

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: - (2010)

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 2010
Résultats 2010



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	52
Résumé	52
Air	52
Réseau automatique de surveillance de l'air	53
Précipitations	57
Rivières	58
Stations d'épuration (STEP) et eaux de lavage des fumées des usines d'incinération	59
4.2 Überwachung der Radioaktivität der Luft mit Militärflugzeugen	60
Zusammenfassung	60
Vorgeschichte	60
Messkampagne «Eyjafjöll»	62
4.3 Radioaktivität in aquatischen Systemen	63
Zusammenfassung	63
Ziele	63
Methoden	63
Kernanlagen	64
Andere Betriebe	69
4.4 Radioactivité du sol et de l'herbe	72
Résumé	72
Introduction	72
Résultats et discussion	73
Conclusions	74



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, T. Marti, M. Zeller

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

Résumé

Les résultats des mesures de la radioactivité dans l'environnement obtenus en 2010 n'ont mis en évidence aucune valeur susceptible de représenter un danger pour la santé de la population. Seules des faibles 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, Leibstadt, Beznau 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 1 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 mesurés dans les filtres à aérosols provenant des 5 collecteurs à haut débit (High Volume Sampler HVS) sont disponibles en ligne à l'adresse suivante: www.bag.admin.ch/hvs.

Ces filtres sont changés hebdomadairement, puis envoyés au laboratoire de l'OFSP où ils sont analysés par spectrométrie gamma. En résumé, pour l'année 2010, comme pour les années précédentes, les résultats des mesures montrent que les radioéléments d'origine naturelle ^7Be et ^{210}Pb prédominent. Des valeurs comprises entre 0.6 et 7.5 et entre 0.1 et 2.6 mBq/m^3 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 2.0 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$). 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.

Notons par ailleurs que pour ce radioisotope (^{137}Cs), une grande partie des valeurs mesurées était, en 2010, supérieure à la limite de détection:

- 62% des mesures des filtres d'Oberschrot
- 100% des mesure des filtres du Monte Ceneri
- 90% des mesures des filtres de Güttingen
- 90% des mesures des filtres de Klingnau
- 48% des mesures des filtres du CERN

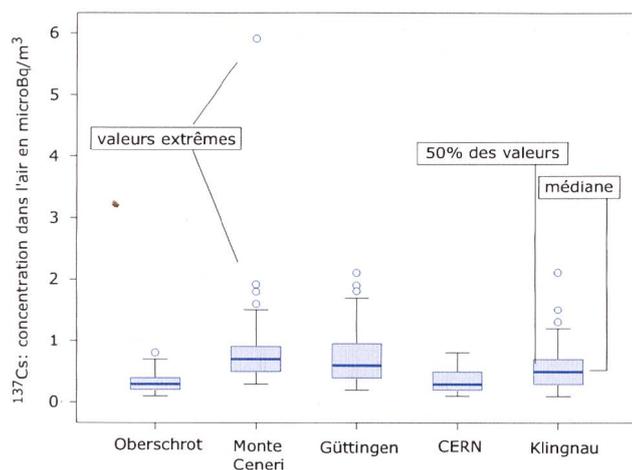


Figure 1: Concentrations en ^{137}Cs dans l'air pour les 5 High Volume Sampler (HVS) en Suisse. Boxplot avec la médiane, quartiles minimum et maximum et les déciles pour les valeurs supérieures à la limite de détection.

Les activités mesurées pour le ^{137}Cs se sont révélées très faibles. Le valeur la plus élevée mesurée en 2010 provient des aérosols du Monte Ceneri (valeur maximale 5.9 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$).

En général, les valeurs les plus élevées proviennent du Monte Ceneri et de Güttingen (Figure 1). Cela s'explique par les retombées radioactives en Suisse durant l'accident de Tchernobyl qui étaient plus importantes au Tessin et dans la région du lac de Constance.

Des traces de ^{24}Na et de ^{131}I ont été sporadiquement détectées dans les filtres aérosols du CERN (valeurs comprises entre 2.5 et 18.7 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ et entre 0.3 et 3.8 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ respectivement). Ces radio-isotopes, d'une demi-vie de 15 heures pour le ^{24}Na et de 8 jours pour le ^{131}I , sont produits dans les accélérateurs de particules du centre de recherche. Notons que ces concentrations sont nettement inférieures aux limites d'immissions stipulées dans l'ORaP (100 Bq/m^3 pour le ^{24}Na , et 2.7 Bq/m^3 pour le ^{131}I) et ne présentent aucun danger du point de vue radiologique.

Voisinage des centrales nucléaires

(voir aussi Chapitre 8.5)

Les filtres d'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 2010, à l'exception de traces de ^{137}Cs (0.7 à 1.9 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$) 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 1.4 et 4.8 et entre 0.2 et 0.8 mBq/m^3 , les radionucléides ^7Be et ^{210}Pb sont en effet nettement prépondérants.

RADAIR

Réseau automatique de surveillance de l'air

Les modifications apportées en 2010

Le projet de rénovation de la centrale du logiciel de gestion des moniteurs et du logiciel de gestion des données se poursuivra et se terminera en 2011.

- Dans la partie «RADAIR-Web» un accent particulier a été mis sur les informations relatives aux alarmes techniques et radiologiques transmises à chaque utilisateur. Elles sont représentées sur une carte de la Suisse par des symboles décryptant le type d'alarmes. L'opérateur peut visualiser le message d'erreur par une info-bulle à côté du symbole et y apporter des commentaires suivant l'action qu'il y a faite. Pour chaque intervalle de mesure, les données radiologiques et météorolo-

giques de chaque station sont également visibles sur des cartes de la Suisse. L'utilisateur peut observer, en tout temps, les valeurs de chaque intervalle, jour après jour ou au jour et à l'heure de son choix. Toutes ces grandeurs mesurées peuvent être exportées ou visualisées directement sur un graphique. Pour l'exploitation, il y a 3 niveaux d'accès en fonction des utilisateurs.

- Dans la partie «RADAIR-Excel», le traitement plus détaillé des données se fait par un module adapté dans le logiciel Excel lequel charge directement les mesures depuis la base de données du serveur RADAIR. L'opérateur peut y afficher le graphique de chaque grandeur de mesure, y sélectionner une plage d'intérêt pour y effectuer des calculs ou y valider / dévalider un intervalle de mesures. Chaque grandeur de chaque moniteur possède son domaine de plausibilité. Lorsque les mesures restent dans le domaine plausible, la centrale les valide automatiquement (Figure 2 A et B).
- La nouvelle centrale gère la collecte des données radiologiques et météorologiques. Selon l'état des moniteurs et les valeurs de mesure, elle gère les alarmes qu'elle transmet sur RADAIR-web et génère un message d'alarme qu'elle envoie aux abonnés par la messagerie électronique.

En parallèle avec le développement software, les moniteurs d'iode et d'aérosols des sites de Bellinzona et du PSI ont été équipés avec les nouvelles lignes de transmissions sécurisées à haut débit (ADSL). Tous les moniteurs du réseau sont actuellement adaptés pour fonctionner sous Windows XP.

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. Il fluctue en moyenne de 0.65 à 0.85.

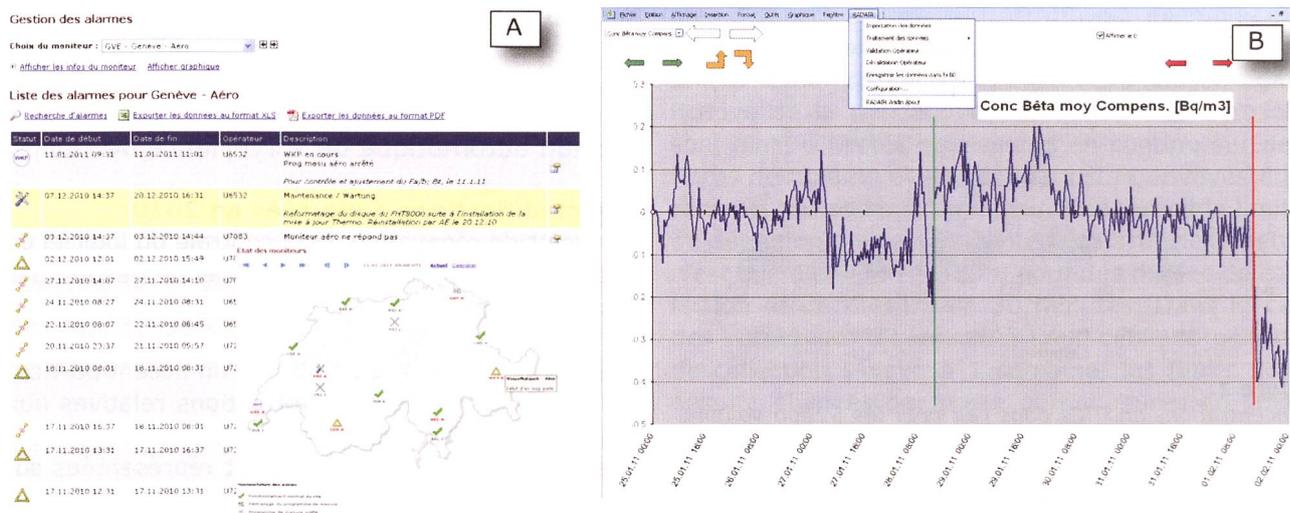


Figure 2: Aperçu de RADAIR WEB - A) gestion des alarmes B) affichage des données dans un tableau excel.

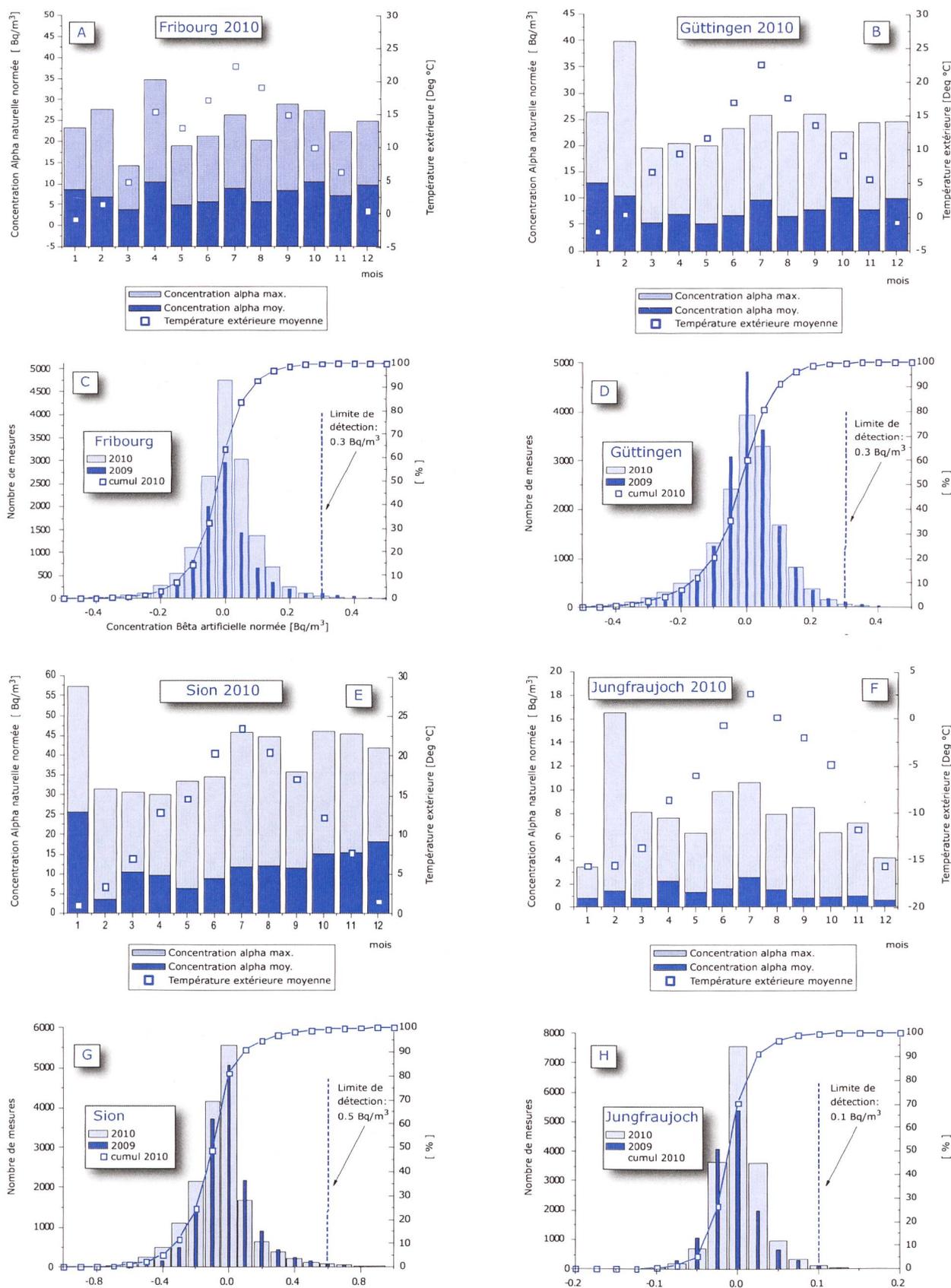


Figure 3: Les graphiques A), B), E) et F) montrent les concentrations alpha totales (d'origine naturelle) mensuelles moyennes et maximales ainsi que les températures mensuelles moyennes enregistrées en 2010 aux stations de Fribourg, Göttingen, Sion et Jungfrauoch. Les graphiques C), D), G) et H) représentent les histogrammes des concentrations bêta artificielles compensées obtenus en 2009 et 2010 à ces mêmes stations.

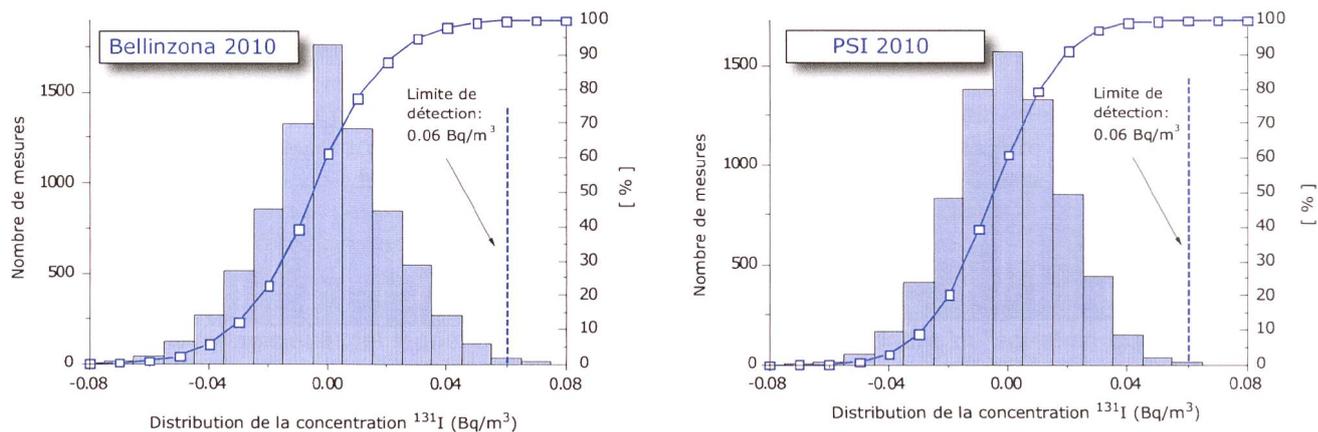


Figure 4:
Histogrammes de la concentration moyenne du ^{131}I des stations de Bellinzona et du PSI en 2010.

Pour les stations d'altitude, où les concentrations α et β peuvent être très faibles, il varie très fortement.

La figure 3 montre les concentrations α naturelles mensuelles moyennes et maximales relevées en 2010 aux stations de Fribourg, de Güttingen, de Sion et du Jungfrauoch 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, représentée en figure 3, ces valeurs fluctuent d'un facteur de 2 à 5 au cours de l'année en fonction des conditions météorologiques.

Les différences marquées entre concentrations maximales et concentrations moyennes reflètent les importantes fluctuations diurnes-nocturnes de radioactivité naturelle allant de 5 à 60 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. 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 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 3) 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.

De manière générale, les histogrammes des concentrations β artificielles moyennes normées enregistrés en 2009 et en 2010 montrent que les limites de détection sont restées sensiblement les mêmes pour ces deux années. Pour les sites de Fribourg et Jungfrauoch, le nombre total de mesures est plus faibles en 2009 qu'en 2010 suite à des pannes liées à l'alimentation du détecteur. Pour le site de Sion, la forte fluctuation diurne-nocturne de 5 à 40 Bq/m³ contraint à avoir un facteur de compensation sensiblement plus bas afin d'éviter les pics de mesures de la radioactivité β d'origine naturelle; l'histogramme est alors décentré vers les valeurs négatives.

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 2010.

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 4 montre l'histogramme de la concentration moyenne du ^{131}I enregistré dans les stations de Bellinzona et du PSI. L'histogramme du moniteur du PSI est légèrement plus étroit que celui du moniteur de Bellinzona car le débit est 5% plus élevé au PSI.

Les pannes:

La disponibilité des mesures se situe entre 85 et 95% suivant les stations. D'une manière générale, les pannes les plus courantes ont été, dans l'ordre de fréquence: le positionnement correct des filtres lors du changement de ces derniers, la climatisation des locaux, l'alimentation du scintillateur et quelques courtes pannes de secteur.

Précipitations

Des échantillons de pluie sont collectés en continu aux environs des centrales nucléaires de Mühleberg, Leibstadt, Gösigen et Beznau ainsi que dans divers endroits de Suisse (Davos/GR, Cernier/NE, Fribourg, Güttingen/TG et Locarno-Monti/TI) pour l'analyse mensuelle des émetteurs gamma. Au cours de l'année 2010 la méthode de prélèvement a été modifiée au site de Cernier, ainsi qu'à Fribourg, Mühleberg, Güttingen et Davos, les radio-isotopes contenus dans la pluie sont dès lors capturés à l'aide d'une résine échangeuse d'ions.

A l'exception de traces sporadiques de ^{137}Cs (valeur maximale de 2.3 mBq/l enregistrée à Fribourg), aucun émetteur gamma d'origine artificielle n'a été détecté dans les précipitations au cours de l'année 2010. Des valeurs comprises entre 0.2 et 2.1 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, Grimsel, La Brévine, Locarno, Meiringen, Nyon et Pontresina).

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. Les résultats des mesures ont montré que les concentrations de ^3H dans ces échantillons sont restées inférieures à 14.9 Bq/l en 2010.

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 Beznau. Les concentrations mensuelles de ^3H enregistrées

en 2010 dans les pluies du voisinage des centrales nucléaires de Mühleberg (valeur maximale: 4.9 Bq/l, médiane: 1.8 Bq/l), Gösigen (valeur maximale: 3.5 Bq/l, médiane: 1.8 Bq/l) et de Leibstadt (valeur maximale: 6.7 Bq/l, médiane: 4.2 Bq/l) sont restées proches de celles enregistrées dans des stations situées hors influence de ces installations (voir chapitre 7.1).

Les concentrations mensuelles de ^3H enregistrées au voisinage des centrales de Beznau 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 24.4 Bq/l en février à Beznau et de 23.3 Bq/l en août au ZWILAG). Ces valeurs sont cependant nettement 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 (entreprise RC Tritec - chapitre 4.3) ainsi qu'à Niederwangen/BE (entreprise mb microtec - figure 5). La concentration en tritium des échantillons de Teufen est analysée chaque semaine; celle des précipitations de Niederwangen tous les 15 jours. Les résultats 2010 sont résumés dans le tableau 1.

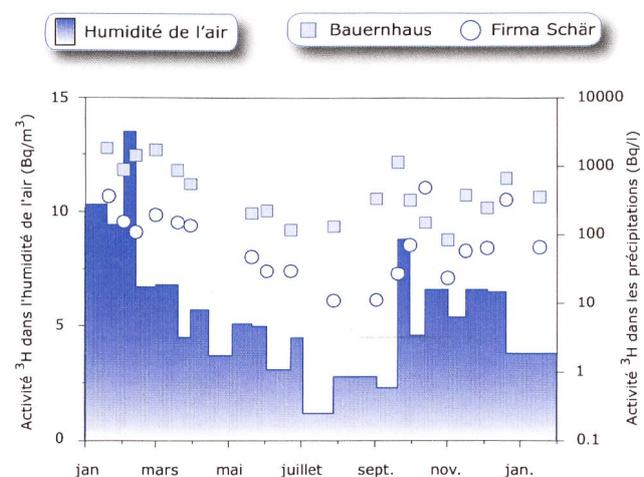


Figure 5:

Activité de 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.

Tableau 1:
Tritium dans les précipitations au voisinage des entreprises utilisatrices de ³H en 2010.

Lieu	Valeur min/max (Bq/l)	Moyenne (Bq/l)
Teufen/AR 65 m E Firma RCT	20 – 2'200	184
Niederwangen/BE		
Bauernhaus 300 m SE de l'entreprise	11 – 485	120
Garage 200 m SW de l'entreprise	8 – 1'192	172
Gemeinde Köniz 180 m NNW de l'entreprise	13 – 572	129
Firma Schär 320 m NE de l'entreprise	83 – 1'794	606

Les concentrations de ³H enregistrées en 2010 à Niederwangen/BE et Teufen/AR sont généralement comparables à celles obtenues au cours des années précédentes (voir Figure 10, Chapitre 4.3). La firme RCT a arrêté l'utilisation du ³H en 2008. Au premier trimestre 2010, des travaux de décontamination des laboratoires étaient à l'origine des émissions. A partir de 2011, les émissions devraient être nettement inférieures. Notons que la concentration maximale du tritium enregistrée dans les précipitations de Teufen/ AG représente environ 20% de la valeur limite d'immissions fixée dans l'ordonnance sur la radioprotection pour les eaux accessibles au public (soit 12'000 Bq/l).

A Niederwangen, l'activité du ³H dans l'humidité de l'air est également mesurée deux fois par mois (figure 5). Les valeurs obtenues en 2010 se sont situées entre 1.2 et 10.3 Bq/m³ avec une valeur moyenne de 5.8 Bq/m³.

Rivières

Les échantillons d'eau du Ticino (près de Contone/TI) ainsi que du Rhône (près de Porte-du-Scex/VS et de Chancy/GE), mesurés chaque mois, n'ont pas présenté de radioactivité d'origine artificielle à l'exception de traces de ¹³⁷Cs provenant d'anciennes contaminations (valeur maximale de 1.7 ± 1.2 mBq/l enregistrée dans le Rhône/Porte du Scex). Les activités des émetteurs gamma artificiels dans les eaux de l'Aar et du Rhin sont étudiées au Chapitre 4.3.

Les concentrations mensuelles de tritium mesurées en 2010 dans les eaux du Ticino et du Rhône sont inférieures à 3 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 1.6 Bq/l.

Les concentrations mensuelles de ³H enregistrées en 2010 dans les eaux du Rhin près de Weil/D, en aval de Bâle, sont restées inférieures à 2.3 Bq/l à l'exception de la période avril-mai, où, comme chaque année, une légère augmentation est observée en raison de rejets plus importants d'eau contenant du tritium par la centrale nucléaire de Gösgen (maximum en avril 2010: 6.1 Bq/l voir Chapitre 8.5).

Stations 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 2010.

En octobre 2010 un pic de concentration de ^3H atteignant 12'645 Bq/l a été observé dans l'échantillon journalier des eaux de lavage des fumées de l'usine d'incinération de Bâle-Ville en septembre. Deux autres pics avec des concentrations de ^3H de 8'840 et 6'380 Bq/l ont été observés en mars. Ce phénomène, a régulièrement été observé par le passé. 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 mars et septembre 2010 où ces pics de concentration ont été observés, les concentrations mensuelles en ^3H mesurées dans le Rhin près de Weil/D, en aval de Bâle, sont restées inférieures à 2.1 Bq/l.

Les valeurs de tritium observées à la STEP de la région de La Chaux-de-Fonds, légèrement 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 horlogers.

Tableau 2:

Tritium (^3H) et ^{131}I dans les eaux de rejet des usines d'incinération et des stations d'épuration (STEP en 2010).

Ville	Laboratoire	Isotope	Nombre	Valeur min/max (Bq/l)	Médiane (Bq/l)	Moyenne (Bq/l)
STEP Bâle	KL-BS	^{131}I	50/47	< 0.1 - 0.8	0.3	0.4
		^3H	50/49	1.0 - 7.0	4.3	4.3
Incineration Bâle		^{131}I	51/46	< 0.1 - 3.5	0.4	0.7
		^3H	343/343	4.8 - 12'645	90.8	245.3
STEP Berne	Labor Spiez	^{131}I	26/20	< 0.1 - 1.1	0.4	0.4
	URA/OFSP	^3H	12/12	2.4 - 5.7	3.6	3.6
Incineration Bienne	URA/OFSP	^3H	52/44	4.0 - 18.0	7.0	7.4
STEP La Chaux-de-Fonds	URA/OFSP	^3H	50/50	6.0 - 110.0	17.5	22.2
STEP Lausanne	IRA	^{131}I	47/1	< 0.1 - 0.4	-	-
		^3H	11/1	< 1.5 - 2.0	-	-
STEP Zürich	EAWAG	^{131}I	50/0	< 8.9	-	-
	URA/OFSP	^3H	12/12	0.8 - 2.1	1.7	1.6

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 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.

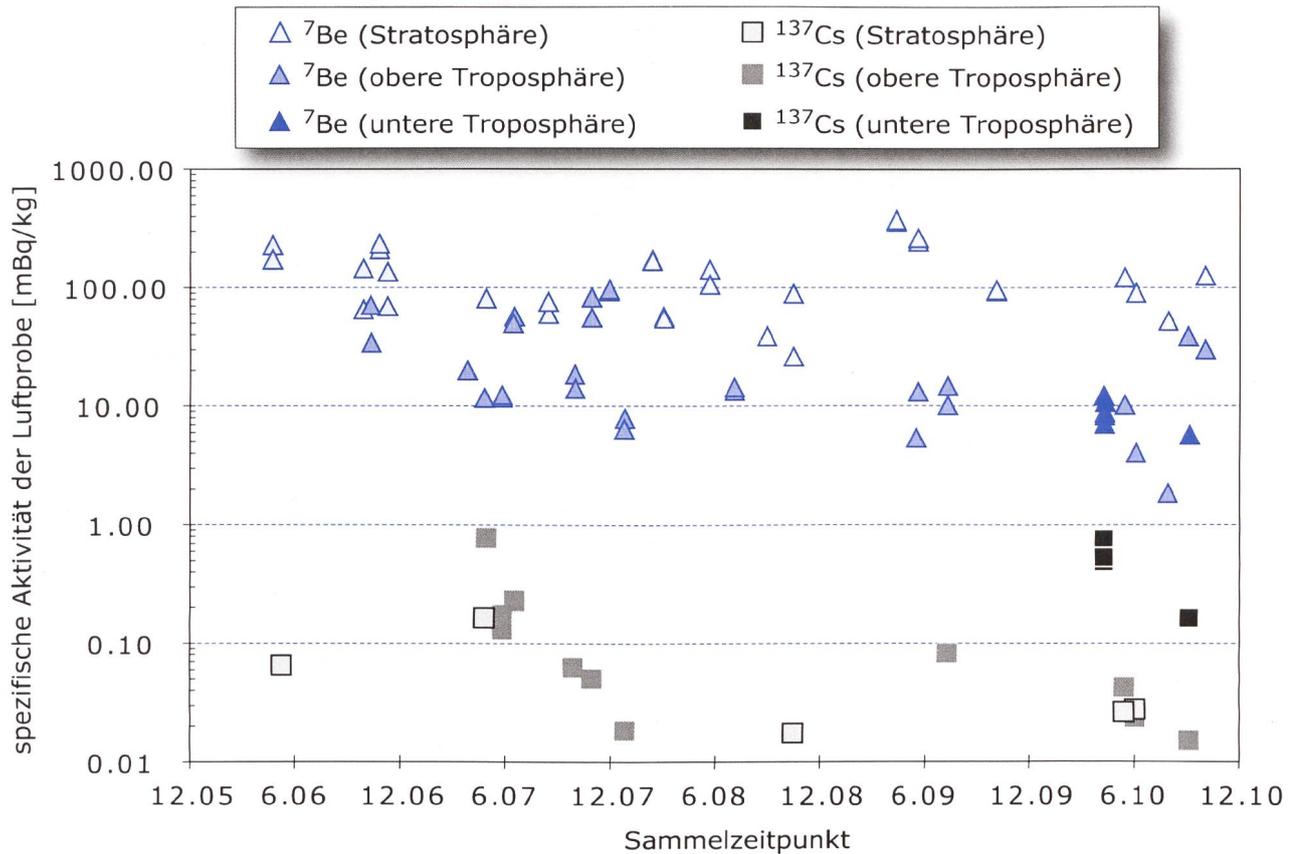
Im April 2010 fanden nach der Eruption des isländischen Vulkans Eyjafjöll zusätzliche Messflüge statt, primär um die chemischen und physikalischen Eigenschaften der bis in die Schweiz verfrachteten Aschepartikel zu bestimmen (Zusammenarbeit mit dem PSI). Während sich herausstellte, dass das verwendete Filtermaterial für eine chemische Analyse ungeeignet ist, ergaben sich interessante Resultate für die Radioisotope.

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.

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. Bei Kernwaffenexplosionen findet eine Ausbreitung bis in die Stratosphäre statt, bei Unfällen in Kernanlagen vorwiegend in der Troposphäre.

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 Flug-


Figur 1:

^7Be - und ^{137}Cs -Messwerte in mBq/kg Luft der Jahre 2006-2010. Die Resultate zeigen das natürliche ^7Be und das künstliche ^{137}Cs , welches noch vom Bombenfallout her stammt.

zeugwerken Emmen Sammelgeräte entwickelt und im Windkanal kalibriert wurden, welches ermöglichten, 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 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 einer Überholung bedurften. Mit dieser Erneuerung und Anpassung sowie der erneuten Flugzulassung wurde RUAG Aerospace, (als Nachfolgerin der Flugzeugwerke Emmen) beauftragt. Seit 2004 sind die Geräte wieder einsatzbereit und flugerprobt.

Sammlung und Messung der Proben

Die Probenahme der Aerosolpartikel erfolgt mit Sammelaggregaten, die unter dem Flügel eines Tigers F-5F/E befestigt werden (Fig. 2). Der Lufteinlass kann vom Piloten 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 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.

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 Gammaskopie, mit welcher nach 1-2 Tagen 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 fünf Jahre liegt für ^7Be oberhalb der Tropopause bei 106 mBq/kg , jener bei 1'000 m unterhalb der Tropopause bei 15 mBq/kg . Diese Ergebnisse sind in guter Übereinstimmung mit denjenigen von P. Winiger^{1,2,3,4} aus den 60er-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, d.h. zwischen 400 und 4'000 mBq/kg .

1 P. Winiger, O. Huber und J. Halter: Halbleiterspektren 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.



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

Messkampagne «Eyjafjöll»

Nach dem Ausbruch des isländischen Vulkans Eyjafjöll im April 2010 wurden zusätzliche Sammelflüge in Flughöhen von 1'000 bis 3'500 m durchgeführt. Das primäre Ziel war es Probenmaterial von der Aschewolke zu erhalten, dessen chemische Zusammensetzung und physikalische Eigenschaften am PSI und in der Abteilung LMS-BAG bestimmt werden sollten. Es stellte sich aber heraus, dass der verwendete Glasfaserfilter ungeeignet für solche Untersuchungen war. Interessante Resultate lieferten hingegen die ebenfalls durchgeführten Radioaktivitätsmessungen. Wie erwartet lag die Konzentration des natürlichen ^7Be etwas unter den in einer Flughöhe von 8-12 km üblichen Werten (Fig. 1). Hingegen waren die ^{137}Cs Konzentrationen in jenen Proben die Vulkanasche enthielten mit bis zu 0.85 mBq/m^3 relativ hoch. Eine mögliche Quelle für dieses ^{137}Cs ist «Resuspension» von Fallout-Cäsium aus dem Eis über dem Vulkan. Eine abschliessende Interpretation der Resultate liegt aber noch nicht vor. Die gemessenen ^{137}Cs Werte liegen weit unterhalb des Immissionsgrenzwertes von 3 Bq/m^3 .

4.3

Radioaktivität in aquatischen Systemen

J. Beer, M. Fujak, 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 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 waren keine künstlichen Radionuklide nachweisbar, in Wasserpflanzen 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 keine Spuren künstlicher Radionuklide gefunden werden. In der Rauchgaswaschanlage der Kehrichtverbrennungsanlage Hagenholz zeigten die Monatsproben Spuren von ^{137}Cs (3 Proben) und ^{131}I (7 Proben). Insgesamt führten die gefundenen Aktivitäten in aquatischen Systemen zu keiner messbaren Erhöhung der Strahlenbelastung.

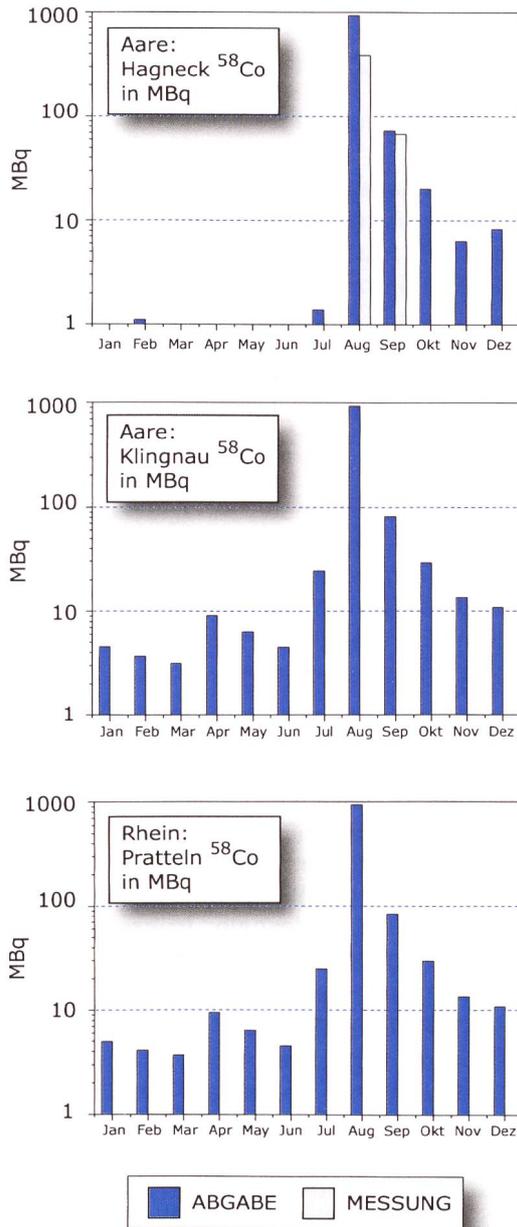
Ziele

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.

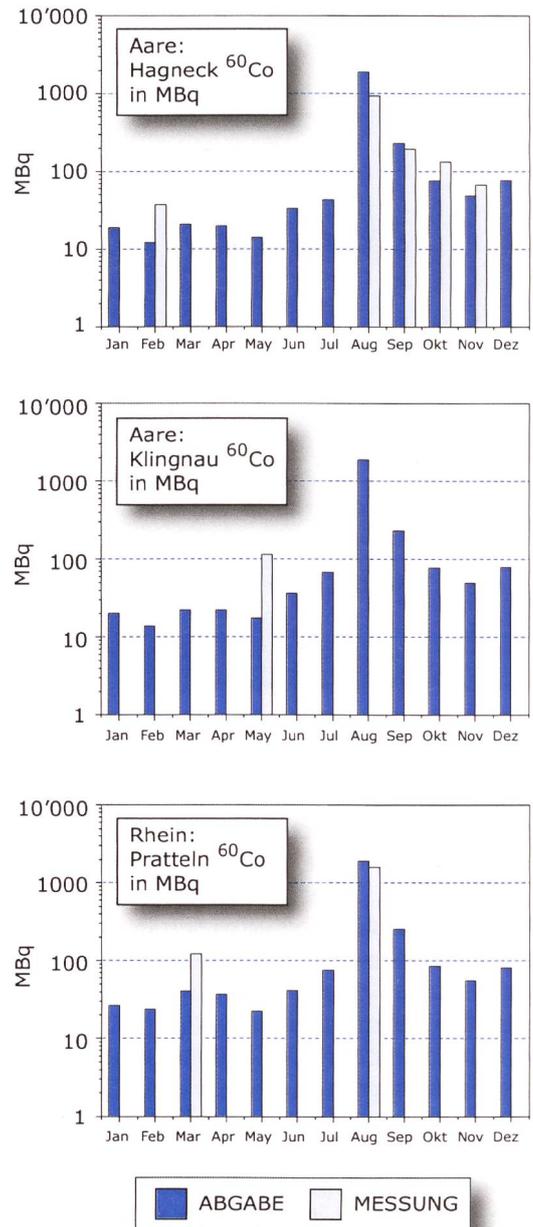
Methoden

Die Aktivitäten aller an der EAWAG gemessenen Radionuklide werden mittels Gammaskopie 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 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 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: ⁵⁸Co-Aktivitäten im Flusswasser bei Hagneck, Klingnau und Pratteln. Die Abgaben (blau) zeigen das Total der flussaufwärts liegenden Kernkraftwerke und erfolgten vor allem während den Revisionen in den Sommermonaten. Sie sind so gering, dass sie im Wasser meistens nicht nachgewiesen werden konnten. ⁵⁸Co stammt zum grössten Teil von Mühleberg und Beznau.



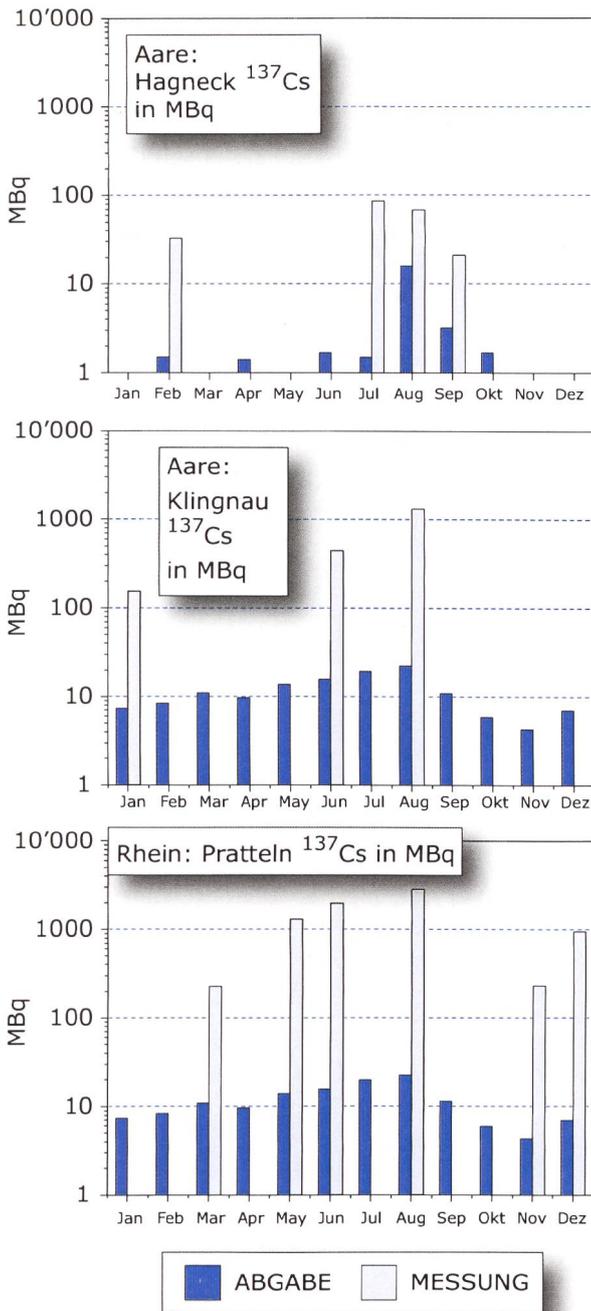
Figur 2: ⁶⁰Co-Aktivitäten im Flusswasser bei Hagneck, Klingnau und Pratteln. Die Abgaben stammen vor allem von Mühleberg. Die grössten Abgaben erfolgten im August und September während der Revision des KKW's Mühleberg. Mit acht Ausnahmen liegen alle Messwerte unter der Nachweisgrenze von typischerweise 0.1 GBq.

Kernanlagen

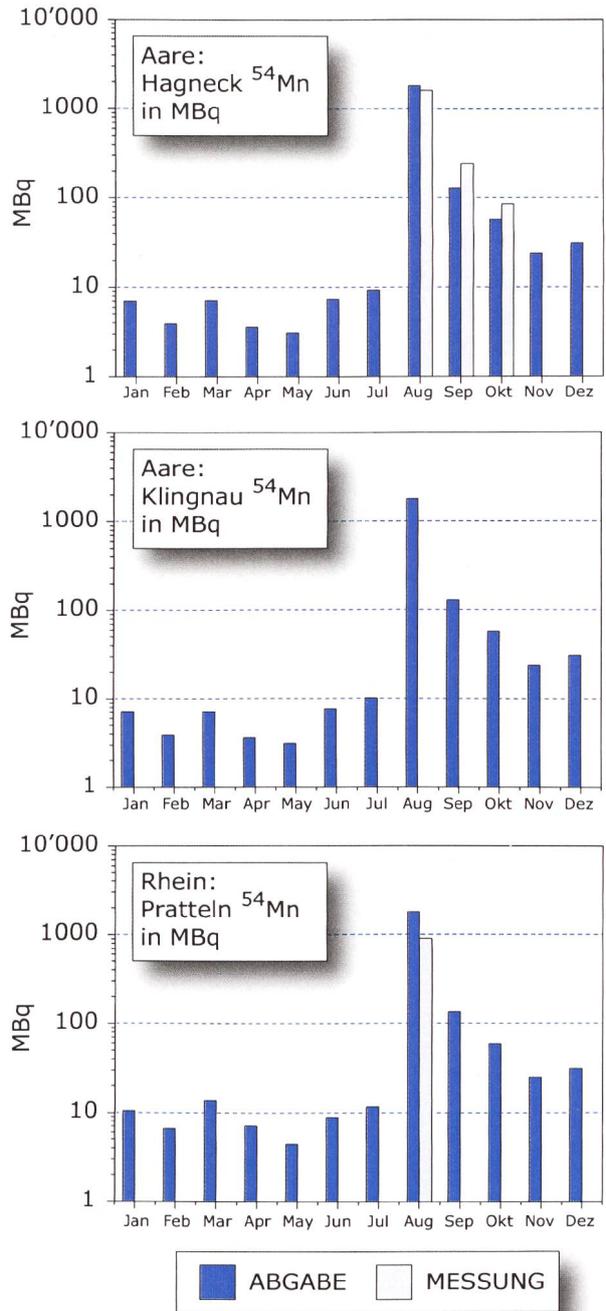
Wasserproben

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, Gösgen und Beznau 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 200 L ergibt.



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



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

Die Figuren 1 bis 4 zeigen jeweils für die drei erwähnten Probenahmestationen die total von den flussaufwärts liegenden Kernkraftwerken abgegebenen Aktivitäten von ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs und ⁵⁴Mn zusammen mit den aufgrund der Messungen ermittelten Aktivitäten (gemessene spezifische Aktivität x mittlerer monatlicher Abfluss x Dauer der Sammelperiode).

Das meiste ⁵⁸Co und ⁶⁰Co stammt aus dem Kernkraftwerk Mühleberg. Die grössten Abgaben erfolgten im August während der Revision. Obwohl 2010 die Gesamtabgaben der KKW's leicht zugenommen haben (Tab. 1 und 2, Figuren 5 und 6) liegen die gemessenen Konzentrationen häufig unter der Nachweisgrenze von typischerweise 0.1 GBq.

Im Falle von ^{137}Cs (Fig. 3) liegen viele Messungen über den Abgaben. Dies ist auf die Remobilisierung von ^{137}Cs vom Tschernobyl Unfall zurückzuführen.

^{54}Mn stammt wie ^{60}Co vor allem aus dem Kernkraftwerk Mühleberg. Die höchste Aktivität wurde nach der Revision im August gemessen.

In Klingnau und Pratteln ist ^{58}Co und auch ^{54}Mn nicht mehr messbar infolge von Verdünnung und Sedimentation (Ausnahme: Pratteln August ^{54}Mn). Bis Pratteln scheint das meiste ^{54}Mn jedoch zu sedimentieren.

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

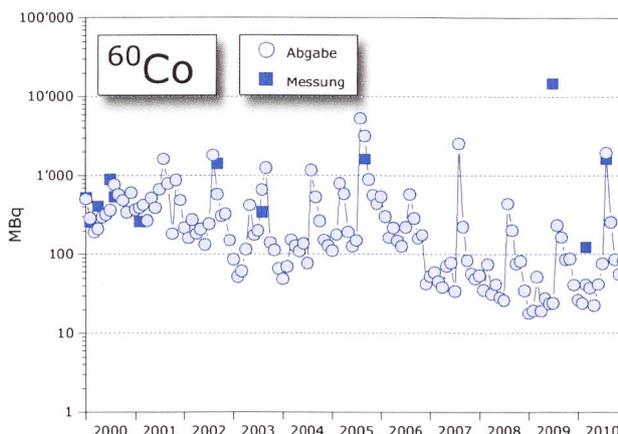
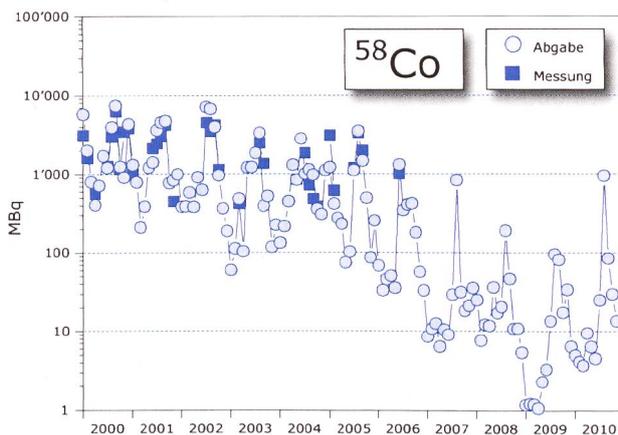
Jahresgesamtbilanz Pratteln ^{58}Co und ^{60}Co

Tabellen 1 und 2 zeigen den Vergleich zwischen den total von allen KKW's abgegebenen ^{58}Co und ^{60}Co Aktivitäten mit den aufgrund der Messungen in Pratteln hochgerechneten Aktivitäten, welche die Schweiz im Rhein verlassen haben. Die Bilanz zeigt, dass im allgemeinen rund 50% der Aktivitäten die Schweiz verlassen, mit Ausnahme des Jahres 2009.

Tabelle 1:

Vergleich der totalen jährlichen Abgaben von ^{58}Co 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	
2010	1.13	< 0.1	



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

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

Tabelle 2:

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

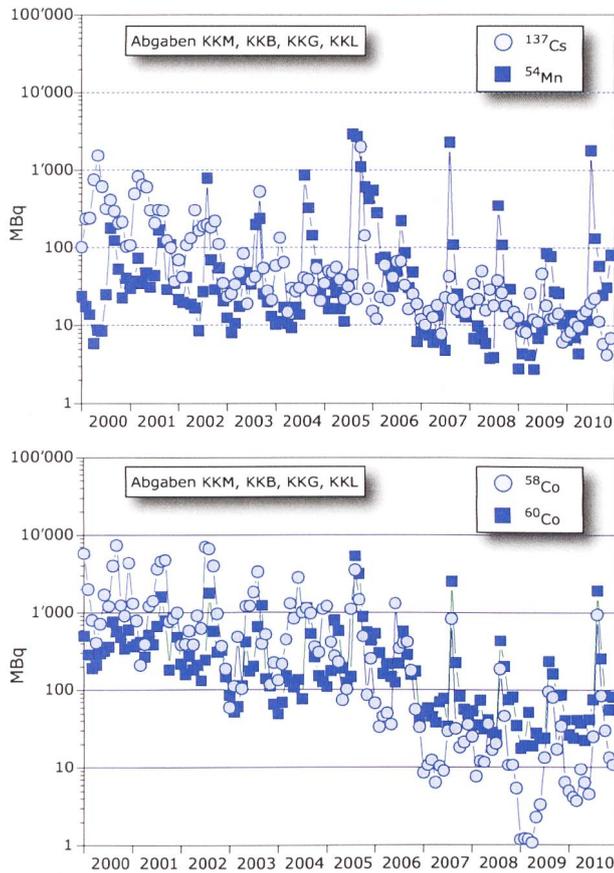
Jahr	Abgabe (GBq)	Messung (GBq)	M/A
2001	6.9	0.3	0.04
2002	4.6	1.4	0.30
2003	3.3	0.3	0.10
2004	2.9	< 0.1	
2005	12.4	1.6	0.13
2006	2.9	0.4	0.14
2007	3.3	< 0.1	
2008	1.1	< 0.1	
2009	0.8	14*	
2010	2.7	1.7	0.62

* Dieser Wert beruht auf dem Monat Juli, der durch ein starkes Hochwasser ausgezeichnet war

2009 wurde im Juli ein erhöhter ^{60}Co Wert gemessen, der nicht mit den Abgaben der kernkraftwerke in Verbindung gebracht werden konnte. Eine mögliche Erklärung ist Resuspension von Sediment durch starkes Hochwasser in diesem Monat.

Jahresgesamtbilanzen aller KKW's

Die monatlichen Abgaben aller KKW's während der letzten elf Jahre sind in Figur 6 dargestellt. Die Abgaben von ⁵⁸Co und ⁶⁰Co nehmen tendenziell ab (ausser im Jahr 2005 und 2010). In den Jahren 2006, 2008 waren sie besonders tief. Die ⁵⁴Mn und ¹³⁷Cs Abgaben sind generell tief mit Ausnahme des Jahres 2005 und ⁵⁴Mn im Jahr 2007.

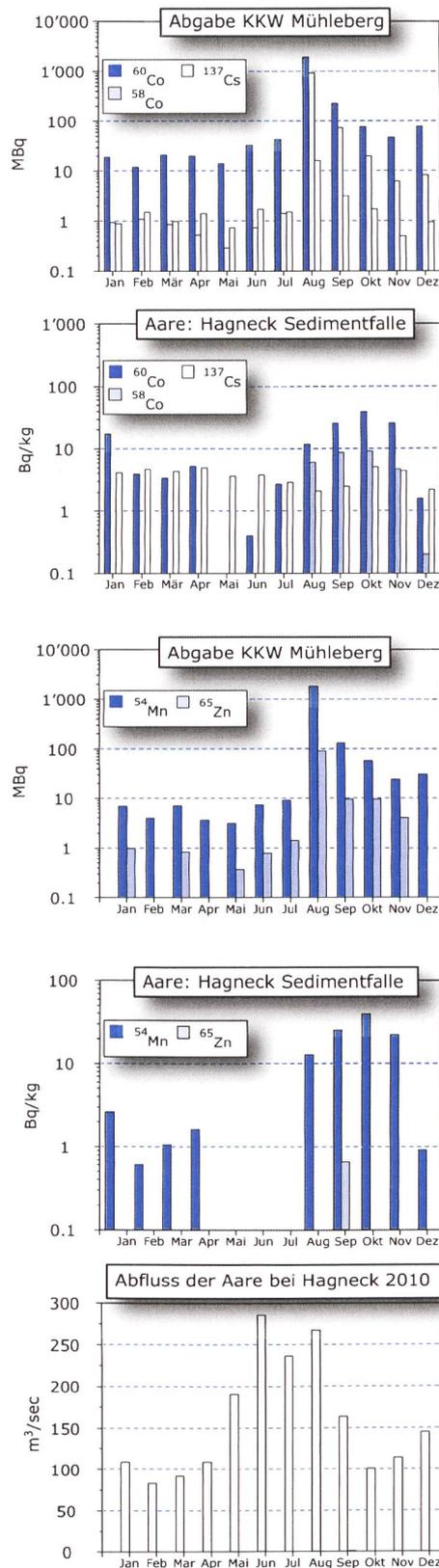


Figur 6: Monatliche Abgaben aller KKW's während der letzten elf Jahre.

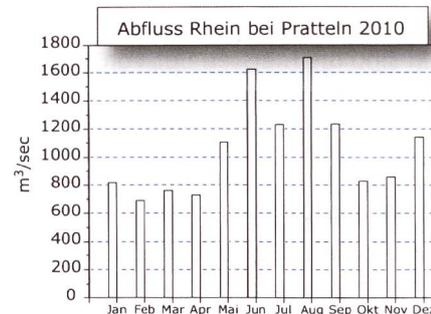
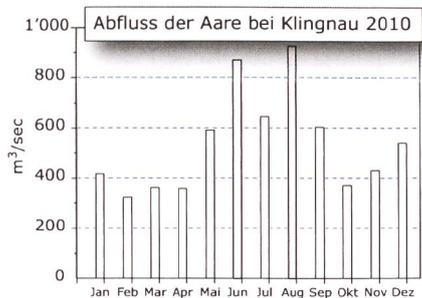
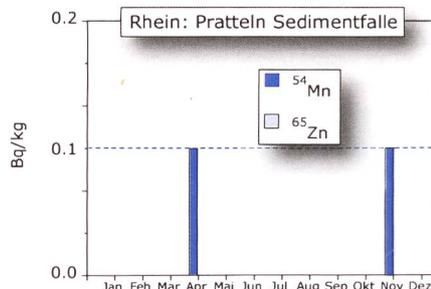
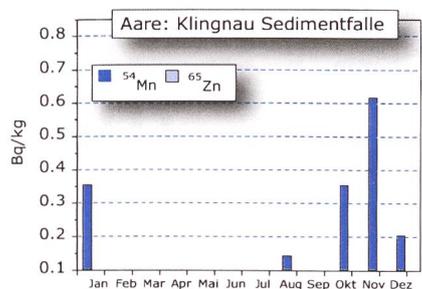
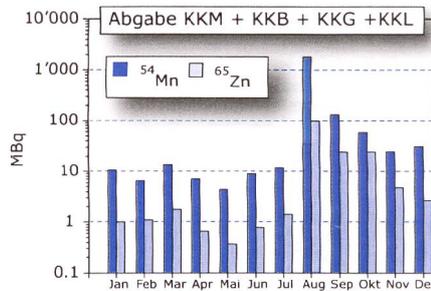
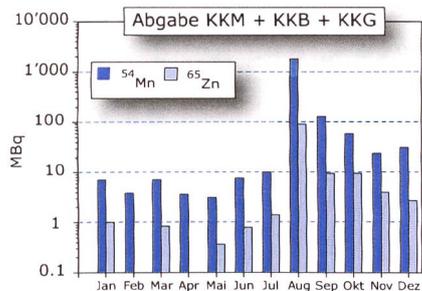
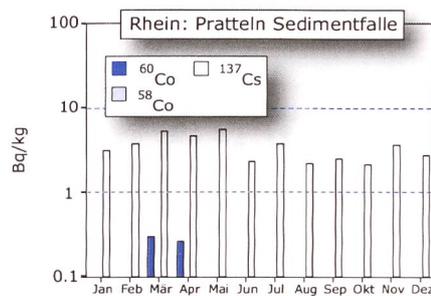
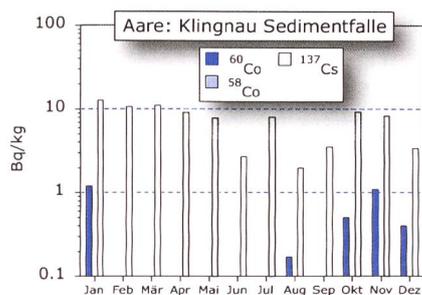
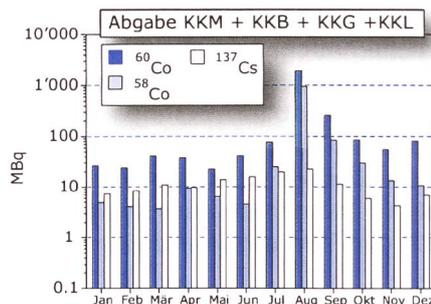
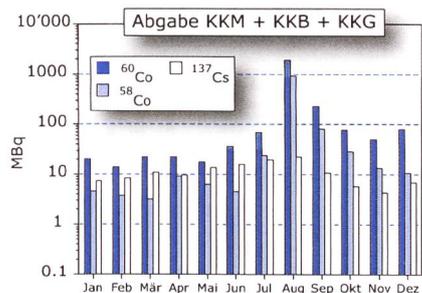
Sedimentproben

Bekanntlich sind die meisten der von den Kernkraftwerken abgegebenen Radionuklide partikelreaktiv. Ein Teil wird deshalb je nach den Flieseigenschaften 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 gemessene-



Figur 7: In den ersten 4 Teilfiguren sind abwechslungsweise, die Abgaben des Kernkraftwerks Mühleberg und anschliessend die entsprechenden gemessenen Aktivitäten in den Sedimentfallenproben von Hagneck gezeigt. Die 5. Teilfigur zeigt die mittleren monatlichen Abflussmengen, die zusammen mit den Abgaben eine wichtige Rolle bei der Sedimentation spielen.



Figur 8: Die Sedimentfallenproben von Klingnau zeigen vor allem ¹³⁷Cs, 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. ¹³⁷Cs stammt vermutlich zum grössten Teil vom Tschernobylunfall.

4.3 Radioaktivität in aquatischen Systemen - @BAG 2011

nen 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 Sedimentfallen noch über dem Jahresmittel liegen. 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 (Fig. 8). ^{54}Mn zeigt generell eine gute Übereinstimmung mit den Abgaben. Keine Übereinstimmung zwischen Messungen und Abgaben findet man bei ^{137}Cs , was, wie bereits erwähnt, auf die Erosion von Böden zurückzuführen ist, die mit dem Tschernobyl Ausfall kontaminiert worden waren.

Auch in Pratteln (Fig. 9) 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. Nach der Revision des KKW's Mühleberg konnte in den Sedimentproben von Hagneck im September etwas ^{65}Zn gefunden werden.

Fische und Wasserpflanzen

Im Jahr 2010 wurden an 2 Stellen Fische aus der Aare untersucht: Ein Alet aus der Aare unterhalb des Kernkraftwerks Gösgen und je ein Alet aus der Gegend unterhalb Beznau. Alle Fische wurden zuerst filetiert und gefriergetrocknet. Bei zwei Fischen wurde natürliches ^{40}K (~ 500 Bq/kg) gefunden. Künstliche Radionuklide wurden keine nachgewiesen.

In Moos, das am 05.04.10 der Aare bei Hagneck entnommen wurde, waren Spuren von ^{54}Mn (1.9 ± 0.4 Bq/kgTS), ^{60}Co (7.6 ± 0.5 Bq/kgTS) und ^{137}Cs (2.6 ± 0.4 Bq/kgTS).

Am 02.06.10 vor der Revision von Mühleberg wurde nur ^{137}Cs (1.6 ± 0.4 Bq/kgTS) in Moos bei Klingnau gefunden.

Bei Pratteln (30.09.10) dagegen wurde ^{58}Co (0.7 ± 0.4 Bq/kgTS), ^{60}Co (2.2 ± 0.3 Bq/kgTS), ^{137}Cs (3.4 ± 0.4 Bq/kgTS) und ^{54}Mn (1.4 ± 0.4 Bq/kgTS) gemessen.

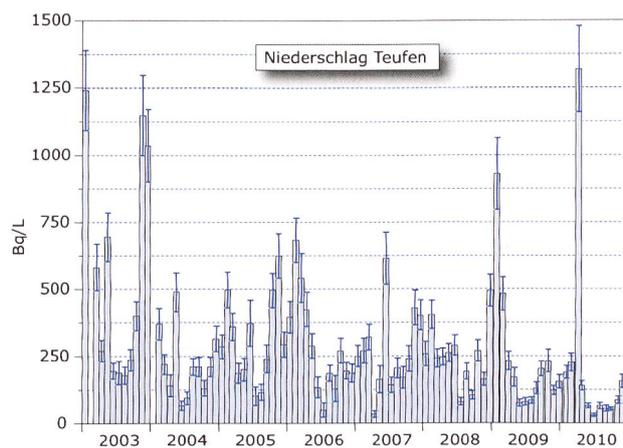
Grundwasser

Zur Untersuchung des Grundwassers wurden nach der Revision in Aarberg (01.09.10), Pratteln (30.09.10), und Döttingen (08.11.10) Proben von je 100 L genommen. Es ergaben sich keine Hinweise auf künstliche Radionuklide.

Andere Betriebe

RC Tritec AG / Teufen

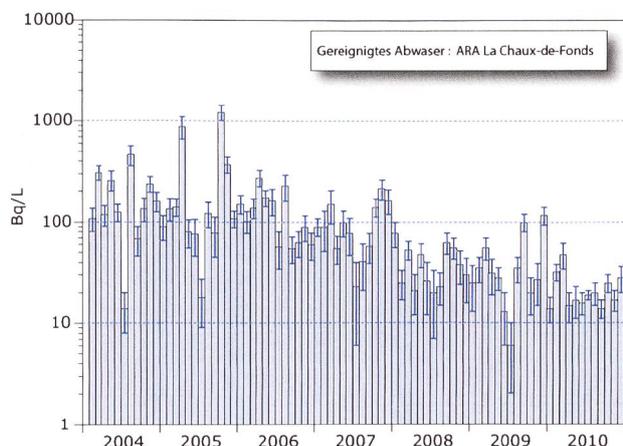
Figur 10 zeigt die Resultate der Tritium Analysen vom Niederschlag, der im Regensammler 65m östlich des Kamins der Firma Tritec gesammelt und durch die BAG URA gemessen wurde. Die RC Tritec hat 2008 die Produktion von Tritiumleuchtfarben für die Uhrenindustrie komplett eingestellt. Im ersten Quartal 2010 sind alle Anlagen zurückgebaut und die Labors vollständig dekontaminiert worden. Dies erklärt die einmaligen hohen Abgaben im Frühling.



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

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 Werten hat sich auf tiefem Niveau stabilisiert.



Figur 11: Tritiumaktivität im gereinigten Abwasser der ARA. Die Werte im Abwasser zeigen einen generellen Abwärtstrend. Die Messungen erfolgen seit 2001 durch die URA des BAG.

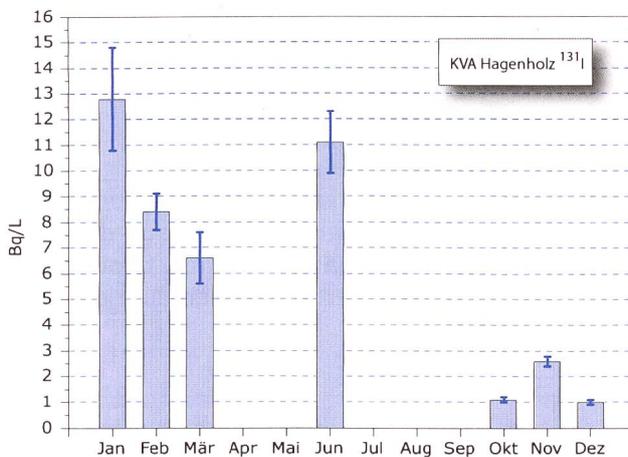
Über das Abwasser wurde im Berichtsjahr im Vergleich zum Vorjahr fast zweimal weniger Tritium-Fracht abgegeben.

Kläranlage Zürich

Kläranlagen eignen sich besonders, um radioaktive Abgaben von Industriebetrieben und Spitälern festzustellen. Die ARA Werdhölzli in Zürich wird deshalb mittels wöchentlichen Proben überwacht. Ausser geringen Mengen des natürlichen Radionuklids ⁴⁰K konnten keine künstlichen Radionuklide und insbesondere kein ¹³¹I festgestellt werden. In 4-wöchigen Mischproben wurde zusätzlich die Tritiumaktivität gemessen. Der Mittelwert für das Jahr 2010 beträgt 1.6 ± 0.9 Bq/L und hat sich damit gegenüber dem Vorjahr nicht verändert.

Kehrichtverbrennung

Eine weitere potentielle Quelle von Radionukliden stellen Kehrichtverbrennungsanlagen dar. Monatliche Probenahmen aus der Rauchgaswaschanlage der Kehrichtverbrennungsanlage Hagenholz in Zürich haben zehn positive Resultate bezüglich künstlicher Radionuklide ergeben. 2010 wurde ¹³¹I mit Konzentrationen von 0.6 - 7.8 Bq/L gefunden. In 3 Proben waren Spuren von ¹³⁷Cs (50 - 200 mBq/L).



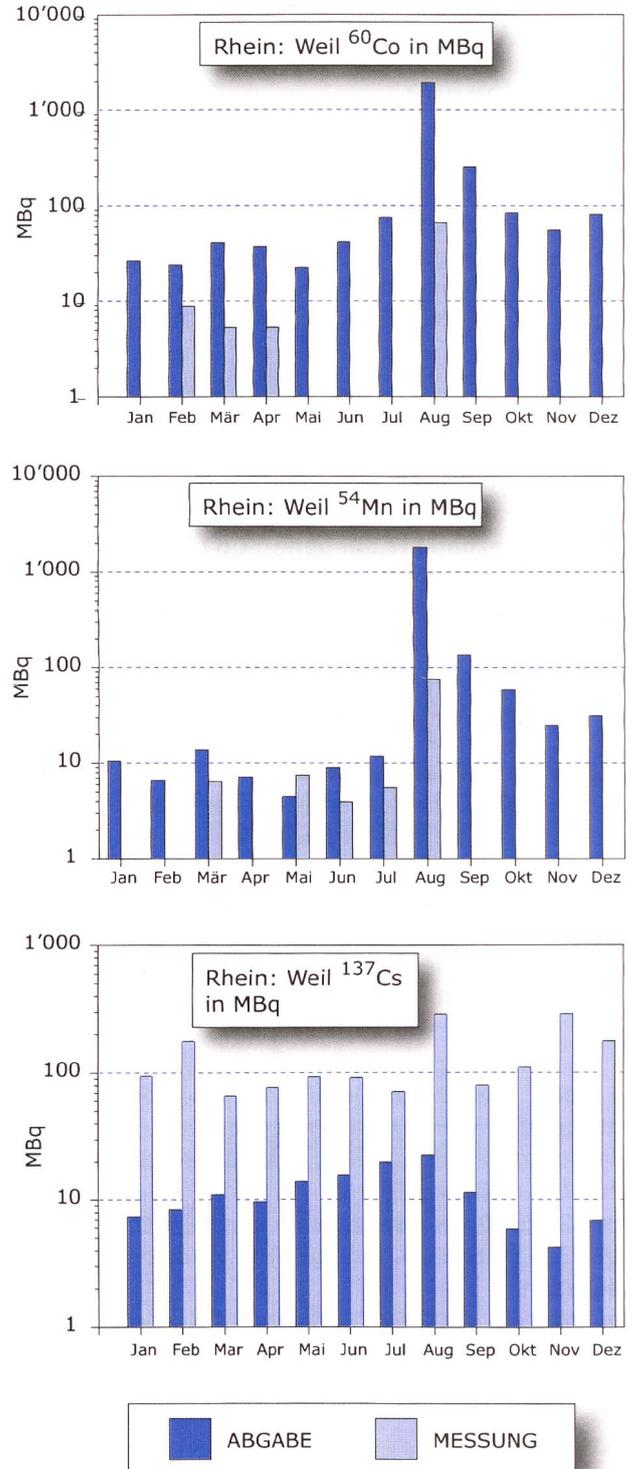
Figur 12: ¹³¹I Konzentrationen in der Rauchwasserwaschanlage der Kehrichtverbrennungsanlage Hagenholz.

Oberflächengewässer

Von den zwei Probenahmestationen Diepoldsau und Rekingen am Rhein wurden wöchentliche Wasserproben untersucht. Ausser vereinzelt ⁴⁰K 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 2010 ergeben im Mittel 0.7 ± 0.2 Bq/L. Die Messungen werden durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz durchgeführt.

Schwabstoffproben im Rhein

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



Figur 13: ⁶⁰Co, ⁵⁴Mn, ¹³⁷Cs und Aktivitäten im Rhein bei der internationalen Rheinüberwachungsstation Weil a. R. unterhalb Basel.

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. ^{60}Co und ^{54}Mn in erhöhter Aktivität wurden im August gemessen, als Folge der erhöhten Abgaben während der Revision des KKW's Mühleberg.

Da die Abgaben der Kernkraftwerke nicht kontinuierlich erfolgen, ist die Hochrechnung auf den ganzen Monat mit einer relativ grossen Unsicherheit behaftet und die Werte können nicht ohne weiteres mit denjenigen der Figuren 2 und 4 verglichen werden.

4.4

Radioactivité du sol et de l'herbe

P. Froidevaux, J.A. Corcho Alvarado, F. Barraud, A. Savary 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. 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, ainsi que des mesures de ^{90}Sr dans certaines denrées alimentaires. 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 sont toutefois au maximum de 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 et 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 300 Bq/kg (env. 21 Bq/kg au maximum sur le plateau suisse). Le ^{90}Sr , comme analogue chimique du calcium, peut être transféré du sol à l'herbe ainsi qu'à certains aliments. On montre également dans ce rapport que le ^{90}Sr , dont la présence dans l'environnement en Suisse est dû exclusivement aux retombées radioactives des essais nucléaires des années soixante, a un temps de résidence de 12.9 ± 1.3 ans en moyenne dans tous les compartiments (sol, herbe, lait, vertèbres, dents de lait) mesurés. Cette mesure du temps de résidence a été rendue possible grâce aux mesures à long terme (soit sur plus de 40 ans) du ^{90}Sr dans ces échantillons.

Introduction

On mesure en Suisse l'activité en émetteurs gamma (principalement ^{137}Cs), en émetteurs beta (principalement ^{90}Sr) et en émetteurs alpha (principalement plutonium et américium) dans la couche supérieure du sol (0-5 cm) dans le but d'évaluer l'exposition de la population suisse aux rayonnements ionisants. On ajoute à ces mesures des analyses de ^{137}Cs et de ^{90}Sr dans l'herbe croissant sur ces sols. Pour certains sites de prélèvement, ces mesures représentent un suivi à long terme sur plusieurs décennies. Par exemple, les sols et les herbes des abords des centrales nucléaires suisses sont prélevés et mesurés depuis leur construction, soit pour certaines environ 40 ans. Ce suivi nous permet de déterminer l'impact potentiel des centrales nucléaires sur l'environnement et nous permet aussi d'étudier l'impact que les tirs nucléaires des années soixante ont eu et ont encore sur l'environnement en Suisse. En effet, la totalité du ^{90}Sr , du plutonium et de l'américium mesurés dans les sols provient des retombées radioactives de ces essais. La répartition du ^{137}Cs entre les retombées des tirs nucléaires et les retombées de l'accident de Tchernobyl varie fortement en Suisse, mais est d'environ 50% sur le Jura¹. La proportion de ^{137}Cs de Tchernobyl peut atteindre 90% dans certaines régions du Tessin mais rarement plus de 20% sur le plateau suisse, à l'exception de certaines régions de Suisse orientale.

Dans ce rapport nous reportons l'activité de certains radioéléments dans le sol (0-5cm) et l'herbe. A titre comparatif, nous avons aussi déterminé l'activité en ^{90}Sr de certains produits (légumes et laits)

¹ Froidevaux et al. Env. Sci Technol. **2010** ; 44, 8479-8484.

prélevés sur le marché de Lausanne afin d'évaluer les conséquences de la contamination en ^{90}Sr du sol sur les produits maraichers. Enfin, nous avons également déterminé le temps de résidence du ^{90}Sr dans certains compartiments de l'environnement (sol et herbe), de denrées alimentaires (lait et blé) ainsi que du corps humain (vertèbres et dents de lait). Le temps de résidence est une donnée très importante pour évaluer les doses de radiation reçues par la population sur le long terme suite à une contamination de l'environnement.

Résultats et discussion

Les résultats des mesures effectuées sur les sols sont présentés dans le Tableau 2. 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 21 Bq/kg pour le ^{137}Cs , 2.3 Bq/kg pour le ^{90}Sr et 0.19 Bq/kg pour $^{239+240}\text{Pu}$. En montagne et au Tessin, ces activités sont significativement plus élevées et peuvent atteindre 300 Bq/kg pour le ^{137}Cs , 7.7 Bq/kg pour le ^{90}Sr et 0.45 Bq/kg pour $^{239+240}\text{Pu}$. Les activités en ^{40}K sont relativement constantes sur le plateau suisse et se situent entre 270 et 420 Bq/kg. Elles sont plus élevées sur les sites du Tessin (480 - 670 Bq/kg). Les valeurs les plus élevées en ^{137}Cs (300 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 en moyenne plus élevées de ^{90}Sr des sols tessinois relèvent aussi d'une pluviométrie du nord du Tessin plus importantes que dans d'autres régions de montagne. Les activités en ^{90}Sr des montagnes bernoises sont aussi plus importantes qu'en plaine, pour des raisons similaires². 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 les régions de montagne.

On retrouve ce marquage plus important en ^{137}Cs et en ^{90}Sr dans les herbes du Tessin et les herbes de montagne (Tableau 3). Ainsi on constate que les herbes d'altitude (e.g. Mürren 21 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 (< 1 Bq/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 (Guillaume, 2009). 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. Le tableau 4 présente quelques données de mesures de ^{90}Sr dans les produits maraichers. L'activité en ^{90}Sr se concentre principalement dans les pelures des légumes. D'une manière générale, pour ces produits cultivés en plaine, l'activité en ^{90}Sr est du même ordre de grandeur (1 - 2 Bq/kg de matière sèche) que celle des herbes, à l'exception des salades qui présentent des activités significativement supérieures (1 - 30 Bq/kg par kg sec), avec de grandes variations entre les diverses sortes de salades.

Temps de rétention du ^{90}Sr dans l'environnement, la chaîne alimentaire et le corps humain

Le ^{90}Sr des retombées radioactives des essais nucléaires est encore mesurable actuellement dans les échantillons de sol, d'herbe, de lait, de blé ainsi que de vertèbres humaines et de dents de lait. Grâce aux mesures à long terme effectuées sur des sites choisis, nous avons pu déterminer le temps de résidence du ^{90}Sr dans l'environnement suisse. Ce temps de résidence représente le temps nécessaire à la disparition de la moitié de l'activité et inclut une composante physique de la décroissance radioactive (29 ans pour le ^{90}Sr) ainsi qu'une composante biologique représentative des mécanismes de migration du ^{90}Sr dans la zone racinaire³, de la partition de cet élément entre les particules de sol et la solution de sol et des mécanismes d'absorption racinaire⁴. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 1 et proviennent de mesures de la base de données de la radioactivité de l'OFSP.

2 Pourcelot, L. et al. Chemosphere **2007**; 66:1571.

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 Chawla et al. Env. Sci Technol. **2010** ; 44, 8509-8514.

Tableau 1:

Temps de rétention (physique + biologique) du ^{90}Sr dans les échantillons de l'environnement, de lait et humains mesurés en Suisse.

Type d'échantillon	Années prises en compte	$T_{1/2}$ (ans)
Sol (plateau suisse)	1966-2010	12.7
Herbe (plateau suisse)	1965-2010	12.7
Blé (Suisse)	1964-2010	14.3
Lait (plateau suisse)	1967-2010	11.0
Vertèbres (Suisse)	1968-2001	14.8
Dents de lait (Suisse)	1968-1995	12.0
Moyenne		12.9 ± 1.3

On constate que l'activité en ^{90}Sr disparaît de tous les compartiments étudiés avec une période moyenne de 13 ans, soit significativement plus rapidement que la seule décroissance physique de 29 ans. Ce résultat illustre la migration du ^{90}Sr dans les couches plus profondes du sol, en dehors de la zone racinaire pour la plupart des plantes. Les activités mesurées dans des échantillons humains (vertèbres et dents de lait) montrent que le temps de résidence de la contamination en ^{90}Sr de la population est similaire à celui d'autres compartiments environnementaux et que tout dépôt important de ^{90}Sr dans l'environnement constitue un danger potentiel à long terme.

Conclusions

Les mesures de ^{137}Cs et de ^{90}Sr dans le sol et dans les plantes effectuées en 2010 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 nettement dominante dans tous les échantillons. Le ^7Be ajoute encore une contribution importante à l'activité d'origine naturelle dans les plantes. Les produits maraîchers contiennent encore des activités mesurables en ^{90}Sr , similaires à celles des plantes.

Les mesures à long terme réalisées sur mandat de l'OFSP ont permis de déterminer la période de résidence de ^{90}Sr dans divers compartiments de l'environnement et du corps humain. Ce paramètre est important pour l'évaluation du danger potentiel que représente le ^{90}Sr pour la population suisse.

Tableau 2:Activité en ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr , Pu et Am dans des sols (0 - 5 cm) prélevés en Suisse en 2010 (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	410 - 440	< 1		21 - 25	1.0 ± 0.1	0.14 ± 0.01	0.06 ± 0.01
AG (KKB in-situ)	4	270 - 350			8 - 14			
AG (PSI)	1	410 ± 57	< 1		21 ± 3	1.8 ± 0.3	0.16 ± 0.01	0.06 ± 0.01
AG (PSI in-situ)	1	270 ± 34			8 ± 1.2			
AG (ZWILAG)	1	320 ± 45	< 1		10 ± 1.5	2.3 ± 0.5	0.13 ± 0.01	0.07 ± 0.01
AG (ZWILAG in-situ)	1	300 ± 39			8 ± 1.4			
AG (voisinage KKL)	4	360 - 440	< 1		15 - 17	2.1 ± 0.2	0.19 ± 0.01	0.06 ± 0.01
AG (KKL in-situ)	4	170 - 300			6 - 10			
AG/SO (voisinage KKG)	4	410 - 500	< 1		7.3 - 22	0.79 ± 0.12	0.17 ± 0.02	0.10 ± 0.01
AG/SO (KKG in-situ)	4	340 - 410			5 - 14			
BE (voisinage KKM)	4	420 - 790	< 1		5.7 - 17	1.1 ± 0.2	0.13 ± 0.02	0.06 ± 0.01
BE (KKM in-situ)	7	230 - 530			3 - 11			
BE (Mürren) ¹⁾	1	523 ± 26		< 0.3	41.7 ± 2.1	7.7 ± 0.7	0.45 ± 0.03	0.19 ± 0.02
BE (Gimmelwald) ²⁾	1	334 ± 17		< 0.2	16.5 ± 0.8	3.8 ± 0.3	0.25 ± 0.02	0.12 ± 0.01
BE (Fahrni) ³⁾	1	466 ± 5		< 0.2	16.0 ± 5.0	2.6 ± 0.2	0.31 ± 0.03	0.13 ± 0.01
BE (Diesse / Jura)	1	418 ± 21		< 0.2	17.2 ± 0.9	1.3 ± 0.1	0.39 ± 0.03	0.15 ± 0.03
BL (Sissach)	1	582 ± 27		< 0.2	21 ± 1	3.5 ± 0.4		
FR (Grangeneuve)	1					2.0 ± 0.2	0.12 ± 0.02	0.05 ± 0.01
FR (Grangeneuve in-situ)	1	300 ± 37			4.0 ± 0.8			
GE (voisinage CERN)	5	410 - 490	< 1		5.1 - 12	0.7 - 1.5	0.08 - 0.13	0.03 - 0.05
GE (CERN in-situ)	5	320 ± 40			4 - 7			
TG (Arenenberg)	1					2.0 ± 0.2	0.10 ± 0.01	0.04 ± 0.01
TI (Rasa-Intragna)	1	650 ± 19		< 0.2	87 ± 3	2.5 ± 0.4		
TI (Rodi-Fiesso)	1	441 ± 17		< 0.1	48 ± 2	4.9 ± 0.6		
TI (Novaggio)	1	640 ± 25		< 0.2	9.1 ± 0.6	2.1 ± 0.6		
TI (Stabio)	1	670 ± 100	< 1.5		300 ± 39			
TI (Stabio in-situ)	1	560 ± 66			193 ± 21			
TI (Intragna)	1	730 ± 95	< 1		95 ± 11			
TI (Cadenazzo)	1	780 ± 101	< 1		69 ± 9			
TI (Cadenazzo in-situ)	1	570 ± 67			70 ± 8			
TI (Caslano in.situ)	1	480 ± 57			70 ± 8			

n = nombre d'échantillons;

¹⁾ Alpage (Alp Allmendhubel); ²⁾ Vallée; ³⁾ en plaine.

Tableau 3:
 ^7Be , ^{40}K , ^{137}Cs et ^{90}Sr dans des échantillons d'herbe prélevés en Suisse en 2010 (Bq/kg de matière sèche).

Canton/Lieu	n	^7Be	^{40}K	^{60}Co	^{134}Cs	^{137}Cs	^{90}Sr
AG (voisinage KKB)	4	63 - 420	550 - 940	< 1.5		< 1 - 1.8 ± 1.0	2.0 - 2.4
AG (ZWILAG)	2	110 - 480	670 - 690	< 1.5		< 1.5 - 0.7 ± 0.5	2.5 ± 0.2
AG (PSI OASE)	2	160 - 530	590 - 670	< 2.0		0.9 - 1.5	2.3 ± 0.2
AG (voisinage KKL)	8	74 - 350	630 - 1'100	< 2.0		< 1 - 2.1 ± 0.7	2.7 ± 0.2
AG/SO (voisinage KKG)	8	70 - 490	540 - 1'170	< 2.0		0.6 - 2.6	1.9 - 2.2
BE (voisinage KKM)	8	65 - 250	700 - 1'300	< 2.0		0.9 - 3.0	2.2 - 2.8
BE (voisinage KKM - révision)	3	330 - 470	820 - 1'340	< 1.5		0.7 - 1.1	
BE (Mürren) ¹⁾	1		726 ± 36		< 0.3	1.22 ± 0.15	21.7 ± 1.5
BE (Gimmelwald) ²⁾	1		$1'020 \pm 50$		< 0.3	0.36 ± 0.13	2.3 ± 0.2
BE (Fahrni) ³⁾	2		792 - 931			0.4 - 0.7	3.9 - 4.1
BE (Diesse/Jura)	2		1'024 - 1'236			< 0.4 - 0.64	0.6 - 0.7
BL (Sissach)							
GE (voisinage. CERN)	3	110 - 210	720 - 850		< 1	< 1.5	
FR (Grangeneuve)	1						3.5 ± 0.2
TG (Arenenberg)	1						0.7 ± 0.1
TI (Rasa-Intragna)	1	101 ± 8	$1'040 \pm 30$		< 0.4	15.2 ± 0.9	7.8 ± 0.6
TI (Rodi-Fiesso)	1	263 ± 13	887 ± 38		< 0.3	10.7 ± 0.9	
TI (Novaggio)	1	173 ± 12	844 ± 45		< 0.4	1.0 ± 0.6	
TI (Cadenazzo)	1	76 ± 19	$1'030 \pm 140$		< 1.5	1.4 ± 0.8	
TI (Stabio)	1	100 ± 28	760 ± 130		< 2.0	3.5 ± 1.7	
TI (Intragna)	1	92 ± 16	870 ± 110		< 0.8	14 ± 2	

n = nombre d'échantillons;

¹⁾ Alpage (Alp Allmendhubel); ²⁾ Vallée; ³⁾ en plaine.

Tableau 4:
 ^{90}Sr dans des échantillons de denrées alimentaires prélevés sur le marché de Lausanne (cultures à la Croix-sur-Lutry) et aux abords de la centrale nucléaire de Leibstadt en 2010 (Bq/kg de matière sèche et Bq/g Ca).

Type de denrées	^{90}Sr (Bq/kg)	^{90}Sr (Bq/g Ca)
Lait de chèvres (Peney-Jorat)	0.050 ± 0.005	0.045 ± 0.005
Lait de vaches (Peney-Jorat)	0.044 ± 0.006	0.030 ± 0.004
Choux rouge	1.30 ± 0.11	0.14 ± 0.02
Choux frisé	1.06 ± 0.11	0.11 ± 0.01
Rave pelée	1.90 ± 0.13	0.18 ± 0.01
Pelures de rave	4.10 ± 0.60	0.33 ± 0.05
poireaux	1.53 ± 0.10	0.29 ± 0.02
Céleri-pomme pelé	1.59 ± 0.19	0.24 ± 0.03
Pelures de céleri-pomme	3.70 ± 0.40	0.31 ± 0.03
Salade (Dogern)	6.40 ± 0.50	0.29 ± 0.02
Salade (KKL)	27.0 ± 2.00	1.40 ± 0.08
Pommes de terre (Dogern)	0.62 ± 0.06	0.33 ± 0.03
Pommes de terre (KKL)	0.52 ± 0.06	0.31 ± 0.03
Pommes (Dogern)	0.10 ± 0.02	0.08 ± 0.01
Pommes (KKL)	0.12 ± 0.02	0.11 ± 0.02