den zwei Probenahmestationen Diepoldsau und Rekingen am Rhein wurden wöchentliche (Diepoldsau) und zweiwöchentliche (Rekingen) Proben gesammelt. Aus diesen wurden anschliessend vierwöchentliche Mischproben hergestellt und gemessen. Ausser vereinzelt geringen ^{40}K Aktivitäten konnten keine gammaaktiven Radionuklide nachgewiesen werden.

Wasserproben aus dem Ticino (bei Contone) und aus der Rhone (bei Porte-du-Scex/VS sowie bei Chancy/GE) werden monatlich am BAG untersucht. Ausser Spuren von ^{137}Cs , das aus alten Ablagerungen stammt konnten keine künstlichen Gammastrahler nachgewiesen werden. Als höchster Wert wurde $2.8 \pm 0.8 \text{ mBq/L}$ in der Rhone bei Chancy gemessen. Die monatlichen Messungen von Tritium im Ticino und in der Rhone ergaben durchwegs Aktivitäten von weniger als 2 Bq/L .

Kehrichtverbrennung

Kehrichtverbrennungsanlagen stellen eine potentielle Quelle von Radionukliden aus Spitälern und Industriebetrieben dar. Deshalb wird monatlich eine Stichprobe aus der Rauchgaswaschanlage der KVA Hagenholz in Zürich genommen. 2012 wurden vier mal geringe Spuren von ^{131}I (ca. 5 Bq/L) gefunden (Figur 13), was gegenüber den Vorjahren einer leichten Zunahme entspricht (Figur 14).



Figur 13 - 14:

^{131}I Konzentrationen im Wasser der Rauchgaswaschanlage der Kehrichtverbrennungsanlage Hagenholz in Zürich 2012 und der letzten 5 Jahre

4.4

Radioactivité du sol et de l'herbe

P. Froidevaux, M. Straub, J.A. Corcho Alvarado, F. Barraud, K. Garcia-Diz et F. Bochud
Institut de Radiophysique, Grand Pré 1, 1007 Lausanne

S. Estier, P. Steinmann, A. Gurtner
Radioactivité de l'environnement, URA / OFSP, 3003 BERN

M. Zehringer
Laboratoire Cantonal de Bâle, Kannenfeldstr. 2 CH-4012 Basel.

B. Balsiger, S. Rölli, R. Holzer, H. Sahli, M. Astner, M. Burger
Labor Spiez, Bundesamt für Bevölkerungsschutz des VBS, 3700 Spiez

Résumé

Nous avons prélevé des échantillons de sol (0-5 cm) et d'herbe sur différents sites en Suisse, notamment aux abords des centrales nucléaires. Dans certains cas, des mesures de spectrométrie in-situ ont également été réalisées. Les résultats montrent que le niveau d'activité artificielle dans le sol et l'herbe est resté faible et comparable à celui des années précédentes. Les activités des radioéléments habituellement observés dans les échantillons de sol comme conséquence des essais d'armes atomiques réalisés en atmosphère dans les années soixante sont au maximum de quelques Bq/kg pour le plutonium, l'américium et le ^{90}Sr . Le niveau d'activité en ^{137}Cs est plus variable et dépend de la contribution de l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl et peut atteindre au Tessin, région particulièrement touchée par les retombées de l'accident, jusqu'à 350 Bq/kg (env. 30 Bq/kg au maximum sur le plateau suisse). Les activités en ^{90}Sr sont restées très similaires à celles observées les années précédentes et sont supérieures en altitude et au Tessin que sur le reste de la Suisse. Ces variations dans les sols se reflètent au niveau des herbes, avec des activités en ^{90}Sr supérieures dans les herbes de montagne (jusqu'à 19 Bq/kg MS) et du Tessin (^{137}Cs jusqu'à 25 Bq/kg MS).

Introduction

Le plan de prélèvement d'échantillons de sol et d'herbe de l'OFSP en vue de mesures de radioactivité a pour but la surveillance des centrales nucléaires suisses ainsi que l'analyse de sites de référence, hors impact des rejets potentiels des centrales. Le suivi de l'impact de l'accident de Tchernobyl, notamment au Tessin, constitue également un but de ces mesures. La couche de sol analysée est celle de 0-5 cm de profondeur, car elle contient l'essentiel de la zone racinaire, appelée la rhizosphère, pour la plupart des espèces de plantes constituant l'herbe à brouter. L'herbe analysée est prélevée en général directement sur la surface de sol prélevé, ce qui permet l'établissement de facteurs de transfert sol-herbe. Ceux-ci sont fortement dépendants des espèces de plantes constituant l'herbe mais également de certains paramètres du sol, notamment sa capacité d'échange cationique (Guillaume et al. 2012). Certains sites font partie du plan de prélèvement depuis plus de 40 ans et l'analyse des données obtenues durant ces années permet la détermination du temps de résidence de la radioactivité dans les compartiments du sol et de l'herbe. Ce temps de résidence définit l'atteinte à l'environnement et à l'homme suite à un dépôt de radioactivité sur le long terme. Actuellement en Suisse, ce dépôt est constitué des retombées radioactives globales des essais atmosphériques d'armes atomiques (e.g. ^{90}Sr , ^{137}Cs , Pu, Am) ainsi que du dépôt provenant de l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl (surtout ^{137}Cs).

Dans ce travail, nous avons déterminé l'activité des émetteurs gamma (e.g. ^{137}Cs) et du ^{90}Sr dans des échantillons de sol et d'herbe prélevés aux abords des centrales nucléaires suisses et sur certains sites de référence. Le but est de comparer les valeurs obtenues sur les sites des centrales avec celles obtenues sur les sites de référence ainsi que de comparer les valeurs obtenues avec celles des années précédentes.

Résultats et discussion

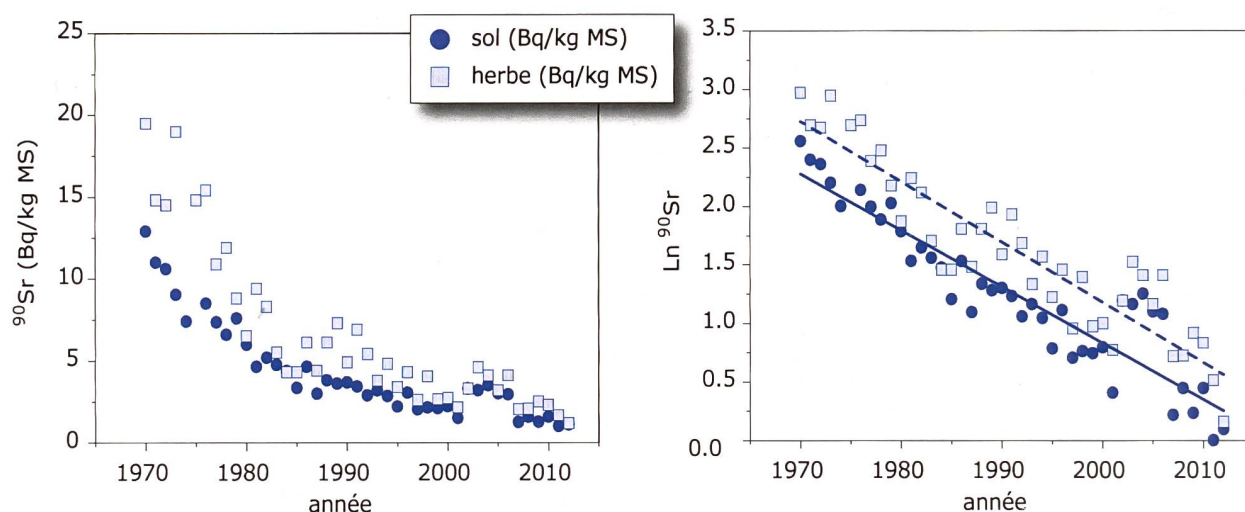
Les résultats des mesures de radioactivité dans le sol sont présentés dans le Tableau 1. Les activités en émetteurs gamma sont dominées par le ^{40}K , avec des activités situées entre 210 et 840 Bq/kg. Les activités en émetteurs gamma artificiels proviennent uniquement du ^{137}Cs dont les valeurs varient entre 4 et 350 Bq/kg. Les sites de

Tableau 1:

Activité en ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr , Pu et Am dans des sols (0-5 cm) prélevés en Suisse en 2012 (Bq/kg matière sèche, < 2mm).

Canton / Lieu	n	^{40}K	^{60}Co	^{134}Cs	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am
AG (voisinage KKB)	2	438 – 644	< 0.8	< 0.6	13.6 – 28.0	0.92 ± 0.12	0.169 ± 0.020	0.074 ± 0.008
AG (KKB in-situ)	2	270 – 330			9.3 – 8.9			
AG (PSI)	1	417 ± 44	< 0.5	< 0.4	19.1 ± 2.0	0.95 ± 0.13	0.268 ± 0.020	0.111 ± 0.010
AG (PSI in-situ)	1	280 ± 30			11.0 ± 1.3			
AG (ZWILAG)	1	443 ± 49	< 0.9	< 0.7	13.0 ± 15	0.53 ± 0.10	0.159 ± 0.014	0.080 ± 0.008
AG (ZWILAG in-situ)	1	290 ± 31			8.1 ± 1.0			
AG (voisinage KKL)	4	388 – 515	< 0.6	< 0.4	11.8 – 20.3	1.20 ± 0.23	0.216 ± 0.014	0.088 ± 0.010
AG (KKL in-situ)	4	210 – 310			5.9 – 10.2			
AG/SO (voisinage KKG)	4	409 – 499	< 0.9	< 0.7	9.2 – 17.8	0.95 ± 0.20	0.099 ± 0.008	0.042 ± 0.006
AG/SO (KKG in-situ)	4	250 – 330			4.9 – 10.3			
BE (voisinage KKM)	4	447 – 838	< 0.9	< 0.6	6.5 – 17.3	0.79 ± 0.16	0.034 ± 0.004	0.012 ± 0.002
BE (KKM in-situ)	4	280 – 550			5.3 – 11.1			
BE (Mürren) ¹⁾	1	496 ± 21	< 0.3	< 0.4	41.9 ± 1.0	4.79 ± 0.23 5.60 ± 0.39	0.541 ± 0.026	0.213 ± 0.020
BE (Gimmelwald) ²⁾	1	251 ± 11	< 0.2	< 0.3	15.2 ± 0.9	3.91 ± 0.24 4.21 ± 0.38	0.146 ± 0.012	0.052 ± 0.004
BE (Fahrni) ³⁾	1	463 ± 26	< 0.2	< 0.3	16.2 ± 0.9	2.11 ± 0.28 2.64 ± 0.42	0.108 ± 0.030	0.039 ± 0.004
BE (Diesse / Jura)	1	409 ± 17	< 0.3	< 0.4	15.8 ± 0.9	1.20 ± 0.15 1.18 ± 0.08	0.263 ± 0.016	0.126 ± 0.010
BL (Sissach)	1	660 ± 25	< 0.2	< 0.2	21.0 ± 0.9	7.10 ± 0.70		
FR (Posieux)	1	572 ± 60	< 0.5	< 0.5	11.1 ± 1.2	1.71 ± 0.21	0.051 ± 0.006	0.018 ± 0.004
FR (Posieux in-situ)	1	310 ± 32			4.3 ± 0.7			
GE (voisinage CERN)	5	431 – 459	< 1.0		4.3 – 10.9	1.02 ± 0.23	0.057 ± 0.006	0.021 ± 0.004
GE (CERN in-situ)	6	350 – 380	< 0.7		3.6 – 7.2			
TG (Arenenberg)	1	430 ± 14	< 0.7	< 0.9	43 ± 2.0	0.62 ± 0.18		
TG (Güttingen)	1	426 ± 45	< 0.6	< 0.5	10.1 ± 1.4	0.75 ± 0.15	0.106 ± 0.012	0.043 ± 0.0060
TG (Güttingen in-situ)	1	240 ± 26			9.5 ± 1.1			
TI (Rasa-Intragna)	1	720 ± 23	< 0.3	< 0.3	35.0 ± 3.5	3.60 ± 0.7		
TI (Prato-Leventina)	1	450 ± 15	< 0.3	< 0.3	40.0 ± 1.7	14.0 ± 3.0		
TI (Novaggio)	1	640 ± 25	< 0.3	< 0.3	64.0 ± 2.4	23.0 ± 4.0		
TI (Stabio)	1	606 ± 63	< 0.6	< 0.6	346 ± 35			
TI (Stabio in-situ)	1	480 ± 50			170 ± 17			
TI (Cadenazzo)	1	770 ± 80	< 0.7	< 0.6	93.3 ± 9.6	1.78 ± 0.17	0.069 ± 0.006	0.011 ± 0.002
TI (Cadenazzo in-situ)	1	500 ± 51			58.0 ± 6.0			
TI (Caslano)	1	708 ± 75	< 0.7	< 0.5	28.7 ± 3.0			
TI (Caslano in situ)	1	500 ± 52			29.0 ± 3.1			

n = nombre d'échantillons; ¹⁾ Alpage (Alp Allmendhubel); ²⁾ Vallée; ³⁾ en plaine.

**Figure 1:**

Moyennes des activités de ^{90}Sr mesurées dans des échantillons ($n \sim 10$) de sol et d'herbe prélevées entre 1970 et 2012 sur le plateau suisse (gauche) et détermination du temps (an) de résidence du ^{90}Sr dans ces mêmes échantillons (droite).

prélèvement du Tessin, significativement plus contaminés lors de l'accident de Tchernobyl en 1986, ont les valeurs d'activité les plus élevées (jusqu'à 350 Bq/kg). Les sites d'altitude près de Thoune ont des activités intermédiaires (16-42 Bq/kg) alors que les sites de plaine, notamment près des centrales nucléaires ont les activités les plus faibles (4-28 Bq/kg). Le site d'Arenenberg, en Suisse orientale, est le site de plaine le plus contaminé en ^{137}Cs (43 Bq/kg) ; en effet cette région a subi de fortes précipitations lors de l'accident de Tchernobyl. Les sites aux abords des centrales nucléaires sont bien représentés dans les prélèvements et ne montrent pas de marquage supplémentaire en ^{137}Cs dû aux rejets. La mesure de ^{90}Sr dans les sédiments (Tableau 2), prélevés en aval des centrales, confirme l'absence de marquage (< 0.6 Bq/kg, $n=3$). Les activités en ^{90}Sr de ces sédiments sont comparables à celles des sédiments prélevés dans la Broye, hors impact des centrales nucléaires suisses (< 0.7 Bq/kg, $n=3$).

Tableau 2:

Activité en ^{90}Sr dans les sédiments prélevés en Suisse en 2012 (Bq/kg matière sèche, $< 2\text{mm}$).

Lieu	^{90}Sr (Bq/kg MS)
Lucens 80m rejet	0.25 ± 0.15
Lucens 10m rejet	0.67 ± 0.13
Lucens 30m rejet amont	0.30 ± 0.08
Pratteln	0.41 ± 0.16
Klingnau	0.59 ± 0.15
Hagneck	0.46 ± 0.10

L'analyse des activités en ^{90}Sr mesurées dans les sols du plateau suisse durant ces 40 dernières années montre que l'activité en ^{90}Sr dans les sols n'a cessé de décroître depuis l'adoption du traité d'interdiction des essais nucléaires en atmosphère en 1963 (Figure 1). Le temps de résidence du ^{90}Sr dans la couche 0-5 cm du sol, estimé à partir de ces données, est de 14 ans. Il est de 13.5 ans dans l'herbe. Le temps de résidence représente le temps nécessaire pour que la moitié de l'activité en ^{90}Sr disparaisse du compartiment environnemental représenté par le sol ou l'herbe. Il est très similaire dans le lait et les vertèbres humaines (Froidevaux et al. 2010), ce qui montre bien le lien existant entre le compartiment «sol» qui est le réservoir de ^{90}Sr déposé lors des retombées globales des essais nucléaires, et les autres compartiments, mesurés également annuellement, que sont l'herbe, le lait et les vertèbres humaines.

Les résultats des mesures de radioactivité dans l'herbe sont présentés dans le Tableau 3. Comme pour le sol, les prélèvements sont réalisés pour comparer les mesures aux abords des centrales à celles de sites de référence. Nous pouvons faire les mêmes constatations que les années précédentes, soit que les activités en ^{137}Cs et ^{90}Sr de l'herbe sont très basses en plaine et près des centrales nucléaires pour les deux radioéléments anthropogénique mesurables au-dessus de la limite de détection et qu'elles augmentent avec l'altitude des sites de prélèvement, avec des activités jusqu'à 19 Bq/kg de ^{90}Sr dans l'herbe de l'alpage de Mürren. Les herbes du Tessin, dont certains sites sont également situés en altitude, présentent les activités les

Tableau 3:

⁷Be, ⁴⁰K, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr dans des échantillons d'herbe prélevés en Suisse en 2012 (Bq/kg de matière sèche). Pour les échantillons uniques, la valeur et l'incertitude sont indiquées ($a \pm b$). Si plusieurs échantillons ont été mesurés la gamme des valeurs est donnée ($a - b$).

Canton/Lieu	n	⁷ Be	⁴⁰ K	⁶⁰ Co	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
AG (voisinage KKB)	4	90 - 575	600 - 1960	< 1.8	< 1.3	< 1.4 - 1.5 ± 0.9	0.72 - 1.06
AG (ZWILAG)	2	220 - 510	1060 - 1330	< 1.3	< 1.2	0.8 - 0.9	1.04 ± 0.12
AG (PSI OASE)	2	150 - 490	775 - 900	< 1.7	< 1.2	< 1.3 - 3.7 ± 1.0	1.40 ± 0.12
AG (voisinage KKL)	8	85 - 765	545 - 955	< 2.1	< 1.7	< 1.1 - 3.3 ± 0.8	0.84 - 1.2
AG/SO (voisinage KKG)	8	75 - 760	730 - 1060	< 1.2	< 1.0	< 0.8 - 1.7 ± 0.6	0.90 - 1.78
BE (voisinage KKM)	8	90 - 500	825 - 1380	< 1.7	< 1.2	< 1.1 - 0.8 ± 0.5	0.81 - 1.38
BE (Mürren) ¹⁾	1	443 ± 6	408 ± 23	< 0.2	< 0.2	3.41 ± 0.2	19.2 ± 1.30
BE (Gimmelwald) ²⁾	1	135 ± 6	855 ± 48	< 0.3	< 0.3	0.26 ± 0.04	3.56 ± 0.25
BE (Fahrni) ³⁾	2	85 - 339	707 - 960	< 0.3	< 0.3	< 0.3 ± 0.29 ± 15.5	2.48 - 3.75
BE (Diesse/Jura)	2	147 - 328	860 - 1430	< 0.3	< 0.3	< 0.4	0.35 - 0.82
BL (Sissach)	1	160 ± 6.0	870 ± 24		< 0.2	< 0.3	3.8 ± 0.40
GE (Voisinage CERN)	3	380 - 550	565 - 1230	< 1.7	< 1.6	< 1.2 - 1.2 ± 0.5	1.59 ± 0.23
FR (Posieux)	2	< 30 - 430	1320 - 3970	< 2.7	< 2.4	< 2.3	2.15 ± 0.22
TG (Arenenberg)	1	81 ± 12	915 ± 29	< 2	< 2	< 2.0	0.42 ± 0.06
TG (Güttingen)	2	320 - 500	1150 - 1600	< 1.4	< 1.3	< 1.3 - 0.8 ± 0.6	1.23 ± 0.30
TI (Rasa-Intragna)	1	345 ± 14	410 ± 34	< 0.4	< 0.3	24.8 ± 1.1	18.3 ± 3.7
TI (Prato - Leventina)	1	444 ± 22	700 ± 29	< 0.5	< 0.4	3.0 ± 0.5	14.0 ± 2.8
TI (Novaggio)	1	500 ± 21	600 ± 26	< 0.4	< 0.3	2.9 ± 0.4	22.0 ± 4.4
TI (Cadenazzo)	2	415 - 660	990 - 1270	< 3.0	< 2.6	1.4 - 2.6	1.02 - 1.84
TI (Stabio)	1	303 ± 34	1060 ± 116	< 1.4	< 1.2	4.2 - 1.0	
TI (Caslano)	1	415 ± 45	1107 ± 123	< 1.9	< 1.7	< 1.7	

n = nombre d'échantillons; ¹⁾ Alpage (Alp Allmendhubel); ²⁾ Vallée; ³⁾ en plaine.

Conclusions

plus élevées en ¹³⁷Cs (jusqu'à 25 Bq/kg) et parfois aussi en ⁹⁰Sr (jusqu'à 22 Bq/kg). Comme dans le sol, l'activité en ⁹⁰Sr dans l'herbe a constamment diminuée depuis l'adoption du traité d'interdiction des essais nucléaires atmosphériques (Figure 1).

Les mesures de ⁹⁰Sr et de ¹³⁷Cs dans les sols et les herbes en Suisse en 2012 présentent des activités similaires aux années précédentes. Aucune augmentation d'activité n'a été constatée, ni aux abords des centrales nucléaires, ni dans les sites de référence. Les sites de montagne et certains sites du Tessin présentent des activités en ⁹⁰Sr et en ¹³⁷Cs supérieures à celles mesurées sur les sites de plaine, centrales nucléaires comprises. L'analyse des séries temporelle durant ces quarante dernières années nous permet de conclure que la radioactivité artificielle n'a cessé de décroître depuis 1965, et ceci avec une période d'environ 13 ans pour le ⁹⁰Sr dans le sol et l'herbe. L'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl est par contre encore responsable d'un marquage assez important en ¹³⁷Cs dans des échantillons de sol et d'herbe de certains sites de prélèvement du Tessin.

Références

Guillaume, T., Chawla, F., Steinmann, P., Gobat, JM., Froidevaux, P. Plant Soil, 355, 29-39, 2012.

Froidevaux, P., Haldimann, M., Bochud, F. Chemosphere 80, 519-524, 2010.

4.5

Deponien, Altlasten und Tunnelausbruchmaterial

P. Steinmann

Sektion Umweltradioaktivität URA, BAG, 3003 BERN

Messprogramm

Eine Gefährdung von Grund- und Trinkwasser durch Auswaschungen von Radioaktivität aus Deponien und Altlasten – speziell durch die früher in der Uhrenindustrie verwendeten Radionuklide Tritium und Radium – ist im Allgemeinen als gering einzuschätzen (siehe auch Jahresbericht 2008, Kapitel 4.6). Änderungen der hydrologischen Verhältnisse, z.B. im Zusammenhang mit Sanierungen, können aber eine Neubeurteilung nötig machen. Aus diesem Grund werden Deponiesickerwässer und Proben aus der Reinigung von Deponiewässern (Klärschlamm, gereinigtes Abwasser) stichprobenartig auf Tritium und Radium untersucht.

Eine weitere mögliche anthropogene Quelle für den Eintrag von Radionukliden ins Grundwasser ist Ausbruchmaterial von Tunnelbauten, falls dieses erhöhte Konzentrationen von natürlicher Radioaktivität aufweist. Auch hier führt das BAG stichprobenartig Messungen durch.

Im Probenahmeplan und in der Envira Datenbank laufen diese Proben unter der Kennung EMI-DEPON (sowie TW-QUELL für die Quellen).

Ergebnisse 2012

Gegenwärtig sind zwei aufwändige Deponiesanierungsprojekte im Gange: die Sondermülldeponie Kölliken (www.smdk.ch) und die Deponie Bonfol (www.bci-info.ch). Bei beiden Deponien wurden im Berichtsjahr Stichproben von Sickerwasser, geklärtem Abwasser aus der Deponie sowie Klärschlamm auf Tritium und Ra-226 untersucht. Die Resultate der Messungen 2012 geben keinen Hinweis auf das Vorhandensein von problematischen Tritium- oder Radium-haltigen Abfällen (Tabelle 1).

Weitere Messungen wurden an Sickerwasser- und einigen weiteren Wasserproben der Deponie „Stadtmist“ in Solothurn durchgeführt. Die im Sickerwasser gemessenen Tritiumkonzentrationen zwischen <5 und maximal 466 Bq/l (Mittelwert 70 Bq/l) zeigen, dass in der Deponie Tritium-haltige Abfälle lagern (Tabelle 1). Die Höhe der gemessenen Konzentrationen ist für Sickerwasser bei Altlasten in der Schweiz nicht überraschend und liegt deutlich unterhalb des Immissionsgrenzwertes von 10'000 Bq/l. Bei 3 gemessenen Proben von Oberflächenwasser bzw. Grundwasserabstrom lagen die Tritiumkonzentration bei maximal 15 Bq/l, während Ra-226 nicht nachgewiesen werden konnte.

Bei der Grossbaustelle Nant de Drance (www.nant-de-drance.ch) entsteht im Inneren des Berges ein neues Pumpspeicherkraftwerk. Das Gestein in welches die Stollen und Kavernen gebaut werden zeichnet sich stellenweise durch erhöhte Urangehalte aus. Aus diesem Grund werden im Umkreis der Baustelle vom Bauherr Quell- und Trinkwasser auf Uran, Radium-226 und Radon-222 untersucht. Das BAG kennt die entsprechenden Berichte und hat 2012 zudem selber einige Vergleichsmessungen vorgenommen. Die bisherigen Messwerte zeigen keinen Einfluss der Bautätigkeit auf die

Wasserbeschaffenheit auf. Daneben misst das BAG Stichproben von Schlamm vom Ausbruchmaterial mit Gammaskpektrometrie. Wie erwartet sind die Urankonzentrationen erhöht (Tabelle 1). Die 2012 gemessenen Maximalwerte (0.12 Bq/g) liegen aber unterhalb der in den „Basic safety standards“ der EU (BSS-EU) genannten „Freigrenze“ für natürliche Radioisotope von 1 Bq/g. Die Schlämme sind nicht als Baustoffe für den Siedlungsbau vorgesehen und wären dazu auch nur bedingt geeignet, denn der berechnete Baustoff-Index (gemäss BSS-EU) liegt teilweise nahe am tolerierten Höchstwert von 1.

Tabelle 1:

Ergebnisse der gemessenen Stichproben bei Deponien und Tunnelbauten

Proben			Messergebnisse	
Datum	Art	Anzahl	Isotop	Werte
Deponie Bonfol				
31.7.2012	Sickerwasser	3	$^{226}\text{Ra}^a$	< 4 mBq/l
		3	$^3\text{H}^b$	< 5 Bq/l
	gereinigtes Abwasser	1	$^{226}\text{Ra}^a$	< 4 mBq/l
		1	$^3\text{H}^b$	20 Bq/l
	Lixiviat (Schlammwasser in der Deponie)	1	$^{226}\text{Ra}^c$	< 6 Bq/l
smdk Kölliken				
25.9.2012 18.12.2012	Fortwasser SWABA	2	$^3\text{H}^b$	< 5 Bq/l
		2	$^{226}\text{Ra}^a$	< 4 mBq/l
	Rohsickerwasser	2	$^3\text{H}^b$	< 5 Bq/l
		1	$^{226}\text{Ra}^a$	< 4 mBq/l
	Klärschlamm (frisch)	2	$^{226}\text{Ra}^c$	9 - 10 Bq/kg
Deponie «Stadtmist» Solothurn				
4.5.2012 30.8.2012	Sickerwasser	25	$^3\text{H}^b$	< 5 - 466 Bq/l
	Oberflächenwasser	2	$^3\text{H}^b$	< 10 Bq/l
	Grundwasserabstrom	2	$^3\text{H}^b$	< 10 - 15 Bq/l
		1	$^{226}\text{Ra}^a$	< 4 mBq/l
Nant de Drance				
12.6.2012 22.3.2012 22.11.2012	Schlamm aus Tunnelausbruch (gepresst)	8	$^{238}\text{U}^c$	36 - 121 Bq/kg
		8	$^{226}\text{Ra}^c$	49 - 97 Bq/kg
		8	$^{232}\text{Th}^c$	34 - 75 Bq/kg
	Sickerwasser Deponie Ausbruchmaterial	3	$^{226}\text{Ra}^a$	< 4 - 5 mBq/l
		3	$^{238}\text{U}^a$	120-150 mBq/l
	Quellen Umgebung	5	$^{226}\text{Ra}^a$	< 4 mBq/l
		5	$^{222}\text{Rn}^b$	42 - 125 Bq/l
		4	$^{238}\text{U}^a$	10 - 122 mBq/l

^{a)} Messung mit Alphaspektrometrie

^{b)} Messung mit Flüssigszintillation

^{c)} Messung mit Gammaskpektrometrie

