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: Überwachung der Kernanlagen : Emissionen und Immissionen = Surveillance des installations nucléaires : emissions et immissions

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 30.09.2025

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

8
Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen

8
Surveillance des installations nucléaires: Emissions et Immissions

Inhatverzeichnis / Sommaire

8.1 Emissionen aus den Kernanlagen **111**

8.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistungin der Umgebung der Kernanlagen **120**

8.3 Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) **121**

Zusammenfassung 121

Übersicht 121

Systeminstandhaltung und -ergänzung 122

Systemverfügbarkeit und Störungen 123

Qualitätssicherung 123

Messergebnisse 124

8.4 Überwachung des zentralen Zwischenlagers (ZWILAG) **126**

Zusammenfassung 126

Einleitung 126

Radiochemische Trennmethoden 127

Resultate und Diskussion 127

8.5 Les installations nucléaires et l'environnement **128**

Résumé 128

Introduction 128

Résultats 129

Conclusions 133

8.6 Environnement du CERN (mesures OFSP) **134**

Résumé 134

Programme de surveillance de l'OFSP 134

Mesures de l'exposition ambiante 135

Mesures dans le milieu atmosphérique 135

Mesures dans le milieu terrestre 136

Mesures dans le milieu aquatique 137

Conclusions 138

8.7 Rejets et environnement du CERN (Mesures CERN) **139**

Synthèse 139

Objets de la surveillance 140

Contrôle des émissions 140

Contrôle des immissions 141

Conclusions 143

8.1 Emissionen aus den Kernanlagen

F. Cartier, B. Bucher, A. Leupin
Eidg. Nuklearsicherheitsinspektorat, Industriestrasse 19, 5200 Brugg

Die Abgaben von radioaktiven Stoffen mit der Abluft und dem Abwasser der schweizerischen Kernkraftwerke sind in den Figuren 1a bis 1c für die letzten fünf Jahre zusammen mit den entsprechenden Jahreslimiten dargestellt. Tabelle 1 zeigt die in den Kernkraftwerken und im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) gemessenen Abgabewerte sowie die unter ungünstigen Annahmen gemäss ENSI-Richtlinie G14 errechneten Personendosen für Erwachsene und Kleinkinder in der Umgebung der betreffenden Anlage im Jahr 2009. Die ebenfalls berechneten Dosen für das 10-jährige Kind liegen zwischen Erwachsenem und Kleinkind. Die Abgaben des Paul Scherrer Instituts und die daraus in gleicher Weise berechneten Dosiswerte sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Eine nuklidspezifische Aufschlüsselung der Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser ist in Tabelle 3a, mit der Abluft in den Tabellen 3b und 3c aufgelistet. Die Fussnoten zu den Tabellen geben Hinweise zu den Limiten, den Messungen und den bei der Berechnung der Jahresdosis verwendeten Annahmen.

Alle Kernanlagen haben die vorgeschriebenen Jahres- und die Kurzzeitlimiten eingehalten. Die Behörden haben die Messverfahren der Kernanlagen mit über 150 Proben kontrolliert. Dabei wurden Aerosol- und Jodfilter sowie Abwasserproben stichprobenweise analysiert. Die Ergebnisse stimmen überein und zeigen, dass die Abgabereglemente eingehalten werden.

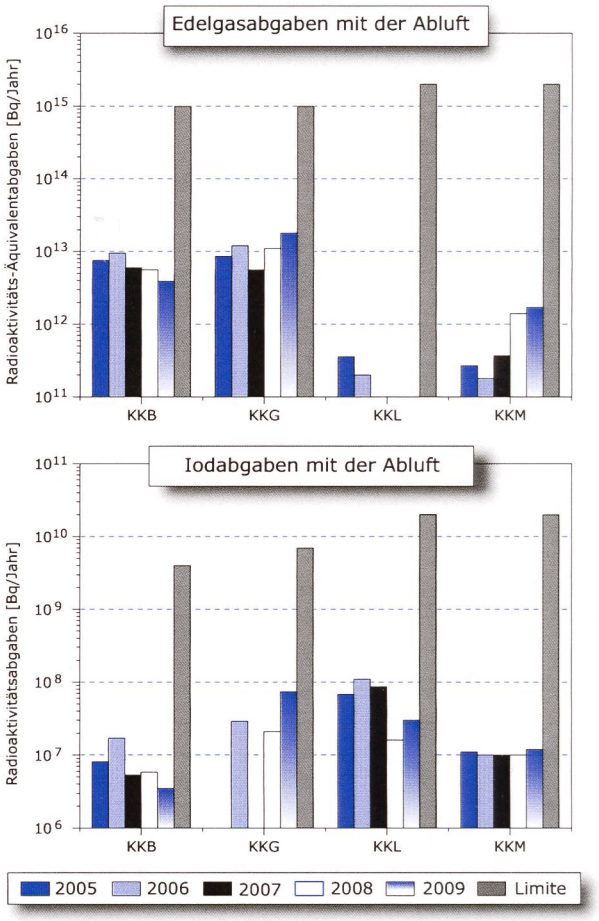
Die aus den Emissionen der Kernkraftwerke errechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in unmittelbarer Nähe der Anlage beträgt unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren (berechnet aus den entsprechenden Jahresabgaben) beim KKG und bei ZZL ungefähr 0.001 mSv, beim KKL und beim KKM ungefähr 0.005 mSv und beim KKB 0.006 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung betrugen somit im Jahr 2009 nur einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwerts.

Das ENSI berücksichtigt bei den Dosisberechnungen auch die formell nicht limitierten ^{14}C-Abgaben, da diese seit einigen Jahren aufgrund der geringen übrigen Abgaben die Dosis dominieren. Das radioaktive Kohlenstoffisotop ^{14}C entsteht im Reaktor durch Kernreaktionen von Neutronen mit Stickstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff. Die ^{14}C-Abgaben der Kernkraftwerke sind systembedingt begrenzt, weil die Abgaberate primär von der Reaktorleistung abhängig ist. Die Kernkraftwerke haben in den letzten Jahren die ^{14}C-Abgaben gemessen und nachgewiesen, dass diese mit den Erfahrungswerten aus der Messkampagne vor etwa zwanzig Jahren und den in der einschlägigen Literatur angegebenen ^{14}C-Abgabewerten für ähnliche Anlagen korrespondieren. Das KKL führt seit längerer Zeit aus eigener Initiative ^{14}C-Messungen durch. Mitte 1998 wurde die Apparatur des KKL zur Messung von ^{14}C aufgrund der Resultate einer internationalen Vergleichsmessung neu kalibriert, was dazu führte, dass die für Ein-

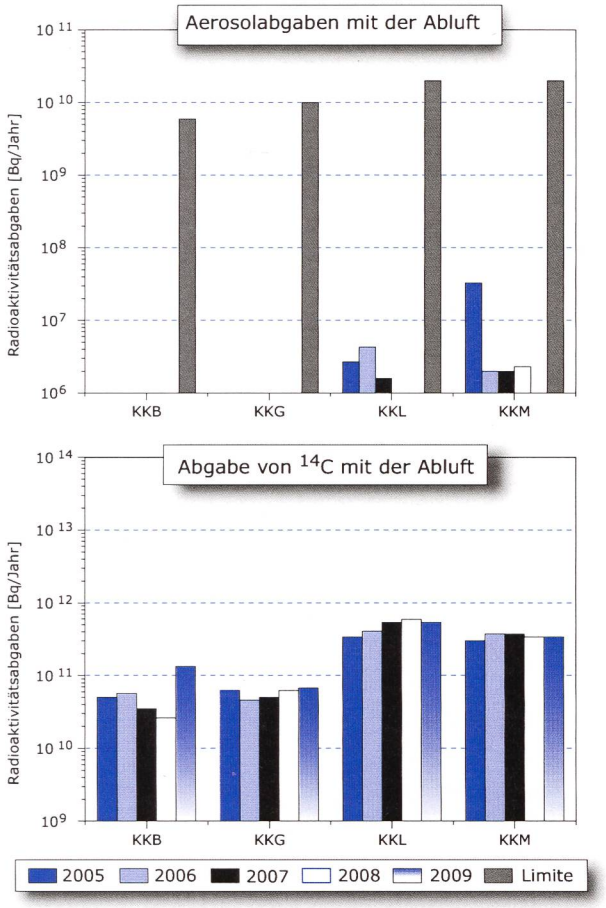
zelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis seit 1998 etwas höher ist. Das KKG führt seit Ende 2001 Messungen der ^{14}C-Abgaben mit der Abluft durch. Die für Einzelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis der Jahre 2001 bis 2003 werden beim KKG im Nachhinein als um den Faktor 3 zu hoch eingeschätzt, dies aufgrund der Ergebnisse der neuen Kalibrierung der Messapparatur mit zwei unterschiedlichen Standards zu Beginn des Jahres 2004. Alle Schweizer Kernkraftwerke führten 2009 die ^{14}C- und die ^{3}H-Messungen auch nach Abschluss der geforderten einjährigen Messperiode auf freiwilliger Basis fort. Somit konnten auch 2009 zur Ermittlung des jeweiligen Dosisbeitrags von ^{14}C die gemessenen Werte herangezogen werden. Im Vergleich zum Vorjahr sind die Dosiswerte bei KKB deutlich höher, was anhand der Messungen des KKB darauf zurückgeführt werden kann, dass sich bei den ^{14}C-Abgaben eine Verschiebung von organischen zu dosisrelevanteren anorganischen Kohlenstoffverbindungen (CO_2) ergeben hat.

Das PSI ist aufgrund der Bewilligung für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung verpflichtet, sowohl für die einzelnen Anlagen als auch für die Gesamtanlage des PSI die aus den Abgaben resultierende Dosis in der Umgebung zu berechnen. Beim PSI errechnet das ENSI eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von weniger als 0.005 mSv. Beinahe die gesamte Dosis ergibt sich im PSI durch die Abgabe von kurzlebigen radioaktiven Edelgasen aus den Teilchenbeschleunigern im West-Areal des Institutes. Die vom PSI und vom ENSI unabhängig voneinander durchgeführten Berechnungen zeigen, dass selbst unter ungünstigen Annahmen die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung deutlich unterhalb des für das PSI bewilligten Anteils von 0.15 mSv pro Jahr am quellenbezogenen Dosisrichtwert für den gemeinsamen Standort des PSI und des ZZL liegt. Für das ZZL beträgt der Anteil 0.05 mSv pro Jahr.

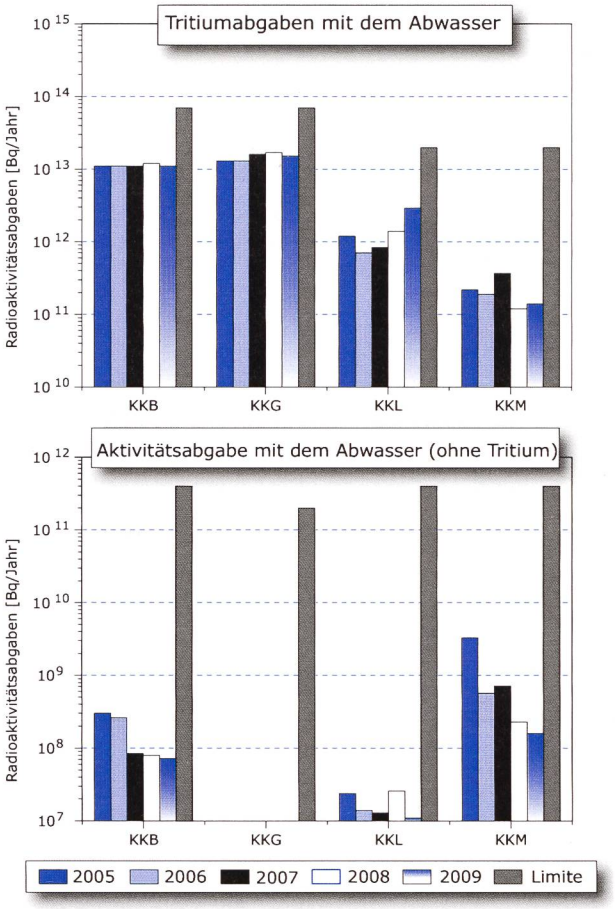
Im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) erfolgten im Berichtsjahr weitere Einlagerungen in die Lagergebäude für hoch- und mittelaktive Abfälle und im Hochregallager der Konditionieranlage. In der Plasma-Anlage fanden wiederum eine Frühjahres- und eine Herbstverbrennungskampagne statt. Die für das Jahr 2009 bilanzierten Abgaben des ZZL sind in den Tabellen 1 und 3a bis 3c zusammengestellt. Die aufgrund der Abgaben unter ungünstigen Annahmen berechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Umgebungsbevölkerung lag bei 0.001 mSv.



Figur 1a:
Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre in den letzten fünf Jahren (2005 bis 2009) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten. Edelgasabgaben unterhalb von 10^{11} Bq und Abgaben von Jod unterhalb von 10^{6} Bq werden im Diagramm nicht dargestellt.



Figur 1b:
Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre in den letzten fünf Jahren (2005 bis 2009) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten. Falls die Abgaben von Aerosolen unterhalb von 10^6 Bq liegen, werden sie im Diagramm nicht dargestellt. Für ^{14}C besteht keine Abgabelimite.



Figur 1c:
Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an das Abwasser in den letzten fünf Jahren (2005 bis 2009) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten. Falls die Abgaben mit dem Abwasser unterhalb von 10^7 Bq liegen, werden sie im Diagramm nicht dargestellt.

Tabelle 1:
Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2009 für die Kernkraftwerke und das Zentrale Zwischenlager Würenlingen und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung - (Fussnoten siehe Ende Kap 8.1).

Ort	Medium	Art der Abgaben[4]	Limiten[1]	Tatsächliche Abgaben[2,4]			Berechnete Jahresdosis[3]		
				Aequivalentabgaben		gemessen[5]	mSv/Jahr		
			Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Prozent der Limite	Bq pro Jahr	Erw.	10j Kind	1j Kind
KKB1 + KKB2	Abwasser 4'110 m³	Nuklidgemisch ohne Tritium	$4 \cdot 10^{11}$	-	<0.1%	$5.3 \cdot 10^{8}$	<0.001	<0.001	<0.001
		Tritium	$7 \cdot 10^{13}$	$1.1 \cdot 10^{13}$	16%	$1.1 \cdot 10^{13}$	<0.001	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	$1 \cdot 10^{15}$	$3.9 \cdot 10^{12}$	0.4%	$4.0 \cdot 10^{12}$	<0.001	<0.001	<0.001
		Aerosole	$6 \cdot 10^{9}$	-	<0.1%	$2.7 \cdot 10^{5}$	<0.001	<0.001	<0.001
		Iod: ^{131}I	$4 \cdot 10^{9}$	-	<0.1%	$3.5 \cdot 10^{6}$	<0.001	<0.001	<0.001
		Kohlenstoff: ^{14}C in CO_2	-	-	-	$1.3 \cdot 10^{11}$	0.0028	0.0036	0.0062
	Dosis total						**0.0029**	**0.0037**	**0.0063**
KKM	Abwasser 3'705 m³	Nuklidgemisch ohne Tritium	$4 \cdot 10^{11}$	-	<0.1%	$1.3 \cdot 10^{9}$	<0.001	<0.001	<0.001
		Tritium	$2 \cdot 10^{13}$	$1.4 \cdot 10^{11}$	0.7%	$1.4 \cdot 10^{11}$	<0.001	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	$2 \cdot 10^{15}$	-	<0.1%	$3.2 \cdot 10^{11}$	<0.001	<0.001	<0.001
		Aerosole	$2 \cdot 10^{10}$	-	<0.1%	$9.0 \cdot 10^{5}$	0.0033	0.0031	0.0029
		Iod: ^{131}I	$2 \cdot 10^{10}$	-	<0.1%	$1.2 \cdot 10^{7}$	<0.001	<0.001	<0.001
		Kohlenstoff: ^{14}C in CO_2	-	-	-	$3.4 \cdot 10^{11}$	<0.001	0.0011	0.0019
	Dosis total						**0.0041**	**0.0042**	**0.0048**
KKG	Abwasser 7'428 m³	Nuklidgemisch ohne Tritium	$2 \cdot 10^{11}$	-	<0.1%	$7.0 \cdot 10^{6}$	<0.001	<0.001	<0.001
		Tritium	$7 \cdot 10^{13}$	$1.5 \cdot 10^{13}$	21%	$1.5 \cdot 10^{13}$	<0.001	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	$1 \cdot 10^{15}$	$<1.8 \cdot 10^{13}$	<1.8%	$<1.6 \cdot 10^{13}$	<0.001	<0.001	<0.001
		Aerosole	$1 \cdot 10^{10}$	-	<0.1%	$5.5 \cdot 10^{4}$	<0.001	<0.001	<0.001
		Iod: ^{131}I	$7 \cdot 10^{9}$	$7.4 \cdot 10^{7}$	1.1%	$7.4 \cdot 10^{7}$	<0.001	<0.001	<0.001
		Kohlenstoff: ^{14}C in CO_2	-	-	-	$6.8 \cdot 10^{10}$	<0.001	<0.001	<0.001
	Dosis total						**<0.001**	**<0.001**	**<0.001**
KKL	Abwasser 13'289 m³	Nuklidgemisch ohne Tritium	$4 \cdot 10^{11}$	-	<0.1%	$6.4 \cdot 10^{7}$	<0.001	<0.001	<0.001
		Tritium	$2 \cdot 10^{13}$	$2.9 \cdot 10^{12}$	15%	$2.9 \cdot 10^{12}$	<0.001	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	$2 \cdot 10^{15}$	-	<0.1%	$7.4 \cdot 10^{10}$	<0.001	<0.001	<0.001
		Aerosole	$2 \cdot 10^{10}$	-	<0.1%	$1.9 \cdot 10^{5}$	<0.001	<0.001	<0.001
		Iod: ^{131}I	$2 \cdot 10^{10}$	$3.0 \cdot 10^{7}$	0.2%	$3.0 \cdot 10^{7}$	<0.001	<0.001	<0.001
		Kohlenstoff: ^{14}C in CO_2	-	-	-	$5.4 \cdot 10^{11}$	0.0020	0.0027	0.0045
	Dosis total						**0.0021**	**0.0027**	**0.0046**
ZZL	Abwasser 622 m³	Nuklidgemisch ohne Tritium	$2 \cdot 10^{11}$	$4.3 \cdot 10^{9}$	2.2%	$3.5 \cdot 10^{9}$	<0.001	<0.001	<0.001
		Tritium	-	-	-	$1.0 \cdot 10^{11}$	<0.001	<0.001	<0.001
	Abluft	β-/γ-Aerosole	$1 \cdot 10^{9}$	$5.2 \cdot 10^{7}$	5.2%	$5.2 \cdot 10^{7}$	<0.001	<0.001	<0.001
		α-Aerosole	$3 \cdot 10^{7}$	-	<0.1%	$1.7 \cdot 10^{4}$	<0.001	<0.001	<0.001
		Kohlenstoff: ^{14}C in CO_2	$1 \cdot 10^{12}$	-	<0.1%	$1.4 \cdot 10^{8}$	<0.001	<0.001	<0.001
		Tritium	$1 \cdot 10^{14}$	$2.1 \cdot 10^{11}$	0.2%	$2.1 \cdot 10^{11}$	<0.001	<0.001	<0.001
	Dosis total						**<0.001**	**<0.001**	**<0.001**

Tabelle 2:
Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2009 und der daraus berechneten Dosen für Einzelpersonen der Bevölkerung - (Fussnoten siehe Ende Kap 8.1).

	PSI Ost				
	Hochkamin	Saphir, Proteus	Forschungslabor	Betriebs-Gebäude radioaktive Abfälle	Bundeszwischenlager
Abgaben im Abwasser[2,4] [Bq/a]					
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	-	-	-
Tritium	-	-	-	-	-
Abgaben über die Abluft[2,4] [Bq/a]					
Edelgase und andere Gase	-	-	-	-	-
β/γ-Aerosole[4], ohne Iod	$4.2 \cdot 10^{7}$	-	-	-	$3.2 \cdot 10^{5}$
α-Aerosole	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	$4.6 \cdot 10^{7}$	-	-	-	-
Tritium als HTO	$1.0 \cdot 10^{11}$	$9.1 \cdot 10^{8}$	-	$2.6 \cdot 10^{10}$	$1.3 \cdot 10^{10}$
Kohlenstoff: ^{14}C in CO_2	-	-	-	-	-
Jahresdosis[3] [mSv/Jahr] für:					
Erwachsene	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015
Kind 10j	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015
Kleinkinder	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert[1]	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%

	PSI West			Gesamtanlage des PSI[2,4]		
				Abgaben Bq / Jahr		
	Zentrale Fortluftanlagen	Injektor II	C-Labor	Abwasser 1408 m³	Abluft	Aequivalent-abgaben
Abgaben im Abwasser[2,4] [Bq/a]						
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	-	$1.7 \cdot 10^{8}$	-	$2.9 \cdot 10^{6}$
Tritium	-	-	-	$2.4 \cdot 10^{11}$	-	-
Abgaben über die Abluft[2,4] [Bq/a]						
Edelgase und andere Gase	$1.1 \cdot 10^{14}$	$7.6 \cdot 10^{10}$	-	-	$1.1 \cdot 10^{14}$	$2.4 \cdot 10^{14}$
β/γ-Aerosole[4], ohne Iod	$1.0 \cdot 10^{10}$	$3.6 \cdot 10^{6}$	$3.2 \cdot 10^{4}$	-	$1.0 \cdot 10^{10}$	
α-Aerosole	-	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	$2.2 \cdot 10^{7}$	-		-	$6.8 \cdot 10^{7}$	$4.7 \cdot 10^{7}$
Tritium als HTO	$1.4 \cdot 10^{12}$	-	-	-	$1.5 \cdot 10^{12}$	-
Kohlenstoff: ^{14}C in CO_2	-	-	-	-	-	-
Jahresdosis[3] [mSv/Jahr] für:						
Erwachsene	0.0036	<0.00015	<0.00015	<0.00015	**<0.0040**	
Kind 10j	0.0036	<0.00015	<0.00015	<0.00015	**<0.0040**	
Kleinkinder	0.0036	<0.00015	<0.00015	<0.00015	**<0.0040**	
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert[1]	2.4 %	<0.1%	<0.1%	<0.1%	**<2.5%**	

Tabelle 3a:
Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2009:
Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben[2] - (Fussnoten siehe Ende Kap 8.1).

Nuklid	Abgaben [Bq/Jahr]					
β/γ-Strahler	**KKB**	**KKG**	**KKL**	**KKM**	**PSI**	**ZZL**
^{3}H	$1.1\cdot10^{13}$	$1.5\cdot10^{13}$	$2.9\cdot10^{12}$	$1.4\cdot10^{11}$	$2.5\cdot10^{11}$	$1.0\cdot10^{11}$
^{7}Be					$1.5\cdot10^{8}$	
^{22}Na					$4.9\cdot10^{4}$	$1.4\cdot10^{6}$
^{24}Na	$1.0\cdot10^{7}$					
^{35}S					$4.1\cdot10^{6}$	
^{46}Sc					$8.0\cdot10^{4}$	
^{51}Cr				$1.3\cdot10^{8}$		
^{52}Mn					$2.3\cdot10^{4}$	
^{54}Mn	$2.2\cdot10^{6}$		$5.7\cdot10^{6}$	$2.7\cdot10^{8}$	$4.9\cdot10^{6}$	$1.1\cdot10^{5}$
^{56}Mn						
^{59}Fe				$1.1\cdot10^{7}$		
^{56}Co					$1.2\cdot10^{5}$	
^{57}Co	$1.3\cdot10^{5}$				$2.6\cdot10^{5}$	
^{58}Co	$1.4\cdot10^{8}$		$5.6\cdot10^{6}$	$1.1\cdot10^{8}$	$2.4\cdot10^{5}$	
^{60}Co	$4.3\cdot10^{7}$	$1.3\cdot10^{6}$	$5.0\cdot10^{7}$	$7.1\cdot10^{8}$	$4.9\cdot10^{5}$	$1.2\cdot10^{7}$
^{65}Zn			$2.1\cdot10^{6}$	$3.4\cdot10^{7}$		
^{85}Sr						
^{89}Sr	$9.2\cdot10^{6}$	$7.8\cdot10^{5}$		$6.1\cdot10^{5}$		
^{90}Sr/^{90}Y	$1.2\cdot10^{6}$			$7.1\cdot10^{5}$	$1.5\cdot10^{6}$	
^{95}Zr						
^{97}Zr						
^{95}Nb						
^{99}Mo						
^{99m}Tc	$3.5\cdot10^{5}$					
^{103}Ru						
^{106}Ru/Rh						$4.2\cdot10^{6}$
^{110m}Ag	$2.2\cdot10^{6}$					
^{122}Sb	$3.1\cdot10^{6}$					
^{124}Sb	$8.5\cdot10^{7}$			$1.3\cdot10^{6}$	$3.1\cdot10^{5}$	$4.5\cdot10^{5}$
^{125}Sb	$1.5\cdot10^{7}$					$1.1\cdot10^{7}$
^{123m}Te	$1.1\cdot10^{7}$	$1.4\cdot10^{6}$				
^{132}Te	$2.5\cdot10^{6}$					
^{125}I					$5.0\cdot10^{5}$	
^{126}I						
^{131}I	$2.8\cdot10^{7}$	$3.5\cdot10^{6}$			$1.5\cdot10^{6}$	
^{133}I	$1.5\cdot10^{7}$					
^{134}Cs	$2.9\cdot10^{6}$				$1.9\cdot10^{5}$	$3.9\cdot10^{7}$
^{136}Cs						
^{137}Cs	$1.6\cdot10^{8}$		$6.6\cdot10^{5}$	$3.1\cdot10^{7}$	$3.0\cdot10^{6}$	$3.4\cdot10^{9}$
^{133}Ba						
^{140}Ba						
^{140}La						
^{141}Ce						
^{144}Ce						
^{177}Lu					$2.4\cdot10^{6}$	
α-Strahler	***)**	**< $1.3\cdot10^{5}$**	**$2.7\cdot10^{5}$**	**$6.0\cdot10^{4}$**		***)**
$^{234/238}$U					$1.0\cdot10^{5}$	
$^{239/240}$Pu	$1.5\cdot10^{4}$				$2.2\cdot10^{4}$	$6.5\cdot10^{3}$
^{238}Pu/^{241}Am	$5.8\cdot10^{3}$				$1.4\cdot10^{4}$	$1.6\cdot10^{3}$
^{242}Cm	$8.6\cdot10^{3}$					$5.4\cdot10^{2}$
$^{243/244}$Cm	$4.0\cdot10^{3}$					$8.6\cdot10^{2}$

*) Angabe umfasst für das KKB und ZZL das 4. Quartal 2008 bis und mit dem 3. Quartal 2009

Tabelle 3b:
Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Gase, Edelgase und Iod 2009:
Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben (Fussnoten siehe Ende Kap 8.1).

Nuklid	Abgaben [Bq im Jahr]					
β/γ-Strahler	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
Gase, Edelgase						
Tritium		$5.0 \cdot 10^{11}$	$2.6 \cdot 10^{12}$	$8.4 \cdot 10^{9}$	$1.5 \cdot 10^{12}$	$2.1 \cdot 10^{11}$
^{11}C					$1.7 \cdot 10^{13}$	
^{14}C (CO_2)	$1.3 \cdot 10^{11}$	$6.8 \cdot 10^{10}$	$5.4 \cdot 10^{11}$	$3.4 \cdot 10^{11}$		$1.4 \cdot 10^{8}$
^{13}N					$1.7 \cdot 10^{13}$	
^{15}O					$7.0 \cdot 10^{13}$	
^{18}F					$5.4 \cdot 10^{11}$	
^{24}Ne					$6.0 \cdot 10^{11}$	
^{41}Ar				$1.0 \cdot 10^{10}$	$3.4 \cdot 10^{12}$	
^{79}Kr						
^{85}Kr					$1.0 \cdot 10^{11}$	
^{85m}Kr	$1.5 \cdot 10^{11}$			$1.1 \cdot 10^{11}$		
^{87}Kr				$1.9 \cdot 10^{9}$		
^{88}Kr				$1.3 \cdot 10^{11}$		
^{122}Xe						
^{125}Xe						
^{127}Xe						
^{129m}Xe						
^{131m}Xe						
^{133}Xe	$1.8 \cdot 10^{12}$		$2.1 \cdot 10^{10}$	$6.8 \cdot 10^{9}$		
^{133m}Xe						
^{135}Xe	$1.8 \cdot 10^{12}$		$3.9 \cdot 10^{10}$	$1.8 \cdot 10^{9}$		
^{135m}Xe			$1.4 \cdot 10^{10}$			
^{137}Xe						
^{138}Xe						
EG-Aequiv.[4)]				$2.0 \cdot 10^{10}$		
EG: β-total		$<1.6 \cdot 10^{13}$				
Andere	$2.0 \cdot 10^{12}$					
Iod						
^{123}I						
^{124}I						
^{125}I					$6.6 \cdot 10^{7}$	
^{126}I						
^{129}I						
^{131}I	$3.5 \cdot 10^{6}$	$7.4 \cdot 10^{7}$	$3.0 \cdot 10^{7}$	$1.2 \cdot 10^{7}$	$2.2 \cdot 10^{6}$	
^{133}I	$1.9 \cdot 10^{7}$					

Tabelle 3c:
Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Aerosole 2009:
Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben (Fussnoten siehe Ende Kap 8.1).

Nuklid	Abgaben [Bq im Jahr]					
β/γ-Strahler	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
^{7}Be						
^{22}Na						
^{24}Na					$1.5 \cdot 10^{5}$	
^{38}S					$1.1 \cdot 10^{9}$	
^{38}Cl						
^{39}Cl					$6.8 \cdot 10^{9}$	
^{51}Cr						
^{54}Mn				$4.2 \cdot 10^{4}$		$9.9 \cdot 10^{1}$
^{58}Co			$2.7 \cdot 10^{4}$	$2.2 \cdot 10^{4}$		
^{60}Co		$5.5 \cdot 10^{4}$	$1.4 \cdot 10^{5}$	$7.3 \cdot 10^{5}$	$9.6 \cdot 10^{5}$	$1.1 \cdot 10^{3}$
^{65}Zn				$1.1 \cdot 10^{4}$		
^{75}Se						
^{77}Br					$3.9 \cdot 10^{6}$	
^{82}Br					$6.3 \cdot 10^{8}$	
^{90}Sr						
^{95}Zr						
^{95}Nb						
^{99m}Tc					$4.0 \cdot 10^{7}$	
^{103}Ru						
^{110m}Ag						
^{123m}Te						
^{125}Sb						
^{131}I (Aerosol)			$2.2 \cdot 10^{4}$			
^{134}Cs						
^{137}Cs				$4.2 \cdot 10^{4}$		$8.5 \cdot 10^{3}$
^{140}Ba				$4.8 \cdot 10^{4}$		
^{141}Ce						
^{144}Ce						
^{181}Re					$3.2 \cdot 10^{7}$	
^{182}Re					$1.1 \cdot 10^{8}$	
^{182m}Re					$4.0 \cdot 10^{5}$	
^{183}Re					$5.2 \cdot 10^{5}$	
^{182}Os						
^{183}Os					$1.3 \cdot 10^{8}$	
^{183m}Os					$2.3 \cdot 10^{8}$	
^{185}Os					$9.1 \cdot 10^{6}$	
^{191}Os						
^{191}Pt						
^{192}Au					$1.6 \cdot 10^{9}$	
^{193}Au					$2.0 \cdot 10^{8}$	
^{194}Au					$1.9 \cdot 10^{5}$	
^{195}Au						
^{192}Hg					$7.4 \cdot 10^{8}$	
^{193}Hg						
^{193m}Hg					$2.6 \cdot 10^{8}$	
^{194}Hg					$1.9 \cdot 10^{5}$	$5.2 \cdot 10^{7}$
^{195}Hg					$5.8 \cdot 10^{9}$	
^{195m}Hg					$9.8 \cdot 10^{7}$	
^{197}Hg						
^{197m}Hg					$1.2 \cdot 10^{8}$	
^{203}Hg					$6.8 \cdot 10^{6}$	
Nicht spezifizerte	$2.7 \cdot 10^{5}$					
α-Aerosole	$5.1 \cdot 10^{3}$	$5.3 \cdot 10^{4}$	$4.2 \cdot 10^{4}$	$1.1 \cdot 10^{5}$		$1.7 \cdot 10^{4}$

Fussnoten zu den Tabellen 1 bis 3

[1] **Abgabelimiten** gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die Abgabelimiten wurden so festgelegt, dass die Jahresdosis für Personen in der Umgebung (vgl. Fussnote 3) für die Kernkraftwerke unter 0.3 mSv/Jahr respektive das Zentrale Zwischenlager in Würenlingen (ZZL) unter 0.05 mSv/Jahr bleibt. Für das Paul Scherrer Institut (PSI) sind die Abgaben gemäss Bewilligung 6/2003 direkt über den quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0.15 mSv/Jahr limitiert.

[2] Die **Messung der Abgaben** erfolgt nach den Erfordernissen der Reglemente «für die Abgaben radioaktiver Stoffe und die Überwachung von Radioaktivität und Direktstrahlung in der Umgebung des...» jeweiligen Kernkraftwerkes resp. des ZZL oder PSI. Die Messgenauigkeit beträgt ca. ± 50%. Abgaben unterhalb 0.1% der Jahresabgabelimite werden vom ENSI als nicht-relevant betrachtet.

[3] Die **Jahresdosis** ist für Personen berechnet, die sich dauernd am kritischen Ort aufhalten, ihre gesamte Nahrung von diesem Ort beziehen und ihren gesamten Trinkwasserbedarf aus dem Fluss unterhalb der Anlage decken. Die Dosis wird mit den in der Richtlinie ENSI-G14 angegebenen Modellen und Parametern ermittelt.Dosiswerte kleiner als 0.001 mSv – entsprechend einer Dosis, die durch natürliche externe Strahlung in ca. zehn Stunden akkumuliert wird – werden in der Regel nicht angegeben. Beim PSI wird die Jahresdosis der Gesamtanlage als Summe über die Abgabestellen gebildet.

[4] Bei der **Art der Abgaben** resp. den **Tatsächlichen Abgaben** ist folgendes zu präzisieren:

Abwasser: Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-LE-Wert von 200 Bq/kg angegeben. Die LE-Werte für die einzelnen Nuklide sind dem Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Ein LE-Wert von 200 Bq/kg entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Ingestions-Dosisfaktor von $5 \cdot 10^{-8}$ Sv/Bq. Die unnormierte Summe der Abwasserabgaben ist in einer weiteren Spalte angegeben.

Edelgase: Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-CA-Wert von $2 \cdot 10^5$ Bq/m^3 angegeben. Die CA-Werte für die Edelgasnuklide sind dem Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Ein CA-Wert von $2 \cdot 10^5$ Bq/m^3 entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Immersions-Dosisfaktor von $4.4 \cdot 10^{-7}$ (Sv/Jahr)/(Bq/m^3). Die unnormierte Summe der Edelgasabgaben ist in einer weiteren Spalte angegeben. Beim KKG wird für die Bilanzierung der Edelgase eine β-total-Messung durchgeführt; für die Aequivalent-Umrechnung wurde in diesem Fall ein Gemisch von 80% ^{133}Xe, 10% ^{135}Xe und 10% ^{88}Kr angenommen.

Gase: Beim PSI handelt es sich dabei vorwiegend um die Nuklide ^{11}C, ^{13}N, ^{15}O und ^{41}Ar. Deren Halbwertszeiten sind kleiner als zwei Stunden. Hier ist für die einzelnen Abgabestellen und das gesamte PSI die Summe der Radioaktivität dieser Gase und Edelgase ohne Normierung auf einen Referenzwert angegeben. Für die Gesamtanlage wird zusätzlich auch die auf den Referenz-CA-Wert von $2 \cdot 10^5$ Bq/m^3 normierten Abgabe aufgeführt.

Aerosole: Hier ist in jedem Fall die Summe der Radioaktivität ohne Normierung auf einen Referenzwert angegeben. Der Dosisbeitrag von Aerosolen mit Halbwertszeiten kleiner 8 Tagen ist bei den Kernkraftwerken vernachlässigbar. Beim KKM ergibt sich der Hauptbeitrag zur Dosis durch die Strahlung der abgelagerten Aerosole, die im Jahre 1986 durch eine unkontrollierte Abgabe in die Umgebung gelangten. Der Dosisbeitrag der Aerosole, welche im Berichtsjahr abgegeben wurden, ist dem gegenüber vernachlässigbar und liegt in der Grössenordnung der anderen schweizerischen Kernkraftwerke.

Iod: Bei den Kernkraftwerken ist die Abgabe von ^{131}I limitiert; somit ist bei den tatsächlichen Abgaben auch nur dieses Iod-Isotop angegeben. Beim PSI, bei dem andere Iod-Isotope in signifikanten Mengen abgegeben werden, ist die Abgabe für die einzelnen Abgabestellen und die Gesamtanlage als Summe der Aktivität der gemessenen Iod-Nuklide angegeben. Für die Gesamtabgabe wird zudem auch ein ^{131}Iod-Aequivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben, wobei sich der Gewichtungsfaktor aus dem Verhältnis des Ingestionsdosisfaktors des jeweiligen Nuklides zum Ingestionsdosisfaktor von ^{131}I ergibt. Die Ingestionsdosisfaktoren sind der StSV entnommen. Für die Berechnung der Jahresdosis werden sowohl für die KKW wie für das PSI immer sämtliche verfügbaren Iod-Messungen verwendet, d.h. es ist beispielsweise für KKB auch der Beitrag von ^{133}I berücksichtigt.

Kohlenstoff ^{14}C: In den Tabellen ist der als Kohlendioxid vorliegende Anteil des ^{14}C, der für die Dosis relevante ist, angegeben. Die für ^{14}C angegebenen Werte basieren bei allen Werken auf aktuellen Messungen.

[5] Siehe Tabellen 3a - c.

8.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen

F. Cartier, B. Bucher, A. Leupin
Eidg. Nuklearsicherheitsinspektorat, Industriestrasse 19, 5200 Brugg

Die Ortsdosis, respektive die Ortsdosisleistung durch externe Strahlung werden in der Umgebung der Kernanlagen und des PSI mit dem MADUK-Messnetz (siehe Kapitel 8.3), und mit Thermolumineszenzdosimetern (TLD) in der Umgebung sowie am Arealzaun überwacht. Zusätzlich dazu führt das ENSI vierteljährlich stichprobenweise Dosisleistungsmessungen am Arealzaun sowie bei Bedarf spezielle Messkampagnen durch.

Die Ortsdosisleistung ist im Nahbereich der Siedewasserreaktoren in Mühleberg und in Leibstadt durch Direkt- und Streustrahlung aus dem Maschinenhaus erhöht. Diese Strahlung resultiert aus dem radioaktiven Zerfall des kurzlebigen Stickstoffnuklids ^{16}N, welches im Reaktor produziert und bei Siedewasserreaktoren mit dem Dampf in die Turbine im Maschinenhaus getragen wird. Des weitern können Abfalllager zu einer erhöhten Ortsdosis am Zaun beitragen.

Am Zaun des KKM wurden bei stichprobenweise, vierteljährlich vom ENSI durchgeführten Messungen Dosisleistungen zwischen etwa 0.08 µSv/h (natürlicher Untergrund) und 0.29 µSv/h ermittelt. Auf ein Jahr hochgerechnet würde basierend auf diesen Momentanwerten am meist exponierten Ort eine Dosiserhöhung von ca. 1.8 mSv (ohne natürlichem Untergrund) resultieren. Die vom KKM ausgewerteten Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun ergeben für das Berichtsjahr nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes von ca. 0.7 mSv eine Dosiserhöhung von 0.7 mSv.

Am Zaun des KKL wurden bei vierteljährlichen Stichproben des ENSI während des Leistungsbetriebes Ortsdosisleistungen zwischen 0.06 µSv/h (natürlicher Untergrund) und 0.18 µSv/h ermittelt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes und unter Berücksichtigung der Betriebszeit am meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von ca. 1 mSv pro Jahr. Die höchste, mit den TLD am Zaun ermittelte Jahresdosis (nach Abzug des natürlichen Untergrundes von 0.6 mSv) beträgt 0.8 mSv.

Im Jahr 2009 betrug der höchste, mit einem Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun des Paul Scherrer Instituts (PSI) ermittelte Wert ca. 0.2 mSv (ohne natürlichem Untergrund von ca. 0.6 mSv). Der zugehörige Messpunkt liegt bei der Aktivlagerhalle am PSI-Ost. Auf Grund der stichprobenweise vom ENSI gemessenen Ortsdosisleistung am Zaun des PSI-Ost ergibt sich hochgerechnet auf ein Jahr eine Ortsdosis von 0.7 mSv ohne natürlichen Untergrund.

Beim KKB, KKG und beim Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) wurde am Zaun weder mittels TLD noch bei den vierteljährlichen Stichproben des ENSI eine Erhöhung der Ortsdosis über dem natürlichen Untergrund festgestellt.

Die Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Betriebsareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn-, Aufenthalts- und Arbeitsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche nach Art. 102 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung wurden auch im Berichtsjahr von allen Anlagen eingehalten.

8.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung In der Umgebung der Kernanlagen - @BAG 2010

8.3 Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)

F. Cartier, B. Bucher, A. Leupin
Eidg. Nuklearsicherheitsinspektorat, Industriestrasse 19, 5200 Brugg

Zusammenfassung

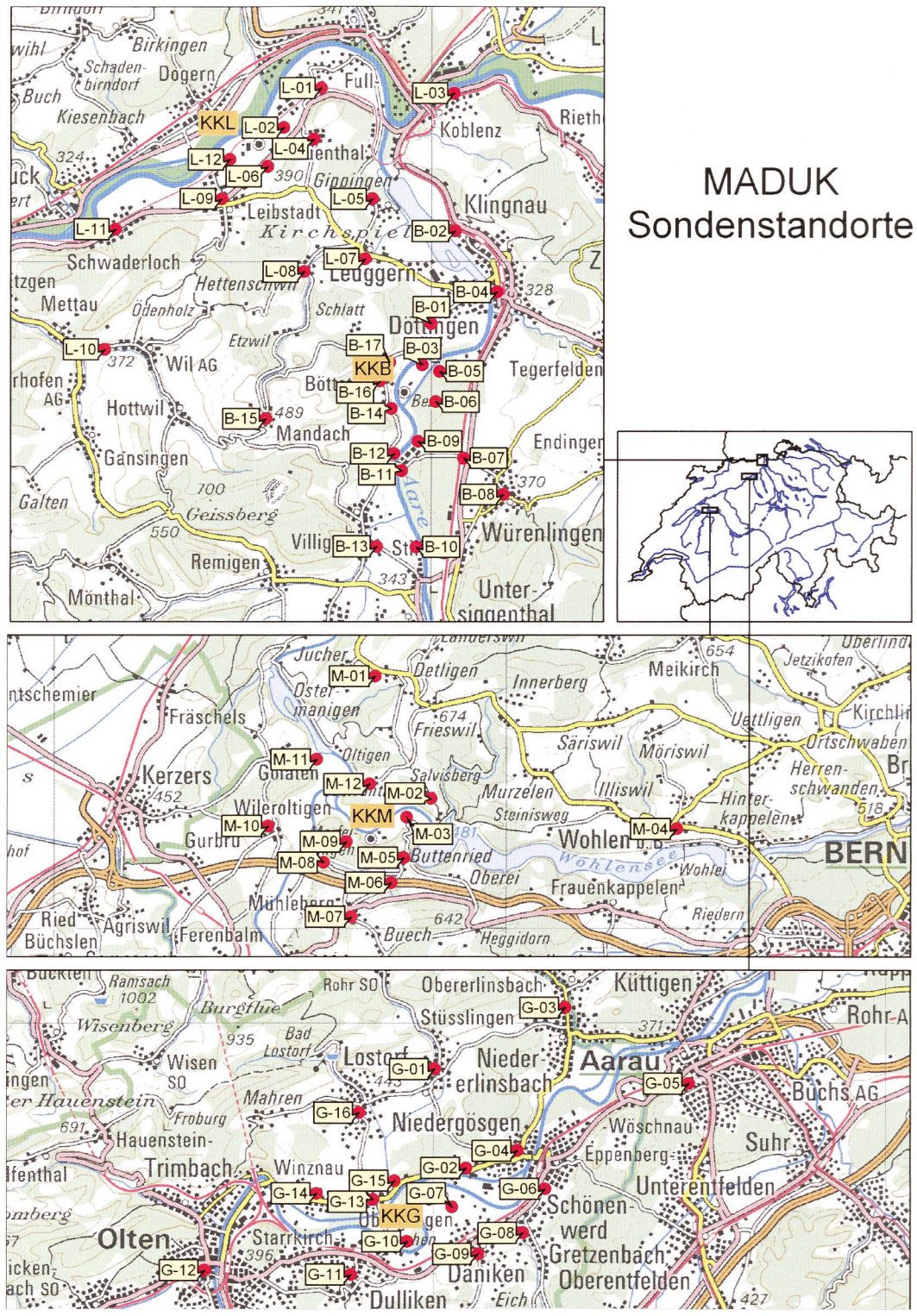
Das MADUK-System (**M**essnetz zur **a**utomatischen **D**osisleistungsüberwachung in der **U**mgebung der **K**ernkraftwerke) inklusive der Einrichtungen zur Übernahme von Anlageparametern (ANPA) und Kaminemissionswerten aus den Kernkraftwerken wurde im Laufe des Jahres 1993 aufgebaut und ab Frühling 1994 in den operationellen Betrieb überführt. Da das System die Dosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke ganzjährig rund um die Uhr misst und überwacht, dient es der Beweissicherung für die Behörden und gegenüber der Öffentlichkeit. Ebenso ermöglicht es das Erkennen von Betriebsstörungen und Unfällen, da Erhöhungen gegenüber den natürlichen Dosiswerten im ENSI automatisch angezeigt werden. Bei einem Störfall unterstützt MADUK die Notfallorganisation bei der Bestimmung des betroffenen Gebietes, der Einschätzung der möglichen Massnahmen und durch den schnellen Datenaustausch mit Behörden.

Die Messwerte im Jahr 2009 lagen im üblichen Rahmen wie in früheren Jahren. Alle registrierten Erhöhungen waren auf Washout-Effekte natürlicher Radionuklide zurückzuführen. Es wurden keine Dosisleistungserhöhungen festgestellt, die auf Abgaben der Kernkraftwerke zurückgeführt werden konnten.

Übersicht

Das MADUK-Netz zur Messung der Dosisleistungen besteht aus insgesamt 57 Immissionsmessstationen in der Umgebung der vier Kernkraftwerke (Figur 1). Die Messsonden des MADUK-Systems komplettieren und ergänzen das gesamtschweizerische Messnetz zur Radioaktivitätsüberwachung NADAM, das weitere 60 Messstationen – verteilt über die ganze Schweiz – zählt. Die Geiger-Müller-Zählrohre in den Sonden ermitteln die Gamma-Dosisleistung im Messbereich von 10 nSv/h (Niederdosiszählrohre) bis 10 Sv/h (Hochdosiszählrohr). Von den Kernkraftwerken werden Kaminemissionswerte und wichtige Anlagenparameter der Primär- und Sekundäranlage übernommen und in die MADUK-Zentrale geleitet. Die MADUK-Zentrale des ENSI verarbeitet und archiviert die Daten, sorgt im Bedarfsfall für eine sofortige Alarmierung der ENSI-Notfallorganisation und sichert die Immissionsdaten langfristig. Des Weiteren sorgen verschiedene Subsysteme für den Datenaustausch mit den externen Partnern: Nationale Alarmzentrale (NAZ) in Zürich, Kernreaktorfernüberwachung Baden-Württemberg sowie MeteoSchweiz in Zürich. Die Subsysteme beliefern auch die Systeme ADAM und ADPIC im ENSI.

Die Daten von MADUK können mittels einer speziellen Software auf bestimmten Windows-Arbeitsplatzrechnern im ENSI, in den Kernkraftwerken und im Bundesamt für Gesundheit visualisiert werden. Auf der Internetseite www.ensi.ch unter Messnetz MADUK/Messwerte Radioaktivität sind die Tages-, Stunden- und Zehnminutenmittelwerte aller MADUK-Stationen abrufbar.



Figur 1:
Übersicht über die Sondenstandorte des Messnetzes MADUK.

Systeminstandhaltung und –ergänzung

Im Jahr 2009 wurden im Zuge der Operationalisierung des Projektes CN-MET die Meteotürme an den KKW-Standorten ausser Betrieb genommen. Dies bedingte Anpassungen an den Datenflüssen und am Zentralsystem von MADUK. Das in MADUK enthaltene Ausbreitungsmodul wurde durch die Normberechnungen von ADPIC ersetzt.

Der im Einsatz stehende Web-Server wurde 2009 abgelöst. Da die früher eingesetzte Software nicht auf den neueren Versionen der Microsoft-Betriebssysteme lauffähig war, musste die Web-Applikation erneuert werden. Dabei wurde auch eine Erweiterung der Anzeige für 10-Minutenwerte realisiert.

Systemverfügbarkeit und Störungen

Die Systemverfügbarkeit ist bei MADUK von besonderer Bedeutung, da das System eine kontinuierliche Überwachung gewährleisten muss, die auch von der Öffentlichkeit wahrgenommen werden soll. Mit der Kenngrösse «Systemverfügbarkeit» wird die Einsatztauglichkeit des Gesamtsystems MADUK beurteilt: Systemstörungen, die zu wesentlichen Nutzungseinschränkungen des Systems geführt haben, werden als Ausfallzeit in Stunden erfasst.

Aufgrund von Umbauarbeiten an den Stationsstandorten von L-03 und L-10 kam es zu längeren Betriebsunterbrüchen und permanentem Datenverlust von 142 (L-10) und 23 Stunden (L-03).

In der Kommunikation zu den Messstationen kam es zu verschiedenen Störungen mit unterschiedlicher Ursache. So führten defekte DSL-Router bei M-09 zu 41 und bei L-08 zu 8 Stunden Unterbruch in der Datenübertragung. Andere Ursachen wie blockierte DSL-Router, Leitungsunterbrüche etc. führten bei M-11 zu 25, bei M-10 zu 2 und bei L-10 zu 8 Stunden Ausfall. Nach 2008 machten sich auch 2009 bei der Station L-05 immer wieder Probleme in der Kommunikation bemerkbar. Mehrfache Interventionen beim Telekomanbieter lösten das Problem vorerst nicht. Mehrfaches Ausmessen der Leitungen und auch die Überprüfung der Leitungen konnten das Problem nicht weiter eingrenzen. Seit Ende September läuft die Verbindung wieder stabil, längere Unterbrüche wurden keine mehr festgestellt. Ende September führte zudem eine regionale Grossstörung zu einem Komplettausfall der Telekommunikationsdienste während rund 5 Stunden. Trotz Anbindung der Telekommunikation über zwei Amtszentralen konnte der Totalausfall nicht verhindert werden. Entsprechende Korrekturen sind nach dem Umzug nach Brugg angedacht.

Im ersten vollen Betriebsjahr mit den 2008 neu eingeführten Messwertsendern wurden nur wenige längere Störungen registriert. Diese waren ausschliesslich auf blockierte Prozesse auf dem Messwertsender zurückzuführen. Je nach Zeitpunkt der Störung konnte diese innert weniger Stunden oder Tagen behoben werden. Insbesondere eine Störung am Wochenende führte bei M-03 zu einem Unterbruch von rund 40 Stunden. Die Störungen bei den Stationen G-14 (27.6 Stunden), G-05 (1.2), G-10 (1.6), L-06 (4.5), L-07 (3.2), B-04 (3.7), B-01 (1.0), B-13 (2.2), L-07 (3.8), G-16 (22.3) und M-03 (39.7) führten zu einer gesamten Ausfallzeit von rund 111 Stunden.

Weitere relevante Störungen waren beim Datenimport vom KFÜ Baden-Württemberg (1 x 26 Stunden, 1 x 48 Stunden) und bei den Datenimport- und Datenexportprozessen auf den Kommunikationsrechnern zu verzeichnen. Einer der Ausfälle dauerte rund 47 Stunden, da er sich am Wochenende ereignete und auf Probleme mit der Ingres-Datenbank zurückzuführen war. Diese konnten schliesslich mit einer Anpassung der Konfiguration behoben werden. Trotzdem führten diese Probleme zu einer sehr tiefen Verfügbarkeit von 93.1% im vierten Quartal, was zu der eher tiefen Jahresverfügbarkeit von 97.7% führte. Die Datenverfügbarkeit im Archiv beträgt für das Jahr 2009 über alle MADUK-Stationen hingegen 99.97%.

Qualitätssicherung

Die Aufgaben im Bereich der Qualitätssicherung basieren auf dem Qualitätsmanagementsystem des ENSI. Dadurch ist gewährleistet, dass alle Aufgaben im Zusammenhang mit dem Betrieb, der Wartung und der Instandhaltung/Erneuerung qualitätsgestützt und nachvollziehbar bearbeitet werden.

In Anlehnung an die «Empfehlungen zur Sicherstellung der Messdatenqualität von Umgebungsdosimetriesystemen» der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität vom 24. November 2004 werden die MADUK Sonden vor einem ersten Einsatz im Eichlabor geeicht. Die Eichung hat eine dreijährige Gültigkeit. Im Frühjahr 2009 war eine erneute Eichung der eingesetzten Messsonden fällig. Diese wurde im Feld mit Hilfe eines mit dem Eichlabor des Paul Scherrer Institut abgesprochenen Verfahrens vorgenommen. Alle Sonden konnten erfolgreich geeicht werden. Das Verfahren hat sich bei optimierten Ressourcen bestens bewährt.

Das Messverhalten der Sonden wird zwischen den Eichungen mit halbjährlichen Genauigkeitstests geprüft. Bei den Genauigkeitstests werden mit Hilfe einer Prüfquelle die Resultate der Niederdosis- und Hochdosis-Zählrohre überprüft. Mit einer 460 kBq ^{137}Cs-Quelle werden erhöhte Werte bei jeder Sonde während ca. 40 Minuten produziert und mit Sollwerten verglichen. Gleichzeitig wird diese Sondenfunktionskontrolle auch für die Überprüfung der Datenübermittlung, der korrekten Archivierung im MADUK-Datenarchiv sowie der Alarmauslösung gemäss den festgelegten Schwellwerten benutzt. Im Jahr 2009 wurde neben der Eichung im Frühjahr eine Funktionskontrolle im Herbst durchgeführt. Diese zeigte die einwandfreie Funktion aller Sonden. Die Archivierung und Alarmierung funktionierten ebenfalls einwandfrei.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme werden üblicherweise Messungen mittels in-situ-Gammaspektrometrie im Feld durchgeführt. 2009 konnten keine Messungen durchgeführt werden, da der Ersatz des Detektors sich aufgrund von Lieferengpässen stark verzögerte und die qualitätsgesicherte Inbetriebnahme des Detektors nicht mehr im Jahr 2009 erfolgen konnte.

Messergebnisse

Erhöhte Ortsdosisleistungswerte, die auf Abgaben der Kernkraftwerke zurückzuführen waren, wurden keine festgestellt.

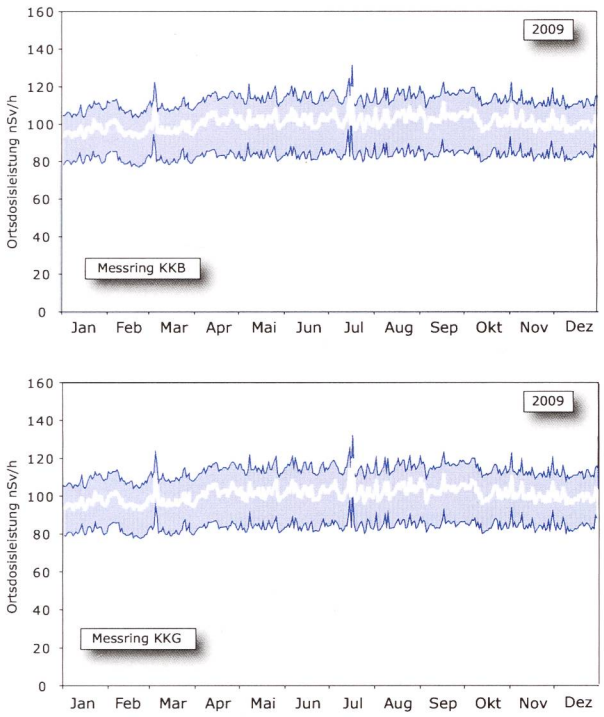
Im Rahmen der jährlichen Überprüfungskampagne der NADAM Sonden wurden beim Personalrestaurant des PSI durch die dort positionierte MADUK-Station B-11, welche in unmittelbarer Nähe einer überprüften NADAM Sonde steht, für eine halbe Stunde erhöhte Werte registriert. Der Maximalwert betrug 3.23 µSv/h. Im Laufe des Berichtsjahres sind die mit NADAM Sonden ausgerüsteten Wetterstationen bei den Kernkraftwerken von KNET auf das neue SwissMetNet umgerüstet worden. Seither werden bei diesen NADAM Stationen dieselben Sondentypen wie bei MADUK eingesetzt und baugleiche Prüfquellen verwendet. Die beiden Sonden stehen im Abstand von 2 Metern. Dank der neuen Prüfquellen in Form eines Ringes sind die Messwerte der jeweils benachbarten Sonde während der Prüfung nur geringfügig beeinflusst. Bei der SwissMetNet-Station in Mühleberg wurde an der MADUK-Sonde M-03 ein Maximalwert von 122 nSv/h, bei Gösgen an der Sonde G-07 ein Maximalwert von 112 nSv/h und bei Leibstadt L-06 ein Maximalwert von 108 nSv/h registriert.

In der Tabelle 1 sind alle Ereignisse aufgelistet, bei denen der Nettodosisleistungsschwellwert von 50 nSv/h überschritten wurde. Alle registrierten Erhöhungen waren auf Washout-Effekte in der Folge lokal begrenzter Starkregen zurückzuführen. Ein Zusammenhang mit dem Betriebsverhalten der Kernanlagen konnte nicht hergestellt werden.

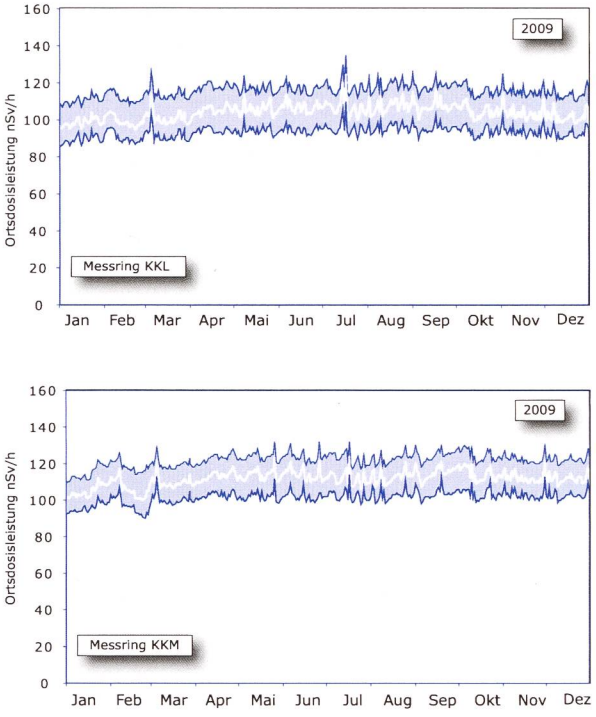
Tabelle 1:
Auflistung der Nettodosisleistungsschwellwertüberschreitungen im Jahr 2009.

Datum	Station	Dauer [h]	Max. NDL [nSv/h]	Max. ODL [nSv/h]
26. 06. 19:10	M-03	0.2	56	191
26. 06. 19:10	M-05	0.2	59	212
03. 07. 12:30	G-10	1.0	75	196
03. 07. 12:30	G-11	1.0	80	208
03. 07. 18:30	B-02	0.2	54	167
03. 07. 18:10	L-03	1.0	96	215
04. 07. 19:40	L-10	0.9	62	183
28. 07. 00:20	L-10	0.2	52	231
08. 08. 12:40	L-10	0.5	66	209
17. 09. 18:40	G-11	0.3	63	172
19. 09. 22:40	M-04	0.5	61	184
20. 09. 00:00	M-04	0.3	54	170
20. 09. 01:10	L-03	0.9	103	224
20. 09. 01:20	L-02	0.9	81	214
20. 09. 01:30	L-04	0.5	67	207
20. 09. 01:30	L-05	0.2	51	181
20. 09. 01:50	L-06	0.3	52	191
20. 09. 04:20	L-06	0.2	52	191
20. 09. 04:40	L-02	0.2	51	188

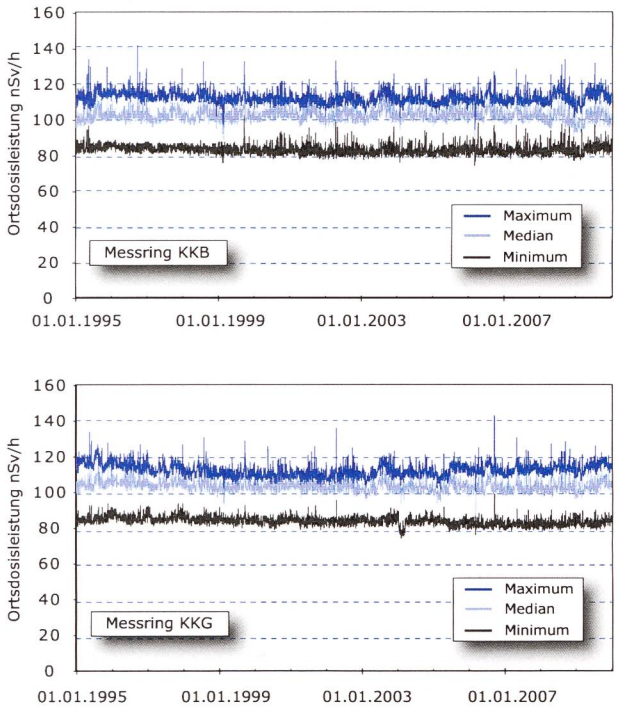
Die Figuren 2 und 3 zeigen die Maxima, die Minima und die Mediane der Tagesmittelwerte im Berichtsjahr in den Umgebungen der Kernkraftwerke. Die Werte liegen im normalen Schwankungsbereich der letzten 15 Jahre (Figuren 4 und 5).



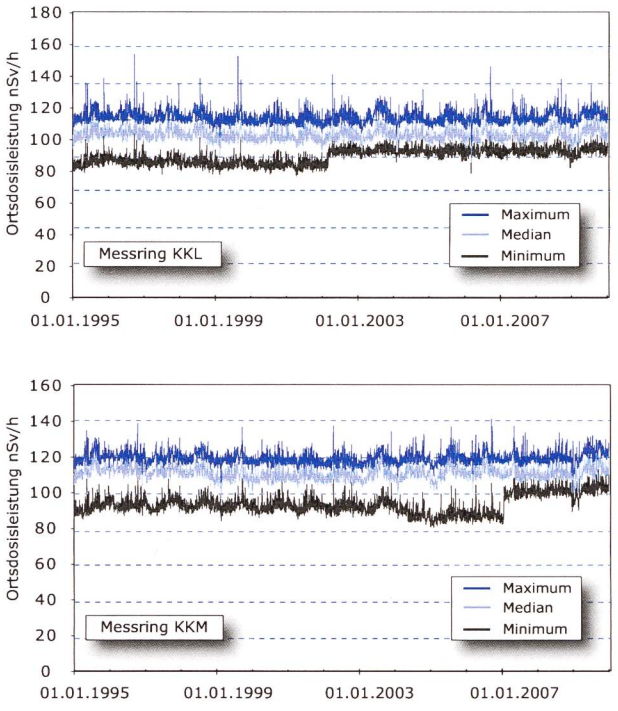
Figur 2:
Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKB, KKG.



Figur 3:
Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKL, KKM.



Figur 4:
Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKB und KKG für die Jahre 1995 bis 2009.



Figur 5:
Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKL und KKM für die Jahre 1995 bis 2009. Die Sprünge in den Minima-Werten sind darauf zurückzuführen, dass Sonden, die sich auf Dächern befanden, auf den Boden versetzt wurden (bei KKL bei der Station L-05, bei KKM bei der Station M-04).

8.4 Überwachung des zentralen Zwischenlagers (ZWILAG)

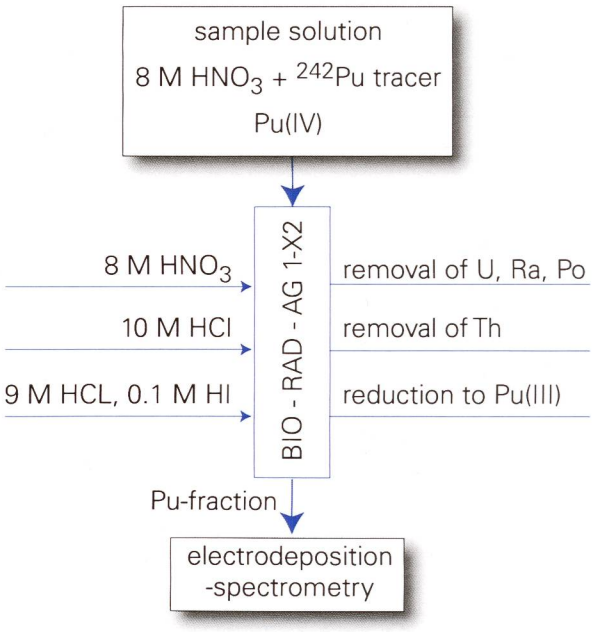
J. Eikenberg, H. Beer, C. Parussudis, I. Zumsteg
Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen

Zusammenfassung

Im Rahmen der Immissionsüberwachung führt das PSI seit 13 Jahren Radionuklidmessungen an Waldbodenproben aus der Umgebung des Zwischenlagers für radioaktive Abfälle (ZWILAG Würenlingen) durch. Die Proben werden dabei zunächst γ-spektrometrisch gemessen und anschliessend radiochemisch für die Bestimmung reiner α- und β-Strahler (^{90}Sr, ^{238}Pu, $^{239+240}$Pu, ^{241}Am, ^{244}Cm) aufbereitet. Die Ergebnisse der γ-Spektrometrie zeigen einen deutlich abnehmenden Trend für das anthropogene Radionuklid ^{137}Cs von ca. 100 - 150 Bq/kg (im Jahr 1997) auf ca. 30 - 70 Bq/kg (2009). Die Abnahmen für die anthropogenen Radioisotope ^{90}Sr und $^{239+240}$Pu sind ähnlich signifikant. So sanken die Aktivitätskonzentrationen für ^{90}Sr von 6 - 10 Bq/kg auf 2 - 4 Bq/kg und diejenigen für $^{239+240}$Pu von 0.4 - 0.9 (1997) auf 0.2 - 0.8 im Jahr 2009. Die konstanten Isotopenverhältnisse von ^{238}Pu/$^{239+240}$Pu (ca. 0.03) und ^{241}Am/$^{239+240}$Pu (ca. 0.4) zeigen deutlich, dass die gemessenen Werte für die Aktiniden den oberirdisch durchgeführten Kernwaffentests vor ca. 50 Jahren zuzuschreiben sind.

Einleitung

Das Zwischenlager (ZWILAG AG) für radioaktive Abfälle aus Kernkraftwerken wurde vor 11 Jahren in unmittelbarer Nähe zum Paul Scherrer Institut erstellt und anschliessend in Betrieb genommen. Um potentielle, geringfügige Radionuklid-Emissionen in der Umgebung des Areals aus Abgaben aus der Anlage feststellen zu können, wurden vor der Inbetriebnahme im Rahmen des Projektes Beweissicherung umfangreiche Radionuklid-Messungen an



Figur 1:
Schematische Darstellung des radiochemischen Trennverfahrens für Plutonium.

Bodenproben in der unmittelbaren Umgebung des Areals durchgeführt. (Details über Analysemethoden in Figur 1 und [1]). Diese Analysen dienten der Erfassung der Konzentrationen kosmogener (z.B. ^{7}Be), terrestrischer (^{40}K sowie Radionuklide aus den U- und Th-Zerfallsreihen) und insbesondere anthropogener Radioisotope (^{90}Sr, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{238}Pu, $^{239+240}$Pu, ^{241}Am, ^{244}Cm) resultierend aus Aerosol-Fallout infolge von Kernwaffentests und dem Chernobyl-Ereignis. Seit der Durchführung dieser Studie werden im Routinebetrieb einmal jährlich an 4 Beprobungs-Punkten Waldbodenproben aus der oberen Schicht (0 - 5 cm) erhoben und im Labor auf ihren Radionuklid-Gehalt untersucht.

Radiochemische Trennmethoden

Der Boden wird zunächst getrocknet, gesiebt und in ca. 30g schwere Aliquots gesplittet. Vor der Analyse werden ^{243}Am- und ^{242}Pu-Tracer hinzu gegeben. Nach der Trockenveraschung wird die Probe in 8 M HNO_3 unter Kochen während 1 Stunde ausgelaugt, so dass die oberflächlich adsorbierten Fallout-Produkte in die wässerige Phase transferiert werden. Die wässerige Lösung, welche die Fraktionen von Pu, Am und Cm enthält, wird sodann von der festen Phase über Filtration getrennt.

Die Leach-Lösung wird dann direkt auf eine Anionenaustauscher-Kolonne (Bio-Rad 1-X2, 100-200 mesh) gegeben und durch Zugabe von HCl und HNO_3-Waschlösungen werden potentiell bei der α-Spektrometrie interferierende, natürliche Radionuklide abgetrennt (z.B. α-Emission von ^{228}Th und ^{238}Pu bei 5.4 MeV), bevor die Pu-Fraktion in einer Mischung aus HCl und HI eluiert wird. Die durch die Bio-Rad-Kolonne gelaufene Fraktion von Am und Cm wird auf einer TRU™-Kolonne purifiziert und abgetrennt. Zur Retention von U und Th ist der TRU™-Trennsäule eine U/TEVA™-Kolonne vorgeschaltet. Die gereinigten Fraktionen von Pu bzw. Am+Cm werden anschliessend eingedampft und in einer $NaSO_4$-$NaHSO_4$-Pufferlösung aufgenommen, die zur elektrolytischen Abscheidung von Aktiniden verwendet wird [2]. Nach der Elektrodeposition werden die Messpräparate über 2 Tage mit hochauflösender α-Spektrometrie gemessen (alle Details in [1]).

Resultate und Diskussion

Die Resultate der Radionuklid-Messungen sind in Tabelle 1 für die anthropogenen Radioisotope (^{90}Sr, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{238}Pu, $^{239+240}$Pu, ^{241}Am) und natürlichen terrestrischen Isotope aus den U- und Th-Zerfallsreihen (^{226}Ra, ^{228}Ra) zusammengefasst. Dargestellt ist der Streubereich der Probenmessungen aus den 4 Bodenentnahmestellen um das ZWILAG-Areal. Wie die Tabelle zeigt, liegen die typischen Aktivitätskonzentrationen von $^{239+240}$Pu derzeit zwischen 0.2 und 0.8 Bq/kg, diejenigen von ^{241}Am zwischen 0.1 und 0.3 Bq/kg. In Spuren ist noch ^{238}Pu nachweisbar (0.01 - 0.03 Bq/kg), während die Werte für fissiogenes ^{90}Sr etwas höher sind (2 - 4 Bq/kg). Signifikant darüber liegen die Resultate für ^{137}Cs (30 – 70 Bq/kg). Der Grund hierfür ist der zusätzliche Beitrag von Fallout-Caesium aus dem Chernobyl-Reaktorunfall. Über die Isotopenverhältnisse von ^{241}Am/$^{239+240}$Pu (im Mittel 0.4) und ^{238}Pu/$^{239+240}$Pu (0.03 ± 0.01) kann gefolgert werden, dass der Beitrag der anthropogenen Aktiniden ausschliesslich aus den atmosphärischen Kernwaffentests vor ca. 50 Jahren stammt [1,3]. Tabelle 1 zeigt zusätzlich den groben Trend der Aktivitätskonzentrationen der Fallout-Radioisotope über die letzten 10 Jahre. Bei allen anthropogenen Radionukliden lässt sich eine deutliche Abnahme von rund einem Faktor 2 beobachten. Dies liegt nur zu einem geringen Teil am radioaktiven Zerfall (die Halbwertszeiten von ^{90}Sr und ^{137}Cs liegen bei ca. 30 Jahren, diejenigen der Pu-Isotope sind deutlich länger), sondern vielmehr daran, dass der Tonmineralanteil in der oberen Waldbodenschicht im Vergleich zu den benachbarten Feld- und Wiesenflächen deutlich geringer ist (Tonmineralien haben hohe Adsorptions-Koeffizienten für Cs und Pu). Ebenfalls eingetragen sind die Werte für ^{226}Ra (als Mass für natürlich vorkommendes, primordiales ^{238}U) und ^{228}Ra (als Mass für ^{232}Th). Diese Werte liegen konstant zwischen 20 - 30 Bq/kg und zeigen keinen Trend mit der Zeit, da diese Radionuklide fest in den Kristallgittern der Bodenminerale eingebaut sind. Wenn man die Aktivitätskonzentrationen über die spezifischen Aktivitäten in Massenkonzentrationen umrechnet, ergeben sich für ^{238}U 2 - 3 ppm und für ^{232}Th 5 - 7 ppm, d.h. typische Werte für Böden und Gesteine der Erdkruste.

Tabelle 1:
Wertebereich für anthropogene Fallout-Isotope (^{90}Sr, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{238}Pu, $^{239+240}$Pu, ^{241}Am)und natürlich vorkommende terrestrische Isotope (^{226}Ra, ^{228}Ra) im Verlauf der letzen Jahre (1997, 2003 und 2009). Alle Werte in Bq/kg Trokkengewicht.

Isotop	1997	2003	2009
^{90}Sr	6 - 10	3 - 6	2 - 4
^{134}Cs (1)	1 - 2	< 1	< 1
^{137}Cs	100 - 150	40 - 90	30 - 70
^{238}Pu	0.01 – 0.03	0.01 – 0.03	0.01-0.03
$^{239+240}$Pu	0.4 – 0.9	0.3 – 0.6	0.2 – 0.8
^{241}Am	0.2 – 0.4	0.1 – 0.3	0.1 – 0.3
^{226}Ra	20 – 30	20 – 30	20 – 30
^{228}Ra	20 - 30	20 - 30	20 - 30

(1) Die Halbwertszeit von ^{134}Cs beträgt nur 2.06 Jahre, d.h. das Radioisotop konnte in den Jahren 2003 und 2009 nicht mehr nachgewiesen werden.

Literaturliste

[1] Eikenberg, J., Bajo, S., Hitz, J., Beer, H., Gann, C., Wyer, L und Ziegler, J. (2002) Spezialnuklid-Analysen für die Beweissicherung ZWILAG AG 1997-2001: Abschlussbericht der Immissionsmessungen. PSI-Bericht Nr. 02-15.

[2] Bajo, S. und Eikenberg, J. (1999) Electro-deposition of actinides for α-spectrometry, J. Radioanal. Nucl. Chem. 242, 745-751.

[3] UNSCAER (2000), Sources and effects of ionising radiation. Report to the General Assembly, Volume 1, Annex C, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York.

8.5
Les installations nucléaires et l'environnement

S. Estier, P. Beuret, G. Ferreri, A. Gurtner, M. Müller, P. Steinmann
Section radioactivité dans l'environnement, URA / BAG, 3003 BERN

Résumé

L'impact des installations nucléaires suisses sur l'environnement a été très faible en 2009. Les méthodes de mesure, d'une grande sensibilité, mises en œuvre au voisinage des installations nucléaires ont permis de mettre en évidence les traces des rejets atmosphériques (^{14}C dans les feuillages, ^{60}Co dans un échantillon d'herbe du voisinage de Mühleberg) et des rejets liquides (en particulier isotopes du cobalt et ^{54}Mn dans les eaux et les sédiments). La contribution du rayonnement direct a également été détectée en certains points de la clôture des centrales de Leibstadt et de Mühleberg. Les doses qui en résultent pour la population avoisinante sont toutefois restées nettement au-dessous des limites réglementaires et donc, sans conséquences pour la santé.

Hormis ces quelques exemples, les résultats des mesures environnementales ne se sont pas distingués de ceux relevés dans les endroits situés hors de l'influence des installations nucléaires. Ils montrent que la radioactivité d'origine naturelle prédomine et que les contaminations détectables proviennent principalement des essais nucléaires des années 60 (^{137}Cs, ^{90}Sr $^{239,240}Pu$ et ^{241}Am) et de l'accident de Tchernobyl (^{137}Cs).

Introduction

Dans le but de préserver la santé de l'homme et l'environnement au voisinage des centrales nucléaires, l'OFSP poursuit depuis de longues années un programme spécifique de prélèvements et de mesures. Celui-ci commence au terme source, par des analyses effectuées en parallèle par l'exploitant, l'IFSN et l'OFSP sur divers échantillons en phase de rejet (filtres à aérosols, à iode, gaz, eaux de rejet). Les exploitants sont par ailleurs tenus de mesurer le bilan de leurs émissions et de le communiquer chaque mois aux autorités.

La surveillance se poursuit par la mesure des immissions des centrales nucléaires (concentrations radioactives effectivement mesurées dans l'environnement). Tous les compartiments environnementaux sont examinés, de l'air jusqu'aux denrées alimentaires, en passant par les précipitations, le sol, l'herbe, les eaux superficielles et les sédiments. Des mesures sur site (spectrométrie gamma in situ) complètent ces analyses en permettant d'évaluer directement la radioactivité déposée au sol. Ce programme de surveillance, coordonné par l'OFSP, englobe non seulement les propres mesures de l'Office mais aussi celles des laboratoires cantonaux (denrées alimentaires), de l'Institut universitaire de radiophysique appliquée (mesures alpha et bêta), du laboratoire de Spiez (^{90}Sr dans les eaux de rejet), du PSI (dosimètres thermoluminescents, aéroradiométrie etc.), de l'EAWAG (Aar et Rhin), de l'université de Berne (^{14}C, ^{3}H et ^{85}Kr) et du LfU (Baden-Württemberg), conformément au programme germano-suisse autour de la centrale nucléaire de Leibstadt. L'IFSN met également à disposition de l'OFSP un accès direct à son réseau MADUK, mesurant en continu le débit de dose ambiante au voi-

8.5 Les installations nucléaires et l'environnement - @OFSP 2010

sinage des centrales nucléaires. L'OFSP se doit ensuite de procéder à l'examen critique de l'ensemble de ces données pour évaluer de manière pertinente l'influence des centrales nucléaires sur la population avoisinante et l'environnement. Le présent chapitre résume l'ensemble des résultats obtenus dans le cadre de ce programme de surveillance des immissions au voisinage des installations nucléaires. Le tableau 1 indique les chapitres à consulter pour accéder aux résultats plus détaillés relatifs à un compartiment de l'environnement particulier ou un radionucléide spécifique.

Tableau 1:
Tableau récapitulatif indiquant les chapitres du présent rapport à consulter pour accéder aux résultats détaillés de la surveillance du voisinage des installations nucléaires en fonction du compartiment environnemental (milieu) ou du radionucléide d'intérêt.

Milieu/Isotope	Chapitre
Exposition ambiante	Ch. 8.2, 8.3
Air/Aérosols (émetteurs γ)	Ch. 4.1
Précipitations (γ, ^{3}H)	Ch. 4.1
Mesures in situ	Ch. 3.1
Sol et herbe (γ, ^{90}Sr)	Ch. 4.4
Sol (Pu, ^{241}Am)	Ch. 7.2
^{14}C dans les feuillages	Ch. 7.1
Denrées alimentaires	Ch. 5
Milieu aquatique - émetteurs γ	Ch. 4.3
Fleuve (Aar/Rhin) - ^{3}H	Ch. 4.1, 7.1

Un impact mesurable des centrales nucléaires étant difficile à mettre en évidence, l'estimation de la dose au public repose avant tout sur le calcul à partir des émissions des installations. En effet, les niveaux de radioactivité à la source permettent une détection aisée et plus exhaustive des radionucléides rejetés. Leur impact sur l'environnement et l'homme résulte ensuite de la modélisation de leur transfert, basée sur des hypothèses conservatrices. En complément, les mesures dans l'environnement servent à vérifier ces modèles et à établir un bilan local réaliste de la radioactivité naturelle et artificielle.

Méthodologie

Dans le cas d'un suivi de l'environnement, deux aspects peuvent être pris en compte: l'un radio-écologique qui consiste à rechercher les meilleurs indicateurs de la contamination du milieu et l'autre dosimétrique, qui met l'accent sur ce qui peut contribuer aux doses de la population. La surveillance des installations nucléaires s'oriente sur ces deux aspects. Les méthodes de prélèvement et de traitement sont prescrites de manière à assurer une reproductibilité et à viser à concentrer un maximum de radioactivité dans un minimum de volume afin de pouvoir détecter la présence de radionucléides à très bas niveaux.

Résultats

Mesures à la source

Les mesures parallèles de l'exploitant, de l'IFSN et de l'OFSP sur des échantillons liquides et gazeux prélevés en phase de rejet ainsi que le contrôle des rejets déclarés mensuellement aux autorités ont confirmé que les 4 centrales nucléaires suisses, à savoir Beznau (KKB 1 et 2), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) et Mühleberg (KKM) ainsi que l'institut Paul Scherrer (PSI) et l'entrepôt de stockage intermédiaire de déchets radioactifs (ZWILAG), situés sur le même site, ont respecté les limites réglementaires fixées pour les émissions en 2009 (voir aussi Chap. 8.1).

En synthèse, la figure 1 traduit ce constat du point de vue de l'impact des rejets sur la population avoisinante en termes de doses par rapport à la valeur directrice liée à la source, fixée à 0.3 mSv par an pour les centrales nucléaires (y compris rayonnement direct). La contribution majeure à la dose d'irradiation provient des rejets atmosphériques: essentiellement du ^{14}C, avec à Mühleberg une contribution rémanente des résines rejetées en 1986, dont l'impact très localisé a constamment diminué depuis.

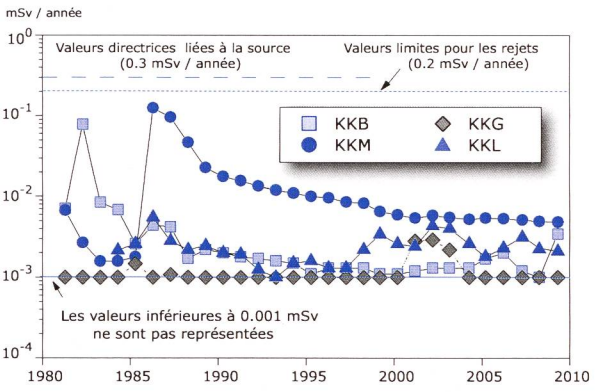


Figure 1:
Dose (calculée) due aux émissions des centrales nucléaires accumulée par la personne (adulte) la plus exposée dans le voisinage de chacune des centrales pour chaque année de 1981 à 2009 (Données IFSN) et comparaison avec la valeur directrice de dose liée à la source de 0.3 mSv/an[1].

1] La valeur directrice de dose liée à la source de 0.2 mSv/an utilisée jusqu'en 2004 ne tenait compte que de la contribution des rejets. La valeur directrice de dose de 0.3 mSv/an, comprend, quant à elle, à la fois la contribution des rejets et du rayonnement direct.

Mesures de l'exposition ambiante

L'exposition ambiante à la clôture et au voisinage des installations nucléaires est surveillée en permanence par le réseau MADUK ainsi qu'à l'aide de dosimètres thermoluminescents (TLD) et par des mesures périodiques effectuées par l'IFSN à la clôture des installations. Les résultats de cette surveillance ont montré que la contribution du rayonnement direct était clairement mesurable en certains points de la clôture des centrales de Leibstadt et de Mühleberg ainsi qu'au PSI mais que toutes les installations avaient respecté les valeurs limites en 2009. Rappelons que la valeur limite d'immissions pour le rayonnement direct, en dehors de l'enceinte des entreprises, est fixée à l'Art. 102, alinéa 3 de l'ordonnance sur la radioprotection (ORaP), à 1 mSv par an dans les locaux d'habitation, de séjour et de travail et à 5 mSv par an dans tout autre endroit.

L'OFSP effectue également des mesures de débit d'équivalent de dose ambiante H*(10) à l'aide d'une chambre d'ionisation placée à 1m au-dessus du sol dans un voisinage plus étendu. La figure 2, illustrant les résultats de ces mesures, montre que l'exposition ambiante au voisinage des installations nucléaires ne se distingue pas de manière significative de celle enregistrée à Fribourg, située hors de leur influence. Il est intéressant de remarquer que les valeurs de débit de dose légèrement plus élevées mesurées sur trois sites des environs de la centrale de Mühleberg sont dues à une concentration plus élevée en ^{40}K (naturel) dans les sols en ces endroits (cf. Figure 4).

Mesures dans le milieu atmosphérique

La surveillance du milieu atmosphérique comprend l'analyse des précipitations et des aérosols par l'autorité de contrôle ainsi que des dépôts sur plaques de vaseline par l'exploitant.

Les résultats des mesures 2009 des filtres aérosols des environs des centrales nucléaires suisses ainsi que du PSI ont montré la prédominance des radionucléides naturels ^{7}Be et ^{210}Pb, avec des valeurs comprises respectivement entre 0.2 et 4.6 et entre 0.1 et 1.0 mBq/m^3 (mesures OFSP et PSI). Le ^{137}Cs, attribuable 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, est le seul radionucléide d'origine artificiel mis en évidence dans ces échantillons (valeurs comprises entre 0.4 et 2.2 μBq/m^3 pour les filtres analysés à l'OFSP, les activités du ^{137}Cs étant toutes inférieures à la limite de détection de 10 μBq/m^3 pour les échantillons mesurés au PSI). Ainsi contrairement aux années précédentes, aucune trace de ^{60}Co n'a été observée dans les filtres aérosols des environs de KKM. Rappelons que l'origine suspectée de ces traces de ^{60}Co était la contamination accidentelle des filtres après exposition, alors qu'ils transitaient par l'intérieur de la centrale avant leur envoi pour analyse. La nouvelle procédure de prélèvement mise en place par l'exploitant sur proposition de l'OFSP et de l'IFSN et visant à empêcher toute contamination accidentelle des filtres par des sources autres que celles présentes dans l'environnement semble donc avoir porté ses fruits.

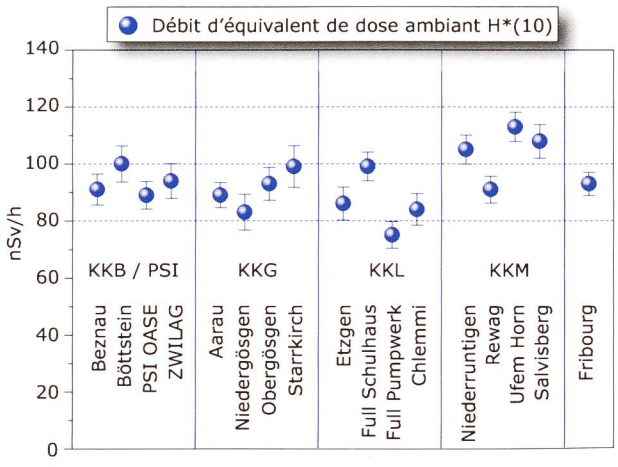


Figure 2:
Contrôles du débit d'équivalent de dose ambiant H(10) effectués en 2009 par l'OFSP au voisinage des installations nucléaires à l'aide d'une chambre d'ionisation placée à 1m du sol. La valeur mesurée à Fribourg est représentée à titre de comparaison.*

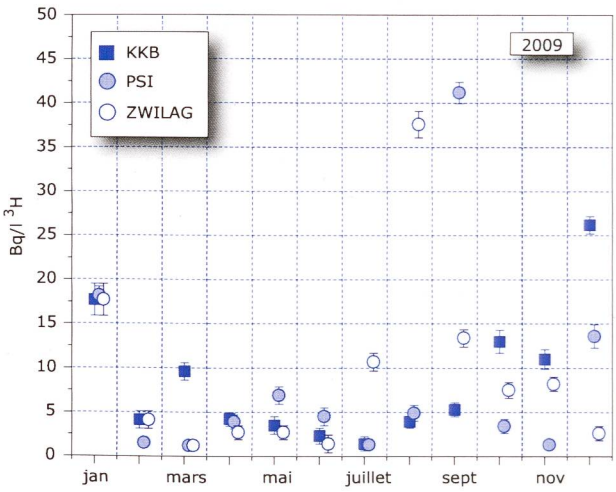


Figure 3:
Suivi du tritium dans les précipitations au voisinage des centrales nucléaires de Leibstadt et de Beznau, du PSI ainsi que du Zwilag en 2009.

8.5 Les installations nucléaires et l'environnement - @OFSP 2010

Aucun émetteur gamma d'origine artificielle n'a été détecté dans les échantillons de pluie collectés aux environs des centrales nucléaires de Mühleberg, Leibstadt, Gösgen et Beznau ni dans ceux du voisinage du PSI et du ZWILAG au cours de l'année 2009.

Les résultats des mesures du tritium (^{3}H), radionucléide directeur dans les précipitations, dans les échantillons mensuels des environs des installations nucléaires sont résumés dans le tableau 2. Les concentrations mensuelles de ^{3}H enregistrées en 2009 dans les pluies du voisinage des centrales nucléaires de Mühleberg et de Gösgen sont restées proches de celles enregistrées dans des stations de référence situées hors influence de ces installations.

Le suivi mensuel des concentrations du ^{3}H pour les stations de Leibstadt (BWR KKL), Beznau (PWR KKB), du PSI et du ZWILAG est représenté sur la figure 3. Cette dernière montre que les concentrations sont généralement restées faibles avec ponctuellement des valeurs plus élevées. A noter que les maximas enregistrés dans les différentes stations ne présentent pas de corrélation, quand bien même celles-ci sont situées dans un rayon de quelques km seulement (notamment pour KKB, PSI et ZWILAG). Toutes ces valeurs sont par ailleurs nettement inférieures à la valeur limite d'immission fixée dans l'ordonnance sur la radioprotection pour les eaux accessibles au public (12'000 Bq/l pour le ^{3}H).

Pour le reste, un impact des rejets atmosphériques des centrales nucléaires est avant tout perceptible pour le ^{14}C. Les mesures de ce radionucléide dans les feuillages, poursuivies depuis de nombreuses années par l'université de Bern, ont ainsi mis en évidence en 2009 une augmentation maximale, par rapport à la station de référence, de 110 pour mille aux environs de la centrale de Leibstadt. Les doses qui en résultent par ingestion de denrées alimentaires locales ne représentent cependant que quelques µSv.

L'intérêt des mesures de ^{14}C se situe aussi dans l'utilisation de ce traceur atmosphérique pour affiner la modélisation de la dispersion atmosphérique.

Tableau 2:
Tritium dans les précipitations au voisinage des installations nucléaires en 2009.

Lieu	Valeur min/ max (Bq/l)	Médiane (Bq/l)
Niederruntingen (environs KKM) Mesures OFSP	< 1.0 – 4.3	2.20
Niedergösgen (environs KKG) Mesures OFSP	< 2.0 – 2.5	-
Full (environs KKL) Mesures OFSP	< 2.0 – 16.2	2.25
Beznau (environs KKB) Mesures PSI	< 1.4 – 26.2	4.75
PSI Mesures PSI	< 1.2 – 41.2	4.20
ZWILAG Mesures PSI	< 1.2 – 37.6	5.80

Mesures dans le milieu terrestre

L'impact des rejets atmosphériques sur le milieu terrestre est avant tout examiné dans l'herbe et le sol, qui constitue un excellent intégrateur de pollution et permet de tenir compte des phénomènes d'accumulation à long terme. Les résultats de ces analyses se sont généralement avérés conformes à ceux enregistrés dans les sites hors de l'influence des installations nucléaires. Une exception est toutefois à relever: en effet, des traces de ^{60}Co ont été décelées dans un échantillon d'herbe prélevé au voisinage de la centrale de Mühleberg en mai 2009 (activité de 0.7 ± 0.2 Bq par kg de matière fraîche). Cet isotope n'a par contre pu être observé ni dans les échantillons de sol, ni lors des mesures par spectrométrie gamma in situ réalisées au voisinage de la centrale. Les analyses supplémentaires effectuées sur une dizaine d'autres échantillons d'herbe prélevés dans le même secteur ont confirmé qu'il s'agissait d'un dépôt minime et localisé.

Les résultats 2009 enregistrés pour les échantillons de sol et de plantes prélevés au voisinage des installations nucléaires montrent toutefois que la radioactivité d'origine naturelle prédomine nettement et que la radioactivité d'origine artificielle (^{137}Cs, ^{90}Sr, Pu et Am) provient principalement des essais nucléaires des années 60 et de l'accident de Tchernobyl. La figure 4 présente à titre d'exemple la contamination rémanente en ^{137}Cs dans les sols prélevés par l'OFSP au voisinage des installations nucléaires en 2009.

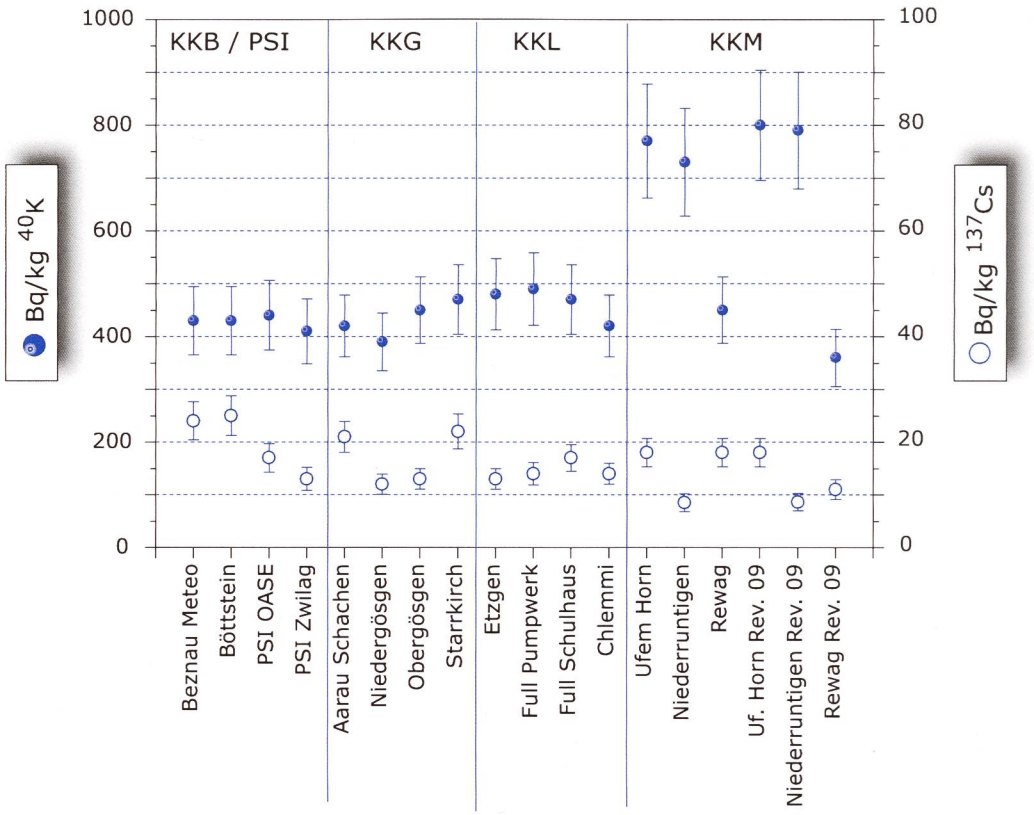


Figure 4:
^{137}Cs et ^{40}K (naturel) dans les sols secs et tamisés (2mm) analysés par l'OFSP en 2009 (couche 0 - 5 cm).

Afin de caractériser les sites du point de vue des contributions individuelles à l'exposition externe du public, l'OFSP procède depuis les années 80 à des mesures par spectrométrie gamma in situ. Les résultats correspondants montrent que les valeurs dans le voisinage des installations nucléaires n'ont rien d'anormal par rapport aux autres sites. Notons ainsi qu'aucun émetteur gamma d'origine artificielle n'a pu être mis en évidence en dehors du ^{137}Cs.

Les denrées alimentaires constituent le prochain maillon susceptible de transférer les radionucléides jusqu'à l'homme. Les résultats des mesures de la radioactivité dans les aliments, coordonnées par l'OFSP en étroite collaboration avec les laboratoires cantonaux, n'ont pas révélé de marquage attribuable à l'exploitation des centrales nucléaires. Les mesures additionnelles de l'OFSP, en particulier celles du programme germano-suisse au voisinage de Leibstadt dans les produits agricoles et les poissons ont confirmé ce constat, puisqu'aucun émetteur gamma d'origine artificielle n'a été décelé dans ces échantillons. Les résultats des mesures de ^{90}Sr effectuées par l'Institut de Radiophysique Appliquée dans des échantillons de lait et de céréales prélevés au voisinage des centrales nucléaires ne se distinguent pas de ceux enregistrés ailleurs sur le plateau suisse.

Mesures dans le milieu aquatique

Les analyses des échantillons mensuels des eaux de l'Aar et du Rhin, effectuées par l'EAWAG, ont permis de mettre en évidence les traces des rejets liquides des centrales nucléaires, principalement le ^{60}Co et le ^{54}Mn provenant de Mühleberg ainsi que le ^{58}Co issu de Mühleberg et de Beznau. Les rejets les plus importants ont eu lieu aux mois d'août et septembre, pendant la période de révision. C'est aussi durant ces mois que les concentrations maximales ont été enregistrées dans les eaux de l'Aar, prélevées à Hagneck/BE en aval de KKM.

Le ^{137}Cs, également présent dans les échantillons d'eau de l'Aar et du Rhin, est essentiellement dû à la remobilisation des dépôts de Tchernobyl; il n'existe ainsi pas de corrélation, pour cet isotope, entre les activités rejetées par les centrales et les valeurs mesurées dans les eaux.

Les activités rejetées dans le milieu aquatique par les installations nucléaires, et notamment par la centrale de Beznau, ont encore diminué en 2009. La mise en service définitive d'un système de nanofiltration en 2007 dans cette centrale et la réduction des rejets liquides qui s'en est suivie (les rejets pour les isotopes du Co ont été divisés d'un facteur 10 entre 2006 et 2009), s'est traduite par une di-

minution significative des concentrations enregistrées dans les échantillons d'eaux. Ainsi, en 2009, les activités du ^{60}Co, ^{58}Co et du ^{54}Mn enregistrées dans les eaux de l'Aar, prélevées à Klingnau/AG (en aval de KKB) étaient toutes inférieures à la limite de détection.

Dans les échantillons mensuels de sédiments prélevés dans l'Aar à Hagneck, les radionucléides tels que le ^{54}Mn, le ^{58}Co et le ^{60}Co ainsi que le ^{137}Cs sont clairement mesurables. Si le ^{137}Cs se retrouve également dans tous les échantillons de sédiment de l'Aar et du Rhin, le ^{54}Mn et les isotopes du cobalt sont présents uniquement sous forme de traces sporadiques.

Des traces de ^{60}Co, ^{54}Mn et de ^{137}Cs ont également été mises en évidence dans des échantillons de mousse prélevés fin mai dans l'Aar, en aval de Mühleberg. Dans les échantillons de mousses prélevées à Klingnau après la période de révision, seuls du ^{60}Co et du ^{137}Cs ont pu être décelés. Les analyses des poissons prélevés dans l'Aar en aval de KKM, KKG et KKB en 2009 n'ont en revanche pas révélé la présence de radionucléide d'origine artificielle. Le constat est le même pour l'examen des eaux des nappes phréatiques.

Les concentrations mensuelles de ^{3}H 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, on constate une légère augmentation (4 - 5 Bq/l) en raison de rejets plus importants d'eau contenant du tritium par la centrale nucléaire de Gösgen.

Situation radiologique du site démantelé de l'ancienne centrale expérimentale de Lucens
(site soustrait à la législation sur les installations nucléaires)

Deux prélèvements d'eau sont effectués au début et à la fin de chaque mois dans le bassin de contrôle (intérieur de la centrale) et dans la chambre de contrôle (regard de conduite, à proximité de la Broye) et envoyés à l'IRA. Les prélèvements de début et de fin de mois sont mélangés puis mesurés par spectrométrie γ. Aucun émetteur gamma artificiel n'a été détecté en 2009. Les résultats montrent en effet que les activités du ^{60}Co, ^{131}I, ^{134}Cs et ^{137}Cs sont restées inférieures aux limites de détection de 0.3 à 1.5 Bq/l.

Les prélèvements mensuels de la chambre de contrôle et du bassin de contrôle sont distillés puis le ^{3}H est mesuré par scintillation liquide. Les valeurs moyennes de l'activité du tritium mesurées en 2009 dans les échantillons de la chambre de contrôle et du bassin de contrôle s'élèvent à 9.6 Bq/l et 13.4 Bq/l respectivement. Notons encore que l'activité de l'eau de référence (eau robinet IRA) ne dépasse pas la limite de détection de 2 Bq/l.

Pour la mesure du ^{90}Sr, deux échantillons mensuels sont mélangés, aussi bien pour la chambre de contrôle que pour le bassin de contrôle. Les activités de tous les échantillons étaient inférieures à la limite de détection de 7 mBq/l.

Conclusions

L'impact des installations nucléaires suisses sur l'environnement est resté faible en 2009. La détection du rayonnement direct, du ^{14}C issu des rejets atmosphériques et des produits d'activation présents dans les rejets liquides témoigne d'un fonctionnement normal de ces installations dans l'année sous revue.

Les doses résultant du fonctionnement des centrales nucléaires pour la population avoisinante sont restées nettement inférieures aux limites réglementaires et le risque lié à l'exploitation de ces installations du point de vue de la santé s'est avéré insignifiant. Comme le montre le suivi de la figure 1, les calculs effectués à partir des rejets effectifs et des modèles de transfert jusqu'à l'homme des radionucléides rejetés confirment que l'impact dosimétrique des centrales nucléaires n'a pas dépassé la valeur directrice liée à la source de 0.3 mSv par an et s'est situé en 2009, en tenant compte des rejets des années précédentes, entre 0.001 et 0.006 mSv. La contribution majeure provient des rejets atmosphériques (essentiellement du ^{14}C), avec à Mühleberg une contribution rémanente des résines rejetées en 1986, dont l'impact très localisé a constamment diminué depuis.

Les calculs de dose effectués de manière indépendante par le PSI et les autorités ont montré que les doses pour la population avoisinante étaient également restées nettement inférieures à la valeur directrice liée à la source fixée à 0.15 mSv/an pour le centre de recherche.

Même si les expositions du public, du fait des rejets des installations nucléaires, conduisent à des doses très faibles par rapport à celles d'origine naturelle ou médicale, le principe de précaution implique de poursuivre les contrôles et les études avec le plus de précision possible pour répondre aux différents objectifs à la fois d'ordre scientifique, réglementaire et d'information du public.

8.6
Environnement du CERN (mesures OFSP)

S. Estier, P. Beuret, G. Ferreri, A. Gurtner, M. Müller, P. Steinmann
Section Radioactivité de l'environnement, URA / OFSP, 3003 BERN

J.-L. Loizeau, Ph. Arpagaus
Institut F.-A. Forel, Université de Genève, 10 route de Suisse, 1290 VERSOIX

Résumé

Parallèlement aux mesures de contrôle effectuées par la Commission de Sécurité du CERN, l'Office Fédéral de la Santé Publique (OFSP) met en œuvre, de manière indépendante, un programme de surveillance de la radioactivité et des doses de rayonnements au voisinage du centre de recherche. L'ensemble des mesures effectuées par l'OFSP en 2009 n'a pas révélé d'impact notable des installations du CERN sur l'environnement et la population avoisinante. Même si des traces de radioisotopes, produits dans les installations du centre de recherche, ont pu être détectées, les activités maximales enregistrées sont restées nettement inférieures aux limites suisses et leur impact radiologique peut être considéré comme très faible.

Programme de surveillance de l'OFSP

L'OFSP surveille l'environnement du CERN de manière indépendante par les mesures suivantes (territoire suisse uniquement, à l'exception de la dosimétrie d'ambiance):

- Dosimétrie d'ambiance du rayonnement gamma ainsi que des neutrons sur une base trimestrielle (13 dosimètres à thermoluminescence – TLD- évalués par l'IRA) et mesures instantanées de l'équivalent de dose ambiant effectuées par l'OFSP sur 9 sites limitrophes du CERN et 9 sites de référence distants.
- Aérosols (mesure continue alpha/bêta de la station RADAIR avec compensation du rayonnement naturel et spectrométrie gamma hebdomadaire des filtres d'un collecteur à haut débit).
- Eaux du Rhône à Chancy (mesures gamma et tritium) et du Nant d'Avril (mesures spectrométriques de l'eau et des sédiments effectuées par l'Institut Forel).
- Sols (spectrométrie gamma in situ et en laboratoire) ainsi que végétaux et certains produits locaux (comme le ^{3}H dans le vin).

Programme spécifique «LHC»
Les autorités des pays hôtes, à savoir l'ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire) côté France et l'OFSP côté suisse, avaient prévu de mettre en œuvre des mesures de surveillance supplémentaires, focalisées au voisinage des puits d'aération du LHC (Large Hadron Collider) à l'automne 2009. Ce programme a été reporté à 2010 suite à l'arrêt prolongé de l'accélérateur.

8.6 Environnement du CERN (mesures OFSP) - @OFSP 2010

Mesures de l'exposition ambiante

Les emplacements des TLD, destinés au contrôle de l'exposition ambiante au voisinage du CERN, ont été revus en 2006 déjà afin de pouvoir tenir compte de l'impact éventuel du LHC, lorsque ce dernier sera en service. Treize sites ont été surveillés en 2009, 5 d'entre eux étant situés dans l'enceinte du centre de recherche (côtés suisse et français). Par ailleurs, en plus de l'équivalent de dose ambiant résultant du rayonnement gamma, la dose des neutrons a également été évaluée.

Les résultats de ces mesures, effectuées par l'Institut de Radiophysique Appliquée sur mandat de l'OFSP, n'ont pas signalé de valeur indicative d'un impact notable des installations du CERN pour les emplacements situés à l'extérieur de la clôture. En effet, pour les 8 sites concernés, les équivalents de dose ambiants correspondent à ceux de l'irradiation naturelle (0.01 à 0.02 mSv par trimestre pour les neutrons et environ 0.22 mSv par trimestre pour les gammas).

Les relevés instantanés réalisés par l'OFSP à l'aide d'une chambre d'ionisation (Figure 1) en octobre 2009 sur 9 sites du voisinage proche du CERN et 9 sites distants ont confirmé ce constat. Les valeurs du débit d'équivalent de dose ambiant (H*(10)) dû au rayonnement gamma se sont ainsi échelonnées entre 89 et 111 nSv/h et se situent dans le domaine de variation de l'irradiation naturelle (moyenne des sites limitrophes: 100 ± 4 nSv/h; moyenne des sites distants 100 ± 8 nSv/h).

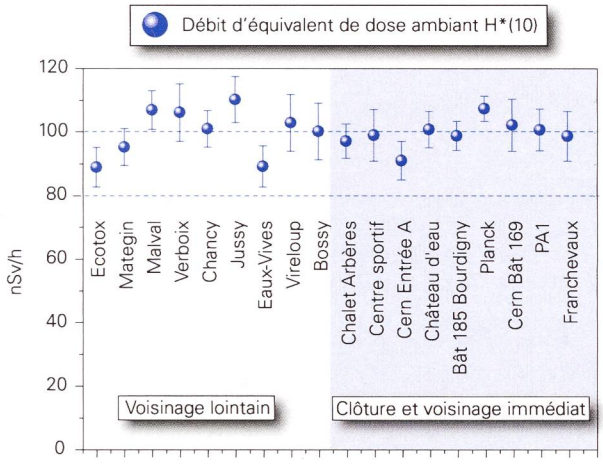


Figure 1:
Mesures du débit d'équivalent de dose ambiant H(10) effectuées par l'OFSP en 2009 à l'aide d'une chambre d'ionisation placée 1 m au-dessus du sol.*

Mesures dans le milieu atmosphérique

La station de mesure du réseau RADAIR (collecteur d'aérosols) située au CERN et assurant la surveillance de l'air en continu n'a pas signalé d'anomalie en 2009. Depuis 2007, un moniteur d'iode est également installé sur le site du CERN, pour la surveillance de l'^{131}I gazeux. Aucune valeur supérieure à la limite de détection de 0.1 Bq/m^3 n'y a été enregistrée.

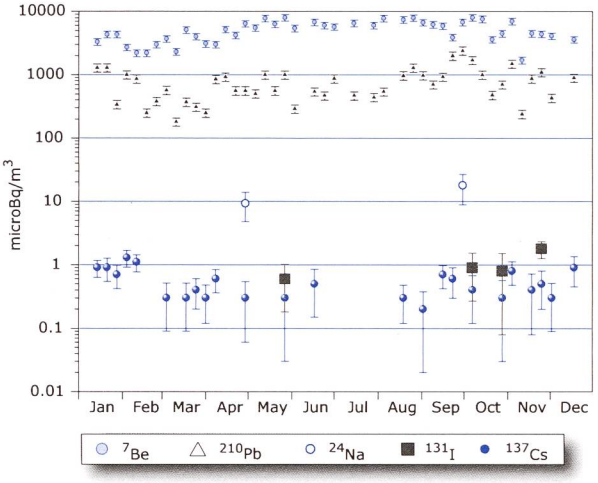


Figure 2:
Concentrations de divers radioisotopes (naturels et artificiels) mesurées dans les aérosols collectés chaque semaine à la station à haut débit située au CERN en 2009.

Les résultats des mesures hebdomadaires des filtres aérosols à haut débit (HVS) du CERN ont confirmé, comme les années précédentes, la prédominance des radioéléments d'origine naturelle, tels que ^{7}Be et ^{210}Pb (cf figure 2). Le cas du ^{7}Be est toutefois particulier de par sa double origine: naturelle et anthropogénique (production dans les tunnels du CERN). Le tableau 1 montre que les concentrations de ^{7}Be mesurées en 2009 dans les filtres aérosols de la station du CERN ne se sont toutefois pas notablement distinguées de celles enregistrées dans les stations situées hors de son influence. Notons qu'en 2009, le débitmètre du collecteur à haut débit du CERN a connu, à plusieurs reprises des problèmes de fonctionnement. Les filtres ont tout de même été analysés à titre indicatif, mais les résultats correspondant n'ont pas été pris en compte pour les évaluations du tableau 1 et ne sont pas représentés sur la figure 2. Des traces de ^{22}Na, également d'origine naturelle, ont été détectées à plusieurs reprises (valeurs comprises entre 0.2 et 1 μBq/m^3).

Parmi les radioéléments d'origine artificielle, des traces de ^{137}Cs (valeur maximale de 1.3 ± 0.4 μB/m^3) dues à la remise en suspension d'anciennes contaminations (retombées des essais nucléaires des années 50 et 60 et de l'accident de Tchernobyl) ont été détectées à plusieurs reprises.

Tableau 1:
Concentrations du ^{7}Be mesurées en 2009 dans les filtres aérosols de la station à haut débit au CERN et comparaison avec les stations situées hors influence.

Station de collection à haut débit	Valeur min/max (mBq/m³)	Moyenne (mBq/m³)
CERN (Meyrin/GE)	1.7 - 8.0	5.0
Oberschrot/FR	1.5 - 6.7	4.1
Klingnau/AG	1.2 - 7.4	3.7
Güttingen/TG	1.3 - 7.7	3.9
Monte Ceneri/TI	1.2 - 8.6	4.7

Les seuls radioisotopes attribuables aux activités du CERN sporadiquement mis en évidence dans les filtres aérosols sont le ^{24}Na et le ^{131}I (valeurs comprises entre 9 et 18 µBq/m³ et entre 0.6 et 1.8 µBq/m³ respectivement). Ces radionucléides, d'une demi-vie de 15 h pour le ^{24}Na et de 8 jours pour le ^{131}I, sont produits dans les accélérateurs de particules du centre de recherche (l'^{131}I est uniquement produit par l'installation ISOLDE).

Notons encore que l'impact radiologique de ces traces de ^{24}Na et de ^{131}I est tout à fait négligeable, puisque les concentrations les plus élevées enregistrées en 2009 pour ces radionucléides ne représentent qu'environ 0.00002% (pour le ^{24}Na) et 0.00007% (pour le ^{131}I) des limites d'immissions suisses. L'identification d'un aussi faible niveau de radioactivité nécessite des méthodes extrêmement sensibles, comme celles mises en œuvre par l'OFSP.

Mesures dans le milieu terrestre

Les mesures par spectrométrie gamma in situ permettent de distinguer les contributions d'origine naturelle et artificielle à l'exposition externe du public. Les mesures 2009 n'ont pas indiqué d'apport artificiel attribuable aux activités du CERN: la figure 3 montre en effet que les valeurs mesurées au voisinage du centre de recherche sont tout à fait comparables à celles relevées dans des sites hors de son influence, tel que Fribourg (pour plus de détails sur les mesures in situ, se référer au Chap. 3.1).

Les analyses en laboratoire sur des échantillons de sol, d'herbes et autres produits locaux n'ont pas révélé d'impact notable des installations du CERN. Les résultats sont typiques de ceux obtenus dans des échantillons comparables du Plateau suisse. Outre la détection permanente des radioéléments d'origine naturelle, dont les concentrations prédominent, on y détecte encore les traces des injections artificielles des essais nucléaires des années 50 et 60 et dans une moindre mesure de l'accident de Tchernobyl.

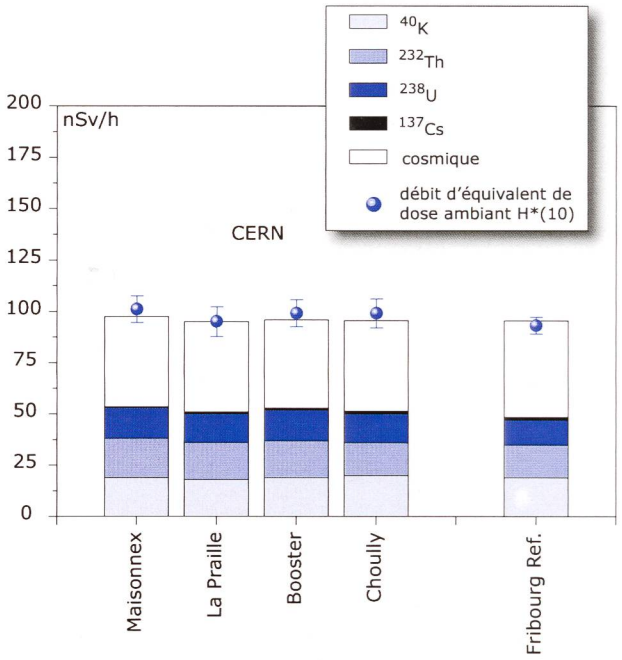


Figure 3:
Contributions individuelles au débit d'exposition ambiante déterminées par spectrométrie gamma in situ pour les sites voisins du CERN examinés en 2009, et comparaison avec les résultats obtenus à Fribourg.

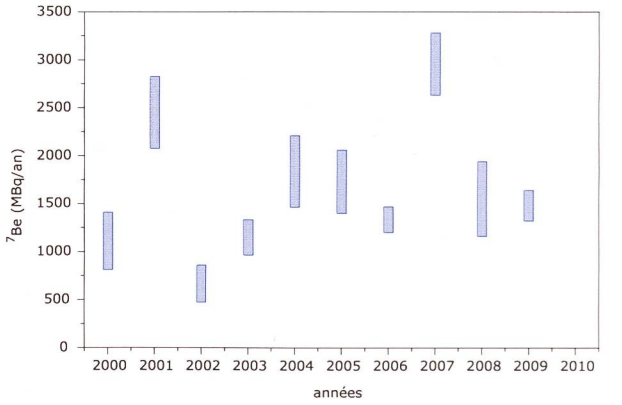


Figure 4:
Estimation des flux annuels minimum et maximum de ^{7}Be dans le Nant d'Avril pour les années 2000 à 2009 (données provenant de l'Institut Forel).

[1] J.-L- Loizeau et Ph. Arpagaus, Rapport N°10 sur les mesures de la radioactivité dans le Nant d'Avril (Genève), Novembre 2008– Novembre 2009; Institut F.-A. Forel (Décembre 2009).

Mesures dans le milieu aquatique

Les échantillons mensuels d'eau du Rhône prélevés à Chancy/GE n'ont pas présenté de radioactivité gamma d'origine artificielle à l'exception du ^{137}Cs (valeur maximale de 5 ± 1.5 mBq/l) provenant des retombées des essais nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Comme mentionné au chapitre 4.1, les limites de détection pour les différents émetteurs gamma, et en particulier pour le ^{137}Cs, ont été divisées d'un facteur deux environ suite à l'acquisition de nouveaux détecteurs. C'est pourquoi ce dernier radionucléide a régulièrement pu être mis en évidence depuis 2008 dans les eaux des rivières analysées, alors que les valeurs étaient systématiquement inférieures à la limite de détection de 4 - 5 mBq/l les années précédentes.

La valeur maximale de la concentration du tritium enregistrée dans les échantillons d'eau du Rhône prélevés à Chancy s'est élevée à 1.8 ± 1.0 Bq/l. Ces concentrations sont parfaitement conformes à la normale.

Le programme de surveillance du Nant d'Avril conduit par l'Institut F.-A. Forel à l'initiative de l'OFSP depuis 1999 a été poursuivi. Les résultats des mesures effectuées dans le cadre de ce programme pour la période novembre 2008 à novembre 2009 a fait l'objet d'un rapport spécifique [1].

En dehors du ^{40}K et des isotopes des séries primordiales (^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th), 3 radioisotopes ont été détectés dans les échantillons d'eau prélevés dans le Nant d'Avril.

Les activités maximales sont celles du ^{7}Be (maximum de 0.87 ± 0.05 Bq/l), avec une moyenne de 0.28 Bq/l lorsque l'isotope est présent. Les plus fortes activités spécifiques de ^{7}Be sont mesurées entre les mois de juin et d'octobre. L'échantillonnage des eaux ayant été réalisé en fonction du débit, il est possible d'estimer le flux d'un isotope en multipliant les débits (exprimés en m^3/période) par l'activité spécifique du radionucléide. Le flux annuel estimé de ^{7}Be pour la période 2008 - 2009 est de 1'320 MBq au minimum et de 1'640 MBq au maximum. Comme le montre la figure 4, ces valeurs se situent dans la moyenne des périodes de mesure précédentes.

Le deuxième radionucléide mis en évidence dans les eaux du Nant d'Avril est le ^{137}Cs (maximum de 8 mBq/l). Ce radionucléide a été détecté exclusivement sur les particules (mesuré sur les filtres), ce qui montre qu'il est fortement associé à celles-ci, malgré une acidification de l'échantillon. Le ^{137}Cs provient de l'érosion des sols, qui entraîne des particules contaminées par les retombées des essais nucléaires dans l'atmosphère (maximum des retombées en 1963 - 1964) et la catastrophe de Tchernobyl (1986).

Le troisième radionucléide est le ^{22}Na, détecté à deux reprises en février et mars. Les activités spécifiques sont légèrement supérieures à la limite de détection, avec des valeurs de 3 mBq/l. La présence de ce radionucléide peut être attribuée aux activités du CERN. L'activité maximale du ^{22}Na mesurée dans les eaux du Nant d'Avril en 2009 ne représente toutefois que 0.005% de la limite d'immissions fixée par la législation suisse (ORaP) pour les eaux accessibles au public.

L'analyse des sédiments prélevés mensuellement dans le Nant d'Avril a révélé la présence de ^{7}Be et de ^{137}Cs dans presque tous les échantillons. Les activités mesurées pour ces deux isotopes sont résumées dans le tableau 2. Notons que depuis la période 2004 - 2005, aucune trace de ^{54}Mn, de ^{65}Zn ou des isotopes de cobalt (^{57}Co, ^{58}Co, ^{60}Co) n'a plus été détectée dans les sédiments du Nant d'Avril.

Des sédiments et des bryophytes ont par ailleurs été prélevés une fois au cours de l'année aux principaux points de rejets des eaux du LHC et analysés par l'Institut Forel. Les activités mesurées dans les échantillons de sédiments se sont échelonnées entre 62 et 668 Bq/kg pour le ^{7}Be. Une valeur maximale de 22 Bq/kg a été enregistrée pour le ^{137}Cs. Pour les bryophytes, les résultats montrent des activités spécifiques en ^{7}Be variant entre 139 et 2'209 Bq/kg. Deux échantillons montrent des valeurs mesurables de ^{137}Cs de 4.7 et 9.8 Bq/kg, respectivement. Cette surveillance a pour but d'identifier d'éventuelles augmentations des immissions radioactives dans le milieu aquatique dues au fonctionnement du LHC. Etant donné que collisionneur, n'est entré en activité qu'après la fin de la période de surveillance 2009, les résultats obtenus peuvent être considérées comme un complément aux campagnes précédentes sur l'état initial du site (programme point zéro LHC).

Tableau 2:
Résumé des résultats des mesures effectuées par l'Institut F.-A. Forel dans les sédiments du Nant d'Avril durant la période novembre 2008 à novembre 2009 (13 échantillons analysés).

Isotope	Min- Max [Bq/kg]	Moyenne [Bq/kg]	Médiane [Bq/kg]
^{7}Be	180 - 1'160	505	369
^{137}Cs	< 0.6 - 15.6		4.8

En résumé, si l'on exclut le ^{7}Be dont la fraction produite par les installations du CERN est incertaine, le seul radionucléide attribuable aux activités du centre de recherche décelé dans le milieu aquatique en 2009 est le ^{22}Na. Les radioéléments produits par les installations du CERN tels que ^{65}Zn, ^{57}Co, ^{58}Co, ^{60}Co, ^{54}Mn, mis en évidence par le passé dans le Nant d'Avril, n'ont en effet été retrouvés ni dans les eaux, ni dans les sédiments, ni dans les bryophytes durant l'année sous revue.

Conclusions

Le programme de surveillance mené de manière indépendante par l'OFSP, en collaboration avec l'institut F.-A. Forel, a confirmé que l'impact radiologique des activités du CERN sur l'environnement et la population avoisinante est resté très faible en 2009.

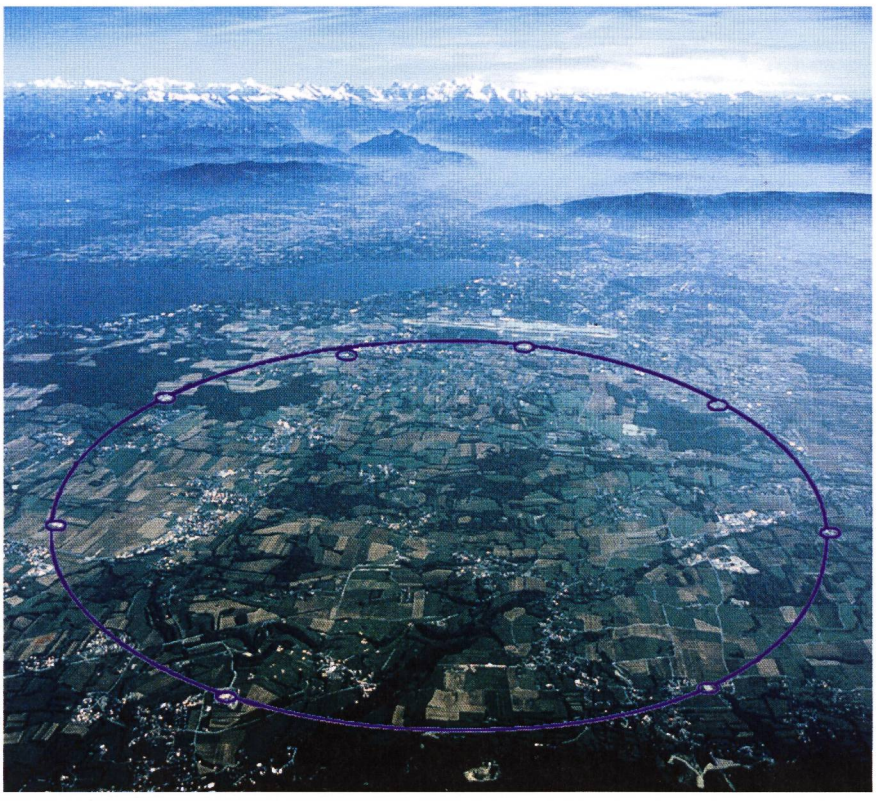
A l'image des examens in situ de la figure 3, l'ensemble des résultats ont montré la prédominance des radioéléments d'origine naturelle. La détection de traces de radionucléides attribuables aux activités du CERN (^{24}Na, ^{131}I dans l'air ou ^{22}Na dans l'eau) n'a été possible que grâce à la mise en œuvre de techniques de prélèvement et de mesure d'une très grande sensibilité, dépassant le cadre des contrôles réglementaires. Les activités maximales des radioisotopes artificiels provenant des activités du CERN sont en effet nettement inférieures aux limites suisses et donc sans conséquence d'un point de vue radiologique.

8.7
Rejets et environnement du CERN (Mesures CERN)

P. Vojtyla et D. Wittekind
CERN - Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire, Commission de Sécurité, 1211 Genéve 23

Synthèse

La radioactivité de l'environnement autour de l'Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire (CERN) et les doses de rayonnements qui en résultent pour la population avoisinante sont contrôlées par la Commission de Sécurité du CERN et de manière indépendante par les autorités compétentes des deux États Hôtes, l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) côté France et l'Office Fédéral de la Santé Publique (OFSP) côté Suisse (voir Chapitre 8.6). Dans ce rapport, les résultats des mesures concernent en particulier le territoire suisse. L'ensemble des mesures effectuées en 2009 prouve que le fonctionnement des installations du CERN a été sans conséquence radiologique sur l'environnement et la population. Le contrôle des émissions a montré que les rejets effectifs se sont situés en 2009 comme dans les années précédentes, nettement en dessous des limites réglementaires. Ce constat est confirmé par le contrôle des immissions dans l'environnement. L'impact radiologique réel du CERN ne représente en fait que 3.5% de la valeur directrice de dose liée à la source de 0.3 mSv/an [1], comme l'indique l'estimation pour le groupe de référence, qui est de l'ordre de 0.01 mSv/an.



8.7 Rejets et environnement du CERN (Mesures CERN) - @OFSP 2010

Objets de la surveillance

Pendant l'année 2009, tous les accélérateurs du CERN ont été en opération. Le LHC (Large Hadron Collider) a été remis en opération depuis octobre 2009, mais avec des intensités de faisceau de protons tellement faibles, qu'aucun rejet ne pouvait être mesuré. Ainsi, le LHC n'a eu aucun impact radiologique sur l'environnement en 2009.

Les contrôles réalisés en 2009 par le CERN sont:

- mesures de la radioactivité émise dans l'air et dans l'eau à partir des différentes installations du CERN et des sites dans leur ensemble (émissions).
- mesures des rayonnements diffusés produits par l'exploitation des accélérateurs du CERN ainsi que la mesure de la radioactivité contenue dans différents échantillons, prélevés dans l'environnement, et susceptibles d'être influencés par le rayonnement ou la radioactivité produit par le CERN (immissions).

Contrôle des émissions

Les rejets de radioactivité dans l'environnement par la ventilation des différentes installations des accélérateurs du CERN sont contrôlés par des moniteurs de l'air installés aux points de rejet de l'air (PMVxx, voir figure 1). Les rejets du tritium sont estimés à partir des concentrations maximales mesurées dans les points de ventilation. Ils sont de ce fait très surestimés. D'une façon similaire, les rejets radioactifs par la voie d'eau sont contrôlés par des moniteurs installés aux points de rejet d'eau du CERN (PMWxx, voir figure 1).

Les résultats des mesures concernant les émissions de radioactivité dans l'air pour les points de rejet sur le site CERN de Meyrin sont présentés dans le tableau 1. A cela s'ajoute 0.018 MBq d'activité alpha (^{212}Pb) et 5.5 MBq des radio-isotopes d'iode (p. ex. ^{124}I, ^{126}I, ^{131}I) rejetés par l'ISOLDE. Comme on le verra dans la figure 4, l'impact radiologique en terme d'immission n'est notable que pour les activités bêta/gamma dans l'air d'une période radioactive T < 1 jour (^{11}C, ^{13}N, ^{14}O, ^{15}O, ^{41}Ar). Les rejets de radioactivité du CERN dans l'eau vers la Suisse sont présentés dans le tableau 2. Leur contribution à l'impact radiologique du CERN sur l'environnement est comme pour toutes les années précédentes tout à fait négligeable.

Tableau 1:
Radioactivité du CERN rejetée dans l'air par la ventilation en 2009.

Origine du rejet	Station	Air rejeté	^{11}C, ^{13}N, ^{14}O, ^{15}O, ^{41}Ar	^{7}Be aérosol	Bêta aérosol	Tritium
		10^6 m^3	TBq	MBq	MBq	GBq
Anneau principal PS	PMV174	321	1.8	149	5.2	2.6
TT10 injection PS-SPS	PMV11	231	5.4	93	3.9	7.7
n-TOF	PMV171	4.4	4.8	0.38	0.023	2.4
TT60 extr. SPS-Ouest[1)]	PMV172	85	0.0	0.0	0.0	0.0
TT70 transfert, PS-SPS	PMV173	62	0.53	1.6	0.030	39
ISOLDE	PMV170	81	5.4	0.0	0.22	4.2
Site de Meyrin		**784**	**17.9**	**244**	**9.4**	**56**

[1)] Les expériences ont été supprimées, pas de faisceau dans le tunnel

Tableau 2:
Radioactivité du CERN rejetée dans l'eau, vers la Suisse, en 2009.

Origine du rejet	Station	Quantité d'eau	Tritium	Bêta/gamma (^{22}Na)	Rejeté dans:
		10^6 m^3	GBq	MBq	
Refroidissement du SPS	PMW62	0.15	0.05	0.004	Nant d'Avril
Site de Meyrin Sud-est	PMW101	1.25	0.98	0.023	Nant d'Avril
Site de Meyrin Nord-est	PMW102	0.16	0.04	0.002	Nant d'Avril
AD infiltration	PMW104	0.027	0.13	0.007	STEP Peney[2)]
Total vers la Suisse		**1.60**	**1.20**	**0.036**	

[2)] Station d'épuration d'eau à Peney/GE.

Contrôle des immissions

La situation géographique des sites du CERN est présentée dans la figure 1.

Les accélérateurs du CERN sont des sources de rayonnements diffusés. Pour leur contrôle en continu, des moniteurs de surveilance de site (PMSxx) sont installées sur les sites du CERN et dans l'environnement. Ils se composent d'une chambre à ionisation pour détecter les photons et les particules chargées (muons) et d'un rem-compteur pour mesurer les neutrons diffusés.

Pour contrôler que l'influence radiologique des rejets du CERN reste négligeable dans son voisinage, la Commission de Sécurité du CERN procède à des mesures de radioactivité sur divers échantillons prélevés à l'extérieur des sites de l'Organisation. Les aérosols dans l'air ambiant sont piégés sur des filtres en fibre de verre (PSAxx). Les eaux pluviales sont collectées sur le Site de Meyrin, en Suisse (PSP-M), et sur le Site de Prévessin, en France (PSP-P). Des échantillons des eaux de rivières, des sédiments et des bryophytes dans l'eau des rivières (R-xx) ainsi que des échantillons des eaux potables (TW-x) et souterraines (GW-xx) sont annuellement prélevés sur les sites du CERN et dans les villages autour du CERN. Enfin, le programme d'échantillonnage dans l'environnement est complété par des herbes et des produits agricoles y compris un échantillon de vin. Tous les échantillons sont ensuite analysés en laboratoire pour leur teneur en substances radioactives.

La figure 2 montre les doses nettes intégrées totales en mSv, ainsi que les contributions des rayonnements gamma et neutron à ces doses, telles qu'elles ont été mesurées par les moniteurs de rayonnements (PMS) tout autour des sites. Ces résultats sont cohérents avec ceux des contrôles effectués en 2009 par l'OFSP (voir Chapitre 8.6).

L'influence des accélérateurs du CERN n'est visible que pendant leur fonctionnement au niveau de certaines stations de mesure, situées le long de la clôture du site de Meyrin. Les mesures des moniteurs PMS122 et PMS123 sont influencées par la proximité des accélérateurs du complexe PS. Les doses nettes mesurées ne dépassent pas 10% de la limite pour les rayonnements diffusés fixée à 1 mSv/an [2]. En fait il est difficile de les distinguer des variations du bruit de fond naturel.

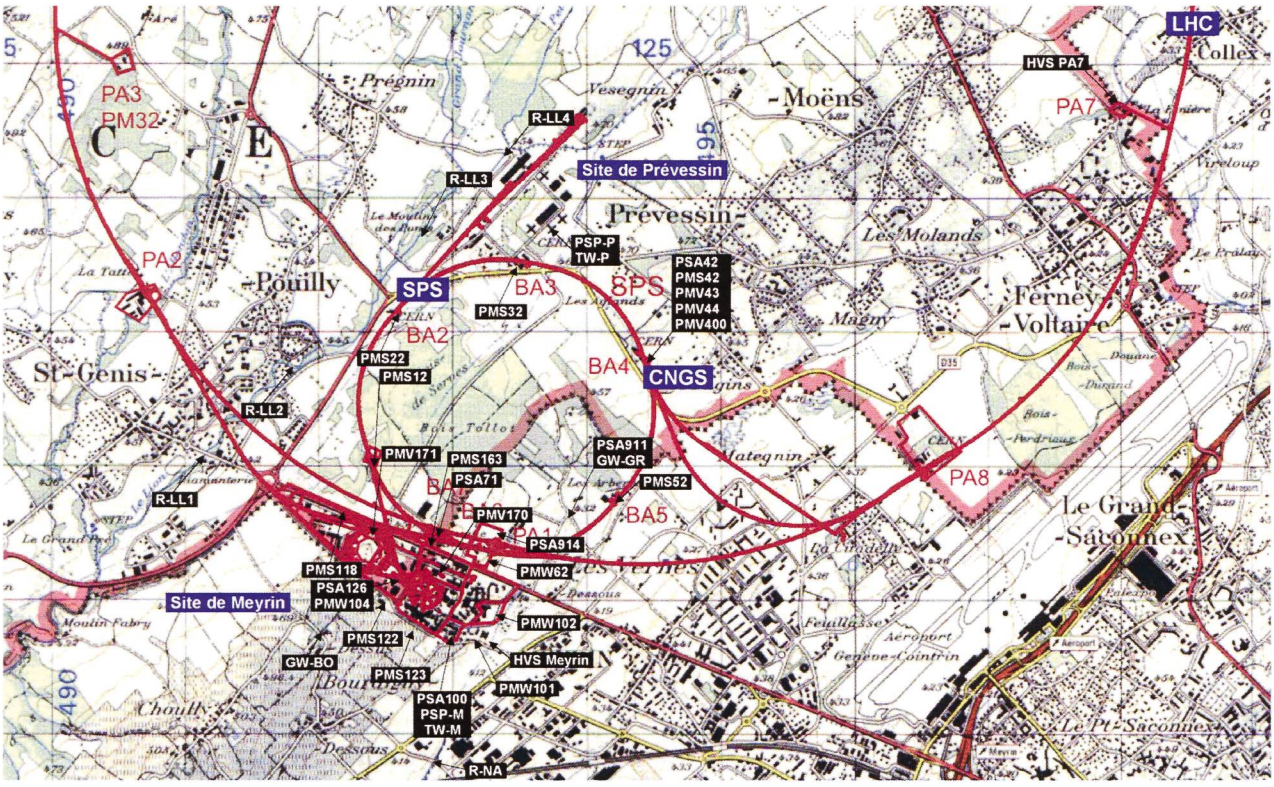


Figure 1:
Les sites de Meyrin et de Prévessin du CERN, l'implantation de l'anneau du Super synchrotron à proton (SPS), de l'installation CERN neutrinos to Gran Sasso (CNGS) et du Grand collisionneur à hadrons (LHC) dans la région frontalière entre la France et la Suisse ainsi que les emplacements des certaines stations de monitoring et des endroits d'échantillonnage.

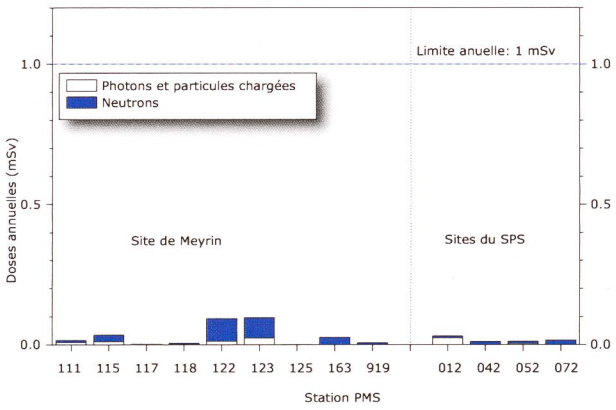


Figure 2:
Doses nettes ambiantes annuelles des moniteurs de rayonnements diffusés en 2009.

Le seul radioélément de période longue identifié dans l'air dans le cadre du programme de surveillance de routine, qui peut provenir du CERN est le ^{7}Be. Le ^{7}Be est un radioélément d'une très faible toxicité radiologique qui est produit en grande quantité dans l'air des tunnels des accélérateurs à haute énergie lors de leur fonctionnement (voir tableau 1). Donc il peut servir comme indicateur des rejets atmosphériques.

Le ^{7}Be est aussi produit naturellement dans l'atmosphère par les interactions des rayonnements cosmiques avec l'azote et l'oxygène de l'air. Les variations de concentration en ^{7}Be dans l'air au voisinage du site de Meyrin du CERN et aux trois endroits éloignés (PSA951 à Cessy en France, LHC PA7 à Ferney en France, près de Collex-Bossy/GE, et Güttingen/TG) sont présentées dans la figure 3. Les endroits

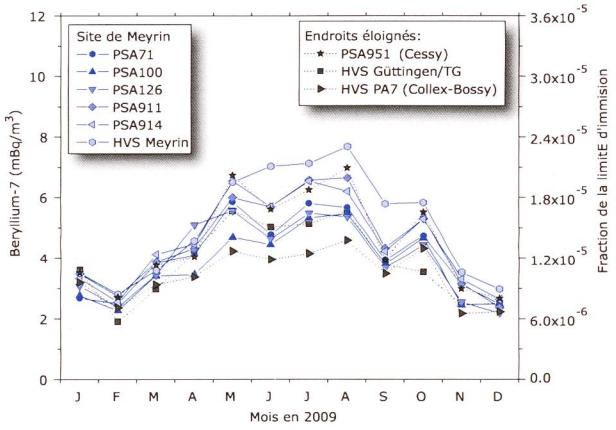


Figure 3 :
Activité du ^{7}Be dans les aérosols de 9 stations de mesure dont 6 sur le site de Meyrin du CERN ou de son voisinage en 2009. Station de mesure PSA71: Site du SPS BA-7. PSA100: Site CERN de Meyrin. PSA126: Proche du complexe PS. PSA911: Près d'une ferme de Meyrin. PSA914: Site du LHC PA1. HVS Meyrin, HVS Güttingen/TG: Échantillonneurs OFSP à haut débit sur le site CERN de Meyrin et à Güttingen/TG [3]. PSA951: Cessy, France. HVS PA7: Échantillonneur CERN à haut débit près de Collex-Bossy/GE.

éloignés sont loin de toutes sources artificielles de ^{7}Be et peuvent de ce fait être considérés comme des stations représentatives du bruit de fond naturel. La concentration naturelle du ^{7}Be dans l'air subit des variations saisonnières avec un maximum pendant l'été (dynamique de l'échange d'air entre la stratosphère, où la majeure partie du ^{7}Be naturel est produite, et la troposphère) et spatiales (remise en suspension par le vent ou par le trafic routier des aérosols déjà déposés au niveau du sol). En 2009 la contribution éventuelle du CERN aux valeurs mesurées ne dépasse pas 2 mBq/m^{3}, soit environ 0.0006% de la limite d'immission suisse [4].

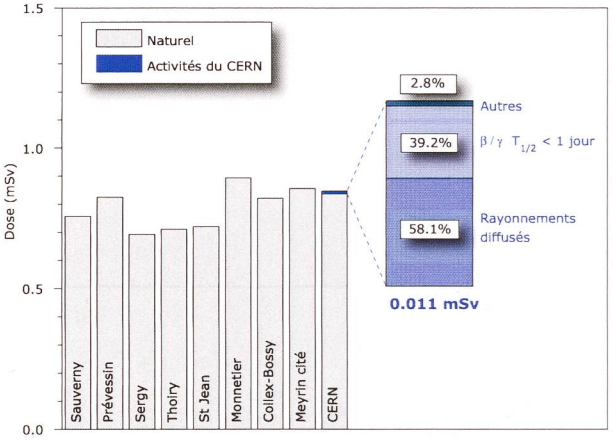


Figure 4 :
Contribution à la dose annuelle due aux activités du CERN sur le site CERN de Meyrin comparée aux variations des doses externes naturelles dans des communes françaises et suisses à proximité. La contribution du CERN de 0.011 mSv doit être comparée à la valeur directrice de dose liée à la source de 0.3 mSv [1].

Pour les autres échantillons environnementaux et les produits agricoles analysés dans le programme de routine du CERN, les concentrations du ^{7}Be sont restées autour des valeurs naturelles normales et aucun autre radioélément provenant du CERN n'a été identifié.

Comme le montre la figure 4, les contributions des activités du CERN à la dose efficace pour le groupe de référence qui vit aux abords de l'Organisation correspondent à environ 1% de la dose externe due aux sources naturelles (rayonnements cosmiques et terrestres) mesurée dans des communes proches du CERN. En effet, la valeur annuelle de 0.011 mSv, dont 97% sont dus aux rayonnements ionisants directs ou aux rejets des gaz de périodes courtes, qui sont surveillés en ligne, peut être comparée aux variations des doses naturelles qui sont de l'ordre de 0.2 mSv dans le bassin lémanique.

Conclusions

- L'ensemble des résultats des mesures du CERN atteste que, en 2009, comme lors des années précédentes le CERN est resté bien en dessous de la valeur directrice de dose liée à la source de 0.3 mSv/an [1].
- Les dispositifs de surveillance (prélèvements et mesures) mis en œuvre par le CERN permettent de détecter des niveaux de radioactivité très faibles liés au fonctionnement des accélérateurs du CERN. Les résultats doivent cependant être regardés dans le contexte de leur impact radiologique sur la population avoisinante. Les activités des radioéléments attribuables aux activités du CERN n'ont pas dépassé des petites fractions de pour cent des limites suisses.
- Pour une estimation des doses efficaces annuelles, le groupe de référence de la population vivant à proximité du site CERN de Meyrin a été identifié. Ensuite, à partir des rayonnements ionisants et des rejets des radioéléments du site, les doses efficaces ont été calculées à l'aide de la Directive HSK-R-41/d [5]. Le résultat de cet exercice, présenté dans la figure 4, montre que l'impact radiologique sur le groupe de référence représente 0.011 mSv en 2009. La valeur correspondante en 2008 était de 0.007 mSv. Ces doses correspondent à environ 1% de la dose externe due aux sources naturelles.

La radioactivité de l'environnement et les doses de rayonnements au voisinage du CERN ne se distinguent pas notablement de celles enregistrées dans les stations de référence non influencées par des accélérateurs. L'impact des activités du CERN est extrêmement faible. Sa mise en évidence passe par l'exploitation de techniques de prélèvements et de mesures très sensibles, qui sont des outils de radioécologie dépassant les performances du contrôle habituel (voir Chapitre 8.6). Les contributions d'origine naturelle prédominent. Les activités du CERN sont donc restées en 2009 sans conséquence radiologique pour l'environnement et la population avoisinante.

Référence

[1] Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Ziele für den Schutz der Personen vor ionisierender Strahlung im Bereich von Kernkraftwerken, HSK-R-11/d (Mai 1980).

[2] Code F Rev., Radioprotection - Manuel de radioprotection, CERN (2006).

[3] S. Estier et al, Surveillance de la radioactivité dans l'environnement : Résultats des mesures 2008 de la section URA, Office fédéral de la santé publique, Unité de direction Protection des consommateurs, Division radioprotection, Berne (2009).

[4] Ordonnance sur la radioprotection (ORaP), 814.501, Berne (2007), Annexe 3.

[5] Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen, HSK-R-41/d (1997).

Glossaire

AD	Décélérateur d'antiprotons
CNGS	CERN neutrinos to Gran Sasso – une source de neutrinos pour les expériences souterraines à Gran Sasso en Italie
ISOLDE	Isotope Separator On-Line Device
LHC	Large Hadron Collider - Grand collisionneur à hadrons
n-TOF	neutron Time-Of-Flight, une expérience avec une source de neutrons à spallation
PS	Synchrotron à protons
SPS	Super synchrotron à protons