

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: - (2009)

Rubrik: Umwelt = Environnement

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 26.04.2025

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

Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz

Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse

Ergebnisse 2009
Résultats 2009



4

Umwelt Environnement

4.1 Radioactivité de l'air, des précipitations, des rivières et des eaux de rejet des stations d'épuration et d'incinération des déchets	54
Résumé	54
Air	54
RADAIR Réseau automatique de surveillance de l'air	55
Précipitations	58
Rivières	59
Station d'épuration (STEP) et eaux de lavage des fumées des usines d'incinération	60
4.2 Überwachung der Radioaktivität der Luft mit Militärflugzeugen	61
Zusammenfassung	61
Vorgeschichte	61
Sammlung und Messung der Proben	62
4.3 Radioaktivität in aquatischen Systemen	64
Zusammenfassung	64
Ziele	64
Methoden	64
Kernanlagen	65
Andere Betriebe	70
4.4 Radioactivité du sol et de l'herbe	73
Résumé	73
Introduction	73
Résultats et discussion	74
Conclusions	74
4.5 Quell- und Grundwasser sowie Sickerwasser aus Deponien	77
Zusammenfassung	77
Messungen von Radioisotopen im Grundwasser bei Muttenz	77



4.1

Radioactivité de l'air, des précipitations, des rivières et des eaux de rejet des stations d'épuration et d'incinération des déchets

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

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

Résumé

Les résultats des mesures de la radioactivité dans l'environnement obtenus en 2009 n'ont mis en évidence aucune valeur susceptible de représenter un danger pour la santé de la population. Seules des traces de radioactivité artificielle ont été détectées dans l'air, les précipitations ou les rivières, à l'exception du tritium, observé en plus grande quantité dans les pluies au voisinage des entreprises utilisatrices de tritium ainsi que dans les eaux de lavage des fumées des usines d'incinération.

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). Le deuxième, d'une très grande sensibilité, est constitué de collecteurs d'aérosols à haut débit (env. 500 m³/h) situés à Oberschrot/FR, Monte-Ceneri/TI, Güttingen/TG, au CERN/GE et à Klingnau/AG. 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 minutes. Cependant la limite de 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 minutes. 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:

<http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00045/02372/02378/index.html?lang=fr>

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 2009, comme pour les années précédentes, les résultats des mesures montrent que les radio-éléments d'origine naturelle ^7Be et ^{210}Pb prédominent. Des valeurs comprises entre 1.2 et 8.6 et entre 0.1 et 2.4 mBq/m³ ont été enregistrées respectivement pour ces deux isotopes. Des traces de ^{22}Na , également d'origine naturelle, ont été détectées dans les 5 stations (valeurs comprises entre 0.1 et 1.4 µBq/m³). Le ^{137}Cs , 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. Les activités mesurées pour cet isotope sont toutefois très faibles (Exemple de Klingnau/AG: valeur médiane 0.5 µBq/m³, maximum 2.4 µBq/m³).

Des traces de ^{24}Na et de ^{131}I ont été sporadiquement détectées dans les filtres aérosols du CERN (valeurs comprises entre 9 et 18 µBq/m³ et entre 0.6 et 1.8 µBq/m³ respectivement). Ces radioisotopes, d'une demi-vie de 15h pour le ^{24}Na et de 8 jours pour le ^{131}I , sont produits dans les accéléra-

teurs de particules du centre de recherche. Notons que ces concentrations sont nettement inférieures aux limites d'immissions stipulées dans l'ORaP (100 Bq/m³ pour le ^{24}Na , et 2.7 Bq/m³ pour le ^{131}I) et ne présentent aucun danger du point de vue radiologique.

Voisinage des centrales nucléaires

(voir aussi Chap. 8.5)

Les filtres aérosols des environs des centrales nucléaires de Mühleberg, Gösgen, Beznau (mesures PSI) et Leibstadt n'ont pas présenté de radioactivité artificielle mesurable durant l'année 2009, à l'exception de traces de ^{137}Cs (0.4 à 2.2 µBq/m³) attribuables à la remise en suspension d'anciennes contaminations dues aux essais d'armes atomiques des années 50 et 60 ainsi qu'à l'accident de Tchernobyl. Comme dans les stations situées hors influence, la radioactivité des aérosols collectés au voisinage des centrales nucléaires est ainsi essentiellement d'origine naturelle. Avec des valeurs comprises respectivement entre 0.2 et 4.6 et entre 0.1 et 1.0 mBq/m³, les radionucléides ^7Be et ^{210}Pb sont en effet nettement prépondérants.

RADAIR

Réseau automatique de surveillance de l'air

Les modifications apportées en 2009

Le projet de rénovation de la centrale ainsi que de la gestion des données du système RADAIR s'est poursuivi en 2009 et se terminera en 2010. A terme, les principales améliorations seront les suivantes:

Etat des moniteurs



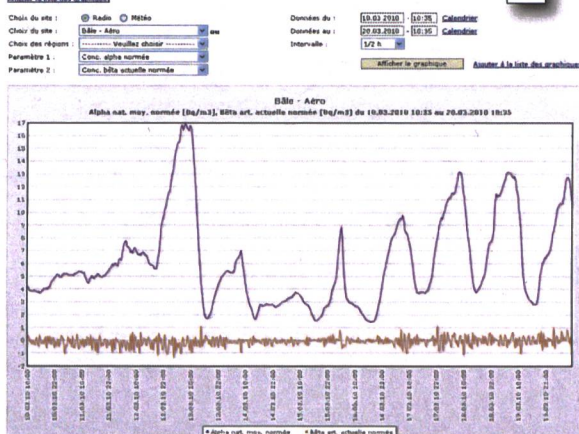
Figure 1:

Aperçu de RADAIR web

a) Visualisation de l'état des moniteurs; b) génération de graphiques pour la visualisation des données.

Graphiques

Afficher la liste des archiveries



- La gestion et le suivi des alarmes techniques et radiologiques du réseau ainsi que la visualisation des données, sous forme de cartes ou de graphiques, s'effectueront depuis un site web (Fig 1).
- Le traitement et la validation des données s'effectuera par le biais du logiciel Excel dans lequel un menu spécial «RADAIR» sera ajouté. Il permettra d'accéder à la base de données, d'effectuer des calculs, d'afficher les différents paramètres de mesure, de valider (ou non) les résultats.
- La gestion des moniteurs et la télémaintenance, anciennement effectuées depuis le logiciel RADAIR, se feront depuis le programme d'administration de la centrale RADAIR.

Outre ce projet majeur de rénovation, d'autres améliorations ont été apportées au réseau au cours de l'année sous revue. Notons par exemple, que les moniteurs aérosols des stations de Sion et de la Jungfrau, ainsi que le moniteur d'iode de Fribourg ont été équipés de nouvelles lignes de transmission sécurisées à haut débit (ADSL). Le matériel ainsi que le logiciel des PC de mesure ont été adaptés pour fonctionner sous Windows XP.

Notons pour terminer que la procédure de validation des résultats de mesure a été modifiée: la correction manuelle systématique, par un opérateur, des concentrations bêta d'origine artificielle fournies automatiquement par l'algorithme de compensation des moniteurs a ainsi été abandonnée en 2009 (voir paragraphe «les mesures»).

Les mesures

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 minutes).

Rappelons que les activités α totales mesurées dans l'environnement sont supposées d'origine naturelle (gaz radon émanant du sol ainsi que ses produits de filiation). A cette activité α naturelle est, en tout temps, associée une activité β naturelle. Cependant, en cas d'incident libérant de la radioactivité dans l'atmosphère, l'activité β totale mesurée, comprend en plus de cette part naturelle, une contribution d'origine artificielle que nous cherchons à déterminer. L'activité β artificielle moyenne normée (B_{art}), qui constitue la véritable grandeur d'intérêt, est ainsi calculée à l'aide d'un algorithme de compensation qui soustrait une part constante de l'activité α totale naturelle (A_{tot}) à l'activité β totale (B_{tot}) mesurée:

$$B_{art} = B_{tot} - f \times A_{tot}$$

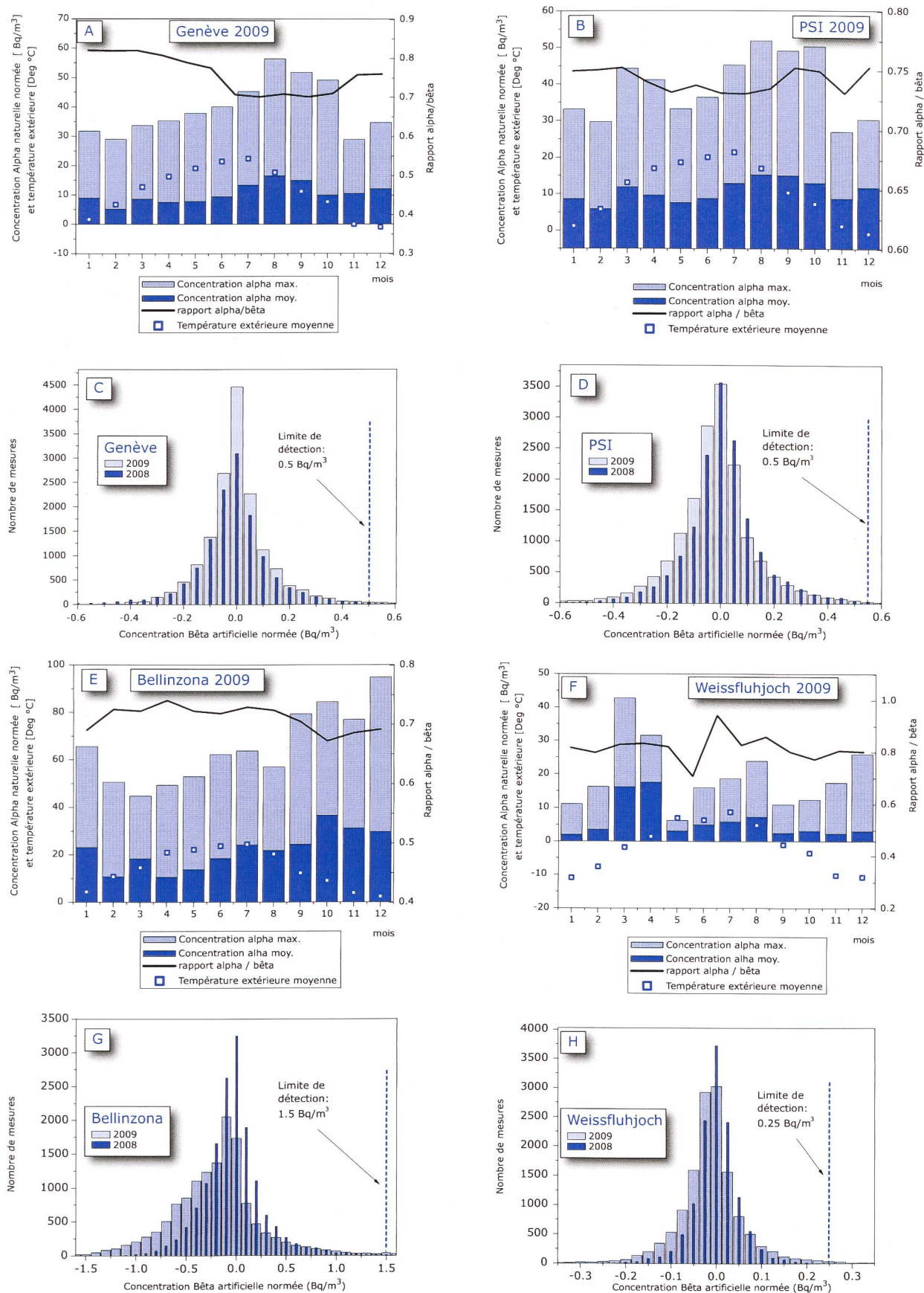
Le facteur f est appelée facteur de compensation α/β . Il est déterminé sur la base du rapport entre les émetteurs α et les émetteurs β de chaque mesure, durant une période déterminée. Il fluctue selon la météorologie, la période de l'année et le site de prélèvement. Ce facteur prédéfini, est corrigé régulièrement par télémaintenance au sein de chaque moniteur. Les graphiques A), B), E) et F) de la figure 2 montrent qu'il fluctue en moyenne de 0.65 à 0.85. Pour les stations d'altitude, où les concentrations α et β peuvent être très faibles, il varie très fortement.

La figure 2 montre les concentrations α naturelles mensuelles moyennes et maximales relevées en 2009 aux stations de Genève, du PSI, de Bellinzona et du Weissfluhjoch ainsi que les histogrammes des concentrations β artificielles obtenues après compensation.

Les concentrations α maximales enregistrées dans les différentes stations dépendent de la situation géographique ainsi que de la nature géologique du sol. Pour une station donnée, ces valeurs fluctuent également au cours de l'année en fonction des conditions météorologiques: à Genève, au PSI et à Bellinzona, ces fluctuations ont été plus limitées qu'au Weissfluhjoch où la concentration mensuelle maximale a varié d'un facteur 10 au cours de l'année.

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).

Plus les fluctuations de radioactivité naturelle sont importantes, plus une contribution supplémentaire d'origine artificielle est difficile à mettre en évidence et donc plus la limite de détection de la concentration β artificielle sera élevée. On observe ainsi un rapport d'environ 80 à 100 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 2) montrent ces limites. Malgré, un bon suivi de la compensation, les incidents de radioactivité plus petits que 0.5 à 1.5 Bq/m³ ne sont pas décelables par les moniteurs situés en plaine. Cette limite s'abaisse à 0.2 Bq/m³ pour les stations d'altitude.


Figure 2:

Les graphiques A), B), E) et F) montrent les concentrations alpha totales (d'origine naturelle) mensuelles moyennes et maximales ainsi que les températures mensuelles moyennes et le facteur de compensation enregistrés en 2009 aux stations de Genève, PSI, Bellinzona et Weissfluhjoch. Les graphiques C), D), G) et H) représentent les histogrammes des concentrations bêta artificielles compensées obtenus en 2008 et 2009 à ces mêmes stations.

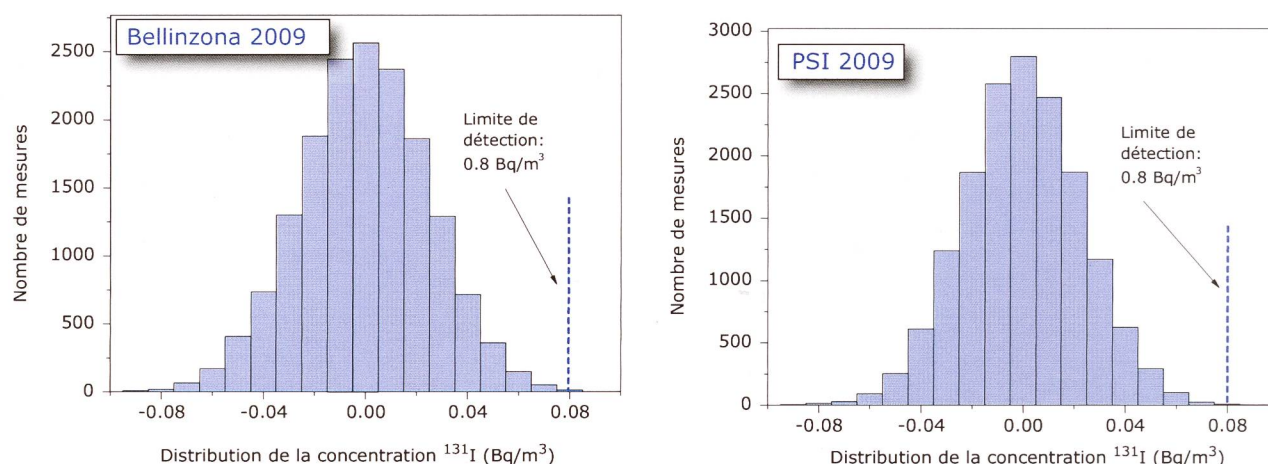


Figure 3:
Histogrammes de la concentration moyenne du ^{131}I des stations de Bellinzona et du PSI en 2009.

De manière générale, les histogrammes des concentrations β artificielles moyennes normées enregistrés en 2008 et en 2009 montrent que les limites de détection sont restées sensiblement les mêmes pour ces deux années, nonobstant l'abandon de la procédure de correction manuelle systématique de la compensation par un opérateur. Pour les sites de Bellinzona et du Weissfluhjoch, en revanche, l'histogramme 2009 de la concentration β artificielle moyenne normée est plus évasé que celui de 2008 indiquant que la compensation automatique a été moins bonne.

Notons pour terminer qu'aucune activité β d'origine artificielle supérieure à la limite de détection n'a été enregistrée par le réseau RADAIR en 2009.

Collecteur de ^{131}I :

Les moniteurs de Bellinzona, de Fribourg, de Meyrin et du PSI mesurant l'iode gazeux (^{131}I) n'ont pas décelé de valeurs supérieures à la limite de détection de 0.1 Bq/m³.

La figure 3 montre l'histogramme de la concentration moyenne du ^{131}I enregistré dans les stations de Bellinzona et du PSI.

Les pannes:

Grâce à un entretien suivi, le taux de bon fonctionnement des moniteurs s'est situé en 2009 entre 90 et 99% suivant les stations. D'une manière générale, les pannes les plus courantes sont des pertes de communication, des coupures de courant, des défauts au niveau des alimentations des PC de mesure, des problèmes de manipulation survenant lors de la mise en place des filtres et enfin des pannes de pompe.

Précipitations

Des échantillons de pluie sont collectés en continu aux environs des centrales nucléaires de Mühleberg, Leibstadt, Gösgen-Däniken et Beznau ainsi que dans divers endroits de Suisse (Davos/GR, Cernier/NE, Fribourg et Locarno-Monti/TI) pour l'analyse mensuelle des émetteurs gamma. Des échantillons de précipitations ont également été collectés à Güttingen/TG, mais l'installation étant en phase de test (développement d'un nouveau débitmètre), les résultats obtenus en 2009 n'étaient que qualitatifs.

A l'exception de traces sporadiques de ^{137}Cs (valeur maximale de 2.3 mBq/l enregistrée à Locarno-Monti), aucun émetteur gamma d'origine artificielle n'a été détecté dans les précipitations au cours de l'année 2009. Des valeurs comprises entre 0.1 et 1.8 Bq/l ont été mesurées pour le ^7Be naturel.

Divers laboratoires ou instituts mesurent mensuellement le tritium (^3H) dans des échantillons de précipitations. Les résultats des analyses effectuées par l'Université de Berne (Physikalisches Institut, Abt. Klima- und Umweltphysik) sur mandat de l'OFSP sont résumés au Chapitre 7.1 (stations de Bâle, Bern, Grimsel, Guttannen, La Brévine, Locarno, Meiringen, Nyon, Sion, St. Gallen et Vaduz).

La diminution progressive du nombre d'ateliers de posage spécialisés dans l'application de peintures luminescentes à base de tritium, amorcée dans la région de La Chaux-de-Fonds il y a une dizaine d'années, s'est achevée par la disparition totale de cette activité en 2008. La surveillance du tritium dans les précipitations de La Chaux-de-Fonds a toutefois été maintenue en 2009. Les résultats des mesures ont montré que les concentrations de ^3H dans ces échantillons sont restées inférieures à 2 Bq/l.

L'OFSP mesure le ^3H dans les précipitations du voisinage des centrales nucléaires de Mühleberg, Gösigen et Leibstadt. Le PSI analyse chaque mois les échantillons de pluie du voisinage du PSI, du ZWILAG ainsi que de la centrale nucléaire de Bznau. Les concentrations mensuelles de ^3H enregistrées en 2009 dans les pluies du voisinage des centrales nucléaires de Mühleberg (valeur maximale: 4.3 Bq/l, médiane: 2.2 Bq/l) et de Gösigen (valeur maximale: 2.5 Bq/l) sont restées proches de celles enregistrées dans des stations situées hors influence de ces installations.

Les concentrations mensuelles de ^3H enregistrées au voisinage des centrales de Leibstadt et de Bznau ainsi qu'au PSI et au ZWILAG, situés dans un rayon de quelques kilomètres seulement, montrent que les concentrations sont généralement restées faibles avec ponctuellement des valeurs légèrement plus élevées (Exemple: valeur maximale de 41.2 Bq/l en septembre au PSI ou de 37.6 Bq/l en août au Zwilag). Ces valeurs sont cependant très inférieures aux valeurs limites autorisées (voir Chapitre 8.5).

Voisinage des entreprises utilisatrices de Tritium (voir également Chapitres 4.3 et 9.1)

Certaines industries ont recours au tritium pour la fabrication de sources lumineuses au gaz de tritium ou pour la production de marqueurs radioactifs au tritium pour la recherche. Dans le cadre de la surveillance ciblée de ces entreprises, des échantillons de précipitations sont récoltés à Teufen/AR (Firma RCT) ainsi qu'à Niederwangen/BE (Firma mb microtec). La concentration en tritium des échantillons de Teufen est analysée chaque semaine; celle des précipitations de Niederwangen tous les 15 jours. Les résultats 2009 sont résumés dans le tableau 1.

Tableau 1:

Tritium dans les précipitations au voisinage des entreprises utilisatrices de ^3H en 2009.

Lieu	Valeur min/max (Bq/l)	Moyenne (Bq/l)
Teufen/AR 65 m E Firma TCT	40 – 580	180
Niederwangen/BE		
Bauernhaus 300 m SE de l'entreprise	20 – 540	100
Garage 200 m SW de l'entreprise	10 – 550	85
Gemeinde KÖniz 180 m NNW de l'entreprise	30 – 750	160
Firma Schär 320 m NE de l'entreprise	140 – 3'350	760

Les concentrations de ^3H enregistrées en 2009 à Niederwangen sont généralement comparables à celles obtenues en 2008, celles mesurées à Teufen légèrement inférieures (voir Figure 10, Chapitre 4.3). Notons que la concentration maximale du tritium enregistrée dans les précipitations de Niederwangen/Firma représente environ 25% de la valeur limite d'immissions fixée dans l'ordonnance sur la radioprotection pour les eaux accessibles au public.

A Niederwangen, l'activité du ^3H dans l'humidité de l'air est également mesurée deux fois par mois (figure 4). Les valeurs obtenues en 2009 se sont situées entre 1.4 et 12.7 Bq/m³ avec une valeur moyenne de 6.1 Bq/m³.

Rivières

Les échantillons d'eau du Ticino (près de Contone) ainsi que du Rhône (près de Porte-du-Scex/VS et de Chancy/GE), mesurés chaque mois, n'ont pas présenté de radioactivité gamma d'origine artificielle à l'exception de traces de ^{137}Cs provenant d'anciennes contaminations (valeur maximale de 5.4 ± 1.8 mBq/l enregistrée dans le Rhône/Chancy). Notons que suite à l'acquisition de nouveaux détecteurs plus sensibles, la limite de détection pour ce dernier isotope a été divisée d'un facteur deux environ. Ceci explique pourquoi des traces de ^{137}Cs sont régulièrement enregistrées depuis 2008 aussi bien dans les eaux du Rhône que du Ticino alors que les concentrations étaient généralement inférieures à la limite de détection de 4-5 mBq/l les années précédentes. Les activités des émetteurs gamma artificiels dans les eaux de l'Aar et du Rhin sont étudiées au Chapitre 4.3.

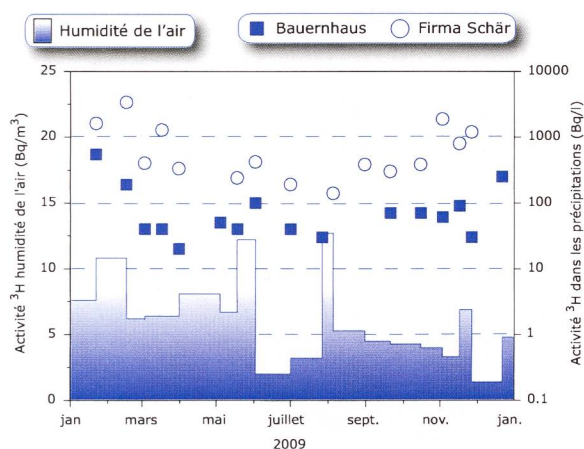


Figure 4:
Activité du tritium dans les précipitations en Bq/l (stations Bauernhaus et Firma Schär) et dans l'humidité de l'air en Bq/m³ d'air (station Firma Schär) à Niederwangen/BE.

Les concentrations mensuelles de tritium mesurées en 2009 dans les eaux du Ticino et du Rhône sont inférieures à 2 Bq/l.

Dans les échantillons d'eau de l'Aar, collectés en amont de la centrale nucléaire de Mühleberg, l'activité du ^3H est également restée très faible avec une valeur maximale s'élevant à 2.5 Bq/l.

Les concentrations mensuelles de ^3H enregistrées en 2009 dans les eaux du Rhin près de Weil/D, en aval de Bâle, sont restées inférieures à 2 Bq/l à l'exception de la période avril-mai, où, comme chaque année, une légère augmentation (4-5 Bq/l) est observée en raison de rejets plus importants d'eau contenant du tritium par la centrale nucléaire de Gösgen (voir Chapitre 8.5).

Station d'épuration (STEP) et eaux de lavage des fumées des usines d'incinération

Plusieurs laboratoires analysent les eaux des stations d'épuration des agglomérations de Zürich, Bâle, Berne, Lausanne et La Chaux-de-Fonds ainsi que les eaux de lavage des fumées des usines d'incinération de Bâle-Ville et de Bienne afin de déterminer les concentrations de ^3H et d' ^{131}I rejetées dans l'environnement. Le tritium provient de l'industrie horlogère ou de la combustion de déchets contenant du tritium dans les usines d'incinération, l'iode des applications médicales. Les résultats de ces mesures sont résumés dans le tableau 2 pour l'année 2009.

En juillet 2009, un pic de concentration de ^3H dépassant 160'000 Bq/l a été observé dans l'échantillon journalier des eaux de lavage des fumées de l'usine

d'incinération de Bâle-Ville. Deux autres pics de concentration, certes plus faibles, mais dépassant tout de même les 10'000 Bq/l, (valeurs maximales de 39'000 et 17'000 Bq/l) ont également été détectés en 2009. Ces pics de concentration ont eu lieu sur de courtes périodes (1 ou 2 jours consécutifs). Ce phénomène, régulièrement observé par le passé, ne s'était plus produit depuis 2006. Son origine n'a par ailleurs jamais pu être éclaircie malgré les recherches menées par le laboratoire cantonal de Bâle-Ville en collaboration avec l'OFSP. La combustion de montres contenant du tritium, qui auraient été jetées dans les ordures ménagères, constitue toutefois l'explication la plus probable.

Etant donné la très grande dilution des rejets de la station d'incinération dans le Rhin (volume de l'eau de lavage des fumées rejeté dans le Rhin: 500 m³ par jour; débit moyen du Rhin: 1'000 m³ par seconde), les pics de concentration observés dans l'eau de lavage des fumées n'ont pas contribué à une augmentation significative de la teneur en ^3H des eaux du Rhin. En effet, en juillet où ce pic de concentration a été observé, les concentrations mensuelles en ^3H mesurées dans le Rhin près de Weil/D, en aval de Bâle, sont restées inférieures à 2 Bq/l.

Les valeurs de tritium observées à la STEP de la région de La Chaux-de-Fonds, relativement élevées, s'expliquent par le fait que les eaux de lavage des fumées de l'usine d'incinération arrivent également dans la STEP. Comme mentionné précédemment, ces valeurs sont toutefois en diminution constante depuis les années nonante, en corrélation avec la très forte baisse de l'utilisation du ^3H dans les ateliers de posage (arrêt de cette activité en 2008)

Tableau 2:

Tritium (^3H) et ^{131}I dans les eaux de rejet des usines d'incinération et des stations d'épuration (STEP en 2009).

Ville	Laboratoire	Isotope	Nombre	Valeur min/max (Bq/l)	Médiane (Bq/l)	Moyenne (Bq/l)
STEP Bâle	KL-BS	¹³¹ I	51	< 0.1 - 0.7	0.26	-
		³ H	51	1.4 - 48	5.5	7.4
Incinération Bâle		¹³¹ I	51	< 0.1 - 1.3	-	-
		³ H	343	50 - 160'000	197	1070
STEP Berne	Labor Spiez	¹³¹ I	53	< 0.12 – 1.4	0.34	-
	URA/OFSP	³ H	12	4 - 12	-	-
Incinération Bienne	URA/OFSP	³ H	53	< 10 - 100	-	-
STEP La Chaux-de-Fonds	URA/OFSP	³ H	48	5 - 350	20	45
STEP Lausanne	IRA	¹³¹ I	45	< 0.6	-	-
		³ H	10	< 2 - 2.7	-	-
STEP Zürich	EAWAG	¹³¹ I	45	< 2.0	-	-
	URA/OFSP	³ H	13	< 3.0	-	-

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 der Nuklidvektor 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.

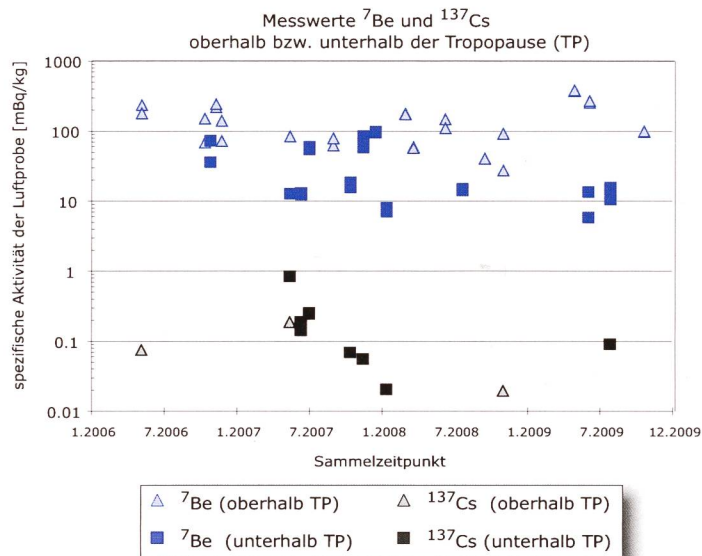
Vorgeschichte

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 deshalb 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. Integriert über den Zeitraum 50er-Jahre bis heute hat die Schweizer Bevölkerung durch alle Kernwaffenversuche zusammen eine zusätzliche Strahlendosis von im Durchschnitt 1.2 mSv erhalten.

Bei Kernwaffenexplosionen sowie auch bei Unfällen in Kernanlagen erfolgt die Freisetzung der Radioaktivität in die Atmosphäre, und die radioaktive Wolke wird je nach Art der Freisetzung in einer gewissen Höhe mit dem Wind verfrachtet. Auf der Nordhemisphäre umrundete die Wolke bei den chinesischen Kernwaffenversuchen die Erde jeweils im Gegen-Uhrzeigersinn und erreichte unser Land nach ca. 10 bis 14 Tagen.

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 ermöglichen, mittels Militärflugzeugen Luftproben (Aerosole) aus 8'000 bis 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 2000 war ein Einsatz mit den Sammelgeräten der ersten Generation nicht mehr möglich, da die Tiger-Flugzeuge über eine andere Aufhängevorrichtung verfügen; zudem zeigte sich auch, dass

**Figur 1:**

^7Be - und ^{137}Cs -Messwerte in mBq/kg Luft der Jahre 2006-2009. Die Resultate zeigen das natürliche ^7Be und das künstliche ^{137}Cs , welches noch vom Bombenfallout her stammt. In den vergangenen zwei Jahren lag der grösste Teil der ^{137}Cs -Werte unter der Nachweisgrenze von 10 - 50 $\mu\text{Bq/kg}$ Luft.

die seit rund 30 Jahren eingesetzten Geräte einer Überholung bedurften. Mit dieser Erneuerung und Anpassung sowie der erneuten Flugzulassung wurde RUAG Aerospace (die Nachfolgerin der Flugzeugwerke Emmen, die die Geräte damals gebaut hatte) beauftragt. Seit 2004 sind die Geräte wieder einsatzbereit und flugerprobt.

Sammlung und Messung der Proben

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

Die Flughöhe kann vom Auftraggeber gewählt werden, je nachdem, ob bei einem Ereignis die radioaktive Wolke bis in die Stratosphäre aufsteigt. Im Normalfall sind 6 Sammelflüge pro Jahr vorgesehen, wobei ab Ende 2009 Hin- und Rückflug abwechselungsweise über resp. unter der Tropopause erfolgen, welche täglich mit einem Ballonflug durch MeteoSchweiz in Payerne ermittelt wird.

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.

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.

Die Messung erfolgt im Labor mittels hochauflösender Gammaskpektrometrie, wo nach 1-2 Tage 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.

Der Vorteil dieses Überwachungsverfahrens ist der erhebliche Zeitgewinn im Falle eines Ereignisses mit einer Radioaktivitätsfreisetzung, indem der Nuklidvektor bereits bestimmt werden kann, bevor sich die Radioaktivität aus der Luft auf Boden und Pflanzen abgesetzt hat.

Der Medianwert über die letzten vier Jahre liegt für ^7Be oberhalb der Tropopause bei 105 mBq/kg, jener unterhalb der Tropopause bei 15 mBq/kg. Diese Messwerte sind in guter Übereinstimmung mit denjenigen von P. Winiger [1] bis [4] aus den 60^{er}-Jahren, die für ^7Be im Mittel 100 mBq/kg bzw. 20 mBq/kg 1'000 m über bzw. unter der Tropopause ergaben. Die ^{137}Cs -Werte lagen damals deutlich höher, dh. zwischen 400 und 4'000 mBq/kg, während sich im Jahr 2009 praktisch alle Cs-Werte unter der Nachweisgrenze befanden. Andere künstliche Radionuklide konnten im Berichtsjahr nicht nachgewiesen werden.



Figur 2 und 3:
Höhenluftfilter-Aggregate montiert an den beiden Flügeln eines Tiger sowie Detail-Aufnahme eines Sammelgerätes.

Quellen:

- [1] P. Winiger, O. Huber und J. Halter: Halbleitermessungen von Fallout. Helv. Phys. Acta, Vol. 41/5, pp. 645-649 (1968).
- [2] P. Winiger, O. Huber und J. Halter: Rechenmethoden zur Analyse von Halbleiterspektren. Helv. Phys. Acta Vol. 42/7-8, pp. 901-902, (1969).
- [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, M. Fujak, S. Bollhalder

Eawag, Abteilung Surf/RT, 8600 Dübendorf

M. Zehring

Kantonales Laboratorium Basel-Stadt, Postfach, 4012 Basel

Zusammenfassung

In den monatlichen Wasserproben von Aare und Rhein wurden hauptsächlich ^{60}Co und ^{54}Mn von den Kernkraftwerken Mühleberg und Beznau aber auch ^{137}Cs vom Tschernobylunfall nachgewiesen. Die in den letzten Jahren erfolgten Reduktionen der Abgaben von ^{58}Co und ^{60}Co durch das KKW Beznau spiegeln sich in deutlich niedrigeren Konzentrationen in den Wasserproben wider. In Fischen war ^{40}K aber keine künstlichen Radionuklide nachweisbar, in Wasserpflanzen ^{40}K und geringe Spuren von ^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn und ^{137}Cs . Messungen im Grundwasser der Pumpstationen Aarberg, Döttingen und Pratteln ergaben keine Hinweise auf infiltrierte künstliche Radionuklide. Im Abwasser der ARA Werdhölzli in Zürich konnten Spuren von $^{99\text{m}}\text{Tc}$ gefunden werden. In der Rauchwasserwaschanlage der Kehrichtverbrennungsanlage Hagenholz zeigten drei Monatsproben Spuren von ^{137}Cs und sieben Proben ^{131}I (1 - 13 Bq/L). Insgesamt führten die gefundenen Aktivitäten in aquatischen Systemen zu keiner messbaren Erhöhung der Strahlenbelastung.

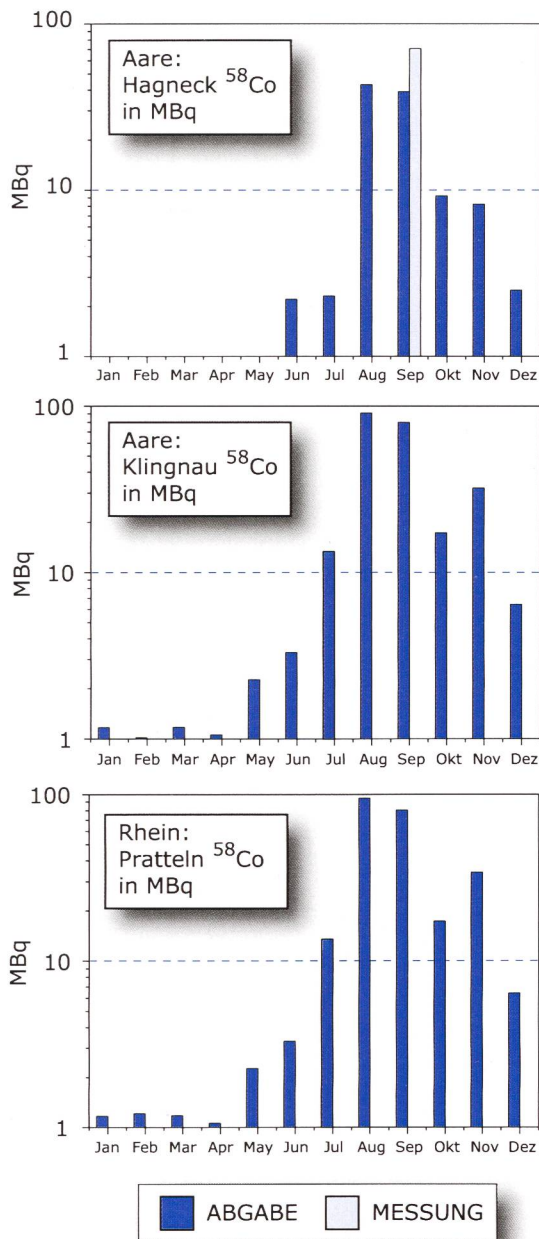
Ziele

Die meisten künstlichen Radionuklide gelangen direkt über das Abwasser oder indirekt über den Niederschlag in den Wasserkreislauf. Eine kontinuierliche Überwachung der Radioaktivität in aquatischen Systemen erlaubt es deshalb, frühzeitig Änderungen in den Abgaben der entsprechenden Betriebe zu erkennen und die Gesamtaktivität, welche die Schweiz im Rhein verlässt, zu bilanzieren.

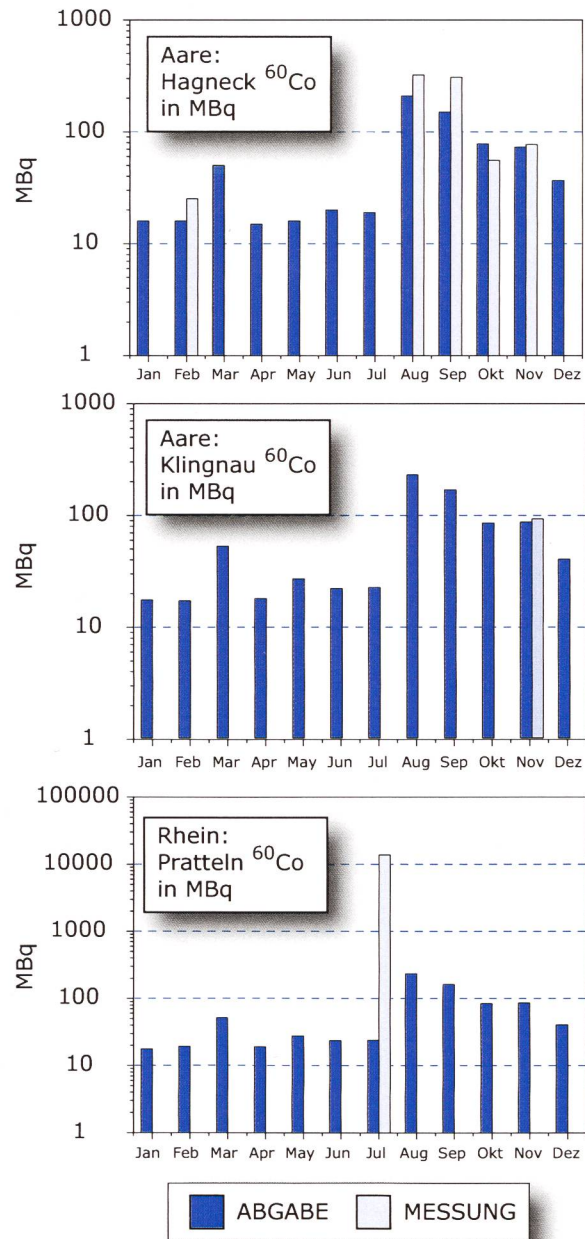
Methoden

Die Aktivitäten aller in unserem Labor gemessenen Radionuklide werden mittels Gammaskpektrometrie bestimmt. Sedimente, Fisch- und Pflanzenproben werden gefriergetrocknet und die Aktivität auf Trockengewicht bezogen. In den grossvolumigen monatlichen Sammelproben von Hagneck, Klingnau und Pratteln werden die Radionuklide durch eine Eisenhydroxidfällung aufkonzentriert und gemessen. Die Proben der Kläranlage Zürich sowie die Rheinproben von Diepoldsau und Rekingen werden direkt gemessen. Die Bestimmung der Tritiumaktivität wird ab 2003 durch das die Sektion Umweltradioaktivität (URA) des BAG und die Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz/D durchgeführt.

Die Schwebstoffe im Rhein wurden zusätzlich in Weil unterhalb von Basel vom kantonalen Laboratorium Basel gemessen.


Figur 1:

^{58}Co -Aktivitäten an den drei Probenahmestationen Hagneck, Klingnau und Pratteln. Die Abgaben der Kernkraftwerke (blau) erfolgten vor allem während der Revisionen in den Sommermonaten und sind so gering, dass sie meistens nicht nachgewiesen werden konnten. ^{58}Co stammt zum grössten Teil von Mühleberg und Beznau.


Figur 2:

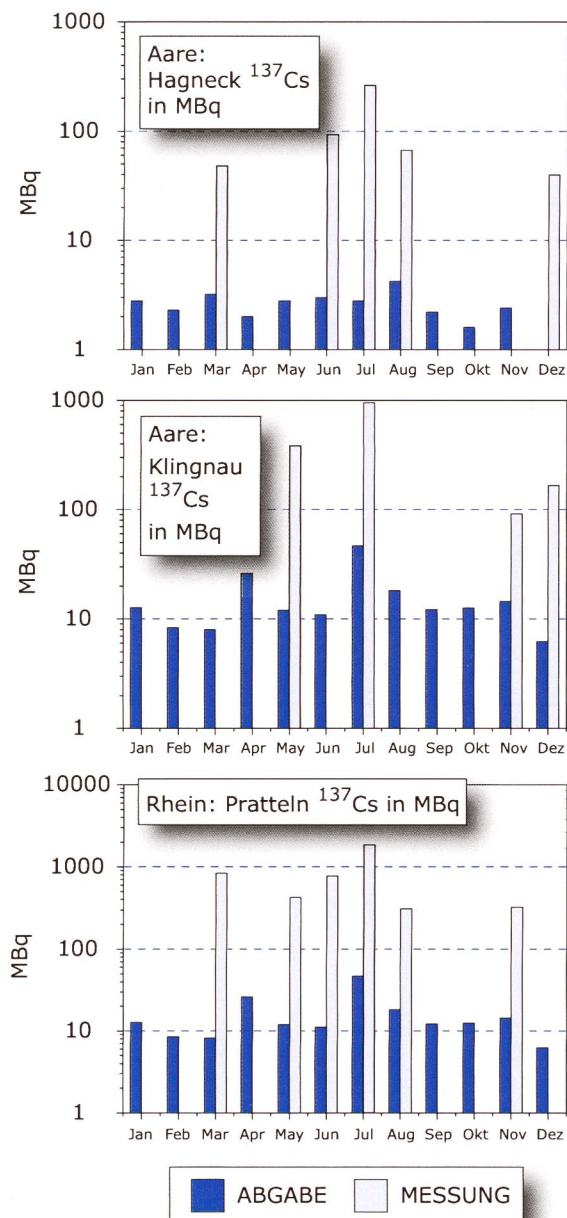
^{60}Co -Aktivitäten an den drei Probenahmestationen Hagneck, Klingnau und Pratteln. Die Abgaben stammen vor allem von Mühleberg. Die grössten Abgaben erfolgten im August und September während der Revision des KKW's Mühleberg. Mit sieben Ausnahmen liegen alle Messwerte unter der Nachweisgrenze.

Kernanlagen

Wasserproben

Monatliche Wasserproben werden entlang von Aare und Rhein an drei Standorten abflussproportional gesammelt. 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 Gösens und

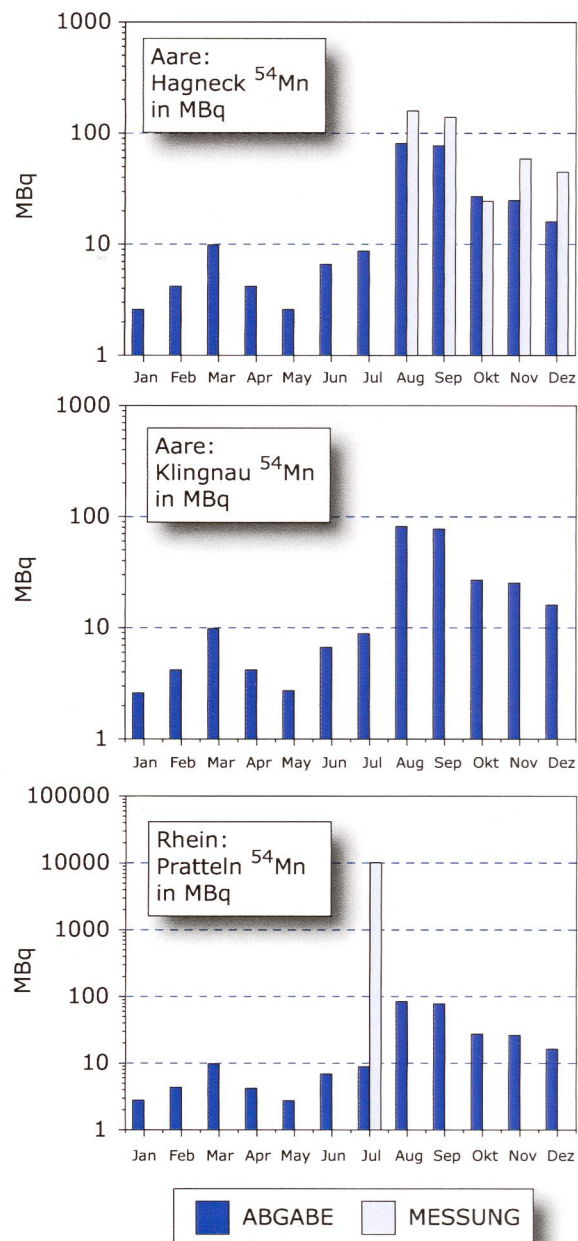
die Station Pratteln schliesslich umfasst zusätzlich noch die Abgaben von Leibstadt in den Rhein. Entsprechend dem jeweiligen Abfluss werden pro Tag automatisch zwischen 20 und 40 Proben genommen, was über einen Monat eine Gesamtprobe von 50 bis 150 L ergibt.



Figur 3: ^{137}Cs -Aktivitäten an den drei Probenahmestationen Hagneck, Klingnau und Pratteln. Der Vergleich der Messwerte mit den Abgaben zeigt, dass ^{137}Cs primär noch vom Tschernobylunfall und nicht aus den Kernkraftwerken stammt.

Die Figuren 1 bis 4 zeigen jeweils für die drei erwähnten 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 Aktivitäten (gemessene spezifische Aktivität x mittlerer monatlicher Abfluss x Dauer der Sammelperiode).

Das meiste ^{58}Co und ^{60}Co stammt aus dem Kernkraftwerk Mühleberg. Die grössten Abgaben erfolg-



Figur 4: ^{54}Mn -Aktivitäten an den drei Probenahmestationen Hagneck, Klingnau und Pratteln. Die Abgaben stammen vor allem von Mühleberg während der Revision im August.

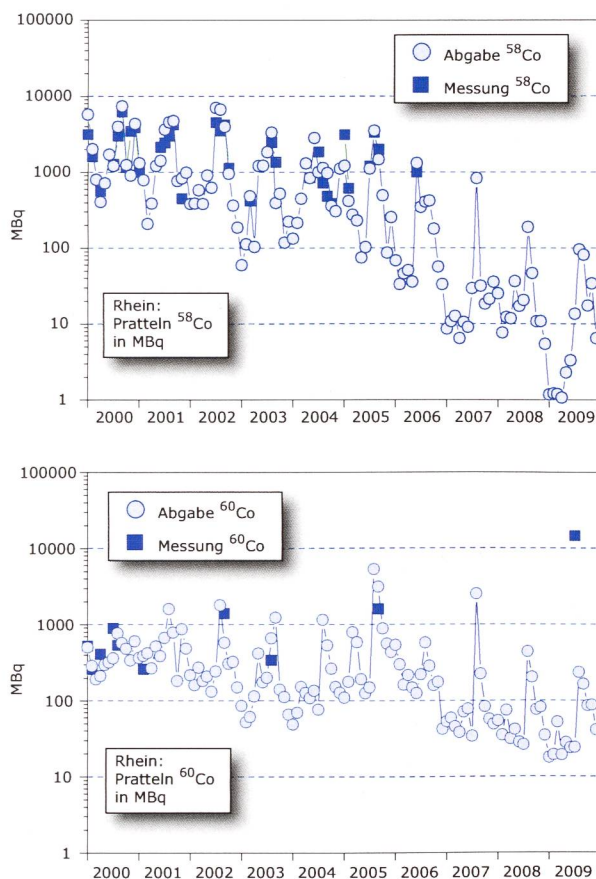
ten im August während der Revision. Da 2009 die Gesamtabgaben der KKW's weiter abgenommen haben (Tab. 1 und 2, Figuren 5 und 6) liegen die gemessenen Konzentrationen häufig unter der Nachweisgrenze.

Überraschend sind die hohen ^{54}Mn und ^{60}Co Werte bei Pratteln im Juli (Figuren 2 und 4). Weder in Hagneck noch in Klingnau wurden in diesem Monat ^{54}Mn und ^{60}Co gemessen. Da auch die Partikel aus den Sedimentfallen keine erhöhten Werte zeigen,

muss man davon ausgehen, dass die Hochrechnung von den gemessenen rund 3 Bq/m³ Rheinwasser auf den ganzen Monat fragwürdig ist. Im Juli gab es Hochwasser (Maximum - 2'983 m³/s im Vergleich zum Jahresmittelwert 957 m³/s); es besteht also die Möglichkeit, dass Sedimentmaterial resuspendiert wurde.

Im Falle von ¹³⁷Cs (Figur 3) liegen viele Messungen über den Abgaben. Das Phänomen, das früher schon im Rhein beobachtet wurde, ist nun auch dieses Jahr in der Aare wieder sichtbar. Es ist auf die Remobilisierung von ¹³⁷Cs vom Tschernobylunfall zurückzuführen.

⁵⁴Mn stammt wie ⁶⁰Co vor allem aus dem Kernkraftwerk Mühleberg. Die höchste Aktivität wurde nach der Revision im August gemessen. In Pratteln ist ⁵⁴Mn nicht mehr messbar infolge von Verdünnung und Sedimentation (Ausnahme: Juli - siehe Seite 66). Bis Pratteln scheint das meiste ⁵⁴Mn jedoch zu sedimentieren.



Figur 5: Monatliche Abgaben und Messungen während den letzten neun Jahren. Es ist klar ersichtlich, dass die Abgaben vor allem im Sommer während der Revisionen erfolgen und über die Jahre stufenweise abgenommen haben.

Ausser den in den Figuren dargestellten Radionukliden wurden mit Ausnahme von ⁶⁵Zn bei Pratteln im Juli keine weiteren gammaaktiven künstlichen Radionuklide nachgewiesen, wohl aber natürliche wie ⁷Be, ⁴⁰K und ²¹⁰Pb.

Jahresgesamtbilanz Pratteln ⁵⁸Co und ⁶⁰Co

Tabelle 1 zeigt einen Vergleich zwischen den total von allen KKW's abgegebenen ⁵⁸Co Aktivitäten mit den aufgrund der Messungen in Pratteln hochgerechneten Aktivitäten, welche die Schweiz im Rhein verlassen haben. Die Abgaben von ⁵⁸Co waren 2009 so tief wie noch nie.

Tabelle 1:

Vergleich der totalen jährlichen Abgaben von ⁵⁸Co mit den im Rhein bei Pratteln gemessenen Aktivitäten in GBq.

Jahr	Abgabe (GBq)	Messung (GBq)	M/A
2001	20.7	13.2	0.64
2002	22.3	13.3	0.59
2003	9.6	4.2	0.44
2004	10.6	4.3	
2005	9.2	10.2	1.11
2006	3.0	1.0	0.33
2007	1.0	< 1.0	
2008	0.4	< 0.1	
2009	0.3	< 0.1	
Total	77.1	46.2	

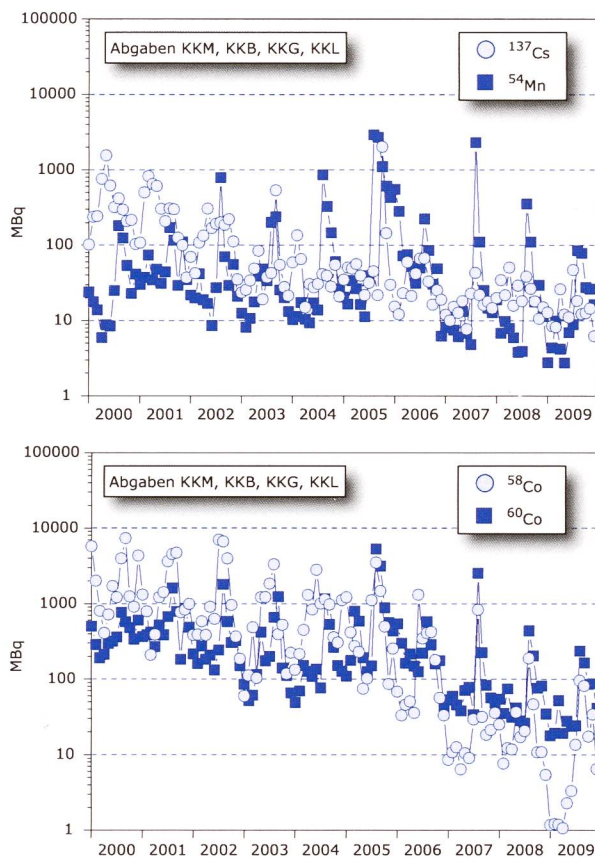
Tabelle 2 zeigt einen Vergleich zwischen den total von allen KKW's abgegebenen ⁶⁰Co Aktivitäten mit den Messungen in Pratteln.

Tabelle 2:

Vergleich zwischen den total von allen KKW's abgegebenen ⁶⁰Co Aktivitäten mit den Messungen in Pratteln.

Jahr	Abgabe (GBq)	Messung (GBq)	M/A
2001	6.9	0.3	0.04
2002	4.6	1.4	0.30
2003	3.3	0.3	0.10
2004	2.9	< 0.1	
2005	12.4	1.6	0.13
2006	2.9	0.4	0.14
2007	3.3	< 0.1	
2008	1.1	< 0.1	
2009	0.8	< 0.1	
Total	38.3	4.0	

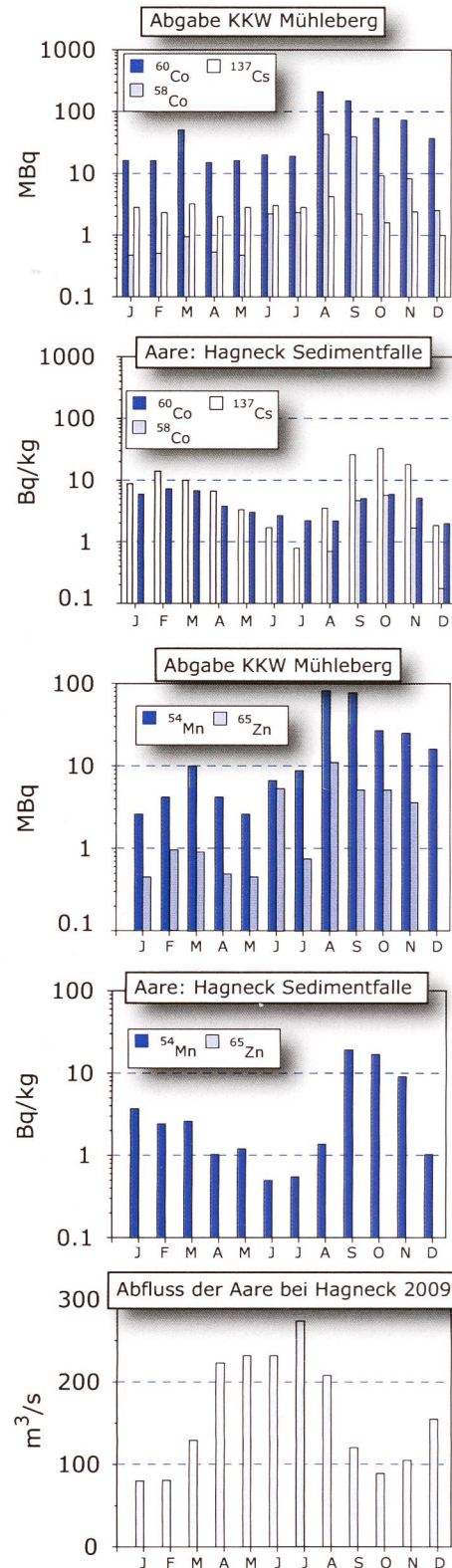
Jahresgesamtbilanzen aller KKW's



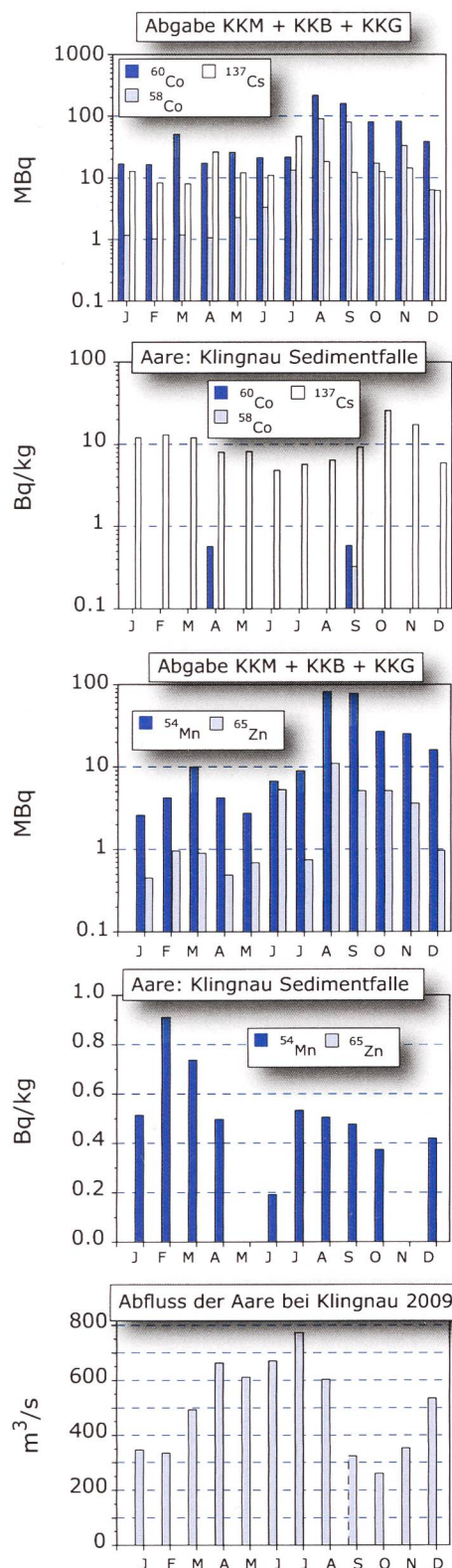
Figur 6: Monatliche Abgaben aller KKW's während der letzten zehn Jahre. Die Abgaben von ^{58}Co und ^{60}Co nehmen tendenziell ab, ausser im Jahr 2005. In Jahren 2006 und 2008 waren sie besonders tief. Die ^{54}Mn und ^{137}Cs Abgaben sind generell tief mit Ausnahme des Jahres 2005 und ^{54}Mn im Jahr 2007.

Sedimentproben

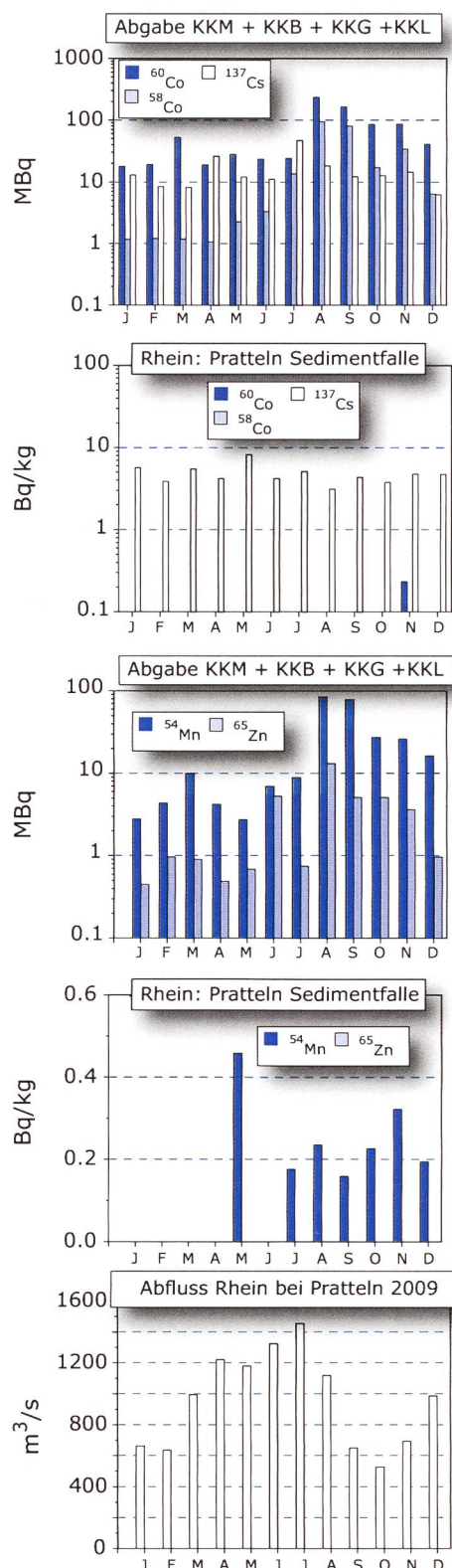
Bekanntlich sind die meisten der von den Kernkraftwerken abgegebenen Radionuklide partikelreaktiv. Ein Teil wird deshalb je nach den Fliesseigenschaften von Aare und Rhein mehr oder weniger schnell sedimentiert und teilweise später wieder resuspendiert. Um sich ein qualitatives Bild über diese Sedimentationsvorgänge zu machen, werden an den drei Probenahmestellen in relativ ruhigem Wasser Sedimentfallen ausgesetzt, in denen sich die Partikel ablagern. Die in diesen Sedimentfallen gemessenen spezifischen Aktivitäten sind in den Figuren 7 bis 9 dargestellt, wobei jeweils im oberen Teil der Figuren die abgegebenen Aktivitäten in MBq angegeben sind und im unteren Teil die entsprechenden gemessenen spezifischen Aktivitäten in Bq/kg. Wie bereits erwähnt, erfolgten die grössten Abgaben während der Revisionen im August. Dies zeigt sich auch in den Sedimentfallendaten, wobei vermutlich durch einen relativ langsamen Partikeltransport auch in den folgenden Monaten die Werte in



Figur 7: Diese Figur besteht aus zweimal zwei Teilfiguren, wobei jeweils die obere die Abgaben des Kernkraftwerks Mühleberg und die untere die entsprechenden gemessenen Aktivitäten in den Sedimentfallenproben von Hagneck zeigt. Die Sedimentation hängt vom Abfluss ab. Infolge der Bildung von organischen Material ist die Sedimentbildung im Sommer grösser und führt zu einer Verdünnung der Nuklidkonzentration.



Figur 8: Die Sedimentfallenproben von Klingnau zeigen vor allem ^{137}Cs , das nur zu einem geringen Teil aus den flussaufwärts liegenden Kernkraftwerken stammt.



Figur 9: Die in Sedimentfallen von Pratteln gemessenen Aktivitäten zeigen ein ähnliches Bild wie diejenigen von Klingnau. ^{137}Cs stammt vermutlich zum grössten Teil vom Tschernobylunfall.

Sedimentfallen noch über dem Jahresmittel liegen. Allerdings ist die Folge der gemessenen Abgaben fest nur noch ^{54}Mn messbar. Bis auf ^{137}Cs , das auch aus der Umgebung stammt, zeigen die Messungen generell den aufgrund der Abgaben erwarteten Verlauf.

Nach dem Durchfließen des Bielersees und des Klingnauer Staubeckens konnten nur noch relativ geringe spezifische Aktivitäten von ^{60}Co gemessen werden (Figur 8). ^{54}Mn zeigt generell eine gute Übereinstimmung. Keine Übereinstimmung zwischen Messungen und Abgaben findet man bei ^{137}Cs , das, wie bereits erwähnt, auf die Erosion von Böden zurückzuführen ist, die mit dem Tschernobylfallout kontaminiert worden waren.

Auch in Pratteln war ^{137}Cs immer gut messbar. Das während der Revisionen der zwei Reaktorblöcke in Beznau abgegebene ^{58}Co (Juni bis August) war nicht mehr nachweisbar. Die ^{54}Mn -Werte lagen nur wenig über der Nachweisgrenze. ^{65}Zn konnte in keiner der Sedimentproben gefunden werden ($\leq 0.4 - 1.4 \text{ Bq/kg}$).

Fische und Wasserpflanzen

Im Jahr 2009 wurden an 3 Stellen Fische aus der Aare untersucht. Ein Alet aus dem Bereich unterhalb des Kernkraftwerks Gösgen und je ein Alet aus der Gegend unterhalb Beznau und Mühleberg. Alle Fische wurden zuerst filetiert und gefriergetrocknet. Bei zwei Fischproben ohne Gräten wurde natürliches ^{40}K ($242 - 266 \text{ Bq/kg}$) und mit Gräten 450 Bq/kg gefunden. Künstliche Radionuklide wurden keine nachgewiesen.

In Moos aus der Aare bei Hagneck vom 28.05.09 wurden Spuren von ^{54}Mn ($7 \pm 1 \text{ Bq/kg TS}$), ^{60}Co ($12 \pm 2 \text{ Bq/kg TS}$) und ^{137}Cs ($3 \pm 1 \text{ Bq/kg TS}$) gefunden.

Am 01.10.08 nach der Revision wurden ^{60}Co ($1.3 \pm 0.5 \text{ Bq/kg TS}$) und ^{137}Cs ($2.6 \pm 1.2 \text{ Bq/kg TS}$) in Moos bei Klingnau gemessen.

Bei Pratteln (01.10.08) dagegen wurde ^{58}Co ($0.5 \pm 0.2 \text{ Bq/kg TS}$) und ^{137}Cs ($2.0 \pm 0.3 \text{ Bq/kg TS}$) gefunden.

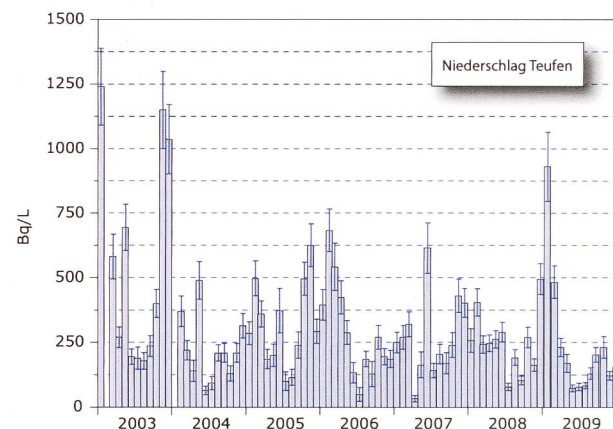
Grundwasser

Zur Untersuchung des Grundwassers wurden nach der Revision in Aarberg (28.07.09), Pratteln (03.09.09), und Döttingen (01.10.09) Proben von je 100 L genommen. Es ergaben sich keine Hinweise auf künstliche Radionuklide.

Andere Betriebe

RC Tritec AG / Teufen

Figur 10 zeigt die Resultate der Tritium Analysen vom Niederschlag, der im Regensammler 65 m östlich des Kamins der Firma Tritec gesammelt und durch die URA (BAG) gemessen wurde. Der Mittelwert ist im Vergleich zum Vorjahr niedriger.

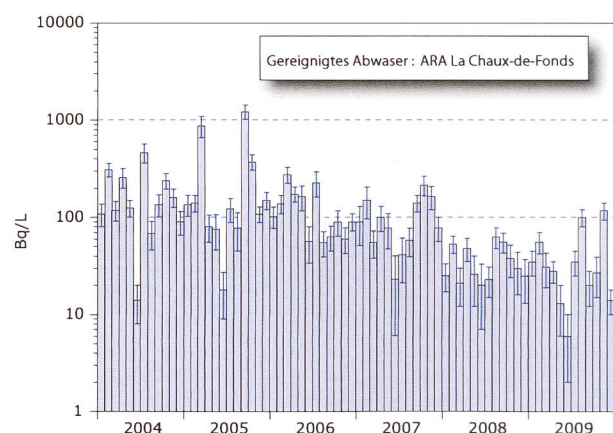


Figur 10: Tritiumkonzentrationen im Niederschlag auf dem Gelände der Firma Tritec in Teufen. Im Mittel liegen die Messwerte etwas niedriger als im Vorjahr.

Messungen in der Umgebung von La Chaux-de-Fonds

In Figur 11 sind die Tritium Konzentrationen im gereinigten Abwasser der ARA La Chaux-de-Fonds dargestellt. Der seit längerer Zeit beobachtete Trend zu niedrigeren Konzentrationen hat sich auf tiefem Niveau stabilisiert.

Über das Abwasser wurde im Berichtsjahr im Vergleich zum Vorjahr eine etwa 11% höhere Tritium-Fracht abgegeben.



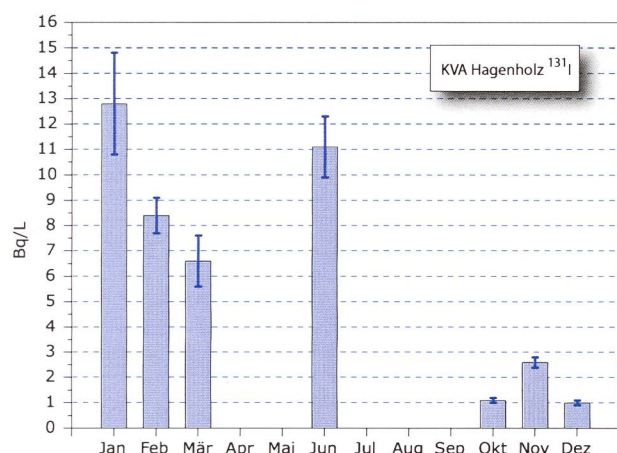
Figur 11: Tritiumaktivität im gereinigten Abwasser der ARA. Die Werte im Abwasser liegen auf einem tiefen Niveau. Die Messungen erfolgen seit 2001 durch die URA des BAG.

Kläranlage Zürich

Kläranlagen eignen sich besonders, um radioaktive Abgaben von Industriebetrieben und Spitälern festzustellen. Die ARA Werdhölzli in Zürich wird deshalb mit wöchentlichen Proben überwacht. Ausser geringen Mengen von ^{40}K und Spuren von $^{99\text{m}}\text{Tc}$ konnte kein ^{131}I festgestellt werden. In 4-wöchigen Mischproben wurde zusätzlich die Tritiumaktivität gemessen. Der Mittelwert für das Jahr 2009 beträgt 1.6 ± 0.9 Bq/L. 2008 betrug die Tritiumkonzentration im Mittel 2.9 ± 0.3 Bq/L.

Kehrichtverbrennung

Eine weitere potentielle Quelle von Radionukliden stellen Kehrichtverbrennungsanlagen dar. Monatliche Probenahmen aus der Rauchwasserwaschanlage der Kehrichtverbrennungsanlage Hagenholz in Zürich haben zehn positive Resultate bezüglich künstlicher Radionuklide ergeben. Im Herbst und Winter (auch im Juni) wurde ^{131}I mit Konzentrationen von 1.0 - 12.8 Bq/L gefunden. In 3 Proben waren Spuren von ^{137}Cs (80 - 130 mBq/L).

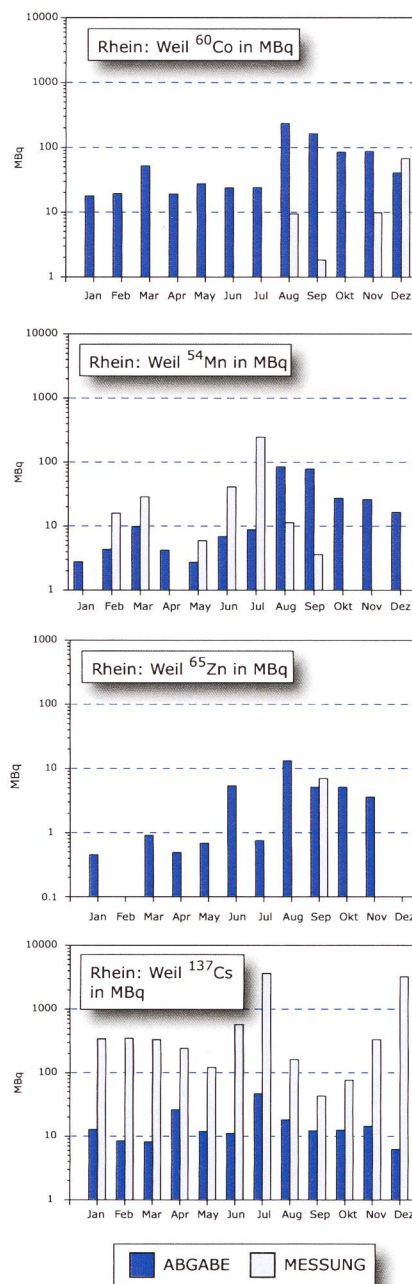


Figur 12:

^{131}I Konzentrationen in der Rauchwasserwaschanlage der Kehrichtverbrennungsanlage Hagenholz.

Oberflächengewässer

Von den zwei Probenahmestationen Diepoldsau und Rekingen am Rhein wurden wöchentliche Wasserproben untersucht. Ausser vereinzelt ^{40}K Aktivitäten konnten keine gammaaktiven Radionuklide nachgewiesen werden. Bei den Proben von Diepoldsau werden die Aktivitäten von Tritium in 4-wöchigen Mischproben gemessen. Die Resultate für das Jahr 2009 ergeben im Mittel 0.7 ± 0.2 Bq/L. Die Messungen werden durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz durchgeführt.



Figur 13:

^{60}Co , ^{54}Mn , ^{65}Zn , und ^{137}Cs Aktivitäten im Rhein bei der internationalen Rheinüberwachungsstation Weil a. R. unterhalb Basel.

Schwebstoffproben im Rhein

Das Amt für Umweltschutz Basel-Stadt zieht monatlich Schwebstoffproben im Rhein bei Basel (internationale Rheinüberwachungsstation Weil a. R.). Unterhalb Basel gezogen. Während 2 bis 5 Tagen wird Rheinwasser aus der Rheinquerprofilmischung zentrifugiert.

Die gewonnenen Schwebstoffe wurden gefriergetrocknet und gemahlen. Zur Berechnung der Monatsfrachten werden die aus den Aktivitäten ermittelten Tagesfrachten mit dem mittleren Monatsabfluss in Monatsfrachten umgerechnet. Zur Frachtberechnung werden die Tagesabflussdaten der Messstelle Rheinhalle bei Basel verwendet.

Der Vergleich der Messwerte mit den Abgaben (siehe Figur 13) zeigt, dass ^{137}Cs primär noch vom Tschernobylunfall und nicht aus den Kernkraftwerken stammt. ^{65}Zn , ^{60}Co , ^{54}Mn in erhöhter Aktivität wurden im September gemessen, weil die grössten Abgaben im August und September während der Revision des KKW's Mühleberg erfolgten.

4.4 Radioactivité du sol et de l'herbe

P. Froidevaux, J.A. Corcho Alvarado, F. Barraud, A. Savary et F. Bochud

Institut Universitaire de Radiophysique Appliquée, Grand Pré 1, 1007 Lausanne

S. Estier, P. Steinmann, A. Gurtner

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

M. Burger, S. Rölli, R. Holzer, H. Sahli, M. Astner

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 faible sur le plateau suisse et croît avec l'altitude. Les activités maximales se montent toutefois à quelques Bq/kg pour le plutonium, l'américium et le ^{90}Sr . Ces radioéléments sont présents dans l'environnement en Suisse suite aux retombées des essais nucléaires des années soixante. La dépendance en fonction de l'altitude résulte d'une plus grande déposition sur les sites de prélèvement où la pluviométrie et l'enneigement sont élevés. 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 280 Bq/kg (env. 35 Bq/kg au maximum sur le plateau suisse). Le ^{90}Sr , comme analogue chimique du calcium, peut être transféré du sol à l'herbe. On montre également dans ce rapport qu'il est important de normaliser les activités en ^{90}Sr des différents compartiments de l'environnement et de la chaîne alimentaire au contenu en calcium, car c'est le rapport $^{90}\text{Sr} / \text{g Ca}$ qui est important lors du transfert aux tissus calcifiés humains.

Introduction

La Suisse possède trois écosystèmes terrestres particulièrement bien différenciés: le Jura, dont les sols se sont développés sur un substrat calcaire; les Alpes, dont les alpages représentent le plus souvent des sols acides, développés sur des roches cristallines; et le plateau, présentant une mixité des sols, également influencé par la présence de lacs. Les sols de ces écosystèmes forment le réceptacle de la déposition de radioéléments provenant des tests nucléaires réalisés en atmosphère dans les années soixante et de la déposition suite à l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl. Dans le cadre de la surveillance des centrales nucléaires suisses, on s'attend également à ce qu'un rejet accidentel de radioéléments modifie leur inventaire dans le sol et, par conséquent, dans les végétaux.

Toutefois, des études récentes réalisées dans l'environnement en Suisse indiquent que la contamination des végétaux et de l'alimentation (produits laitiers) par le ^{137}Cs et le ^{90}Sr répond à des paramètres plus complexes que la quantité de radioéléments déposée :

- La structuration du sol (Bundt et al. 2000).
- La capacité d'échange cationique (CEC) des sols, la concentration en Ca et K échangeable des sols et la phylogénie des plantes (Guillaume 2009).
- L'altitude de pâture des troupeaux (Pourcelot et al. 2007).
- La sensibilité de l'ensemble de l'écosystème (Besson 2009).

Ainsi, on observe par exemple que la contamination des laits par le ^{90}Sr dans l'écosystème karstique jurassien est, à équivalence de déposition par rapport à un site alpin, environ 6 fois inférieure. La raison de cette différence réside dans la teneur en Ca des sols jurassiens, développés sur un substrat calcaire.

Dans ce rapport, on trouvera les activités en ^{90}Sr et ^{137}Cs des sols (0-5 cm) et de la végétation dans des échantillons prélevés en 2009 en Suisse. Certains prélèvements de végétation sont effectués à deux reprises, en fauche de printemps et d'automne. Cette année nous avons ajouté quelques échantillons de fruits et légumes prélevés au marché de Lausanne. Ces échantillons, cultivés en plein sol, proviennent d'une exploitation maraîchère située au nord de la ville.

Résultats et discussion

Les résultats des mesures effectuées sur les sols sont présentés dans le Tableau 1 (les activités en plutonium et ^{241}Am sont données à titre indicatif et sont discutées en détail au chapitre 7.2). On constate que les activités des sites du plateau suisse (centrales nucléaires incluses), ne dépassent pas 25 Bq/kg pour ^{137}Cs , 1.8 Bq/kg pour ^{90}Sr et 0.17 Bq/kg pour $^{239+240}\text{Pu}$. En montagne et au Tessin, ces activités sont significativement plus élevées et peuvent atteindre 280 Bq/kg pour ^{137}Cs , 6.6 Bq/kg pour ^{90}Sr et 0.95 Bq/kg pour $^{239+240}\text{Pu}$. Les activités en ^{40}K sont relativement constantes sur le plateau suisse et se situent entre 300 et 540 Bq/kg. Elles sont plus élevées pour les sites du Tessin (440 - 960 Bq/kg). Les valeurs les plus élevées en ^{137}Cs (280 Bq/kg) et en ^{90}Sr (12.6 Bq/kg) sont également observées au Tessin. Les valeurs élevées en ^{137}Cs mesurées au Tessin proviennent des retombées de l'accident de Tchernobyl, particulièrement importantes au Tessin à cause d'une pluviométrie élevée au moment du passage des masses d'air contaminées. Les valeurs plus élevées de ^{90}Sr des sols tessinois relèvent aussi d'une pluviométrie moyenne du nord du Tessin plus importantes que dans d'autres régions de montagne. En effet, les Alpes font barrage aux masses d'air humides venant du sud. Au cours des retombées humides des tests nucléaires des années soixante des quantités significativement plus élevées de ^{90}Sr et de plutonium se sont ainsi déposées dans cette région.

On retrouve ce marquage plus important en ^{137}Cs et en ^{90}Sr dans les herbes du Tessin (Tableau 2). On constate aussi que les herbes d'altitude (e.g. Mürren et Gimmelwald, 6 - 16 Bq/kg) contiennent plus de ^{90}Sr que celles de plaine (1 - 3 Bq/kg). La valeur la plus basse en ^{90}Sr est mesurée pour l'herbe du

plateau de Diesse (< 1Bq/kg). Ceci s'explique par la forte teneur en calcium du sol de Diesse (jusqu'à 60 g/kg). En effet, les plantes vont absorber le ^{90}Sr du sol comme un analogue chimique du calcium. Si le calcium est très présent dans le sol, il y a un fort effet de dilution de l'activité en ^{90}Sr dans le sol et, par conséquent, dans la plante. Il est donc important de normaliser les activités mesurées au contenu en calcium de chaque compartiment environnemental lorsque l'on s'intéresse aux mécanismes de transfert de la radioactivité dans l'environnement. Ce fait est particulièrement mis en évidence dans les données du tableau 3, qui reporte l'activité en ^{90}Sr de différents aliments prélevés sur le marché de Lausanne, exprimée en Bq/kg et en Bq/g Ca. Par exemple, les épinards et les pelures des carottes semblent contenir des activités importantes en ^{90}Sr , exprimées en Bq/kg de matière sèche. Quand ces activités sont exprimées en Bq/g Ca, on constate que d'autres aliments tels que les pommes-de-terre ou les pommes ont des valeurs plus élevées. Comme le ^{90}Sr est transmis aux tissus calcifiés humains en même temps que le calcium, c'est donc le rapport $^{90}\text{Sr} / \text{Ca}$ qui est déterminant pour le danger potentiel représenté par le transfert de ^{90}Sr de l'alimentation vers l'humain (voir chapitre 6.2).

Conclusions

Les mesures de ^{137}Cs et de ^{90}Sr effectuées en 2009 dans le sol et dans les plantes montrent que la radioactivité artificielle est faible en plaine et aux abords des centrales nucléaires, autant dans les sols que dans les plantes. Une importante pluviométrie est responsable de la mesure d'activités plus importantes en altitude et particulièrement au Tessin. Toutefois, l'activité naturelle du ^{40}K est très dominante dans tous les échantillons. Le ^7Be ajoute encore une contribution importante à l'activité d'origine naturelle dans les plantes.

Bien que le transfert de radioéléments du sol vers les plantes réponde à des mécanismes complexes dans lesquels la radioactivité déposée dans le sol n'est pas le paramètre le plus important, il est important de conserver ce type d'échantillons dans le plan de surveillance de la radioactivité. Tout d'abord, ces mesures permettent une estimation de la situation radiologique sur l'ensemble du pays et particulièrement aux abords des centrales nucléaires. Une émission significative de radioactivité à partir d'une centrale peut être déterminée par l'analyse des sols et de l'herbe. Ensuite, l'interprétation des résultats en fonction d'une approche phytosociologique de la couverture végétale permet de rattacher les résultats obtenus sur une zone particulière à d'autres zones ayant une végétation similaire.

Tableau 1:

Activité en ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr , Pu et Am dans des sols (0-5 cm) prélevés en Suisse en 2009 (Bq/kg matière sèche, < 2mm).

Canton / Lieu	n	^{40}K	^{134}Cs	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am
AG (voisinage KKB)	2/1*	430 ± 60	-	24 - 25	0.76 ± 0.25	0.117 ± 0.25	0.058 ± 0.011
AG (KKB in-situ)	2	320 - 400	-	14 - 17	-	-	-
AG (PSI)	1	440 ± 70	< 1	17 ± 3	0.55 ± 0.19	0.120 ± 0.010	0.069 ± 0.011
AG (PSI in-situ)	1	300 ± 40	-	9 ± 2	-	-	-
AG (ZWILAG)	1	410 ± 60	< 0.8	13 ± 2	1.23 ± 0.38	0.167 ± 0.028	0.064 ± 0.014
AG (ZWILAG in-situ)	1	310 ± 40	-	10 ± 2	-	-	-
AG (voisinage KKL)	4/1*	420 - 490	-	13 - 17	1.75 ± 0.44	0.131 ± 0.014	0.045 ± 0.007
AG (KKL in-situ)	4	200 - 340	-	7 - 13	-	-	-
AG/SO (voisinage KKG)	4/1*	390 - 470	-	12 - 22	0.89 ± 0.17	0.172 ± 0.014	0.072 ± 0.020
AG/SO (KKG in-situ)	4	300 - 340	-	9 - 13	-	-	-
BE (voisinage KKM)	7/1*	360 - 800	-	9 - 18	1.08 ± 0.35	0.117 ± 0.011	0.051 ± 0.011
BE (KKM in-situ)	7	300 - 630	-	6 - 16	-	-	-
BE (Mürren) ¹⁾	1	511 ± 26	< 0.3	41 ± 2	6.6 ± 0.5	0.945 ± 0.056	0.377 ± 0.030
BE (Gimmelwald) ²⁾	1	331 ± 17	< 0.3	17.0 ± 0.9	4.0 ± 0.3	0.349 ± 0.022	0.150 ± 0.013
BE (Fahrni)	1	456 ± 23	< 0.2	17.1 ± 0.9	3.14 ± 0.22	0.367 ± 0.023	0.133 ± 0.012
BE (Diesse / Jura)	1	444 ± 22	< 0.2	19.1 ± 1.0	1.47 ± 0.18	0.359 ± 0.023	0.146 ± 0.016
BL (Sissach)	1	536 ± 28	< 0.2	27 ± 2	4.50 ± 0.40	-	-
FR (Grangeneuve)	1	420 ± 60	< 1.0	7.2 ± 1.4	3.08 ± 0.41	0.158 ± 0.016	0.067 ± 0.002
FR (Grangeneuve in-situ)	2	340 - 370	-	5 - 7	-	-	-
GE (voisinage CERN)	3	420 - 470	-	5 - 7	-	0.082 - 0.092	0.033 - 0.045
GE (CERN in-situ)	4	340 - 380	-	3 - 8	-	-	-
TG (Arenenberg)	1	306 ± 20	< 0.6	35 ± 1	0.68 ± 0.19	0.088 ± 0.012	0.043 ± 0.007
TI (Rasa-Intragna)	1	560 ± 30	< 0.3	270 ± 20	12.6 ± 1	-	-
TI (Rodi-Fiesio)	1	385 ± 35	< 0.5	53 ± 4	7.1 ± 0.8	-	-
TI (Novaggio)	2/1*	470 - 600	< 0.2	57 - 260	11.1 ± 1	-	-
TI (Novaggio in-situ)	1	440 ± 60	-	110 ± 15	-	-	-
TI (Stabio)	1	710 ± 90	< 0.6	280 ± 30	-	-	-
TI (Stabio in-situ)	1	500 ± 60	-	160 ± 20	-	-	-
TI (Magadino)	1	960 ± 120	< 0.6	120 ± 15	-	-	-
TI (Cadenazzo)	4	710 - 750	-	46 - 114	-	-	-
TI (Cadenazzo in-situ)	3	510 - 560	-	31 - 69	-	-	-

n = nombre d'échantillons;

x/y* = nombre d'échantillons pour la mesure gamma/ nombre d'échantillons pour la mesure ^{90}Sr .

¹⁾ Alpaga (Alp Allmendhubel); ²⁾ Vallée.

Références:

- [1] Besson, B. Sensibilité radioécologique des zones de prairies permanentes. Thèse de doctorat, 2009, Université de Besançon.
- [2] Bundt, M. et al. Env. Sci. Technol. 2000; 34: 147.
- [3] Guillaume, T. Facteurs de transfert et bio-accumulation de ^{90}Sr et du ^{137}Cs dans les plantes. Master Thesis 2009, Université de Neuchâtel.
- [4] Pourcelot, L. et al. Chemosphere 2007; 66:1571.

Tableau 2:*⁷Be, ⁴⁰K, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr dans des échantillons d'herbe prélevés en Suisse en 2009 (Bq/kg de matière sèche).*

Canton/Lieu	n	⁷ Be	⁴⁰ K	⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
AG (voisinage KKB)	4/2*	34 - 200	530 - 820	< 1.5	< 1.5	1.68 - 2.93
AG (PSI ZWILAG)	4/2*	57 - 560	470 - 950	< 2.0	0.7 - 1.3	1.65 - 2.82
AG (voisinage KKL)	8/2*	46 - 530	530 - 1300	< 1.5	< 1 - 2.2	2.48 - 2.80
AG/SO (voisinage KKG)	8/2*	95 - 250	590 - 1400	< 2.0	< 1.5 - 2.0	1.87 - 3.45
BE (voisinage KKM)	11/3*	68 - 200	680 - 1200	< 1.5 - 5.7	0.7 - 1.5	3.07 - 4.35
BE (Mürren) ¹⁾	1	-	551 ± 28	-	1.85 ± 0.17	15.9 ± 1.1
BE (Gimmelwald) ²⁾	1	-	1160 ± 60	-	1.05 ± 0.14	5.9 ± 0.4
BE (Fahrni)	2	-	965 - 980	-	< 0.35 ± 0.7	3.0 - 5.1
BE (Diesse/Jura)	2	-	1370 - 1460	-	< 0.4 - 0.3	0.88 - 0.94
BL (Sissach)	1	139 ± 11	590 ± 30	-	< 0.2	0.66 ± 0.06
GE (voisinage. CERN)	1	77 ± 17	1700 ± 200	< 2.0	< 2	-
FR (Grangeneuve)	1	180 ± 35	1100 ± 110	< 2.0	< 2	2.99 ± 0.26
TG (Arenenberg)	1	249 ± 66	812 ± 30	< 1.4	< 1.4	1.0 ± 0.3
TI (Rasa-Intragna)	1	670 ± 30	466 ± 24	-	20.5 ± 1.3	21.9 ± 0.7
TI (Rodi-Fiesso)	1	295 ± 25	970 ± 60	-	1.9 ± 0.8	11.7 ± 1.2
TI (Novaggio)	2/1	270 - 280	480 - 870	-	2.3 - 21	8.6 ± 0.3
TI (Cadenazzo)	1	400 ± 60	1200 ± 160	< 1.5	< 1.5	-
TI (Stabio)	1	210 ± 40	510 ± 80	< 2.0	7.7 ± 1.9	-

n = nombre d'échantillons;

x/y* = nombre d'échantillons pour la mesure gamma/ nombre d'échantillons pour la mesure ⁹⁰Sr.¹⁾ Alpage (Alp Allmendhubel); ²⁾ Vallée.**Tableau 3:***⁹⁰Sr dans des échantillons de denrées alimentaires prélevés sur le marché de Lausanne en 2009 (Bq/kg de matière sèche ou Bq/g Ca).*

Type de denrées	⁹⁰ Sr (Bq/kg)	⁹⁰ Sr (Bq/g Ca)
Lait de chèvres (Peney-Jorat)	0.096 ± 0.011	0.070 ± 0.010
Lait de vaches (Peney-Jorat)	0.057 ± 0.010	0.050 ± 0.010
Pommes Boscop	0.280 ± 0.030	0.460 ± 0.040
Pommes Gala	0.160 ± 0.030	0.170 ± 0.030
Pommes de terre «Bintje» avec pelure	0.610 ± 0.110	0.920 ± 0.160
Pommes de terre «Bintje» sans pelure	0.360 ± 0.070	0.890 ± 0.170
Epluchures de pommes de terre «Bintje»	1.470 ± 0.140	0.640 ± 0.060
Salade «feuille de chêne»	0.990 ± 0.150	0.058 ± 0.009
Épinards	1.910 ± 0.300	0.095 ± 0.013
Carottes bio pelées	0.450 ± 0.030	0.084 ± 0.005
Epluchures de carottes bio	5.900 ± 0.400	0.570 ± 0.040

4.5

Quell- und Grundwasser sowie Sickerwasser aus Deponien

P. Steinmann

Sektion Umweltradioaktivität URA, BAG, 3003 BERN

Zusammenfassung

Die Messung von Radioisotopen (^3H , ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{238}U , ^{234}U) an Grundwasserproben aus dem Gebiet des Hardwaldes bei MuttENZ haben generell niedrige Aktivitäten gezeigt. Leicht erhöhte Tritiumkonzentrationen könnten mit entsprechenden erhöhten Werten im Rheinwasser zusammenhängen. Radon variiert stark; niedrige Werte finden sich beispielsweise im Gebiet wo das (Radon-arme) Rheinwasser infiltriert wird. Eine weitergehende hydrogeologische Interpretation würde eine grössere Datenbasis verlangen, mit Kenntnis der zeitlichen Änderungen. Aus gesundheitlicher Sicht ist die gemessene Radioaktivität unbedenklich.

Messungen von Radioisotopen im Grundwasser bei MuttENZ

In Zusammenarbeit mit dem Amt für Umweltschutz und Energie in Liestal führte das BAG 2009 Messungen an Grundwasserproben aus dem Gebiet Hardwald in der Gemeinde MuttENZ (BL) durch. Im Hardwald wird zur Gewinnung von Trinkwasser Rheinwasser infiltriert. Gleichzeitig grenzen an dieses Gebiet ehemalige Deponien und Industriestandorte, die das umliegende Grundwasser belasten. Als Ergänzung zum bestehenden Überwachungsprogramm des Kantons wurden 2009 bei zwei Messkampagnen auch Radon und Tritium sowie an ausgewählten Proben ^{226}Ra und Uranisotope gemessen.

Uran, Radium und Radon gehören zur Uran-238-Zerfallsreihe und kommen natürlicherweise im Grundwasser vor. Uran ist im Wasser als U(IV) nicht, als U(VI) aber relativ gut löslich. Radium ist ebenfalls wasserlöslich, scheidet sich aber leicht auf Eisen-(Hydr)oxiden ab. Bei Deponien ist es denkbar, dass Radium-Altlasten aus der Uhrenindustrie bestehen und so Radium ins Grundwasser gelangen könnte. Eine Besonderheit ist das Radon: es reichert sich im Wasser - aufgrund seiner hohen Mobilität im Untergrund und seiner guten Löslichkeit - stark an und findet sich in Konzentration von einigen «Bq/l» (statt wenige «mBq/l» bei Radium und Uran). Beim Tritium deuten erhöhte Werte (> 5 Bq/l) auf eine Kontamination hin. Dabei kann es sich beispielsweise um Austreten von Tritium aus einer Deponie ins Grundwasser oder um Einleitungen von Tritium

aus Industrie oder Kernkraftwerken in Flusswasser handeln. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es eventuelle Kontaminationen durch die Deponien aufzuzeigen und die Verwendbarkeit der natürlichen Radioisotope als hydrologische Tracer zu prüfen.

Tritium

Die leicht erhöhten Tritiumwerte einiger Überwachungspiezometer im Bereich Hardwald (Figur 1) könnten durch erhöhte Tritiumwerte im Rheinwasser zur Zeit der Probenahme (April 09) erklärt werden, denn im Rheinwasser wurden von März bis April 2009 erhöhte Tritiumkonzentrationen festgestellt, mit Spitzenwerten bis 26 Bq/l (Kantonales Laboratorium Basel Stadt, Jahresbericht 2009). Der höchste im Grundwasser bei MuttENZ gemessene Wert (8 Bq/l) gehört einer im Oktober 2008 genommenen Probe südlich vom Güterbahnhof. Zu dieser Zeit lagen die Tritium-Konzentrationen im Rheinwasser unter 5 Bq/l. Die Tritium Konzentrationen im Grundwasser sind generell sehr tief. Ein Einfluss der Deponien ist nicht zu erkennen.

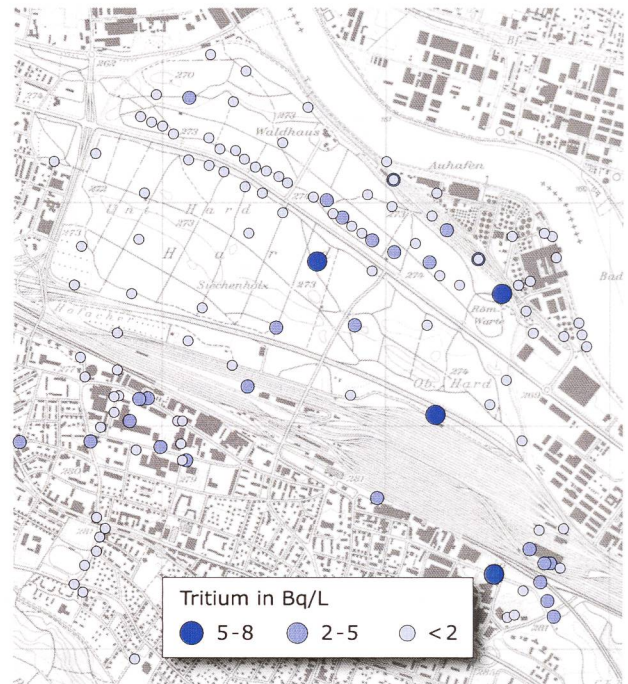
Radon

Etwas höhere Radonkonzentrationen treten etwa am Rand des durch die Rheinwasserinfiltration erzeugten Grundwasserberges im Hardwald auf (Figur 2). Das versickernde Rheinwasser enthält wenig Radon. Die höheren Werte am Rand des Infiltrationsgebietes widerspiegeln den Kontakt zu einem tieferen Grundwasser, oder die natürliche Aufnahme von Radon mit zunehmender Verweilzeit im Untergrund des Hardwaldes.

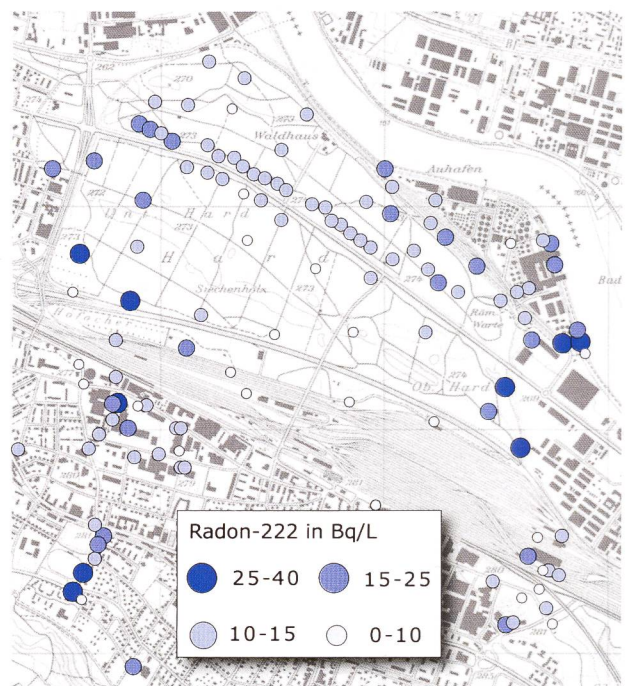
Im südlichen Teil des untersuchten Gebietes ändern sich die Radonkonzentrationen auf kleinem Raum stark. Um hier eine Interpretation zu geben, müsste etwa die zeitliche Konstanz der beobachteten Muster bekannt sein.

Uran und $^{226}\text{Radium}$

Die gemessenen Urangelhalte sind tief und liegen zwischen 0.5 und 3 $\mu\text{g/l}$ ($n=29$). Das Aktivitätsverhältnis von $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ liegt im Mittel bei 1.6, was gut dem erwarteten Wert entspricht. Die $^{226}\text{Radium}$ -Konzentrationen sind ebenfalls tief, in der Regel $< 5 \text{ mBq/l}$ (bei 34 von 44 Proben; Höchstwert: 14 mBq/l). Eine weitergehende hydrogeologische Interpretation würde eine grössere Datenbasis verlangen. Aus gesundheitlicher Sicht sind die gemessenen Radium- und Urankonzentrationen unbedenklich – ebenso wie Tritium und Radon.



Figur 1:
Tritium im Grundwasser bei MuttENZ.



Figur 2:
Radon im Grundwasser bei MuttENZ.