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: - (2003)

Rubrik: Überwachung der Kernanlagen : Emissionen und Immissionen

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: 14.12.2025

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

8. Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen

F. Cartier, A. Leupin
Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, HSK, 5232 VILLIGEN-HSK

Zusammenfassung

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit Abwasser und Abluft lagen im Jahr 2003 für die vier Schweizer Kernkraftwerke Beznau (KKB), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) und Mühleberg (KKM) sowie für das Paul-Scherrer-Institut (PSI) und das am gleichen Standort domizilierte Zentrale Zwischenlager Würenlingen (ZZL) deutlich unterhalb der Jahres- und Kurzzeit-Abgabelimiten. Die aus den tatsächlichen Abgaben errechnete Strahlenexposition ist selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren für Erwachsene und Kleinkinder weit unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwertes von 0.2 mSv pro Jahr.

*Die externe Strahlung ist mit dem **M**essnetz zur **a**utomatischen **D**osisleistungsüberwachung in der **U**mgebung der **K**ernkraftwerke (MADUK) ständig überwacht worden. Um das KKB und das PSI sind 17, beim KKG 16 und beim KKL und KKM je 12 Ortsdosisleistungs-Messonden in einem Abstand von bis zu ca. 5 km in Betrieb. Die Messwerte dieser MADUK-Sonden werden alle 10 Minuten in die Zentrale übertragen und automatisch analysiert. Gegebenenfalls werden Abweichungen vom natürlichen Schwankungsbereich signalisiert und automatisch dem HSK-Pikett gemeldet. Die im Berichtsjahr erkannten, nicht meteorologisch bedingten Abweichungen oder Ausfälle liessen sich mit in der Nähe der MADUK-Sonden durchgeführten Kalibrierungsarbeiten an NADAM-Sonden, mit Defekten bei der Sondenelektronik resp. Umbauten an MADUK-Sonden erklären.*

Im Rahmen des permanenten Probenahme- und Messprogrammes für Immission wurden die wichtigsten Expositionspfade radioaktiver Stoffe in der Umgebung überwacht.

Bei den luftgetragenen Stoffen können die gemessenen künstlichen Radionuklide im allgemeinen mit den Atomwaffentests (^{90}Sr) oder mit dem Reaktorunfall in Tschernobyl (^{137}Cs) in Verbindung gebracht werden. Die langjährige Messreihe der UNI-Bern von ^{14}C in Baumblättern der Umgebung der Kernkraftwerke wurde fortgesetzt.

Im aquatischen Milieu zeigten Wasser- und Sedimentproben Spuren von künstlichen Radionukliden, wie ^{54}Mn, ^{58}Co, ^{60}Co und ^{134}Cs, welche aus den Abgaben der Kernanlagen stammen; zudem wurde auch ^{137}Cs festgestellt (vgl. 4.3).

In Lebensmitteln konnte keine Erhöhung von künstlichen Radionukliden gemessen werden, die auf erhöhte Abgaben der schweizerischen Kernanlagen schliessen lassen.

8.1. Emission aus den Kernanlagen

F. Cartier, A. Leupin, J. Löhle, W. Baur und M. Schibli
Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, HSK, 5232 VILLIGEN-HSK

Die Abgaben von Abluft und Abwasser der schweizerischen Kernkraftwerke sind in Figur 1 für die letzten fünf Jahre im Vergleich zu den Jahreslimiten dargestellt. Alle Kernkraftwerke haben die Jahres- und die Kurzzeitlimiten eingehalten. Tabelle 1a zeigt die gemessenen Abgabewerte sowie die unter ungünstigen Annahmen errechneten Personendosen für Erwachsene und Kleinkinder im Jahr 2003. Die Abgaben des Paul Scherrer Instituts und die daraus in gleicher Weise berechneten Dosiswerte sind in Tabelle 1b zusammengestellt. Eine nuklidspezifische Aufschlüsselung der Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser ist in Tabelle 1c, mit der Abluft in den Tabellen 1d und 1e aufgelistet. Die Fussnoten zu den Tabellen geben Hinweise zu den Limiten, den Messungen und den bei der Berechnung der Jahresdosis verwendeten Annahmen.

Die Abgabemessungen der Kernkraftwerke wurden mit insgesamt mehr als 150 Proben durch die Behörden kontrolliert. Dabei wurden Aerosol- und Jodfilter sowie Abwasserproben stichprobenweise analysiert. Die Ergebnisse stimmen im Rahmen der Vorgaben überein und zeigen, dass die Abgabereglemente beachtet 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 beim KKB ungefähr 0.002 mSv, beim KKG 0.004 mSv, beim KKL 0.006 mSv und beim KKM ungefähr 0.006 mSv. Die berechneten Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung betrugen im Jahr 2003 somit einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0.3 mSv pro Jahr.

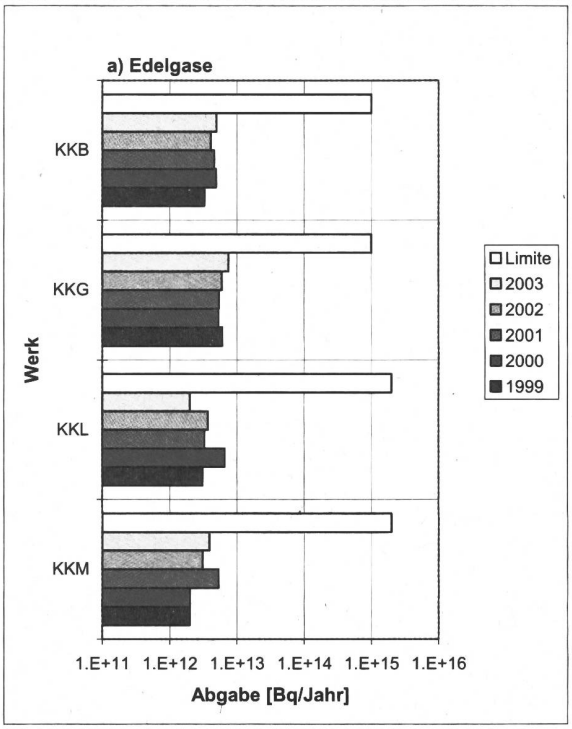
Die HSK berücksichtigt bei den Dosisberechnungen die ^{14}C-Abgaben, da diese seit einigen Jahren aufgrund der geringen übrigen Abgaben die Dosis bestimmen. Das radioaktive Kohlenstoffisotop ^{14}C entsteht im Reaktor durch Kernreaktionen von Neutronen mit Stickstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff. Die Abgaberate in den Kernkraftwerken ist primär von der Reaktorleistung, aber auch von weiteren Faktoren abhängig, die gegenwärtig in den Schweizer Kernkraftwerken vertieft untersucht werden. KKL führt schon seit längerer Zeit aus eigener Veranlassung ^{14}C Messungen durch. Mitte 1998 wurde das System zur Messung von ^{14}C aufgrund der Resultate einer internationalen Vergleichsmessung neu kalibriert, was dazu führte, dass die für Einzelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis seit 1998 etwas höher ist. KKG hat seit Ende 2001 ebenfalls Messungen der ^{14}C-Abgaben mit der Abluft durchgeführt. Diese der Beweissicherung dienenden Messungen wurden mit Ende des Berichtsjahres abgeschlossen. Für die Dosisberechnung wurden beim KKG die im Jahr 2003 gemessenen ^{14}C-Werte verwendet, wobei nur der als anorganisches Kohlendioxid (CO_2) abgegebene Anteil von ca. 1/3 der Gesamtabgabe dosisrelevant ist. Bei den beiden andern schweizerischen Kernkraftwerken werden bei der Dosisberechnung für die ^{14}C-Abgaben weiterhin Erfahrungswerte eingesetzt; zu deren Überprüfung sind Probenahmeeinrichtungen und Messgeräte in Betrieb genommen worden.

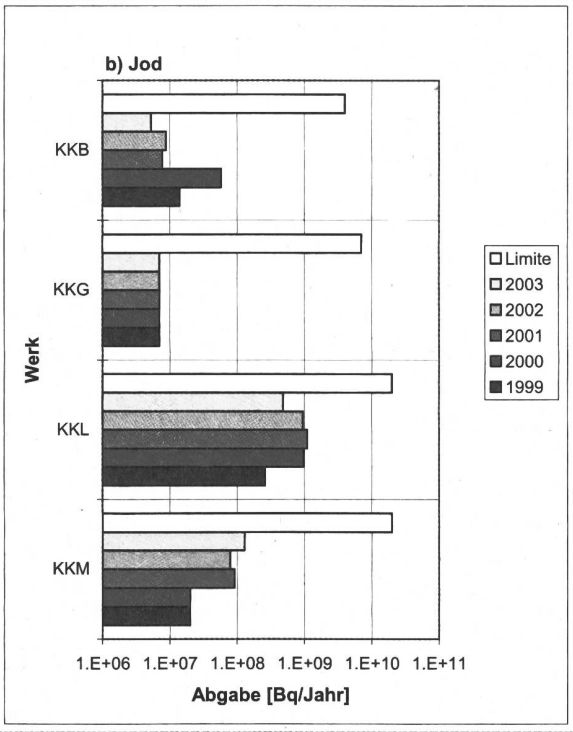
Bei der Bewertung der errechneten Dosiswerte gilt es zu beachten, dass diese unterhalb von 0,01 mSv liegen. Dosen in einer solchen Grössenordnung gelten gemäss Artikel 5 und Artikel 6 der Strahlenschutzverordnung in jedem Fall als gerechtfertigt und optimiert. Die Kernkraftwerke waren für die ordentlichen Revisionsarbeiten resp. Brennelementwechsel während folgender Perioden abgestellt: KKB I vom 10. Juni bis 20. Juni, KKB II vom 25. Juli bis 19. August, KKG vom 8. Juni bis 27. Juni, KKL vom 2. August bis zum 25. August und KKM vom 10. August bis 31. August 2003. KKM war zwecks Präventionsanlagenunterhalts auch vom 31.5.-7.6.03 abgestellt.

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 die HSK eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von weniger als 0.004 mSv. Der Betrieb der Verbrennungsanlage am PSI Ost, welche in den vergangenen Jahren ebenfalls einen kleinen Beitrag zur Gesamtdosis lieferte, wurde auf Anfang 2003 eingestellt. Beinahe die gesamte Dosis ergibt sich im PSI durch die Abgabe von kurzlebigen radioaktiven Gasen aus den Teilchenbeschleunigern im Westteil. Die vom PSI und von der HSK unabhängig voneinander durchgeführten Berechnungen zeigen, dass selbst unter ungünstigen

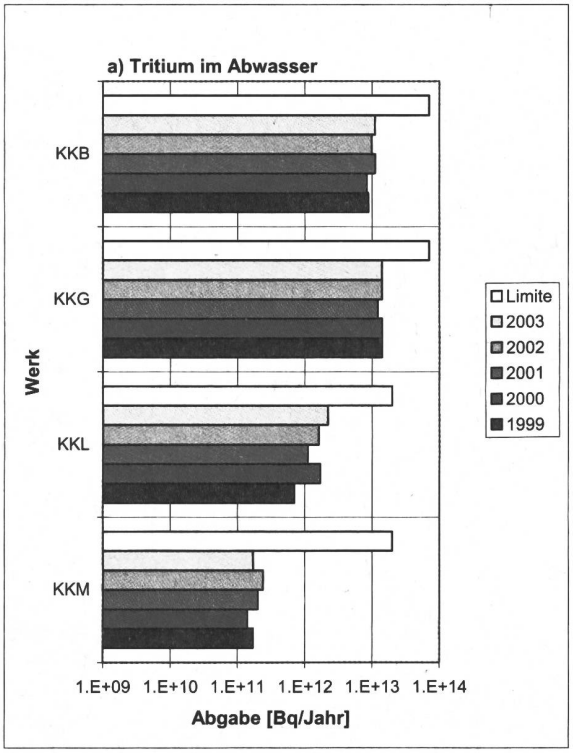
Annahmen die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung deutlich unterhalb des Dosisanteils des PSI von 0,15 mSv pro Jahr am quellenbezogenen Dosisrichtwert des gemeinsamen Standortes PSI und ZZL liegt. Beim Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) erfolgten im Berichtsjahr weitere Einlagerungen in die Lagergebäude für hoch- und mittelaktive Abfälle und in das Hochregallager der Konditionieranlage. Dagegen wurden in der Konditionieranlage und in der Verbrennungsanlage noch keine radioaktiven Abfälle verarbeitet. Die gemessenen radioaktiven Abgaben an die Umwelt waren unbedeutend.

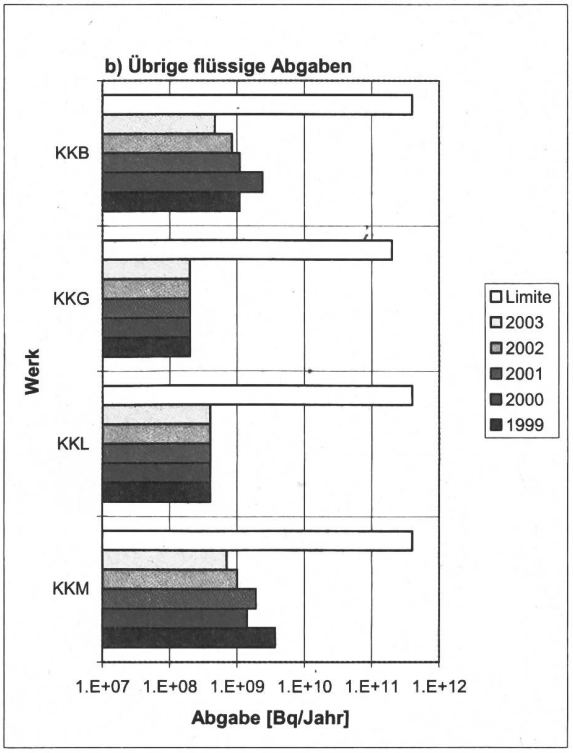
1. Abluft





2. Abwasser





Figur 1
Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke in den letzten fünf Jahren im Vergleich mit den Abgabelimiten. (Siehe Tabelle 1a)

Tabelle 1a
Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe der Kernkraftwerke an die Umgebung im Jahr 2003 und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung. *(Fussnoten auf Seite 8.1.8)*

Anlage	Medium	Art der Abgaben[4]	Abgabelimiten[1]	Tatsächliche Abgaben[2,4]			Berechnete Jahresdosis[3]	
				Aequivalentabgaben (Vergleich mit den Limiten)				
			Bq/Jahr	Bq/Jahr	Prozent der Limite	Bq/Jahr	Erwachsener mSv/Jahr	Kleinkind mSv/Jahr
KKB1 + KKB2	Abwasser (4100 m³)	Nuklidgemisch Tritium)	$4 \cdot 10^{11}$	$4.7 \cdot 10^{8}$	0.1%	$1.2 \cdot 10^{10}$	<0.001	<0.001
		Tritium	$7 \cdot 10^{13}$	$1.1 \cdot 10^{13}$	16%	$1.1 \cdot 10^{13}$	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	$1 \cdot 10^{15}$	$5.0 \cdot 10^{12}$	0.5%	$4.8 \cdot 10^{12}$	<0.001	<0.001
		Aerosole	$6 \cdot 10^{9}$	-	<0.1%	$2.5 \cdot 10^{5}$	<0.001	<0.001
		Iod: ^{131}I	$4 \cdot 10^{9}$	$5.3 \cdot 10^{6}$	0.1%	$5.3 \cdot 10^{6}$	<0.001	<0.001
		Kohlenstoff (CO_2): ^{14}C	-	-	-	$4.0 \cdot 10^{10}$	0.0012	0.0020
	Gesamt-dosis						0.0013	0.0022
KKM	Abwasser (5591 m³)	Nuklidgemisch (ohne Tritium)	$4 \cdot 10^{11}$	$7.0 \cdot 10^{8}$	0.2%	$4.3 \cdot 10^{9}$	<0.001	<0.001
		Tritium	$2 \cdot 10^{13}$	$1.7 \cdot 10^{11}$	0.9%	$1.7 \cdot 10^{11}$	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	$2 \cdot 10^{15}$	$3.9 \cdot 10^{12}$	0.2%	$2.3 \cdot 10^{12}$	<0.001	<0.001
		Aerosole	$2 \cdot 10^{10}$	-	<0.1%	$1.1 \cdot 10^{7}$	0.0047	0.0040
		Iod: ^{131}I	$2 \cdot 10^{10}$	$1.3 \cdot 10^{8}$	0.7%	$1.3 \cdot 10^{8}$	<0.001	<0.001
		Kohlenstoff (CO_2): ^{14}C	-	-	-	$2 \cdot 10^{11}$	<0.001	0.0012
	Gesamt-dosis						0.0055	0.0053
KKG	Abwasser (7398 m³)	Nuklidgemisch (ohne Tritium)	$2 \cdot 10^{11}$	-	<0.1%	$4.6 \cdot 10^{7}$	<0.001	<0.001
		Tritium	$7 \cdot 10^{13}$	$1.4 \cdot 10^{13}$	20%	$1.4 \cdot 10^{13}$	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	$1 \cdot 10^{15}$	$<7.5 \cdot 10^{12}$	<0.8%	$<6.5 \cdot 10^{12}$	<0.001	<0.001
		Aerosole	$1 \cdot 10^{10}$	-	<0.1%	$4.9 \cdot 10^{4}$	<0.001	<0.001
		Iod: ^{131}I	$7 \cdot 10^{9}$	-	<0.1%	-	<0.001	<0.001
		Kohlenstoff (CO_2): ^{14}C	-	-	-	$3.0 \cdot 10^{11}$	0.0021	0.0035
	Gesamt-dosis						0.0022	0.0037
KKL	Abwasser (15727 m³)	Nuklidgemisch(ohne Tritium)	$4 \cdot 10^{11}$	-	<0.1%	$1.1 \cdot 10^{8}$	<0.001	<0.001
		Tritium	$2 \cdot 10^{13}$	$2.2 \cdot 10^{12}$	11%	$2.2 \cdot 10^{12}$	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	$2 \cdot 10^{15}$	-	<0.1%	$2.5 \cdot 10^{12}$	<0.001	<0.001
		Aerosole	$2 \cdot 10^{10}$	$3.5 \cdot 10^{7}$	0.2%	$3.5 \cdot 10^{7}$	<0.001	<0.001
		Iod: ^{131}I	$2 \cdot 10^{10}$	$4.8 \cdot 10^{8}$	2.4%	$4.8 \cdot 10^{8}$	<0.001	0.001
		Kohlenstoff (CO_2): ^{14}C	-	-	-	$6.0 \cdot 10^{11}$	0.0032	0.0054
	Gesamt-dosis						0.0033	0.0059

Tabelle 1b

Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2003 und der daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung. *(Fussnoten auf Seite 8.1.8)*

	Hochkamin (PSI Ost)	**Saphir, Proteus (PSI Ost)**	**Forschungs-labor Ost**	**C-Labor, Labor für radioaktive Abfälle Ost**	**Bundes-zwischen-lager**	**Zentrale Fortluftan-lage (PSI West)**	**Injektor I (PSI West)**	**Injektor II (PSI West)**	**C-Labor (PSI West)**	**Abwasser PSI (2411 m³)**	**Gesamt-anlage des PSI**
Abgaben im Abwasser[2,4] [Bq]											
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$2.2 \cdot 10^{7}$	$2.2 \cdot 10^{7}$
Tritium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$3.3 \cdot 10^{11}$	$3.3 \cdot 10^{11}$
Abgaben über die Abluft[2,4] [Bq]											
Edelgase und andere Gase	$4.9 \cdot 10^{10}$	-	-	-	-	$1.1 \cdot 10^{14}$	$1.0 \cdot 10^{10}$	$1.0 \cdot 10^{10}$	-	-	$1.1 \cdot 10^{14}$
β/γ-Aerosole (ohne Iod, Halbwertszeit>8 Std)	$4.6 \cdot 10^{5}$	-	$1.5 \cdot 10^{4}$	-	-	$1.3 \cdot 10^{10}$	-	$6.0 \cdot 10^{6}$	$3.2 \cdot 10^{5}$	-	$1.3 \cdot 10^{10}$
α-Aerosole	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Iod (^{131}I-aeq.)	$3.9 \cdot 10^{8}$	-	$2.4 \cdot 10^{4}$	-	-	$1.2 \cdot 10^{7}$	-	$6.3 \cdot 10^{3}$	-	-	$4.0 \cdot 10^{8}$
Tritium (tritiiertes Wasser, HTO)	$3.8 \cdot 10^{11}$	$9.6 \cdot 10^{9}$	-	$9.9 \cdot 10^{10}$	$1.4 \cdot 10^{9}$	$5.7 \cdot 10^{11}$	-	-	-	-	$1.1 \cdot 10^{12}$
Kohlenstoff (CO_2): ^{14}C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jahresdosis[3] [mSv/Jahr] für:											
Erwachsene	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015	0.0035	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015	**<0.004**
Kleinkinder	0.0002	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015	0.0036	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015	**<0.004**
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert[1]	0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	2.4 %	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	**<3%**

Tabelle 1c
Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2003: Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben [2]. *(Fussnoten auf Seite 8.1.8)*

Nuklid β/γ-Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]				
	Beznau	Gösgen	Leibstadt	Mühleberg	PSI
^{3}H	$1.1\cdot10^{13}$	$1.4\cdot10^{13}$	$2.2\cdot10^{12}$	$1.7\cdot10^{11}$	$3.3\cdot10^{11}$
^{7}Be					
^{22}Na					$5.1\cdot10^{6}$
^{24}Na	$2.9\cdot10^{7}$				
^{35}S					$3.9\cdot10^{6}$
^{51}Cr	$4.1\cdot10^{7}$			$6.0\cdot10^{7}$	
^{54}Mn	$1.2\cdot10^{8}$		$3.4\cdot10^{6}$	$5.4\cdot10^{8}$	$2.3\cdot10^{5}$
^{56}Mn					
^{59}Fe	$5.2\cdot10^{6}$			$1.7\cdot10^{7}$	
^{57}Co	$7.8\cdot10^{7}$				$4.0\cdot10^{4}$
^{58}Co	$9.3\cdot10^{9}$	$1.8\cdot10^{5}$	$2.3\cdot10^{6}$	$2.8\cdot10^{8}$	$4.8\cdot10^{3}$
^{60}Co	$8.5\cdot10^{8}$	$7.5\cdot10^{6}$	$5.8\cdot10^{7}$	$2.4\cdot10^{9}$	$1.0\cdot10^{7}$
^{65}Zn	$7.5\cdot10^{5}$			$2.3\cdot10^{8}$	
^{89}Sr	$1.3\cdot10^{7}$			$3.3\cdot10^{7}$	$3.9\cdot10^{3}$
$^{90}Sr/^{90}Y$	$4.4\cdot10^{6}$			$1.1\cdot10^{7}$	
^{95}Zr	$1.9\cdot10^{6}$			$2.1\cdot10^{6}$	
^{97}Zr	$3.7\cdot10^{6}$				
^{95}Nb	$1.8\cdot10^{7}$			$5.9\cdot10^{6}$	
^{99}Mo	$1.2\cdot10^{6}$				
^{99m}Tc	$7.8\cdot10^{5}$			$2.2\cdot10^{5}$	
^{103}Ru	$9.7\cdot10^{5}$				
^{115m}Cd					
^{110m}Ag	$1.1\cdot10^{8}$				
^{122}Sb	$9.6\cdot10^{6}$				
^{124}Sb	$3.3\cdot10^{8}$	$8.5\cdot10^{6}$		$5.5\cdot10^{6}$	
^{125}Sb	$5.0\cdot10^{8}$	$2.0\cdot10^{6}$		$7.4\cdot10^{6}$	$1.4\cdot10^{5}$
^{123m}Te		$2.6\cdot10^{7}$			
^{132}Te	$5.8\cdot10^{5}$	$1.8\cdot10^{6}$			
^{125}I					$7.1\cdot10^{6}$
^{126}I					
^{131}I	$1.2\cdot10^{7}$		$9.8\cdot10^{6}$	$6.4\cdot10^{5}$	$5.0\cdot10^{6}$
^{133}I	$2.4\cdot10^{6}$				$3.9\cdot10^{4}$
^{134}Cs	$2.7\cdot10^{7}$		$8.2\cdot10^{6}$	$5.6\cdot10^{6}$	$4.4\cdot10^{5}$
^{136}Cs					
^{137}Cs	$2.4\cdot10^{8}$		$2.4\cdot10^{7}$	$6.9\cdot10^{8}$	$2.3\cdot10^{7}$
^{133}Ba					$4.6\cdot10^{4}$
^{140}Ba	$2.1\cdot10^{7}$				
^{140}La	$1.8\cdot10^{6}$				
^{141}Ce	$1.4\cdot10^{6}$		$2.3\cdot10^{6}$		
^{143}Ce					
^{144}Ce	$3.0\cdot10^{6}$				
^{152}Eu					$7.2\cdot10^{4}$
^{177}Lu					$1.3\cdot10^{4}$
^{239}Np					
α-Strahler		$<1,3\cdot10^{5}$	$4.6\cdot10^{5}$	$2.8\cdot10^{5}$	
^{210}Po					
$^{234/238}U$					$1.1\cdot10^{5}$
$^{239/240}Pu$					$1.6\cdot10^{6}$
$^{238}Pu/^{241}Am$					$4.5\cdot10^{5}$
^{244}Cm					$7.4\cdot10^{3}$

Tabelle 1d
Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, 2003: Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben
Fussnoten auf Seite 8.1.8)

Nuklid β/γ-Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]				
	Beznau	Gösgen	Leibstadt	Mühleberg	PSI
Gase, Edelgase					
^{3}H			$1.6 \cdot 10^{12}$		$9.5 \cdot 10^{11}$
^{11}C					$2.1 \cdot 10^{13}$
^{14}C (CO_2)		$3.0 \cdot 10^{11}$	$6.0 \cdot 10^{11}$		
^{13}N					$2.1 \cdot 10^{13}$
^{15}O					$6.2 \cdot 10^{13}$
^{18}F					$7.2 \cdot 10^{11}$
^{41}Ar				$9.3 \cdot 10^{9}$	$4.0 \cdot 10^{12}$
^{85}Kr					$1.0 \cdot 10^{12}$
^{85m}Kr	$1.9 \cdot 10^{11}$			$3.0 \cdot 10^{11}$	$3.9 \cdot 10^{9}$
^{87}Kr				$1.9 \cdot 10^{9}$	$7.0 \cdot 10^{9}$
^{88}Kr				$2.5 \cdot 10^{11}$	$5.3 \cdot 10^{9}$
^{127}Xe					
^{131m}Xe				$2.2 \cdot 10^{10}$	
^{133}Xe	$2.1 \cdot 10^{12}$		$2.9 \cdot 10^{11}$	$8.2 \cdot 10^{11}$	
^{133m}Xe					
^{135}Xe	$2.3 \cdot 10^{12}$		$1.0 \cdot 10^{12}$	$7.9 \cdot 10^{10}$	
^{135m}Xe			$1.2 \cdot 10^{12}$	$1.6 \cdot 10^{11}$	
^{137}Xe				$1.0 \cdot 10^{11}$	
^{138}Xe				$4.8 \cdot 10^{11}$	
EG-Aequiv.[4)]				$8.6 \cdot 10^{10}$	
EG: β-total		$<6.5 \cdot 10^{12}$			
Andere	$3.3 \cdot 10^{11}$				
Jod					
^{123}I					$3.4 \cdot 10^{8}$
^{124}I					$6.2 \cdot 10^{6}$
^{125}I					$4.3 \cdot 10^{7}$
^{126}I					$7.8 \cdot 10^{6}$
^{131}I	$5.3 \cdot 10^{6}$		$4.8 \cdot 10^{8}$	$1.3 \cdot 10^{8}$	$3.6 \cdot 10^{8}$
^{133}I	$2.4 \cdot 10^{7}$				

Tabelle 1e
Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, 2003. (Fortsetzung)

Nuklid	Abgaben [Bq im Jahr]				
β/γ-Aerosole	Beznau	Gösgen	Leibstadt	Mühleberg	PSI
^{7}Be					$3.6\cdot10^{5}$
^{22}Na					$3.2\cdot10^{5}$
^{24}Na					$2.7\cdot10^{6}$
^{38}S					$3.4\cdot10^{9}$
^{38}Cl					$1.2\cdot10^{8}$
^{39}Cl					$3.9\cdot10^{10}$
^{51}Cr					$1.3\cdot10^{4}$
^{54}Mn				$1.1\cdot10^{5}$	
^{57}Co					
^{58}Co	$6.2\cdot10^{4}$			$8.5\cdot10^{4}$	
^{60}Co	$6.2\cdot10^{4}$	$5.9\cdot10^{4}$	$4.4\cdot10^{4}$	$1.6\cdot10^{6}$	$1.7\cdot10^{6}$
^{65}Zn				$1.5\cdot10^{5}$	
^{69}Ge					
^{72}As					$1.5\cdot10^{5}$
^{73}As					$1.6\cdot10^{5}$
^{75}Se					$4.1\cdot10^{5}$
^{76}Br					$1.8\cdot10^{7}$
^{77}Br					$1.1\cdot10^{7}$
^{82}Br					$6.0\cdot10^{8}$
^{90}Sr					
^{99m}Tc					
$^{106}Ru/Rh$					
^{108m}Ag					
^{110m}Ag					
^{123m}Te					$1.5\cdot10^{3}$
^{125m}Te					
^{124}Sb					
^{125}Sb	$6.2\cdot10^{4}$				
^{131}I			$2.1\cdot10^{7}$	$1.0\cdot10^{6}$	
^{134}Cs					
^{137}Cs	$6.2\cdot10^{4}$			$1.7\cdot10^{6}$	$2.3\cdot10^{4}$
^{140}Ba			$1.4\cdot10^{7}$	$6.3\cdot10^{6}$	
^{140}La			$1.1\cdot10^{7}$		
^{141}Ce					
^{181}Re					$4.7\cdot10^{7}$
^{182}Re					$1.3\cdot10^{8}$
^{183}Re					$1.8\cdot10^{6}$
^{182}Os					
^{183}Os					$1.8\cdot10^{8}$
^{183m}Os					$4.6\cdot10^{8}$
^{185}Os					$9.9\cdot10^{6}$
^{191}Os					
^{192}Au					$2.1\cdot10^{9}$
^{193}Au					$3.6\cdot10^{8}$
^{192}Hg					$1.1\cdot10^{9}$
^{193m}Hg					$2.6\cdot10^{8}$
^{195}Hg					$7.9\cdot10^{9}$
^{195m}Hg					$1.1\cdot10^{8}$
^{197m}Hg					$1.2\cdot10^{8}$
^{203}Hg					$5.3\cdot10^{6}$
α-Aerosole	$<1\cdot10^{5}$	$5{,}8\cdot10^{4}$	$<2.3\cdot10^{4}$	$1{,}3\cdot10^{5}$	
^{210}Po					

Fussnoten der Tabellen 1a-e

1) **Abgabelimiten** gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die Abgabelimiten wurden für die Kernkraftwerke so festgelegt, dass die Jahresdosis für Personen in der Umgebung (vgl. Fussnote 3) unter 0,2 mSv/Jahr bleibt. Für das Paul Scherrer Institut (PSI) sind die Abgaben gemäss Bewilligung 6/2000 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 PSI. Die Messgenauigkeit beträgt ca. $\pm$ 50 %. Abgaben unterhalb 0,1% der Jahresabgabelimite werden von der HSK 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 HSK-Richtlinie R-41 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/m³ 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 (siehe den Wert in Klammern); 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 die Summe der Radioaktivität dieser Gase und Edelgase ohne Normierung auf einen Referenzwert angegeben.
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 demgegenüber 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 als ^{131}Iod-Aequivalent durch gewichtete Summation der Aktivität der gemessenen 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 hingegen 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 beim KKB und KKM auf Literaturangaben und in früheren Jahren durchgeführten Messungen, beim KKG und KKL auf aktuellen Messwerten, die höher sind als die in früheren Jahren angenommenen Werte.

8.2. Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen

F. Cartier, A. Leupin, W. Baur und M. Schibli
Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, HSK, 5232 VILLIGEN-HSK

Zusammenfassung

Die Ortsdosis respektive Ortsdosisleistung durch externe Strahlung wird in der Umgebung der Kernanlagen mit dem MADUK-Messnetz und mittels am Arealzaun positionierten Thermolumineszenzdosimetern (TLD) überwacht. Zusätzlich führt die HSK vierteljährlich stichprobenweise Dosisleistungsmessungen am Arealzaun sowie bei Bedarf spezielle Messkampagnen durch.

Das **M**essnetzes zur **a**utomatischen **D**osisleistungsüberwachung in der **U**mgebung der **K**ernkraftwerke (MADUK) dient der permanenten Überwachung der externen Strahlung. Um das KKB und das PSI sind 17, beim KKG 16, beim KKL und KKM je 12 MADUK-Stationen in bis zu 5 km Abstand in Betrieb. Die MADUK-Stationen messen die Ortsdosisleistung, die ermittelten Messwerte werden alle 10 Minuten in die Zentrale der HSK übertragen und automatisch analysiert. Abweichungen vom natürlichen Schwankungsbereich werden signalisiert und dem HSK-Pikett gemeldet.

In der Figur 1 sind für das Berichtsjahr die Monatsmittelwerte mit den tiefsten und den höchsten Tagesmittelwerten aller MADUK-Sonden dargestellt. Sonden mit deutlich tieferem Messwertniveau stehen auf Gebäudedächern oder einem Untergrund mit geringem natürlichem Aktivitätsgehalt. Im Berichtsjahr sind keine sehr hohen Tagesmittelwerte festgestellt worden. Die im Sommer/Herbst etwas höher liegenden Tagesmaxima sind bedingt durch die lange Trockenheit und geringe Luftbwewegungen, was zu einem signifikanten Anstieg der natürlichen Strahlenexposition am Boden führte. In Figur 2 sind am Beispiel der MADUK-Sonden des Messringes Leibstadt die Messwertverläufe der Tagesmittelwerte über den Zeitbereich 1999 bis 2003 dargestellt. Zwei sichtbare Veränderung ausserhalb der jahreszeitlichen Schwankungen sind erwähnenswert. Bei der Station L-05 wurde die Messsonde im März 2002 vom Dach des Kindergartengebäudes weg auf den natürlichen Erdboden verschoben. An der Station L-08 weist der im Oktober 2001 eingebrachte Messdetektor gegenüber dem ursprünglichen Detektor eine geringfügig tiefere Empfindlichkeit auf.

Die Kalibrierung aller MADUK-Sonden ist mittels einer radioaktiven Quelle überprüft und als in Ordnung beurteilt worden. Während vorher angemeldeten Kalibrierungsarbeiten an den NADAM-Sonden zeigten die nahe stehenden MADUK-Sonden in 7 Fällen erhöhte Messwerte. Wesentliche Datenausfälle entstanden bei den MADUK-Sonden M-08 in Marfeldingen (65 Std.) und M-11 in Golaten (108 Std.) wegen Gerätestörungen. Bei insgesamt 7 weiteren Stationen waren total 223 Std. Datenausfall wegen Störungen im Kommunikationsbereich der SWISSCOM zu verzeichnen.

Im Berichtsjahr wurden die Dosismessungen mit Thermolumineszenz-Dosimetern (TLD) in der Umgebung der Kernanlagen und des PSI fortgeführt. Bei der routinemässig durchgeführten Analyse der Messergebnisse ergaben sich gegenüber den Erfahrungswerten beim Standort "Station Schwaderloch, KKL" wie bereits im Vorjahr leicht erhöhte Quartalsdosiswerte, die auf eine baulich bedingte Verschiebung des Dosimeters zurückzuführen sind.

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

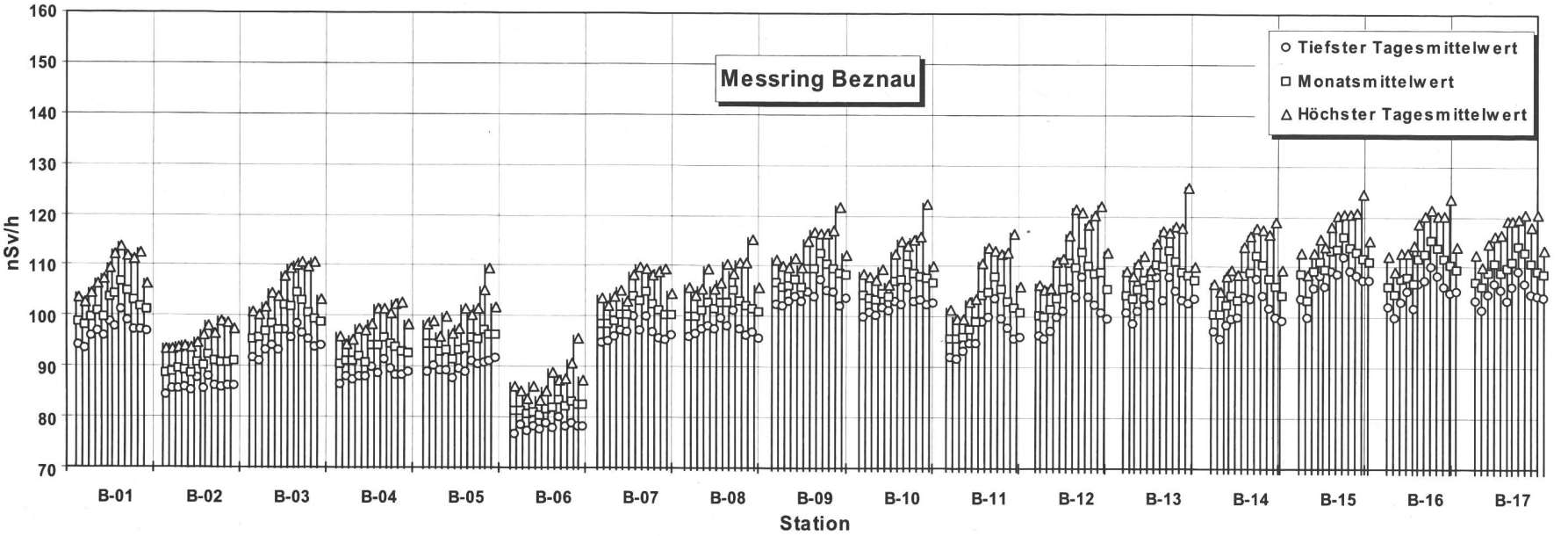
Beim KKM wurden am Zaun im Rahmen der stichprobenweise, vierteljährlich von der HSK durchgeführten Messungen Dosisleistungen zwischen 0.07 µSv/h (natürlicher Untergrund) und 0.40 µSv/h gemessen; der letztgenannte Wert ergibt nach Abzug des Untergrundes umgerechnet auf ein Jahr und unter Berücksichtigung der Betriebszeit eine Dosis von ca. 2.7 mSv. Die vom KKM ausgewerteten Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD), die an mehrerern Stellen am Zaun die Dosis messen, weisen demgegenüber für das Berichtsjahr einen Höchstwert von 2.4 mSv auf (inkl. natürlichem Untergrund von ca. 0.75 mSv).

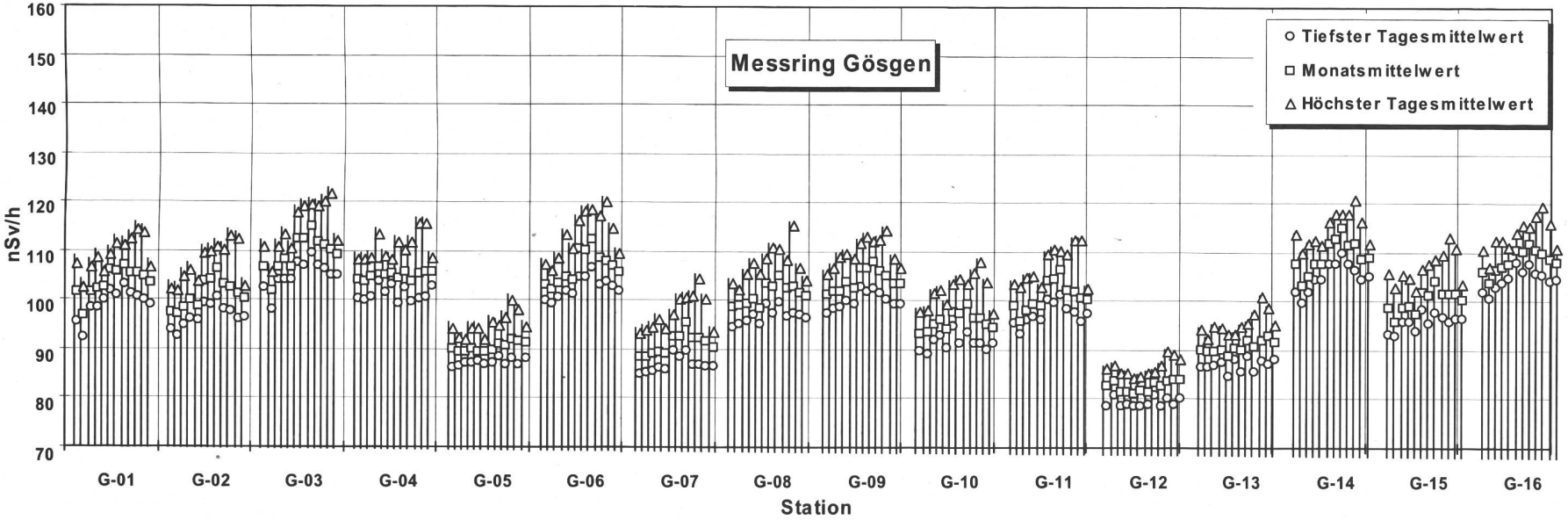
Beim KKL wurden im Rahmen der vierteljährlichen Stichproben der HSK während des Leistungsbetriebes am Zaun Ortsdosisleistungen zwischen 0.06 mSv/h (natürlicher Untergrund) und 0.28 µSv/h ermittelt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes unter Berücksichtigung der Betriebszeit einer Dosis von ca. 1.8 mSv pro Jahr. Der vom KKL im Berichtsjahr ermittelte höchste Wert eines Thermolumineszenz-Dosimeters (TLD) am Zaun betrug demgegenüber 3.9 mSv (inkl. natürlichem Untergrund von ca. 0.7 mSv).

Im Jahr 2003 betrug der höchste, mit einem Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun des Paul Scherrer Instituts (PSI) gemessene Wert 1.7 mSv (inkl. natürlichem Untergrund von ca. 0.6 mSv). Der zugehörige Messpunkt liegt bei der Aktivlagerhalle am PSI-Ost.

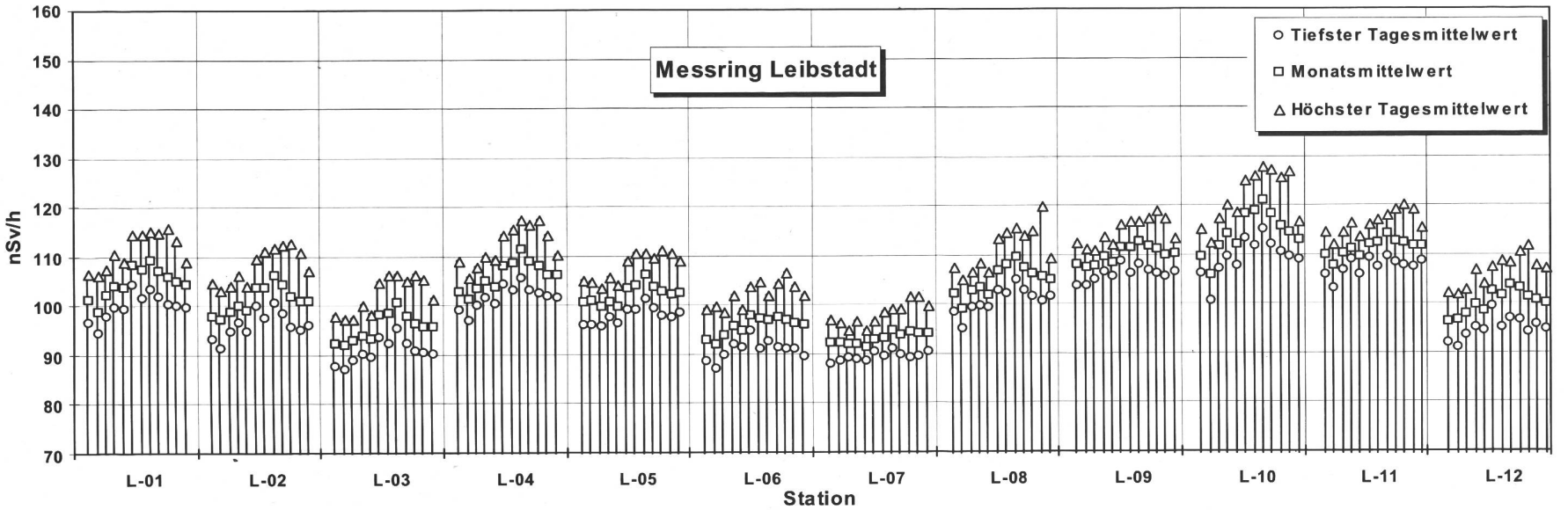
Beim Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) wurde am Zaun weder mittels TLD noch bei den vierteljährlichen, stichprobenweisen Messungen der HSK eine Erhöhung der Ortsdosis über den natürlichen Untergrund festgestellt.

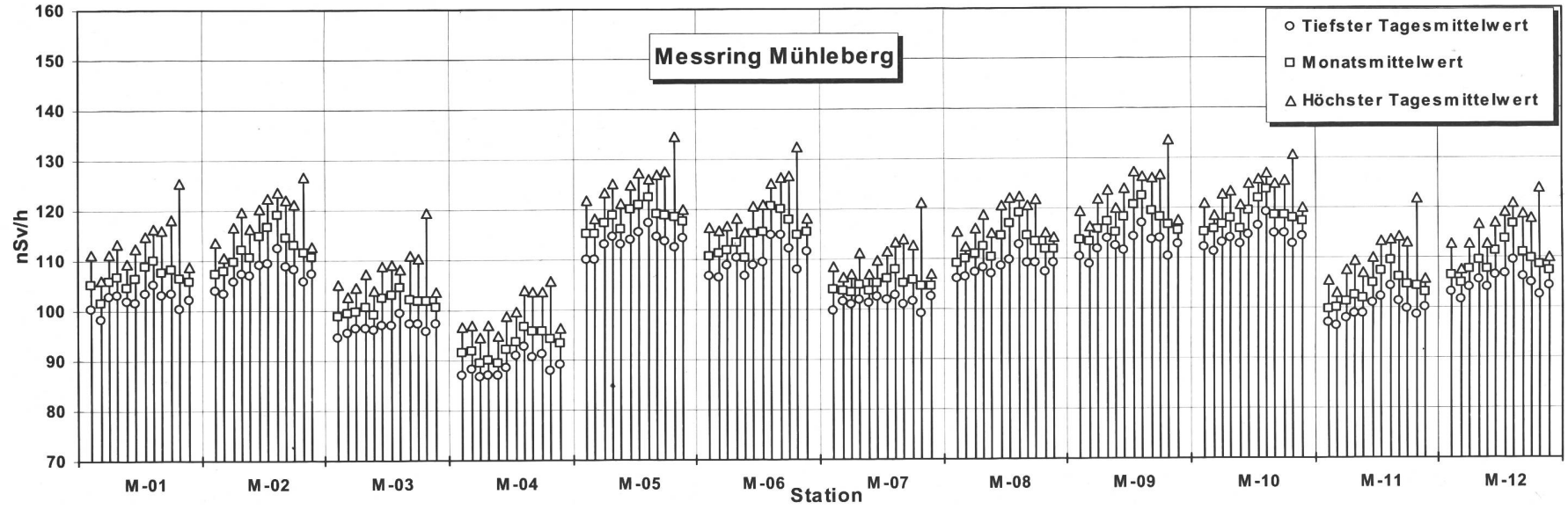
Die Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Betriebsareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn-, Aufenthalts- und Arbeitsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche nach Art. 102 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung wurden auch im Berichtsjahr für alle Standorte (inkl. PSI und Zentralem Zwischenlager Würenlingen ZZL) eingehalten.



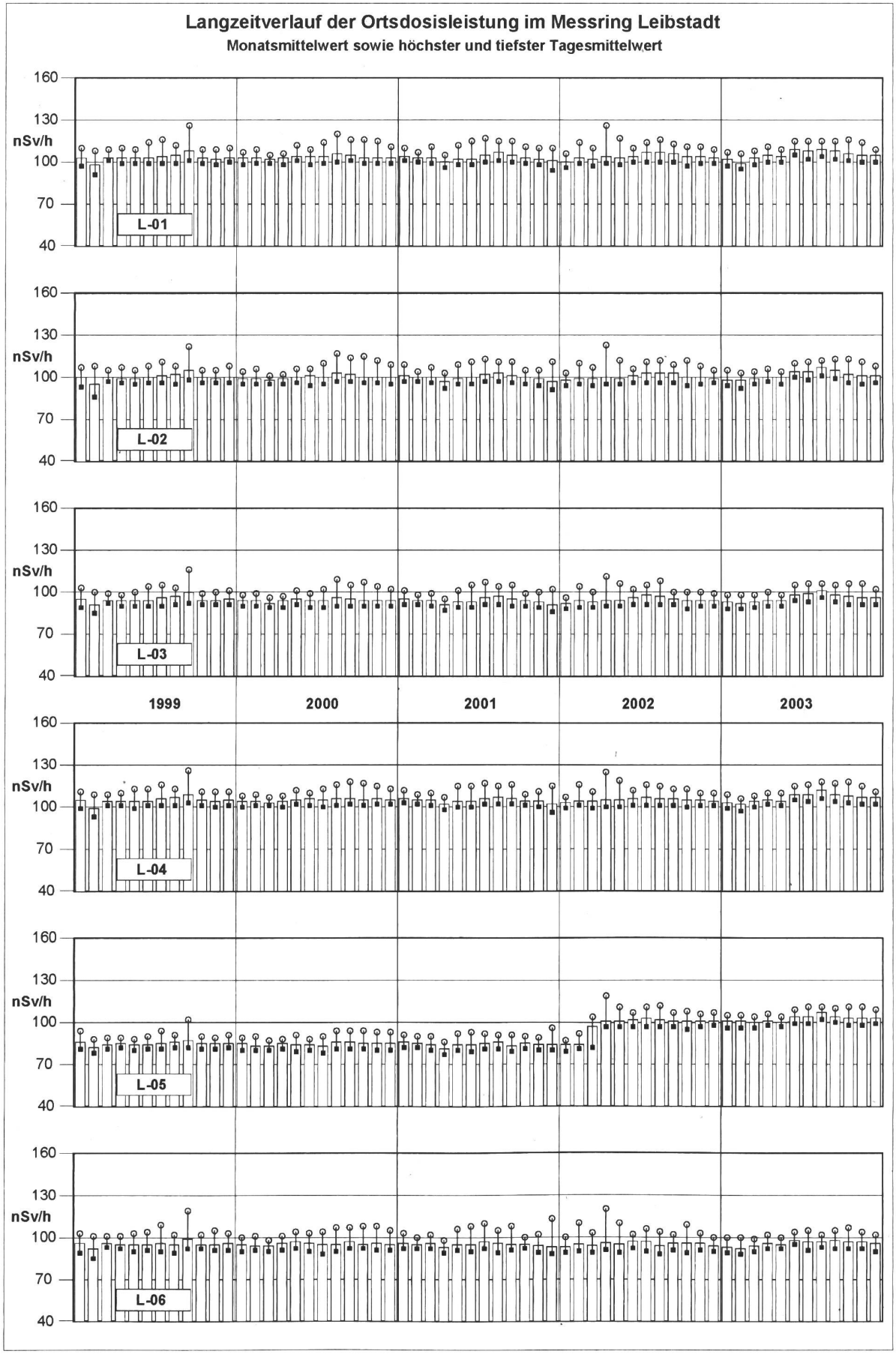


Figur 1 Dosisleistung an MADUK-Stationen im Jahr 2003

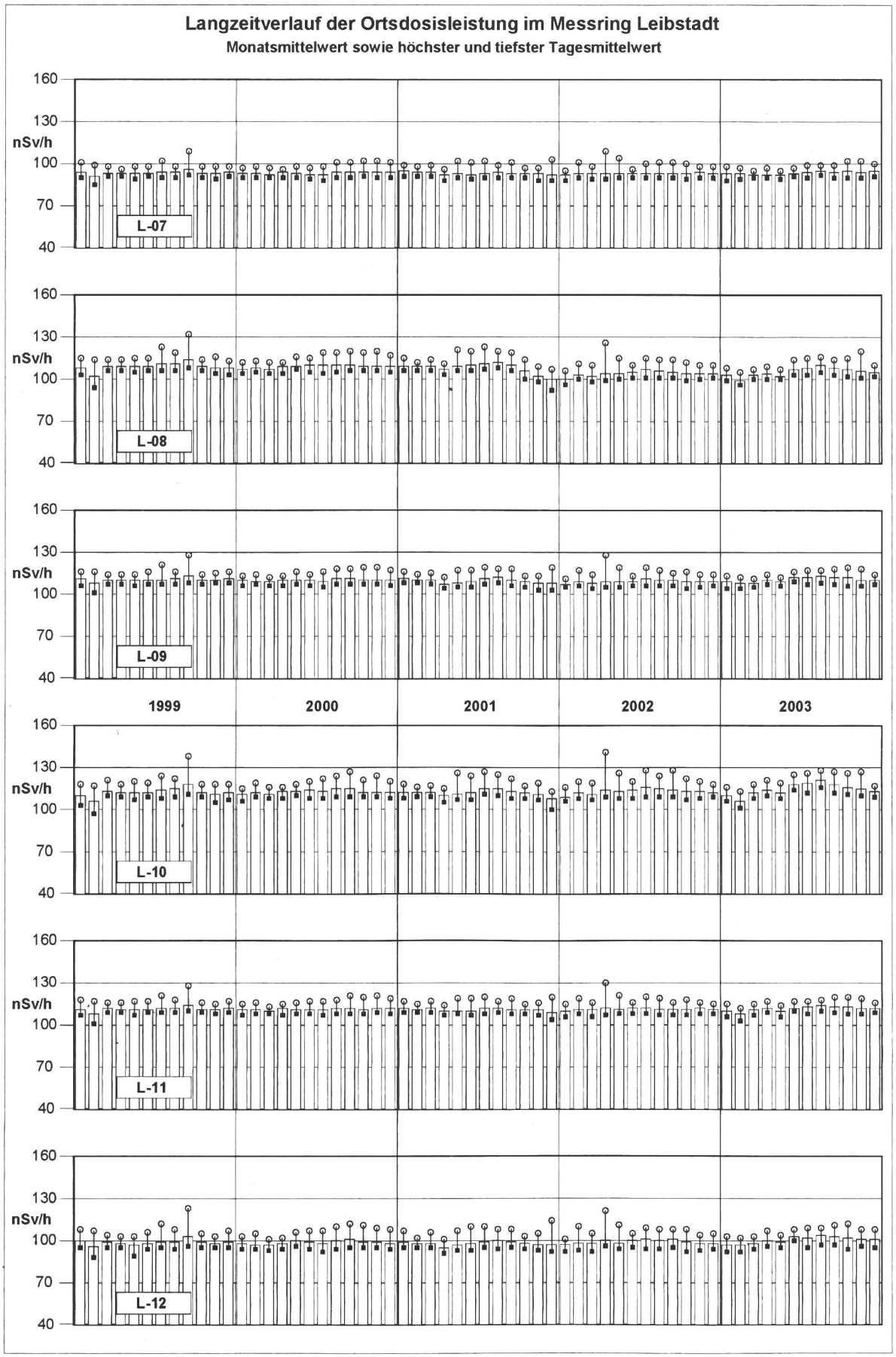




Figur 1 (Fortsetzung) Dosisleistung an MADUK-Stationen im Jahr 2003



Figur 2 Dosisleistung an den MADUK-Stationen in den Jahren 1999 - 2003



Figur 2 (Fortsetzung) Dosisleistung an den MADUK-Stationen in den Jahren 1999 - 2003

8.3. Les installations nucléaires et l'environnement

S. Estier, J.-L. Andrey, P. Beuret, G. Ferreri, A. Gurtner, M. Jungck, H. Völkle

Section de surveillance de la radioactivité, SUER, Office fédéral de la santé publique
Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

Résumé

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 de prélèvements et de mesures. Il commence au terme source par des analyses en phase de rejet sur des échantillons comparatifs avec l'exploitant et la DSN. En outre, les exploitants sont tenus de communiquer leurs rapports trimestriels à l'OFSP et à la DSN. Cette dernière met à disposition de l'OFSP un accès direct à son réseau MADUK de mesures en continu du débit de dose ambiante. L'ensemble de ces données fait également partie de l'examen critique de l'OFSP. Sous sa coordination la surveillance englobe aussi les propres mesures de l'Office, 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), de l'ETHZ (^{14}C) et du LfU (Baden-Württemberg), conformément au programme germano-suisse autour de la centrale nucléaire de Leibstadt. La prise en compte de tous ces examens permet l'estimation pertinente de l'impact des centrales nucléaires sur la population avoisinante et l'environnement. Pour l'année 2003, on peut conclure au respect par les exploitants des valeurs limites fixées dans la réglementation. La dose localement attribuable en 2003 à l'exploitation des centrales nucléaires suisses est inférieure à 0.01 mSv. Si l'on excepte la contribution du rayonnement direct en certains points de la clôture des centrales de Leibstadt et de Mühleberg ainsi que les traces des rejets atmosphériques (^{14}C dans les feuillages) et des rejets liquides (en particulier isotopes du cobalt dans les trappes à sédiment), un impact mesurable des centrales nucléaires est difficile à mettre en évidence. C'est pourquoi, 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. Si l'on excepte les traces des radionucléides spécifiques dans certains indicateurs environnementaux, les résultats obtenus en 2003 dans le voisinage des installations nucléaires ne se distinguent pas de ceux relevés dans les sites hors de leur influence. Ils montrent que la radioactivité d'origine naturelle prédomine et que les contaminations détectables se résument pratiquement aux radionucléides de longue période issus des essais nucléaires des années 60 (^{137}Cs, ^{90}Sr $^{239,240}Pu$ et ^{241}Am) et de l'accident de Tchernobyl (^{137}Cs) avec des niveaux variables selon les régions.*

8.3.1 Méthodologie

Dans le cas d'un suivi de l'environnement, deux aspects peuvent être pris en compte: l'un radioécologique 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. La spectrométrie γ permet de détecter et de quantifier la plupart des radionucléides naturels et artificiels présents dans des échantillons sans longues préparations (séparation chimique...) contrairement à la mesure des émetteurs α et β.

8.3.2 Résultats

Mesures à la source

Les mesures parallèles de l'exploitant, de la DSN 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 le respect des limites réglementaires par l'exploitant en 2003. Comme le confirme la confrontation des rejets effectifs avec les rejets autorisés (Chap. 8.1), les activités rejetées sont nettement inférieures aux limites réglementaires. En synthèse, la figure 1 traduit ce constat du point de vue de l'impact des rejets sur le public en termes de doses par rapport à la valeur limite liée à la source de 0.2 mSv.

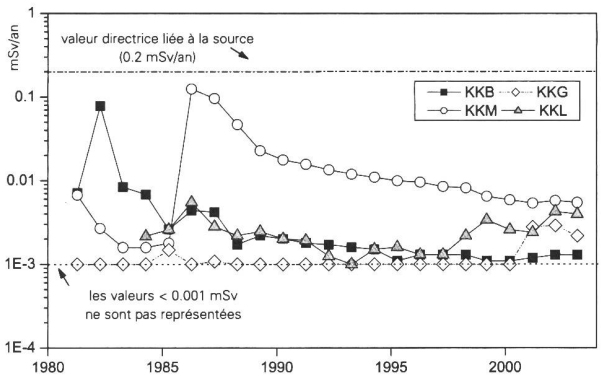


Figure 1
Dose reçue (calculée) sur la personne (adulte) la plus exposée dans le voisinage de chacune des centrales nucléaires pour chaque année de 1981 à 2003 (Données DSN).

Mesures de l'exposition ambiante

Les résultats de la surveillance continue de l'exposition ambiante par le réseau MADUK sont donnés au chapitre 8.2. Les mesures périodiques effectuées par la DSN à la clôture des centrales (voir Chap. 8.2) ainsi que celles mises en œuvre par l'OFSP dans un voisinage plus étendu ont montré que toutes les installations nucléaires ont respecté la valeur limite de 5 mSv pour le rayonnement direct. La figure 2 représente les mesures de débit de dose ambiante effectuées par l'OFSP au voisinage des installations nucléaires à l'aide d'une chambre d'ionisation placée à 1m au-dessus du sol.

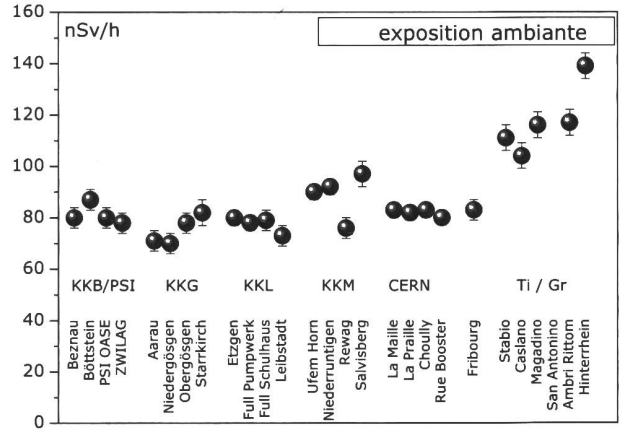


Figure 2
Contrôles du débit de dose ambiante effectués en 2003 par l'OFSP au voisinage des installations nucléaires à l'aide d'une chambre d'ionisation placée à 1m du sol. Les valeurs obtenues au voisinage du CERN, à Fribourg et au Tessin sont représentées à titre comparatif.

Les résultats des mesures effectuées auprès du CERN, à Fribourg, au Tessin et dans les Grisons sont également représentés à titre comparatif. Cette figure montre que l'exposition ambiante au voisinage des installations nucléaires ne se distingue pas de manière significative de celle mesurée à Fribourg (site hors influence). Il est intéressant de remarquer que les valeurs de débit de dose légèrement plus élevée 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 5). Les valeurs élevées enregistrées au sud des Alpes, sont essentiellement dues à la contamination rémanente en ^{137}Cs due à l'accident de Tchernobyl.

Mesures dans le milieu atmosphérique

Les mesures dans le milieu atmosphérique concernent l'analyse des précipitations et des aérosols de l'air par l'autorité de contrôle ainsi que des dépôts sur plaques de vaseline par l'exploitant. A l'exception de traces de ^{60}Co (0.9 micro-Bq/m^3) et d' ^{110m}Ag (0.5 micro-Bq/m^3) mises en évidence dans les filtres à aérosols provenant des environs de la centrale de Gösgen au mois de juin, ces mesures n'ont pas signalé la présence de radionucléides gamma, dont l'origine ne soit naturelle ou attribuable à la remise en suspension d'anciennes contaminations. Notons que l'impact radiologique de ces traces est négligeable, puisque les valeurs mesurées pour chacun de ces isotopes représentent moins de 0.0001% des limites d'immission suisse.

La figure 3 montre le suivi mensuel des concentrations du ^3H, radionucléide directeur dans les précipitations, pour les stations de Full (BWR KKL), de Niederruntigen (BWR KKM) ainsi que de Niedergösgen (PWR KKG). La figure 4 illustre, quant à elle, le suivi mensuel des concentrations du ^3H dans les précipitations dans les stations de Beznau (PWR KKB), du PSI et du ZWILAG. Rappelons que ces trois stations se situent dans un rayon de quelques

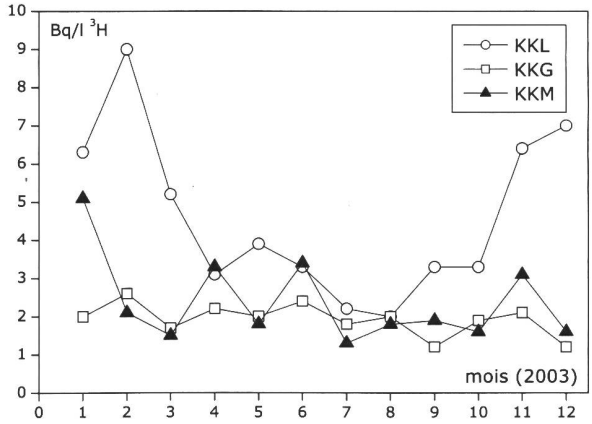


Figure 3
Suivi du tritium dans les précipitations au voisinage des centrales nucléaires de Leibstadt, Gösgen et Mühleberg en 2003 (mesures mensuelles de l'OFSP).

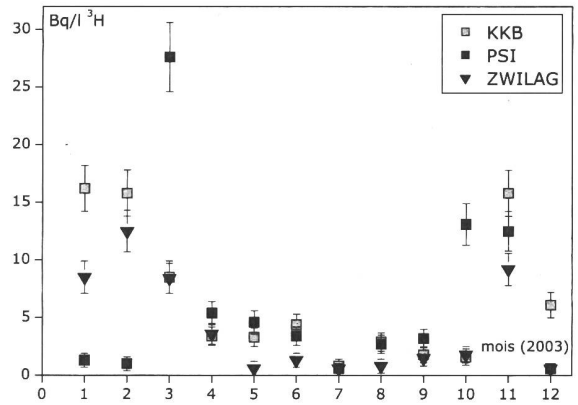


Figure 4
Suivi du tritium dans les précipitations au voisinage de la centrale nucléaire de Beznau, du PSI et du ZWILAG en 2003 (mesures mensuelles du PSI).

kilomètres seulement. Les valeurs plus élevées mesurées dans ces trois stations ainsi qu'à Leibstadt (également située dans un voisinage proche) en début et en fin d'année n'ont pour l'instant pas pu être expliquées, mais des investigations sont en cours. Notons que ces valeurs sont très inférieures aux limites.

Mesures dans le milieu terrestre

L'impact des rejets atmosphériques sur le milieu terrestre est avant tout examiné dans l'herbe, le sol, qui constitue un excellent intégrateur de pollution et permet de tenir compte des phénomènes d'accumulation à long terme et enfin dans les denrées alimentaires. A l'exception de traces (0.5 Bq/kg) de ^{60}Co détectées dans un échantillon de sol prélevé au voisinage de la centrale de Mühleberg, les résultats de ces examens sont conformes à ceux enregistrés dans les sites hors de l'influence des installations nucléaires. Ces résidus de ^{60}Co ne sont, par ailleurs, mesurables que dans les couches plus profondes du sol et proviennent des résines rejetées accidentellement en 1986. La figure 5 présente à titre d'exemple les concentrations de la contamination rémanente de ^{137}Cs dans les sols prélevés par l'OFSP en 2003. Ces valeurs témoignent des retombées de Tchernobyl et des essais nucléaires des années 60.

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 (Chap. 3.1) montrent que les valeurs dans le voisinage des installations nucléaires n'ont rien d'anormal par rapport aux autres sites. Des mesures complémentaires se trouvent aux chapitres 4.3 et 7.2 en particulier sur les teneurs en Pu, Am et ^{90}Sr.

Les denrées alimentaires constituent le prochain maillon susceptible de transférer les radionucléides jusqu'à l'homme. L'ensemble de ces mesures coordonnées par l'OFSP en étroite collaboration avec les laboratoires cantonaux (Chap. 5) ne mettent pas en évidence un marquage du milieu terrestre 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 confirment ce constat. Pour le reste, un impact des rejets atmosphériques des centrales nucléaires est avant tout perceptible pour le ^{14}C, dont les résultats sont présentés au chapitre 7.1. Les doses qui en résultent par ingestion de denrées alimentaires locales ne représentent cependant que quelques µSv. L'intérêt des mesures ^{14}C se situe aussi dans l'utilisation de ce traceur atmosphérique pour affiner la modélisation de la dispersion atmosphérique.

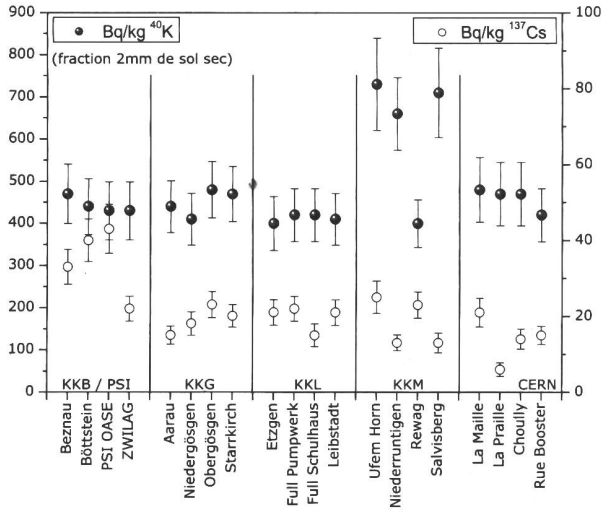


Figure 5
^{137}Cs et ^{40}K (naturel) dans les sols secs et tamisés (2mm) examinés par l'OFSP en 2003 (couche 0-5 cm).

Mesures dans le milieu aquatique

Les principaux résultats de l'examen des systèmes aquatiques sont présentés dans le chapitre 4.2. Dans l'eau l'impact des rejets liquides des installations nucléaires se mesure en particulier pour les isotopes du cobalt (^{58}Co provenant essentiellement de Beznau et ^{60}Co de Mühleberg) qui redonnent en partie l'image des activités rejetées. Par contre, pour le ^{137}Cs, il n'existe pas de corrélation entre les valeurs mesurées et les activités rejetées. Ce phénomène, déjà observé les années précédentes, s'explique par le fait que le ^{137}Cs mesuré provient essentiellement de la remobilisation des dépôts de Tchernobyl. Les mêmes isotopes ainsi que le ^{54}Mn et ^{65}Zn se retrouvent également dans les trappes à sédiments. Dans les poissons hormis le ^{40}K naturel et des traces de ^{137}Cs, aucun autre radionucléide

n'a été détecté. Enfin les examens des eaux de la nappe n'ont signalé la présence d'aucun radionucléide d'origine artificielle.

Les résultats complémentaires des mesures ^{3}H de l'OFSP dans l'eau de l'Aar en aval de Mühleberg (première centrale nucléaire sur son cours) et du Rhin (Weil/D) en aval de Leibstadt (dernière centrale nucléaire sur son cours en Suisse) n'ont rien montré d'anormal.

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 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 2003. Les résultats montrent en effet que les activités du ^{134}Cs, ^{60}Co et ^{137}Cs sont restées inférieures aux limites de détection de 0.3 à 0.4 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. Des activités proches de 20±4 Bq/l ont été mesurées dans tous les prélèvements, alors que l'activité de l'eau de référence (eau robinet IRA) ne dépasse pas 3 Bq/l.

Pour la mesure du ^{90}Sr, les prélèvements de deux mois de la chambre de contrôle et du bassin de contrôle sont réunis. Aucune mesure n'a révélé d'activité supérieure à la limite de détection de 5 mBq/l.

8.3.3 Conclusions

L'impact des installations nucléaires suisses sur l'environnement a été très faible en 2003. 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 qui en résultent 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'avère 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 installations en question n'a pas dépassé la valeur directrice de 0.2 mSv et s'est situé en 2003 entre 0.002 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 mesures environnementales permettent de détecter la radioactivité à des niveaux infimes, qui peuvent être à la limite sans aucune signification radiologique. 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. La surveillance de l'environnement sans cesse améliorée au voisinage des installations nucléaires répond aussi au besoin de vérifier que la modélisation des transferts n'engendre pas d'erreur sur les estimations dosimétriques réalisées à partir des rejets réels. Elle permet le suivi temporel des concentrations dans l'environnement, en particulier les processus possibles d'accumulation locale dans certains écosystèmes (sols, sédiments, feuillages). Enfin elle peut orienter des études nécessaires à la connaissance des processus de transfert, utiles en premier lieu à la maîtrise de situations accidentelles. Les évolutions au cours des dernières années ont porté sur le développement de technique de prélèvements et de mesures visant à abaisser les seuils de détection afin de permettre la mise en évidence de traces et d'utiliser certains radionucléides directeurs à la compréhension des processus environnementaux et à la validation de modèles sur lesquels reposent les prévisions en situation accidentelle.

Sites Internet

- **OFSP/DSN/PSI/CERN**

www.bag.admin.ch
www.hsk.psi.ch
www.cern.ch

- **France**

www.irsn.org
www.sfrp.asso.fr
www.cea.fr
www.cogema.fr
www.edf.fr

- **Centrales nucléaires**

Gösgen (KKG): www.kkg.ch
Leibstadt (KKL): www.kkl.ch
Beznau (KKB): www.nok.ch
Mühleberg (KKM): www.bkw.ch

8.4. Rejets radioactifs et environnement du CERN

S. Estier, H. Völkle, J.-L. Andrey, P. Beuret, G. Ferreri, A. Gurtner, M. Jungck
Section de surveillance de la radioactivité, OFSP, Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

P. Vojtyla et D. Wittekind CERN SC, 1211 GENEVE 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 Sûreté du CERN et de manière indépendante par les autorités compétentes des deux Etats Hôtes, l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) côté France et l'Office Fédéral de la Santé Publique (OFSP) côté Suisse. Dans ce rapport, les résultats de mesures concernent en particulier le territoire suisse. L'ensemble des mesures effectuées en 2003 prouve que le fonctionnement des installations du CERN était sans conséquence radiologique sur l'environnement et la population. Le contrôle des émissions montre que les rejets effectifs se situent également en 2003 nettement en dessous des limites réglementaires. Ce constat est confirmé par le contrôle des immissions dans l'environnement. Le CERN a bien respecté en 2003 comme dans les années précédentes la valeur directrice de dose liée à la source fixée à 0.3 mSv/an [1]. L'impact réel représente en fait moins de 10% de cette valeur, comme l'indique l'estimation pour le groupe critique, qui est de l'ordre de 0.03 mSv/an.

8.4.1. Objets de la surveillance

Les contrôles réalisés en 2003 par le CERN et de manière indépendante par les autorités de surveillance sont :

- Les 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 (émission).
- Les 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 (immission).

L'OFSP coordonne ses propres mesures, celles de l'Institut de Radiophysique Appliquée (IRA) ainsi que celles de l'Institut F.-A. Forel de l'Université de Genève (rivière du Nant d'Avril).

8.4.2. Contrôle des émissions du CERN

Les rejets de la 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 conservateurs. 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 de Meyrin sont présentés dans le tableau 1. 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 la 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.

8.4.3. Contrôle des immissions du CERN

8.4.3.1. Mesures effectuées par le CERN

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 stations de moniteurs de site (PMSxx) sont installées sur les sites du CERN et dans l'environnement. Ils se composent d'une chambre à ionisation pour détecter des photons et des particules chargées (muons) et d'un rem-compteur pour mesurer les neutrons diffusés.

Pour s'assurer que l'influence radiologique des rejets du CERN reste négligeable dans son voisi-

nage, la Commission de Sûreté du CERN procède à des mesures de radioactivité sur des échantillons de toutes sortes pris 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). Les eaux de rivières, les sédiments et les bryophytes dans l'eau des rivières (R-xx) ainsi que les 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.

Tableau 1
Les rejets de la radioactivité du CERN dans l'air par la ventilation en 2003.

Origine du rejet	Station	Air rejeté	^{11}C, ^{13}N, ^{14}N, ^{15}O, ^{41}Ar	^{7}Be aérosol	Bêta aérosol	Tritium
		10^6 m^3	TBq	MBq	MBq	GBq
Anneau principal PS	PMV174	265	1.10	40	1.5	2.1
TT10 injection PS-SPS	PMV11	292	3.7	112	3.8	11.3
TT60 extr. SPS-Ouest	PMV172	60	0.19	1.6	0.042	73
TT70 transfert, PS-SPS	PMV173	106	0.28	0.04	0.0	83
ISOLDE	PMV170	93	4.3	142	4.6	3.3
Evaporateur V0	V0	–	–	–	–	1.23
Site de Meyrin		**815**	**9.6**	**295**	**10.0**	**174**

Tableau 2
Les rejets de la radioactivité du CERN dans l'eau vers la Suisse en 2003.

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	0.17	12.9	Nant d'Avril
Site de Meyrin Sud-est	PMW101	2.1	5.8	24	Nant d'Avril
Site de Meyrin Nord-est	PMW102	0.44	0.20	0.79	Nant d'Avril
AD infiltration	PMW104	0.031	0.088	3.0	STEP Peney*)
Total vers la Suisse		**2.7**	**6.3**	**41**	

*) Station d'épuration d'eau à Peney/GE.

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 2003 par l'OFSP (voir Section 8.4.3.2).

L'influence des accélérateurs du CERN n'est visible que pendant le fonctionnement de ceux-ci au niveau de certaines stations de mesure, situées le long de la clôture du Site de Meyrin. Les mesures des moniteurs PMS118, PMS119, PMS120, et PMS121 sont influencées par la proximité de la zone expérimentale Ouest. Pour les moniteurs PMS122 et PMS123, l'influence de l'accélérateur PS est visible. Le moniteur PMS163 est positionné le long de la clôture du nord du site à côté de la douane franco-suisse. Les doses nettes mesurées ne dépassent pas 7% de la limite pour les rayonnements diffusés fixée à 1.5 mSv/an [2].

Les seuls radioéléments de demi-vie longue identifiés dans l'air dans le cadre du programme de surveillance de routine et qui peuvent provenir du CERN sont le ^{7}Be, le ^{22}Na et le ^{24}Na. 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. Donc il peut servir comme un indicateur des rejets atmosphériques.

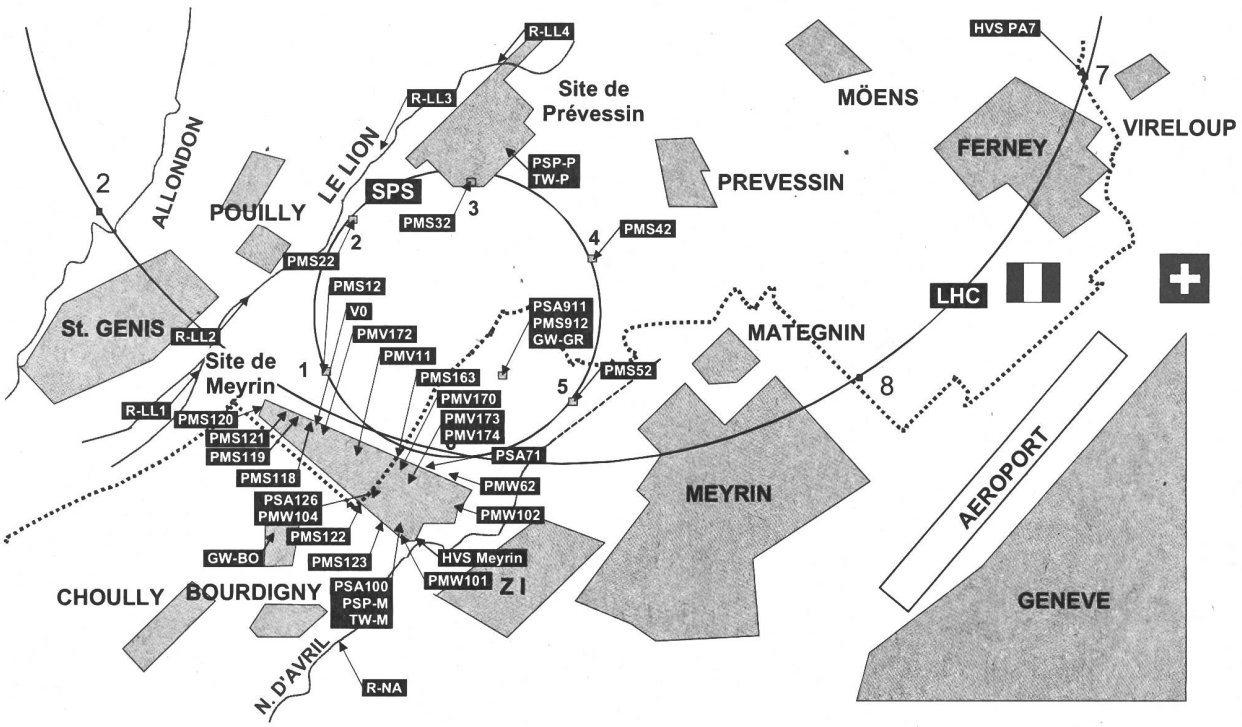


Figure 1
Les sites de Meyrin et de Prévessin du CERN, l'implantation de l'anneau du Super synchrotron à proton (SPS) et du futur Grand collisionneur à hadrons (LHC) dans la région frontalière entre la France et la Suisse ainsi que les emplacements des stations de monitoring et des endroits d'échantillonnage.

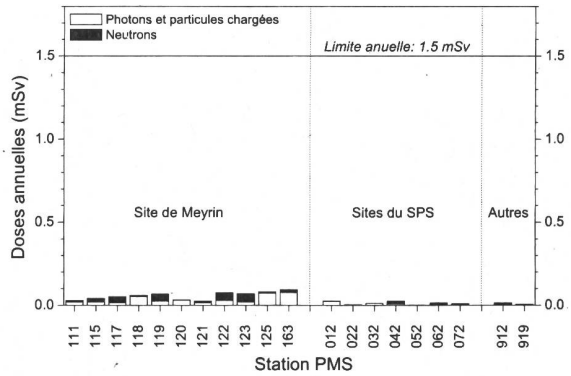


Figure 2
Doses nettes annuelles des moniteurs de rayonnements diffusés en 2003.

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 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 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 majorité du ^{7}Be naturel est produite, et la troposphère) et spatiales (remise en suspension par le vent ou par le trafic routier de l'aérosol déjà déposé au niveau du sol). Ces variations sont bien observables dans la figure 3.

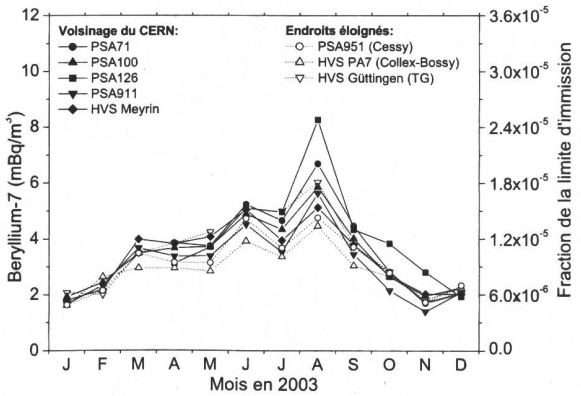


Figure 3
Activité du ^{7}Be dans les aérosols de 8 stations de mesure dont 5 au voisinage des points de rejet du CERN en 2003. Station de mesure PSA71 : Site du SPS BA-7. PSA100 : Site CERN de Meyrin. PSA126 : Proche du complexe PS. PSA911 : Près d'une ferme de Meyrin. HVS Meyrin, HVS Güttingen/TG : Echantillonneurs OFSP à haut débit sur le Site de Meyrin et à Güttingen/TG. PSA951 : Cessy, France. HVS PA7 : Echantillonneur CERN à haut débit près de Collex-Bossy/GE.

Il est impossible de distinguer l'effet des rejets du CERN des variations naturelles sauf pour la station PSA126 qui se trouve près du complexe de l'accélérateur PS au milieu du Site de Meyrin. Néanmoins, la contribution éventuelle du CERN aux valeurs mesurées à PSA126 ne dépasse pas 4 mBq/m^3, soit environ 0.0012% de la limite d'immission suisse [3]. En août 2003, 30 ± 20 µBq/m^3 de ^{22}Na ont été mesuré sur les filtres de la station PSA126 (0.00023% de la limite d'immission suisse [3]). Comme le ^{7}Be, le ^{22}Na est produit dans l'atmosphère par les rayonnements cosmiques. Cette valeur témoigne les rejets du CERN, car les niveaux naturels du ^{22}Na dans l'air sont de quelques µBq/m^3.

A part la radioactivité exclusivement naturelle, le seul radioélément montrant une activité notable dans les échantillons de sédiments et de mousse de la rivière Nant d'Avril est le ^{7}Be. Une contribution du CERN aux flux de ^{7}Be dans les rivières doit être faible et bien inférieure aux apports naturels [4]. Aucun autre radioélément provenant du CERN n'a été identifié dans le cadre du programme réglementaire de routine du CERN. Pourtant des mesures très sensibles de l'Institut F.-A. Forel ont décelé des traces de radioéléments provenant du CERN dans la rivière, mais en concentrations négligeables, celles-ci ne dépassants pas 0.12% (^{54}Mn dans les sédiments) des limites réglementaires [3, 4].

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

Comme le montre la figure 4, les contributions des activités du CERN à la dose efficace pour le groupe critique qui vit aux abords de l'Organisation correspondent à environ 3.1% 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 0.025 mSv, dont 84% sont dus aux rayonnements ionisants directs surveillés en ligne, peut être comparée aux variations des doses naturelles qui sont de l'ordre de 0.2 mSv dans le bassin lémanique.

8.4.3.2. Mesures effectuées par l'OFSP

L'OFSP surveille l'environnement du CERN de manière indépendante par les mesures suivantes :

- Exposition ambiante (11 dosimètres à thermoluminescence évalués par l'IRA) et parcours de mesures instantanées en 10 sites limitrophes du CERN et 10 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 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).

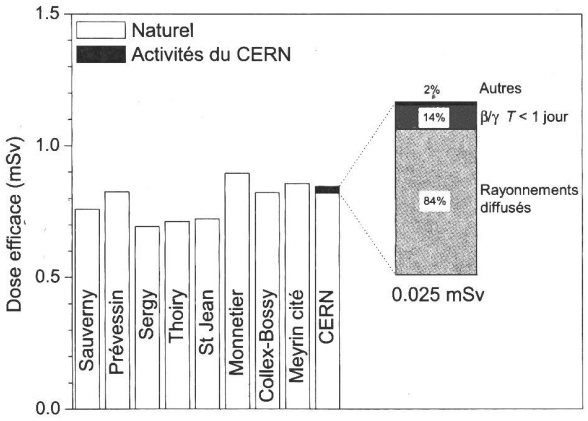


Figure 4
Contribution due aux activités du CERN à la dose annuelle sur le Site de Meyrin comparées aux variations des doses externes naturelles dans des communes françaises et suisses à proximité. La contribution du CERN de 0.025 mSv doit être comparée à la valeur directrice de dose liée à la source de 0.3 mSv [1].

Mesures de l'exposition ambiante

Le contrôle de l'exposition ambiante basé sur les dosimètres TLD en 11 emplacements au voisinage du CERN n'a pas signalé de valeurs indicatives d'un impact notable des installations du CERN. Comme en 2002, les valeurs 2003 comprises entre 0.73 et 1.02 mSv sont dans le domaine habituel de l'exposition naturelle et de ses fluctuations (moyenne pour tous les sites : 0.85 ± 0.09 mSv).

Les relevés instantanés réalisés par l'OFSP à l'aide d'une chambre d'ionisation (figure 5) le 30.9.2003 ont confirmé ce constat. Les valeurs du débit d'exposition ambiante se sont échelonnées de 73 à 106 nSv/h ; en moyenne pour les sites limitrophes 89 ± 7 nSv/h et pour les sites distants 90 ± 9 nSv/h.

Mesures dans le milieu atmosphérique

La surveillance de l'air réalisée par l'OFSP en continu à la station du réseau d'alarme RADAIR n'a pas signalé d'anomalies en 2003. Les résultats des mesures hebdomadaires de bas niveau (fig. 6) basées sur le collecteur à haut débit sont conformes à ceux enregistrés dans les stations hors d'influence du CERN, où l'on constate la prédominance des radioéléments d'origine naturelle ^{7}Be et ^{210}Pb.

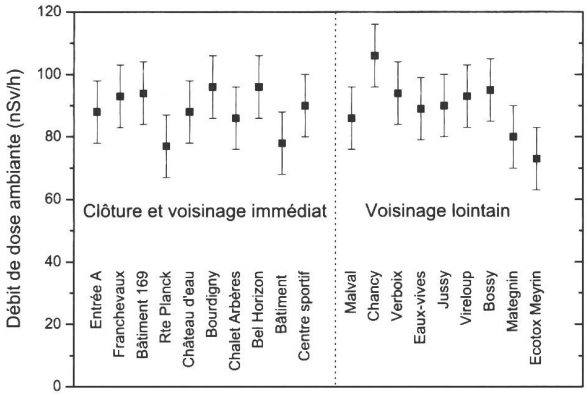


Figure 5
Mesures du débit de dose ambiante effectuées à l'aide d'une chambre d'ionisation AUTOMESS placée 1 m au-dessus du sol.

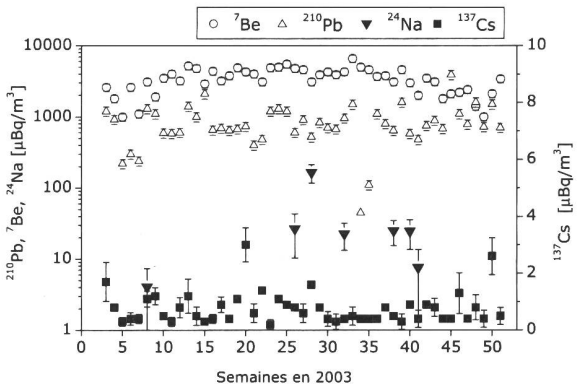


Figure 6
Mesures spectrométriques des aérosols collectés hebdomadairement à la station OFSP de haut débit au CERN.

Parmi les radioéléments d'origine artificielle, des traces de ^{137}Cs (valeur maximale de 0.003 mBq/m^3) dues à la remise en suspension des dépôts de Tchernobyl ont été détectées à plusieurs reprises. Des injections de ^{24}Na (valeurs comprises entre 0.004 et 0.17 mBq/m^3) et de ^{131}I (valeurs comprises entre 0.0004 et 0.001 mBq/m^3) attribuables aux accélérateurs du CERN ont également été détectées sporadiquement. L'impact radiologique du ^{24}Na et de l'^{131}I est tout à fait négligeable, car les valeurs les plus élevées mesurées pour chacun de ces isotopes ne représentent qu'environ 0.0002%, resp. 0.00004% des limites d'immission suisse [3]. L'identification d'un aussi faible niveau de radioactivité nécessite une méthode extrêmement sensible, comme celle mise en œuvre par l'OFSP.

Mesures dans le milieu terrestre

Les mesures de spectrométrie gamma in situ permettent de distinguer les contributions d'origine naturelle et artificielle à l'exposition externe du public. Les mesures 2003 n'ont pas indiqué d'apport artificiel ponctuel ou suite à une accumulation attribuable aux activités du CERN (fig. 7).

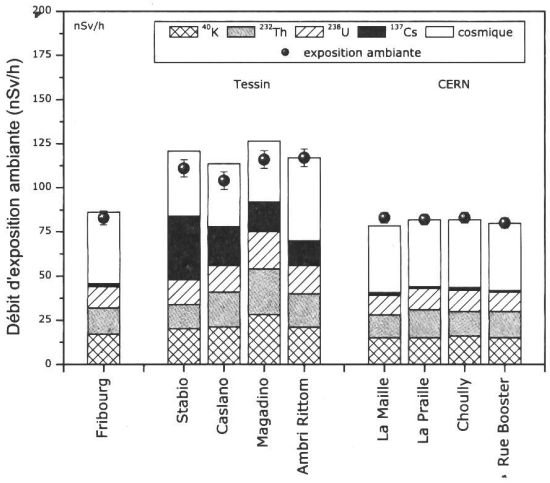


Figure 7
Contributions individuelles au débit d'exposition ambiante dans les sites examinés par spectrométrie gamma in situ en 2003 (Fribourg, Tessin, CERN).

Ce constat est confirmé par les analyses en laboratoire sur les échantillons de sol, d'herbe et autres produits locaux. Les résultats sont typiques de ceux obtenus dans les 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 (Etats-Unis et l'Union soviétique) et dans une moindre mesure de l'accident de Tchernobyl. A ce titre la figure 7 compare l'impact actuel de la contamination par le ^{137}Cs sur l'exposition ambiante à la station de référence de Fribourg et dans 4 sites du Tessin plus marqués par les retombées par rapport aux 4 sites du voisinage du CERN.

Mesures dans le milieu aquatique

Les concentrations du tritium dans les échantillons mensuels du Rhône à Chancy n'ont pas montré d'impact notable des installations du CERN (fig. 8). Les concentrations mesurées comprises entre 1 et 3 Bq/l sont conformes à la normale. La limite d'immission pour le tritium dans l'eau est 12'000 Bq/l [3].

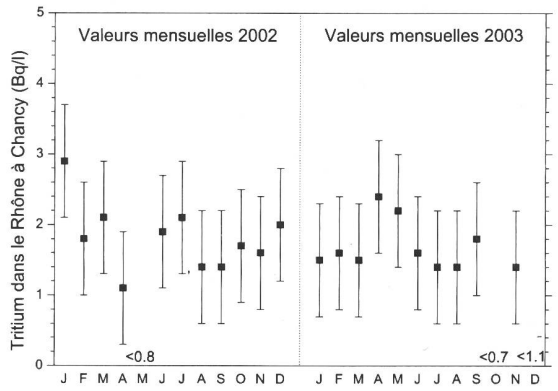


Figure 8
Suivi mensuel des concentrations de tritium dans le Rhône à Chancy en 2002 et 2003.

Le programme de surveillance du Nant d'Avril conduit par l'Institut F.-A. Forel à l'initiative de l'OFSP et du CERN depuis 1999 a été poursuivi. Les résultats des mesures spectrométriques des eaux et des sédiments effectués d'octobre 2002 à novembre 2003 ont montré que, comme les années précédentes, les radioéléments dominants sont le ^{40}K, les isotopes des séries primordiales (^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th) et le ^{7}Be, tous d'origine naturelle, ainsi que le ^{137}Cs qui résulte de l'érosion des sols, contaminés par les essais nucléaires dans l'atmosphère (Etats-Unis et l'Union soviétique) et par l'accident de Tchernobyl. Trois radioéléments provenant du CERN sont toujours sporadiquement détectés dans les échantillons d'eau (^{22}Na, ^{65}Zn) et de sédiments (^{54}Mn). Par contre les isotopes du Cobalt (^{57}Co, ^{58}Co, ^{60}Co) n'ont pas été détectés au cours de la période de surveillance [4]. Comme le montre la figure 9, les activités maximales mesurées dans les eaux et les sédiments du Nant d'Avril (fig. 9a) correspondent à de très faibles pourcentages des limites d'immission (fig. 9b).

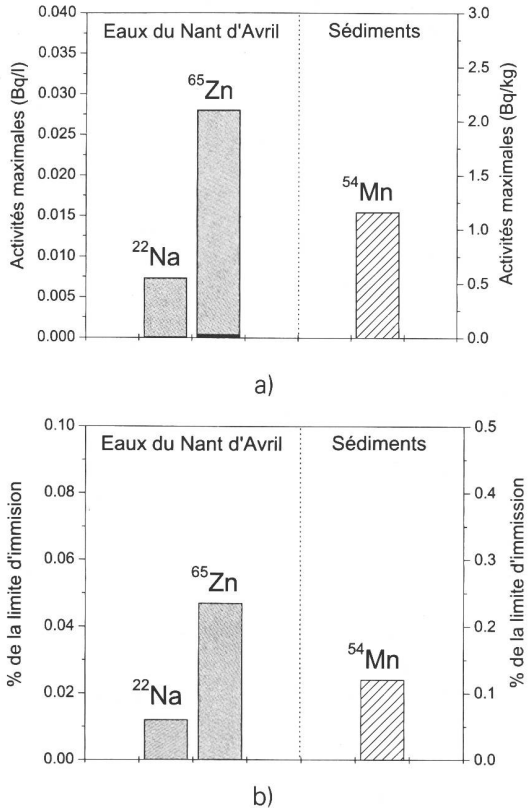


Figure 9
Activités maximales dans les eaux et les sédiments du Nant d'Avril a) et comparaison avec les limites d'immission b).

8.4.4. Conclusions

- L'ensemble des résultats des mesures du CERN et du contrôle indépendant de l'OFSP atteste que, en 2003, comme lors des années précédentes le CERN est resté bien en dessous de la valeur directrice de dose liée à la source fixée à 0.3 mSv/an [1].
- Les dispositifs de surveillance (prélèvements et mesures) mis en œuvre par le CERN et l'OFSP 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 0.12% des limites suisses.
- Pour une estimation des doses efficaces annuelles, le groupe critique de la population vivant à proximité du Site de Meyrin a été identifié. Ensuite à partir des rayonnements ionisants et des rejets des radioéléments du Site de Meyrin, les doses efficaces ont été calculés 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 critique représente 0.025 mSv en 2003. La valeur correspondante en 2002 était de 0.029 mSv. Ces doses correspondent à environ 3.1% de la dose externe due aux sources naturelles.
En plus des contrôles d'ordre réglementaire, les mesures d'ordre radioécologique effectuées dans le Nant d'Avril par l'Institut F.-A. Forel ont confirmé que l'impact du CERN est très faible [4].

La radioactivité de l'environnement et les doses de rayonnements dans le 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 très 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. A l'image des examens in situ de la figure 7, les contributions d'origine naturelle prédominent. Les activités du CERN sont donc également restées en 2003 sans conséquence radiologique préjudiciable à l'environnement et à la population avoisinante.

8.4.5. Remerciements

Nous remercions les instituts intervenant dans le programme de mesure au voisinage du CERN, en particulier l'Institut de Radiophysique Appliquée à Lausanne ainsi que l'Institut F.-A. Forel à Versoix. Notre reconnaissance s'adresse également à toutes les personnes qui ont favorisé le bon déroulement de nos prélèvements et mesures dans le Canton de Genève et dans le Pays de Gex.

8.4.6. 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] Manuel de Radioprotection 1996, CERN, (1996).

[3] Ordonnance sur la radioprotection (ORaP), 814.501, Berne (2000), Annexe 3.

[4] J.-L. Loizeau, V. Lopez et Ph. Arpagaus, Rapport No 4 sur les mesures de la radioactivité dans le Nant d'Avril (Genève), Octobre 2002 – Novembre 2003, Institut F.-A. Forel (2003).

[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).

8.4.7. Glossaire

AD	Décélérateur d'antiprotons
ISOLDE	Isotope Separator On-Line Device
LHC	Grand collisionneur à hadrons (en construction)
PS	Synchrotron à protons
SPS	Super synchrotron à protons
TT10	Tunnel d'injection de faisceau du PS au SPS
TT60	Tunnel d'extraction de faisceau du SPS au hall expérimentale Ouest
TT70	Tunnel de transfert du PS au SPS
V0	Evaporateur de l'eau d'infiltration dans une ancienne zone cible du SPS