

**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:** - (2008)

**Rubrik:** Überwachung der Kernanlagen : Emissionen und Immissionen = Surveillance des installations nucléaires : émissions 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:** 01.04.2026

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

# Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz

## Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse

### Ergebnisse 2008 Résultats 2008

## Kapitel 8 Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen

## Chapitre 8 Surveillance des installations nucléaires: Emissions et Immissions

# Inhaltverzeichnis / Sommaire

|                                                                                                                    |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Kapitel 8 Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen</b>                                           | <b>119</b> |
| Zusammenfassung                                                                                                    | 119        |
| <b>Kapitel 8.1 Emissionen aus den Kernanlagen</b>                                                                  | <b>120</b> |
| <b>Kapitel 8.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistungen in der Umgebung der Kernanlagen</b>                               | <b>129</b> |
| <b>Kapitel 8.3 Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)</b> | <b>130</b> |
| Zusammenfassung                                                                                                    | 130        |
| Übersicht                                                                                                          | 130        |
| Systeminstandhaltung und –ergänzung                                                                                | 130        |
| Systemverfügbarkeit und Störungen                                                                                  | 131        |
| Qualitätssicherung                                                                                                 | 132        |
| Messergebnisse                                                                                                     | 132        |
| <b>Chapitre 8.4 Les installations nucléaires et l'environnement</b>                                                | <b>135</b> |
| Résumé                                                                                                             | 135        |
| Introduction                                                                                                       | 135        |
| Résultats                                                                                                          | 136        |
| Conclusions                                                                                                        | 140        |
| <b>Chapitre 8.5 Rejets et environnement du CERN (mesures CERN)</b>                                                 | <b>141</b> |
| Synthèse                                                                                                           | 141        |
| Objets de la surveillance                                                                                          | 142        |
| Contrôle des émissions                                                                                             | 142        |
| Contrôle des immissions                                                                                            | 143        |
| Conclusions                                                                                                        | 145        |
| <b>Chapitre 8.6 Environnement du CERN (mesures OFSP)</b>                                                           | <b>146</b> |
| Résumé                                                                                                             | 146        |
| Programme de surveillance de l'OFSP                                                                                | 146        |
| Mesures de l'exposition ambiante                                                                                   | 147        |
| Mesures dans le milieu atmosphérique                                                                               | 147        |
| Mesures dans le milieu terrestre                                                                                   | 148        |
| Mesures dans le milieu aquatique                                                                                   | 149        |
| Conclusions                                                                                                        | 150        |
| <b>Kapitel 8.7 Überwachung des zentralen Zwischenlagers (ZWILAG)</b>                                               | <b>151</b> |
| Zusammenfassung:                                                                                                   | 151        |
| Einleitung                                                                                                         | 151        |
| Radiochemische Trennmethoden                                                                                       | 152        |
| Resultate und Diskussion                                                                                           | 152        |

# Kapitel 8

## Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen

**F. Cartier, A. Leupin**

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, 5232 Villigen-HSK (bis 31.12.2008)  
Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, 5232 Villigen-ENSI (ab 1.1.2009)

### Zusammenfassung

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser und der Abluft lagen im Jahr 2008 für die vier Schweizer Kernkraftwerke Beznau (KKB 1 und KKB 2), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) und Mühleberg (KKM) sowie für das Paul Scherrer Institut (PSI) und das am gleichen Standort gelegene Zentrale Zwischenlager Würenlingen (ZZL) deutlich unterhalb der Jahres- und Kurzzeit-Abgabelimite. Die aus den tatsächlichen Abgaben und der Direktstrahlung aus der jeweiligen Anlage errechnete Strahlenexposition liegt selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren für Erwachsene und Kleinkinder weit unterhalb des für Standorte von Kernanlagen festgelegten quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0.3 mSv pro Jahr.

Die externe Strahlung wird mit dem Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) ständig überwacht. In der Umgebung des KKB und des PSI sind 17, beim KKG 16 und beim KKL und KKM je 12 Messsonden in einem Abstand von bis zu ca. 5 km um die Anlagen in Betrieb. Die Messwerte dieser MADUK-Sonden werden alle 10 Minuten in die Zentrale des ENSI übertragen und automatisch analysiert. Allfällige Abweichungen vom Schwankungsbereich der natürlichen Strahlung werden signalisiert und automatisch dem Piketieringenieur des ENSI gemeldet. Die im Berichtsjahr registrierten, nicht meteorologisch bedingten Abweichungen oder Ausfälle liessen sich mit in der Nähe der MADUK-Sonden durchgeführten Kalibrierungsarbeiten an NADAM-Sonden, mit Defekten der Sonderelektronik oder mit Umbauten an MADUK-Sonden erklären. Für detaillierte Angaben sei auf das Kapitel 8.3 verwiesen.

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

Die im Boden gemessenen künstlichen Radionuklide ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) können im Allgemeinen mit den Atomwaffentests oder mit dem Reaktorunfall in Tschernobyl in Verbindung gebracht werden. Die langjährige Messreihe der Universität Bern von  $^{14}\text{C}$  in Baumblättern in der Umgebung der Kernkraftwerke wurde fortgesetzt.

Im aquatischen Milieu zeigten Wasser- und Sedimentproben Spuren von künstlichen Radionukliden, wie  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Co}$  und  $^{60}\text{Co}$ , welche aus den Abgaben der Kernanlagen stammen. Die grössten Abgaben radioaktiver Stoffe (ausser Tritium) erfolgen während den Revisionsabstellungen. Für das insbesondere in Sedimentproben ebenfalls gemessene  $^{137}\text{Cs}$  ist keine eindeutige Zuordnung in Anteile aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl und den Abgaben der Kernkraftwerke mehr möglich. Bei den andern Nukliden zeigen die Messungen generell den aufgrund der Abgaben erwarteten Verlauf, wobei gewisse Messwerte vermutlich durch einen relativ langsamen Partikeltransport in den Monaten nach dem Revisionsstillstand höher liegen.

In einer von elf Grasproben aus der Umgebung des KKM konnte das Radionuklid  $^{54}\text{Mn}$  nachgewiesen werden (1.1 Bq/kg), wobei die Signifikanz mit einem Fehler der Messung von beinahe 100% jedoch schwach ist.

In der Umgebung von Mühleberg wurden im Berichtsjahr auf den Luftfiltern des Hochvolumensammlers Spuren von  $^{60}\text{Co}$  in den Monaten April, Mai und Oktober festgestellt (0.4 bis 0.8  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ). In den Niederschlägen war hingegen keine  $^{60}\text{Co}$ -Aktivität feststellbar. Das ebenfalls messbare  $^7\text{Be}$  ist natürlichen Ursprungs, beim  $^{137}\text{Cs}$  handelt es sich wie im Boden auf Übrigbleibsel der Atomwaffentests und des Tschernobyl-Unfalls. Alle Messwerte sind im Vergleich zu den Immissionsgrenzwerten gemäss Artikel 102 der Strahlenschutzverordnung aber radiologisch unbedeutend. In Lebensmitteln konnte keine Erhöhung von künstlichen Radionukliden gemessen werden, die auf Abgaben der schweizerischen Kernanlagen schliessen lassen.



# Kapitel 8.1

## Emissionen aus den Kernanlagen

**F. Cartier, A. Leupin**

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, 5232 Villigen-HSK (bis 31.12.2008)  
Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, 5232 Villigen-ENSI (ab 1.1.2009)

Die Abgaben von radioaktiven Stoffen mit der Abluft und dem Abwasser der schweizerischen Kernkraftwerke sind in den Figuren 1a – 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 2008. 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 Abgaberegimente 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 beim KKB und beim KKG ungefähr 0.001 mSv, beim KKL und beim KKM ungefähr 0.005 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung betrugen somit im Jahr 2008 nur einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwerts.

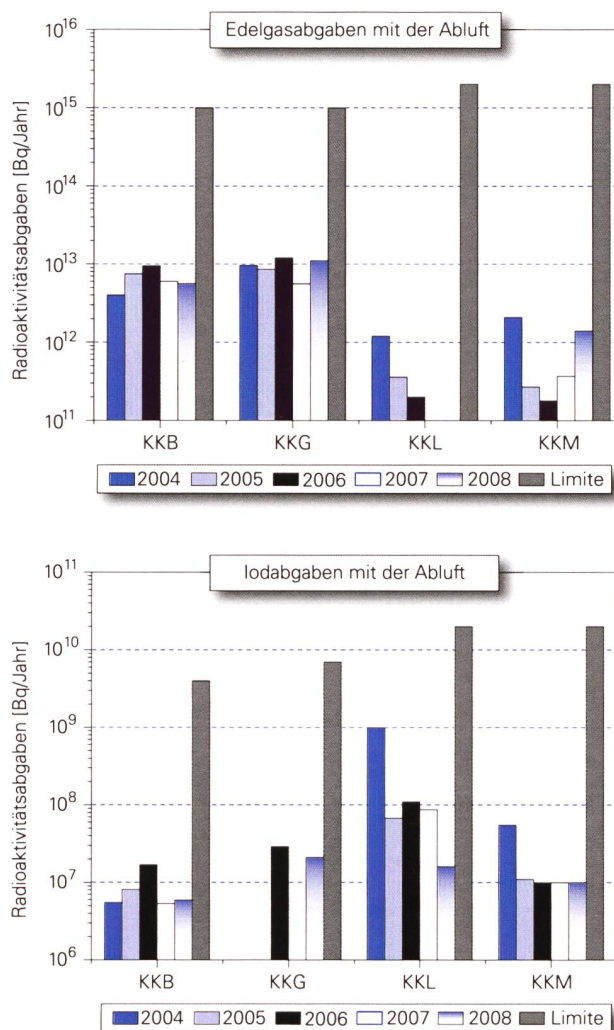
Aufgrund eines internationalen Vergleichs stellte die HSK im Rahmen der Aufhebung der Befristung der Betriebsbewilligung für den Block 2 des KKB die Auflage, dass das KKB bis im Jahr 2007 seine Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser auf einen Zielwert von 1 GBq – entsprechend dem Medianwert der europäischen Druckwasserreaktoren zum Zeitpunkt der Formulierung der Auflage – senken soll. KKB hat im Berichtsjahr diese Auflage wie bereits im Vorjahr erfüllt. Die HSK stellte beim KKM, im Rahmen der vom Bundesrat für das Jahr 2005 verlangten Periodischen Sicherheitsüberprüfung, eine entsprechende Auflage: KKM hat Massnahmen zu ergreifen, um die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser ab Ende 2010, unter Wahrung der Verhältnismässigkeit, auf einen Zielwert von weniger als 1 GBq pro Jahr (ohne Tritium) zu reduzieren. Im Berichtsjahr erreichte das KKM hier insbesondere durch Separation der verschiedenen Abwasserspade eine Reduktion der flüssigen Abgaben auf 2.1 GBq im Vergleich zum Vorjahr (7.6 GBq), es sind aber weitere Anstrengungen notwendig, um die Auflage bis Ende 2010 erfüllen zu können.

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

von  $^{14}\text{C}$  aufgrund der Resultate einer internationalen Vergleichsmessung neu kalibriert, was dazu führte, dass die für Einzelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis seit 1998 etwas höher ist. Das KKG führt seit Ende 2001 Messungen der  $^{14}\text{C}$ -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 diversitären Standards zu Beginn des Jahres 2004. Alle Schweizer Kernkraftwerke führten 2008 die  $^{14}\text{C}$ - und die  $^3\text{H}$ -Messungen auch nach Abschluss der von der HSK geforderten, mindestens einjährigen Messperiode auf freiwilliger Basis fort. Somit konnten auch 2008 zur Ermittlung des jeweiligen Dosisbeitrags von  $^{14}\text{C}$  die gemessenen Werte herangezogen werden.

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.

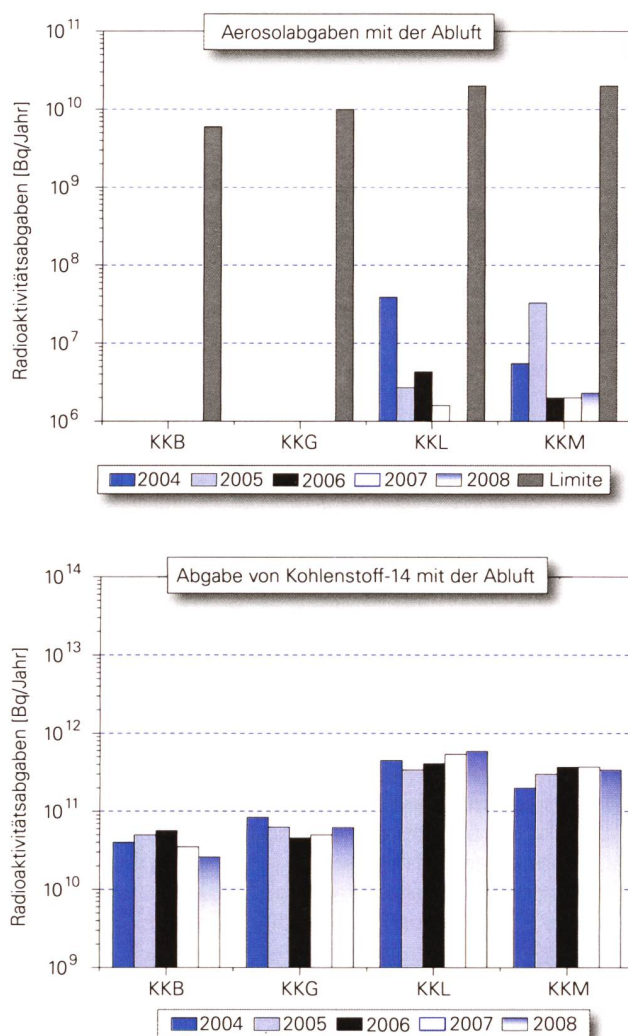
Im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) erfolgten im Berichtsjahr weitere Einlagerungen in die Lagergebäude für hoch- und mittelaktive Abfälle und im Hochregallager der Konditionieranlage. In der Plasma-Anlage fanden wiederum eine Frühjahres- und eine Herbstverbrennungskampagne statt. Die aufgrund der Abgaben unter ungünstigen Annahmen berechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Umgebungsbevölkerung lag bei 0.001 mSv.



**Figur 1a:**

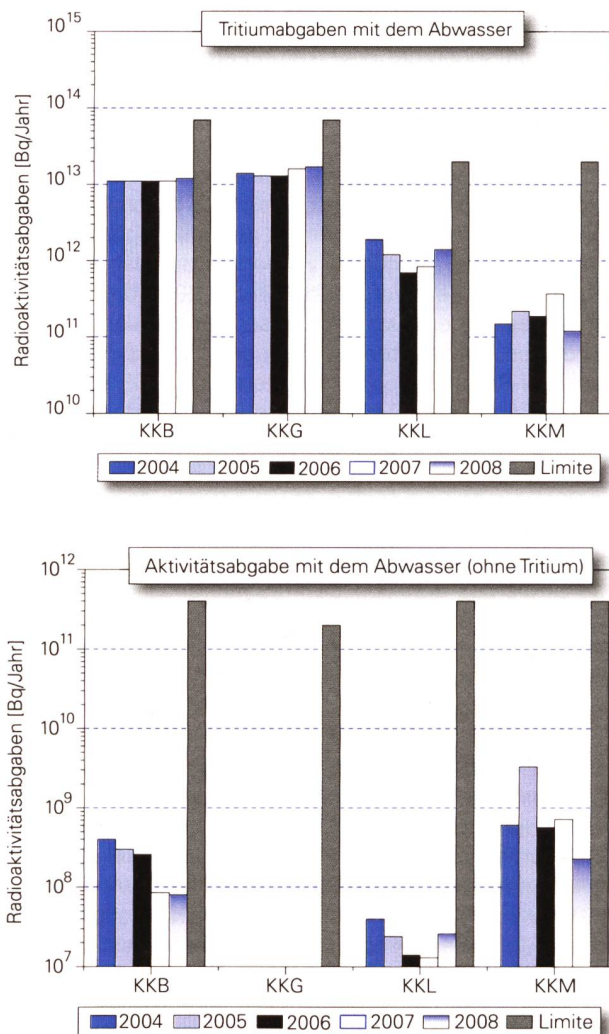
Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre in den letzten fünf Jahren (2004 bis 2008) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten. Falls die Abgaben von Edelgasen unterhalb von  $10^{11}$  Bq und jene von Jod unterhalb von  $10^6$  Bq liegen, werden sie im Diagramm nicht dargestellt.





**Figur 1b:**

Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre in den letzten fünf Jahren (2004 bis 2008) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten. Falls die Abgaben von Aerosolen unterhalb von  $1.0 \times 10^6$  Bq liegen, werden sie im Diagramm nicht dargestellt. Für  $^{14}\text{C}$  besteht keine Abgabelimite.



**Figur 1c:**

Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an das Abwasser in den letzten fünf Jahren (2004 bis 2008) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten. Falls die Abgaben mit dem Abwasser unterhalb von  $1.0 \times 10^7$  Bq liegen, werden sie im Diagramm nicht dargestellt.

**Tabelle 1:**

Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2008 für die Kernkraftwerke (siehe Figur 1) 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 <sup>4</sup>                    | Limiten <sup>1</sup> | Tatsächliche Abgaben <sup>2,4</sup> |                    |                       | Berechnete Jahresdosis <sup>3</sup> |                    |
|-------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------|
|             |                                  |                                                 |                      | Äquivalentabgaben                   |                    | unnormiert            |                                     |                    |
|             |                                  |                                                 | Bq pro Jahr          | Bq pro Jahr                         | Prozent der Limite | Bq pro Jahr           | Erwachsene mSv/Jahr                 | Kleinkind mSv/Jahr |
| KKB1 + KKB2 | Abwasser<br>3'730 m <sup>3</sup> | Nuklidgemisch ohne Tritium                      | 4·10 <sup>11</sup>   | -                                   | <0.1%              | 8.4·10 <sup>8</sup>   | <0.001                              | <0.001             |
|             |                                  | Tritium                                         | 7·10 <sup>13</sup>   | 1.2·10 <sup>13</sup>                | 17%                | 1.2·10 <sup>13</sup>  | <0.001                              | <0.001             |
|             | Abluft                           | Edelgase                                        | 1·10 <sup>15</sup>   | 4.9·10 <sup>12</sup>                | 0.5%               | 4.6·10 <sup>12</sup>  | <0.001                              | <0.001             |
|             |                                  | Aerosole                                        | 6·10 <sup>9</sup>    | -                                   | <0.1%              | 3.4·10 <sup>5</sup>   | <0.001                              | <0.001             |
|             |                                  | Iod: <sup>131</sup> I                           | 4·10 <sup>9</sup>    | 5.9·10 <sup>6</sup>                 | 0.1%               | 5.9·10 <sup>6</sup>   | <0.001                              | <0.001             |
|             |                                  | Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub> | -                    | -                                   | -                  | 2.6·10 <sup>10</sup>  | <0.001                              | 0.0012             |
|             | Dosis total                      |                                                 |                      |                                     |                    |                       | <0.001                              | 0.0014             |
| KKM         | Abwasser                         | Nuklidgemisch ohne Tritium                      | 4·10 <sup>11</sup>   | -                                   | <0.1%              | 2.1·10 <sup>9</sup>   | <0.001                              | <0.001             |
|             | 3'781 m <sup>3</sup>             | Tritium                                         | 2·10 <sup>13</sup>   | 1.2·10 <sup>11</sup>                | 0.6%               | 1.2·10 <sup>11</sup>  | <0.001                              | <0.001             |
|             | Abluft                           | Edelgase                                        | 2·10 <sup>15</sup>   | -                                   | <0.1%              | 3.9·10 <sup>11</sup>  | <0.001                              | <0.001             |
|             |                                  | Aerosole                                        | 2·10 <sup>10</sup>   | -                                   | <0.1%              | 2.3·10 <sup>6</sup>   | 0.0038                              | 0.0033             |
|             |                                  | Iod: <sup>131</sup> I                           | 2·10 <sup>10</sup>   | -                                   | <0.1%              | 1.0·10 <sup>7</sup>   | <0.001                              | <0.001             |
|             |                                  | Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub> | -                    | -                                   | -                  | 3.4·10 <sup>11</sup>  | 0.0013                              | 0.0019             |
|             | Dosis total                      |                                                 |                      |                                     |                    |                       | 0.0042                              | 0.0049             |
| KKG         | Abwasser                         | Nuklidgemisch ohne Tritium                      | 2·10 <sup>11</sup>   | -                                   | <0.1%              | 1.2·10 <sup>7</sup>   | <0.001                              | <0.001             |
|             | 7'763 m <sup>3</sup>             | Tritium                                         | 7·10 <sup>13</sup>   | 1.7·10 <sup>13</sup>                | 24%                | 1.7·10 <sup>13</sup>  | <0.001                              | <0.001             |
|             | Abluft                           | Edelgase                                        | 1·10 <sup>15</sup>   | <1.1·10 <sup>13</sup>               | <1.1%              | <1.0·10 <sup>13</sup> | <0.001                              | <0.001             |
|             |                                  | Aerosole                                        | 1·10 <sup>10</sup>   | -                                   | <0.1%              | 1.7·10 <sup>5</sup>   | <0.001                              | <0.001             |
|             |                                  | Iod: <sup>131</sup> I                           | 7·10 <sup>9</sup>    | 2.1·10 <sup>7</sup>                 | 0.3%               | 2.1·10 <sup>7</sup>   | <0.001                              | <0.001             |
|             |                                  | Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub> | -                    | -                                   | -                  | 6.2·10 <sup>10</sup>  | <0.001                              | <0.001             |
|             | Dosis total                      |                                                 |                      |                                     |                    |                       | <0.001                              | <0.001             |
| KKL         | Abwasser                         | Nuklidgemisch ohne Tritium                      | 4·10 <sup>11</sup>   | -                                   | <0.1%              | 1.5·10 <sup>8</sup>   | <0.001                              | <0.001             |
|             | 13'469 m <sup>3</sup>            | Tritium                                         | 2·10 <sup>13</sup>   | 1.4·10 <sup>12</sup>                | 7.0%               | 1.4·10 <sup>12</sup>  | <0.001                              | <0.001             |
|             | Abluft                           | Edelgase                                        | 2·10 <sup>15</sup>   | -                                   | <0.1%              | 1.0·10 <sup>11</sup>  | <0.001                              | <0.001             |
|             |                                  | Aerosole                                        | 2·10 <sup>10</sup>   | -                                   | <0.1%              | 1.6·10 <sup>6</sup>   | <0.001                              | <0.001             |
|             |                                  | Iod: <sup>131</sup> I                           | 2·10 <sup>10</sup>   | -                                   | 0.4%               | 1.6·10 <sup>7</sup>   | <0.001                              | <0.001             |
|             |                                  | Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub> | -                    | -                                   | -                  | 5.9·10 <sup>11</sup>  | 0.0022                              | 0.0049             |
|             | Dosis total                      |                                                 |                      |                                     |                    |                       | 0.0022                              | 0.0050             |
| ZZL         | Abwasser                         | Nuklidgemisch ohne Tritium                      | 2·10 <sup>11</sup>   | 6.5·10 <sup>8</sup>                 | 0.3%               | 2.6·10 <sup>9</sup>   | <0.001                              | <0.001             |
|             | 558 m <sup>3</sup>               | Tritium                                         | -                    | -                                   | -                  | 1.3·10 <sup>11</sup>  | <0.001                              | <0.001             |
|             | Abluft                           | β-/γ-Aerosole                                   | 1·10 <sup>9</sup>    | -                                   | <0.1%              | 5.9·10 <sup>5</sup>   | <0.001                              | <0.001             |
|             |                                  | α-Aerosole                                      | 3·10 <sup>7</sup>    | -                                   | <0.1%              | 1.3·10 <sup>4</sup>   | <0.001                              | <0.001             |
|             |                                  | Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub> | 1·10 <sup>12</sup>   | -                                   | 1.5%               | 3.7·10 <sup>18</sup>  | <0.001                              | 0.001              |
|             |                                  | Tritium                                         | 1·10 <sup>14</sup>   | 1.7·10 <sup>11</sup>                | 0.2%               | 1.7·10 <sup>11</sup>  | <0.001                              | <0.001             |
|             | Dosis total                      |                                                 |                      |                                     |                    |                       | <0.001                              | <0.001             |



**Tabelle 2:**

Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2008 und der daraus berechneten Dosen für Einzelpersonen der Bevölkerung (Fussnoten siehe Ende Kap 8.1).

|                                                              | PSI Ost             |                  |                  |                                      |                      |
|--------------------------------------------------------------|---------------------|------------------|------------------|--------------------------------------|----------------------|
|                                                              | Hochkamin           | Saphir, Proteus  | Forschungs-labor | Betriebs-Gebäude radioaktive Abfälle | Bundeszwischen-lager |
| <b>Abgaben im Abwasser<sup>2,4</sup> [Bq/a]</b>              |                     |                  |                  |                                      |                      |
| Nuklidgemisch ohne Tritium                                   | -                   | -                | -                | -                                    | -                    |
| Tritium                                                      | -                   | -                | -                | -                                    | -                    |
| <b>Abgaben über die Abluft<sup>2,4</sup> [Bq/a]</b>          |                     |                  |                  |                                      |                      |
| Edelgase und andere Gase                                     | -                   | -                | -                | -                                    | -                    |
| $\beta/\gamma$ -Aerosole <sup>4</sup> , ohne Iod             | $3.1 \cdot 10^8$    | -                | $2.3 \cdot 10^4$ | -                                    | $1.8 \cdot 10^5$     |
| $\alpha$ -Aerosole                                           | -                   | -                | -                | -                                    | -                    |
| Iod                                                          | $9.7 \cdot 10^6$    | -                | -                | -                                    | -                    |
| Tritium in H <sub>2</sub> O                                  | $1.4 \cdot 10^{11}$ | $2.8 \cdot 10^9$ | -                | $1.0 \cdot 10^{10}$                  | $1.2 \cdot 10^{10}$  |
| Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>              | -                   | -                | -                | -                                    | -                    |
| <b>Jahresdosis<sup>3</sup> [mSv/Jahr] für:</b>               |                     |                  |                  |                                      |                      |
| Erwachsene                                                   | <0.00015            | <0.00015         | <0.00015         | <0.00015                             | <0.00015             |
| Kleinkinder                                                  | 0.00015             | <0.00015         | <0.00015         | <0.00015                             | <0.00015             |
| <b>Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert<sup>1</sup></b> | <0.1%               | <0.1%            | <0.1%            | <0.1%                                | <0.1%                |

|                                                              | PSI West                 |                     |                  | Gesamtanlage des PSI <sup>2,4</sup> |                                  |                     |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------|------------------|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------|
|                                                              | Zentrale Fortluftanlagen | Injektor II         | C-Labor          | Abgaben Bq / Jahr                   |                                  |                     |
|                                                              |                          |                     |                  | Abwasser 3016 m <sup>3</sup>        | Abluft                           | Aequivalent-abgaben |
| <b>Abgaben im Abwasser<sup>2,4</sup> [Bq/a]</b>              |                          |                     |                  |                                     |                                  |                     |
| Nuklidgemisch ohne Tritium                                   | -                        | -                   | -                | $5.7 \cdot 10^8$                    | -                                | $1.4 \cdot 10^8$    |
| Tritium                                                      | -                        | -                   | -                | $3.1 \cdot 10^{11}$                 | -                                | -                   |
| <b>Abgaben über die Abluft<sup>2,4</sup> [Bq/a]</b>          |                          |                     |                  |                                     |                                  |                     |
| Edelgase und andere Gase                                     | $1.1 \cdot 10^{14}$      | $7.0 \cdot 10^{10}$ | -                | -                                   | $1.1 \cdot 10^{14}$              | $2.4 \cdot 10^{14}$ |
| $\beta/\gamma$ -Aerosole <sup>4</sup> , ohne Iod             |                          |                     |                  |                                     |                                  |                     |
|                                                              | $1.5 \cdot 10^{10}$      | $2.7 \cdot 10^6$    | -                | -                                   | $1.5 \cdot 10^{10}$              | -                   |
| $\alpha$ -Aerosole                                           | -                        | -                   | -                | -                                   | -                                | -                   |
| Iod                                                          | $2.5 \cdot 10^7$         | -                   | $1.7 \cdot 10^4$ | -                                   | $3.5 \cdot 10^7$                 | $2.6 \cdot 10^7$    |
| Tritium in H <sub>2</sub> O                                  | $1.6 \cdot 10^{12}$      | -                   | -                | -                                   | $1.8 \cdot 10^{12}$              | -                   |
| Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>              | -                        | -                   | -                | -                                   | -                                | -                   |
| <b>Jahresdosis<sup>3</sup> [mSv/Jahr] für:</b>               |                          |                     |                  |                                     |                                  |                     |
| Erwachsene                                                   | 0.0048                   | <0.00015            | <0.00015         | <0.00015                            | <b>&lt;0.0075<br/>&lt;0.0075</b> |                     |
| Kleinkinder                                                  | 0.0048                   | <0.00015            | <0.00015         | <0.00015                            |                                  |                     |
| <b>Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert<sup>1</sup></b> | 3.2 %                    | <0.1%               | <0.1%            | <0.1%                               | <b>&lt;4%</b>                    |                     |

**Tabelle 3a:**

Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2008:

Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben<sup>2</sup> - (Fussnoten siehe Ende Kap 8.1).

| Nuklid                               | Abgaben [Bq im Jahr] |                     |                     |                     |                     |                     |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| $\beta/\gamma$ -Strahler             | KKB                  | KKG                 | KKL                 | KKM                 | PSI                 | ZZL                 |
| <sup>3</sup> H                       | $1.2 \cdot 10^{13}$  | $1.7 \cdot 10^{13}$ | $1.4 \cdot 10^{12}$ | $1.2 \cdot 10^{11}$ | $3.1 \cdot 10^{11}$ | $3.4 \cdot 10^{11}$ |
| <sup>7</sup> Be                      |                      |                     |                     |                     | $1.1 \cdot 10^5$    |                     |
| <sup>22</sup> Na                     |                      |                     |                     |                     | $4.1 \cdot 10^5$    | $1.2 \cdot 10^7$    |
| <sup>24</sup> Na                     | $1.9 \cdot 10^7$     |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>35</sup> S                      |                      |                     |                     |                     | $9.7 \cdot 10^6$    |                     |
| <sup>51</sup> Cr                     |                      |                     | $6.8 \cdot 10^6$    | $2.5 \cdot 10^8$    |                     |                     |
| <sup>54</sup> Mn                     | $2.3 \cdot 10^6$     |                     | $5.1 \cdot 10^6$    | $5.7 \cdot 10^8$    | $3.2 \cdot 10^6$    |                     |
| <sup>56</sup> Mn                     |                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>59</sup> Fe                     | $9.8 \cdot 10^5$     |                     |                     | $2.1 \cdot 10^7$    |                     |                     |
| <sup>56</sup> Co                     |                      |                     |                     |                     | $6.2 \cdot 10^4$    |                     |
| <sup>57</sup> Co                     | $8.8 \cdot 10^5$     |                     |                     |                     | $7.2 \cdot 10^5$    |                     |
| <sup>58</sup> Co                     | $1.9 \cdot 10^8$     |                     | $1.4 \cdot 10^7$    | $1.8 \cdot 10^8$    | $4.8 \cdot 10^5$    |                     |
| <sup>60</sup> Co                     | $7.8 \cdot 10^7$     | $3.0 \cdot 10^6$    | $1.2 \cdot 10^8$    | $8.7 \cdot 10^8$    | $1.3 \cdot 10^6$    | $6.7 \cdot 10^6$    |
| <sup>65</sup> Zn                     |                      |                     | $1.0 \cdot 10^6$    | $2.9 \cdot 10^7$    |                     |                     |
| <sup>85</sup> Sr                     |                      |                     |                     |                     | $2.6 \cdot 10^5$    |                     |
| <sup>89</sup> Sr                     | $2.2 \cdot 10^7$     |                     |                     | $2.4 \cdot 10^8$    |                     |                     |
| <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y    | $1.7 \cdot 10^6$     |                     |                     | $4.7 \cdot 10^5$    | $6.0 \cdot 10^6$    |                     |
| <sup>95</sup> Zr                     |                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>97</sup> Zr                     |                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>95</sup> Nb                     | $1.4 \cdot 10^5$     |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>99</sup> Mo                     |                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>99m</sup> Tc                    | $8.9 \cdot 10^4$     |                     |                     | $3.3 \cdot 10^6$    |                     |                     |
| <sup>103</sup> Ru                    |                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>106</sup> Ru/Rh                 |                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>110m</sup> Ag                   |                      |                     |                     | $3.0 \cdot 10^6$    |                     |                     |
| <sup>122</sup> Sb                    | $8.9 \cdot 10^6$     |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>124</sup> Sb                    | $2.8 \cdot 10^8$     |                     |                     |                     |                     | $1.8 \cdot 10^5$    |
| <sup>125</sup> Sb                    | $5.6 \cdot 10^7$     |                     |                     |                     |                     | $2.4 \cdot 10^6$    |
| <sup>123m</sup> Te                   | $1.2 \cdot 10^7$     | $2.8 \cdot 10^6$    |                     |                     |                     |                     |
| <sup>132</sup> Te                    | $1.3 \cdot 10^6$     | $7.5 \cdot 10^5$    |                     |                     |                     |                     |
| <sup>125</sup> I                     |                      |                     |                     |                     | $3.4 \cdot 10^6$    |                     |
| <sup>126</sup> I                     |                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>131</sup> I                     | $2.2 \cdot 10^7$     | $5.4 \cdot 10^6$    |                     |                     |                     |                     |
| <sup>133</sup> I                     | $7.3 \cdot 10^6$     |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>134</sup> Cs                    | $1.7 \cdot 10^6$     |                     |                     |                     | $5.2 \cdot 10^5$    | $6.0 \cdot 10^7$    |
| <sup>136</sup> Cs                    |                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>137</sup> Cs                    | $1.3 \cdot 10^8$     |                     | $4.2 \cdot 10^6$    | $1.5 \cdot 10^8$    | $1.6 \cdot 10^7$    | $2.5 \cdot 10^9$    |
| <sup>133</sup> Ba                    |                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>140</sup> Ba                    |                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>140</sup> La                    | $9.6 \cdot 10^5$     |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>141</sup> Ce                    |                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>144</sup> Ce                    |                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>152</sup> Eu                    |                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>154</sup> Eu                    |                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>172</sup> Lu                    |                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>185</sup> Os                    |                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| <sup>239</sup> Np                    |                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| $\alpha$ -Strahler                   |                      | $1.1 \cdot 10^5$    | $2.0 \cdot 10^6$    | $6.5 \cdot 10^4$    |                     | *)                  |
| <sup>234/238</sup> U                 |                      |                     |                     |                     | $1.7 \cdot 10^4$    |                     |
| <sup>239/240</sup> Pu                | $1.1 \cdot 10^4$     |                     |                     |                     | $1.2 \cdot 10^5$    | $4.1 \cdot 10^3$    |
| <sup>238</sup> Pu/ <sup>241</sup> Am | $3.8 \cdot 10^4$     |                     |                     |                     | $5.7 \cdot 10^4$    | $3.1 \cdot 10^3$    |
| <sup>242</sup> Cm                    | $5.5 \cdot 10^3$     |                     |                     |                     |                     | $7.8 \cdot 10^1$    |
| <sup>243/244</sup> Cm                | $5.8 \cdot 10^3$     |                     |                     |                     | $6.5 \cdot 10^3$    | $1.8 \cdot 10^2$    |

\*) Angabe umfasst für das ZZL das 4. Quartal 2007 bis und mit dem 3. Quartal 2008



**Tabelle 3b:**Abgaben der Kernanlagen mit **der Abluft, Gase, Edelgase und Iod 2008:**

Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben (Fussnoten siehe Ende Kap 8.1).

| Nuklid<br>$\beta/\gamma$ -Strahler | Abgaben [Bq im Jahr] |                      |                     |                     |                     |                     |
|------------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                                    | KKB                  | KKG                  | KKL                 | KKM                 | PSI                 | ZZL                 |
| <b>Gase, Edelgase</b>              |                      |                      |                     |                     |                     |                     |
| Tritium                            |                      | $4.7 \cdot 10^{11}$  | $1.3 \cdot 10^{12}$ | $7.7 \cdot 10^9$    | $1.8 \cdot 10^{12}$ | $1.7 \cdot 10^{11}$ |
| $^{11}\text{C}$                    |                      |                      |                     |                     | $1.7 \cdot 10^{13}$ |                     |
| $^{14}\text{C}$ ( $\text{CO}_2$ )  | $2.6 \cdot 10^{10}$  | $6.2 \cdot 10^{10}$  | $5.9 \cdot 10^{11}$ | $3.4 \cdot 10^{11}$ |                     | $3.7 \cdot 10^8$    |
| $^{13}\text{N}$                    |                      |                      |                     |                     | $1.8 \cdot 10^{13}$ |                     |
| $^{15}\text{O}$                    |                      |                      |                     |                     | $7.3 \cdot 10^{13}$ |                     |
| $^{18}\text{F}$                    |                      |                      |                     |                     | $5.7 \cdot 10^{11}$ |                     |
| $^{24}\text{Ne}$                   |                      |                      |                     |                     | $5.6 \cdot 10^{11}$ |                     |
| $^{41}\text{Ar}$                   |                      |                      |                     | $1.3 \cdot 10^{10}$ | $3.2 \cdot 10^{12}$ |                     |
| $^{79}\text{Kr}$                   |                      |                      |                     |                     |                     |                     |
| $^{85}\text{Kr}$                   |                      |                      |                     |                     |                     |                     |
| $^{85\text{m}}\text{Kr}$           | $1.8 \cdot 10^{11}$  |                      | $1.8 \cdot 10^8$    | $1.3 \cdot 10^{11}$ |                     |                     |
| $^{87}\text{Kr}$                   |                      |                      |                     | $1.9 \cdot 10^9$    |                     |                     |
| $^{88}\text{Kr}$                   |                      |                      |                     | $1.3 \cdot 10^{11}$ |                     |                     |
| $^{122}\text{Xe}$                  |                      |                      |                     |                     | $4.7 \cdot 10^8$    |                     |
| $^{125}\text{Xe}$                  |                      |                      |                     |                     |                     |                     |
| $^{127}\text{Xe}$                  |                      |                      |                     |                     |                     |                     |
| $^{129\text{m}}\text{Xe}$          |                      |                      |                     |                     |                     |                     |
| $^{131\text{m}}\text{Xe}$          |                      |                      |                     |                     |                     |                     |
| $^{133}\text{Xe}$                  | $1.9 \cdot 10^{12}$  |                      | $1.1 \cdot 10^{10}$ |                     |                     |                     |
| $^{133\text{m}}\text{Xe}$          |                      |                      |                     |                     |                     |                     |
| $^{135}\text{Xe}$                  | $2.2 \cdot 10^{12}$  |                      | $6.1 \cdot 10^{10}$ | $3.4 \cdot 10^9$    |                     |                     |
| $^{135\text{m}}\text{Xe}$          |                      |                      | $3.0 \cdot 10^{10}$ |                     |                     |                     |
| $^{137}\text{Xe}$                  |                      |                      |                     |                     |                     |                     |
| $^{138}\text{Xe}$                  |                      |                      | $2.0 \cdot 10^9$    |                     |                     |                     |
| EG-Aequiv. <sup>4)</sup>           |                      |                      |                     | $1.1 \cdot 10^{11}$ |                     |                     |
| EG: $\beta$ -total                 |                      | $<1.0 \cdot 10^{13}$ |                     |                     |                     |                     |
| Andere                             | $3.2 \cdot 10^{11}$  |                      |                     |                     |                     |                     |
| <b>Iod</b>                         |                      |                      |                     |                     |                     |                     |
| $^{123}\text{I}$                   |                      |                      |                     |                     | $5.5 \cdot 10^4$    |                     |
| $^{124}\text{I}$                   |                      |                      |                     |                     |                     |                     |
| $^{125}\text{I}$                   |                      |                      |                     |                     | $3.4 \cdot 10^7$    |                     |
| $^{126}\text{I}$                   |                      |                      |                     |                     |                     |                     |
| $^{129}\text{I}$                   |                      |                      |                     |                     | $5.3 \cdot 10^5$    |                     |
| $^{131}\text{I}$                   | $5.9 \cdot 10^6$     | $2.1 \cdot 10^7$     | $1.6 \cdot 10^7$    | $1.0 \cdot 10^7$    | $5.8 \cdot 10^5$    |                     |
| $^{133}\text{I}$                   | $3.0 \cdot 10^7$     |                      |                     |                     |                     |                     |

**Tabelle 3c:**Abgaben der Kernanlagen **mit der Abluft, Aerosole 2007:**

Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben (Fussnoten siehe Ende Kap 8.1).

| Nuklid<br>$\beta/\gamma$ -Strahler | Abgaben [Bq im Jahr] |                  |                  |                  |                     |                  |
|------------------------------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|------------------|
|                                    | KKB                  | KKG              | KKL              | KKM              | PSI                 | ZZL              |
| <sup>7</sup> Be                    |                      |                  |                  |                  |                     |                  |
| <sup>22</sup> Na                   |                      |                  |                  |                  |                     |                  |
| <sup>24</sup> Na                   |                      |                  |                  |                  |                     |                  |
| <sup>38</sup> S                    |                      |                  |                  |                  | $2.6 \cdot 10^9$    |                  |
| <sup>38</sup> Cl                   |                      |                  |                  |                  |                     |                  |
| <sup>39</sup> Cl                   |                      |                  |                  |                  | $8.1 \cdot 10^{10}$ |                  |
| <sup>51</sup> Cr                   |                      |                  |                  |                  |                     |                  |
| <sup>54</sup> Mn                   |                      |                  | $3.0 \cdot 10^4$ | $1.1 \cdot 10^5$ |                     | $1.1 \cdot 10^2$ |
| <sup>58</sup> Co                   |                      |                  |                  | $1.6 \cdot 10^4$ |                     |                  |
| <sup>60</sup> Co                   |                      | $4.0 \cdot 10^4$ | $3.0 \cdot 10^5$ | $1.9 \cdot 10^6$ | $7.4 \cdot 10^5$    | $1.3 \cdot 10^4$ |
| <sup>65</sup> Zn                   |                      |                  |                  | $1.4 \cdot 10^4$ |                     | $5.1 \cdot 10^2$ |
| <sup>75</sup> Se                   |                      |                  |                  |                  | $5.9 \cdot 10^5$    |                  |
| <sup>77</sup> Br                   |                      |                  |                  |                  | $1.5 \cdot 10^6$    |                  |
| <sup>82</sup> Br                   |                      |                  |                  |                  | $9.8 \cdot 10^8$    |                  |
| <sup>90</sup> Sr                   |                      |                  |                  |                  |                     |                  |
| <sup>95</sup> Zr                   |                      | $2.1 \cdot 10^4$ |                  |                  |                     |                  |
| <sup>95</sup> Nb                   |                      | $2.8 \cdot 10^4$ |                  |                  |                     |                  |
| <sup>99m</sup> Tc                  |                      |                  |                  |                  | $3.0 \cdot 10^8$    |                  |
| <sup>103</sup> Ru                  |                      | $1.0 \cdot 10^4$ |                  |                  |                     |                  |
| <sup>110m</sup> Ag                 |                      |                  |                  |                  |                     | $5.1 \cdot 10^2$ |
| <sup>123m</sup> Te                 |                      | $5.8 \cdot 10^3$ |                  |                  |                     |                  |
| <sup>125</sup> Sb                  |                      |                  | $9.7 \cdot 10^5$ |                  |                     | $4.8 \cdot 10^3$ |
| <sup>134</sup> Cs                  |                      |                  |                  |                  |                     | $1.6 \cdot 10^2$ |
| <sup>137</sup> Cs                  |                      | $2.2 \cdot 10^4$ | $2.2 \cdot 10^4$ | $2.0 \cdot 10^5$ |                     | $4.0 \cdot 10^4$ |
| <sup>140</sup> Ba                  |                      |                  |                  | $4.0 \cdot 10^4$ |                     |                  |
| <sup>141</sup> Ce                  |                      | $2.1 \cdot 10^3$ |                  |                  |                     |                  |
| <sup>144</sup> Ce                  |                      | $4.2 \cdot 10^4$ |                  |                  |                     |                  |
| <sup>177m</sup> Lu                 |                      |                  |                  |                  | $4.6 \cdot 10^4$    |                  |
| <sup>175</sup> Hf                  |                      |                  |                  |                  | $5.3 \cdot 10^5$    |                  |
| <sup>181</sup> Re                  |                      |                  |                  |                  | $5.7 \cdot 10^7$    |                  |
| <sup>182</sup> Re                  |                      |                  |                  |                  | $2.0 \cdot 10^8$    |                  |
| <sup>182m</sup> Re                 |                      |                  |                  |                  | $2.1 \cdot 10^8$    |                  |
| <sup>182</sup> Os                  |                      |                  |                  |                  | $6.8 \cdot 10^5$    |                  |
| <sup>183</sup> Os                  |                      |                  |                  |                  | $2.2 \cdot 10^8$    |                  |
| <sup>183m</sup> Os                 |                      |                  |                  |                  | $3.4 \cdot 10^8$    |                  |
| <sup>185</sup> Os                  |                      |                  |                  |                  | $1.3 \cdot 10^7$    |                  |
| <sup>191</sup> Os                  |                      |                  |                  |                  | $2.4 \cdot 10^6$    |                  |
| <sup>191</sup> Pt                  |                      |                  |                  |                  | $2.7 \cdot 10^6$    |                  |
| <sup>192</sup> Au                  |                      |                  |                  |                  | $3.0 \cdot 10^9$    |                  |
| <sup>193</sup> Au                  |                      |                  |                  |                  | $1.4 \cdot 10^8$    |                  |
| <sup>194</sup> Au                  |                      |                  |                  |                  | $2.9 \cdot 10^6$    |                  |
| <sup>195</sup> Au                  |                      |                  |                  |                  | $8.9 \cdot 10^6$    |                  |
| <sup>192</sup> Hg                  |                      |                  |                  |                  | $1.5 \cdot 10^9$    |                  |
| <sup>193</sup> Hg                  |                      |                  |                  |                  | $1.8 \cdot 10^7$    |                  |
| <sup>193m</sup> Hg                 |                      |                  |                  |                  | $4.2 \cdot 10^8$    |                  |
| <sup>194</sup> Hg                  |                      |                  |                  |                  | $2.9 \cdot 10^6$    |                  |
| <sup>195</sup> Hg                  |                      |                  |                  |                  | $7.6 \cdot 10^9$    |                  |
| <sup>195m</sup> Hg                 |                      |                  |                  |                  | $1.3 \cdot 10^8$    |                  |
| <sup>197</sup> Hg                  |                      |                  |                  |                  |                     |                  |
| <sup>197m</sup> Hg                 |                      |                  |                  |                  | $1.8 \cdot 10^8$    |                  |
| <sup>203</sup> Hg                  |                      |                  |                  |                  | $8.9 \cdot 10^4$    |                  |
| Nicht spezifizierte                | $3.4 \cdot 10^5$     |                  |                  |                  |                     |                  |
| $\alpha$ -Aerosole                 | $1.2 \cdot 10^4$     | $4.2 \cdot 10^4$ | $1.6 \cdot 10^4$ | $1.0 \cdot 10^5$ |                     | $1.3 \cdot 10^4$ |



### 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 0.2 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.  $\pm 50\%$ . 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<sup>3</sup> 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<sup>3</sup> entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Immersions-Dosisfaktor von  $4.4 \cdot 10^{-7}$  (Sv/Jahr)/(Bq/m<sup>3</sup>). Die unnormierte Summe der Edelgasabgaben ist in einer weiteren Spalte angegeben.

Beim KKG wird für die Bilanzierung der Edelgase eine  $\beta$ -total-Messung durchgeführt; für die Äquivalent-Umrechnung wurde in diesem Fall ein Gemisch von 80% <sup>133</sup>Xe, 10% <sup>135</sup>Xe und 10% <sup>88</sup>Kr angenommen.

**Gase:** Beim PSI handelt es sich dabei vorwiegend um die Nuklide <sup>11</sup>C, <sup>13</sup>N, <sup>15</sup>O und <sup>41</sup>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<sup>3</sup> normierte 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 <sup>131</sup>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 <sup>131</sup>Iod-Äquivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben, wobei sich der Gewichtungsfaktor aus dem Verhältnis des Ingestionsdosisfaktors des jeweiligen Nuklides zum Ingestionsdosisfaktor von <sup>131</sup>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 <sup>133</sup>I berücksichtigt.

**Kohlenstoff <sup>14</sup>C:** In den Tabellen ist der als Kohlendioxid vorliegende Anteil des <sup>14</sup>C, der für die Dosis relevante ist, angegeben. Die für <sup>14</sup>C angegebenen Werte basieren bei allen Werken auf aktuellen Messungen.

## Kapitel 8.2

# Ortsdosis und Ortsdosisleistungen in der Umgebung der Kernanlagen

**F. Cartier, A. Leupin**

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, 5232 Villigen-HSK (bis 31.12.2008)  
Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, 5232 Villigen-ENSI (ab 1.1.2009)

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 Zerfällen des kurzlebigen, im Reaktor produzierten Stickstoffnuklids  $^{16}\text{N}$ , welches mit dem Dampf aus dem Reaktor in die Turbine im Maschinenhaus getragen wird. Des weiteren können Abfalllager zu einer erhöhten Ortsdosis am Zaun beitragen.

Am Zaun des KKM wurden bei stichprobenweise, vierteljährlich vom ENSI durchgeführten Messungen Dosisleistungen zwischen etwa  $0.08 \mu\text{Sv/h}$  (natürlicher Untergrund) und  $0.315 \mu\text{Sv/h}$  ermittelt. Auf ein Jahr hochgerechnet würde basierend auf diesen Momentanwerten am meist exponierten Ort eine Dosiserhöhung von ca.  $2.0 \text{ mSv}$  (ohne natürlichem Untergrund) resultieren. Die vom KKM ausgewerteten Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun ergeben für das Berichtsjahr ohne Berücksichtigung des natürlichen Untergrundes von ca.  $0.7 \text{ mSv}$  eine Dosiserhöhung von  $0.8 \text{ mSv}$ .

Am Zaun des KKL wurden bei vierteljährlichen Stichproben des ENSI während des Leistungsbetriebes Ortsdosisleistungen zwischen  $0.06 \mu\text{Sv/h}$  (natürlicher Untergrund) und  $0.24 \mu\text{Sv/h}$  ermittelt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes und unter Berücksichtigung der Betriebszeit am meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von ca.  $1.5 \text{ mSv}$  pro Jahr. Die höchste, mit den TLD am Zaun ermittelte Jahresdosis (nach Abzug des natürlichen Untergrundes von  $0.6 \text{ mSv}$ ) beträgt  $0.9 \text{ mSv}$ .

Im Jahr 2008 betrug der höchste, mit einem Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun des Paul Scherrer Instituts (PSI) gemessene Wert ca.  $0.2 \text{ mSv}$  (ohne natürlichem Untergrund von ca.  $0.6 \text{ mSv}$ ). 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  $0.8 \text{ mSv}$  ohne natürlichen Untergrund.

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

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



## Kapitel 8.3

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

**F. Cartier, B. Bucher, A. Leupin**

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, 5232 Villigen-HSK (bis 31.12.2008)  
Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, 5232 Villigen-ENSI (ab 1.1.2009)

### Zusammenfassung

Das MADUK-System (Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke) 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 ENSI Notfallorganisation bei der Bestimmung des betroffenen Gebietes und der Einschätzung der möglichen Massnahmen anhand des integrierten Ausbreitungsprogramms TIS/ADP und durch den schnellen Datenaustausch mit anderen Behörden.

speicherung vor Ort werden so genannte Frontendrechner innerhalb der Kernkraftwerke Beznau, Gösgen, Leibstadt und Mühleberg eingesetzt. Neben den notwendigen Netzwerkeinrichtungen befinden sich in der MADUK-Zentrale des ENSI ein UNIX Servercluster für das Verarbeiten und Archivieren von Daten, ein Alarmierungssystem und ein Backupsystem. 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 Darstellung auf der nächsten Seite (Figur 2) zeigt die Standorte der Messsonden in der Umgebung der Kernkraftwerke.

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](http://www.ensi.ch) unter der Rubrik Messnetz MADUK/ Messwerte Radioaktivität sind die Stunden- und Tagesmittelwerte aller MADUK Stationen abrufbar.

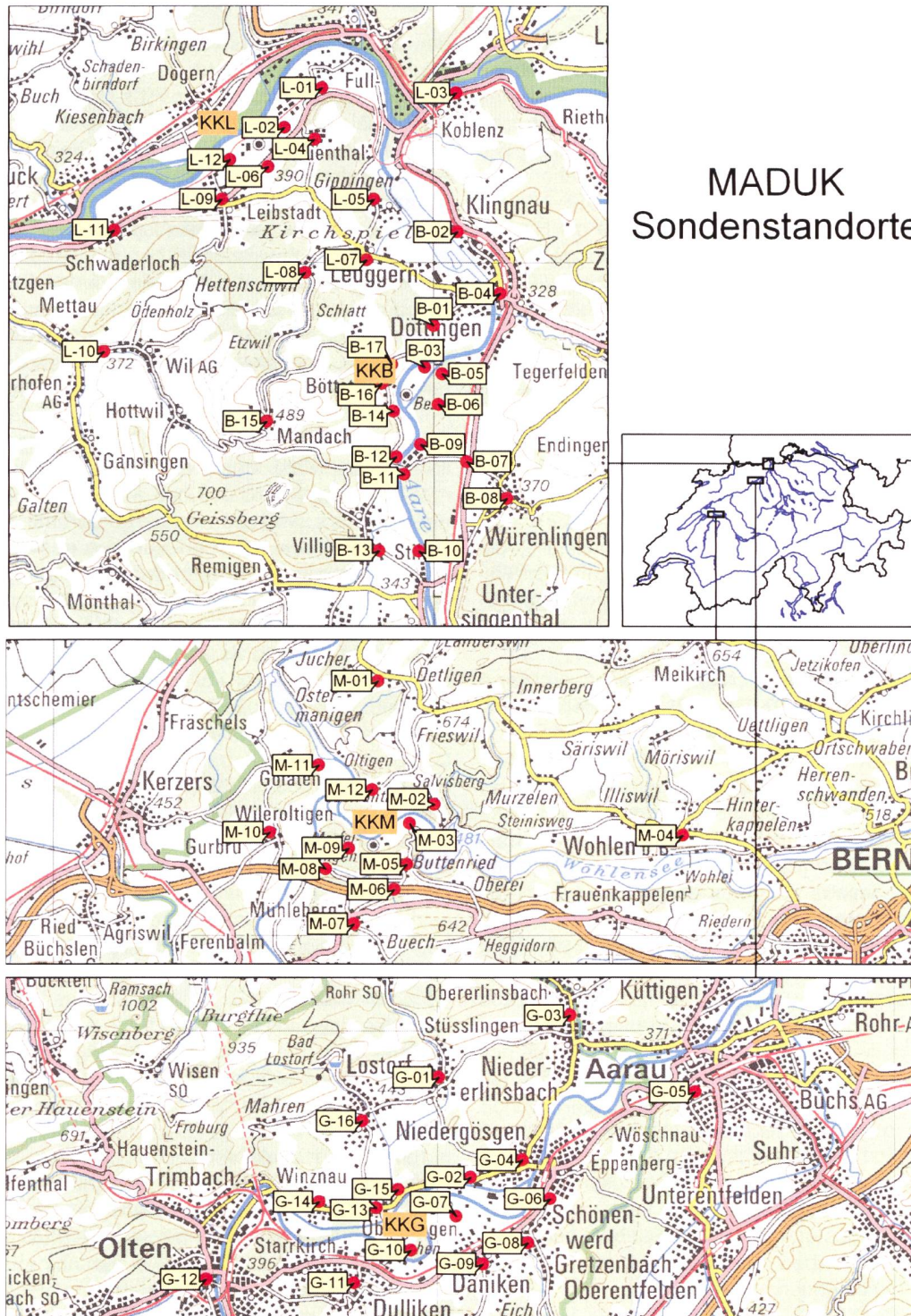
### Übersicht

Das MADUK-Netz zur Messung der Dosisleistungen besteht aus insgesamt 57 Immissionsmessstationen in der Umgebung der vier Kernkraftwerke. Die Messsonden des MADUK-Systems komplettieren und ergänzen das gesamtschweizerische Messnetz zur Radioaktivitätsüberwachung, das mit dem NADAM-Netz auf weitere 58 Messstationen zählen kann. Die Geiger-Müller-Zählrohre in den Sonden ermitteln die Gamma-Dosisleistung im Messbereich von 10 nSv/h (Niederdosiszählrohre) bis 10 Sv/h (Hochdosiszählrohr). Zur Übernahme der Kaminemissionswerte (EMI-Daten) der Kernkraftwerke und deren ANPA-Daten (die wichtigsten Anlagenparameter der Primär- sowie Sekundäranlage) und zur Datenzwischen-

### Systeminstandhaltung und –ergänzung

In den Jahren 1999 – 2001 musste das System erstmals an den aktuellen technischen Stand angepasst werden. Weitere Erneuerungen und Ertüchtigungen werden nun seit 2002 jährlich umgesetzt. Im Rahmen der Investitionsmassnahmen im Jahr 2008 wurden sämtliche Stationen auf denselben technischen Stand (neue Stationselektronik, einheitliche Messsonde) gebracht und die Kommunikation zu den Sonden auf DSL-Technik umgerüstet. Somit sind nun auch im gesamten Messnetz geeichte Messsonden im Einsatz.





**Figur 2:**  
Übersicht über die Sondenstandorte des Messnetzes MADUK.

### 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 "Sy-

stemverfügbarkeit" im Management-Handbuch des ENSI wird die Einsatztauglichkeit des Gesamtsystems MADUK beurteilt: Systemstörungen, die zu wesentlichen Nutzungseinschränkungen geführt haben, werden als Ausfallzeit in Stunden erfasst. Im Berichtsjahr lag die Systemverfügbarkeit bei 99.4% (Verfügbarkeit der ANPA- und



EMI-Daten eingerechnet). Über die wichtigsten Systemstörungen und Betriebsvorkommnisse wird im Folgenden kurz berichtet.

Bei der MADUK-Station L-05 kam es anfangs Jahr wie bereits im Oktober 2008 erneut zu Kommunikationsausfällen. Auch nach der Umstellung auf die DSL-Lösung kam es zu Unterbrüchen. Schliesslich wurde die Hausinstallation komplett erneuert und die EMP-Schutzplatine ersetzt. Im Herbst traten erneut Probleme auf. Nachdem die Verbindung durch Swisscom auf eine andere Leitungssader umgelegt wurde, war die Verbindung wieder stabil.

Durch die Umbauarbeiten an den Stationen und die Erneuerung der Kommunikation fielen die Ortsdosisleistungsdaten insgesamt während rund 1'700 Stunden aus. Dies bedeutet für alle MADUK-Messstationen rund 0.3% Unverfügbarkeit.

Die Sommermonate brachten einige Datenausfälle, die auf Routerausfälle durch Blitzschlag zurückzuführen waren. Dabei waren vor allem Stationen mit Freileitungen (B-10, L-12) und Meteomasten (L-06, drei Mal!) betroffen.

Zu kürzeren Ausfällen durch Kommunikationsprobleme kam es bei L-02, M-10, B-10 und M-01, zu Ausfällen durch Hardware- oder Softwareproblemen bei B-07 und B-09.

Probleme auf dem für den Datenaustausch mit dem KFÜ BW eingesetzten Server des Bundesamtes für Strahlenschutz (D) führen gesamthaft zu einem Ausfall von rund einem Tag. Schliesslich hat eine defekte Systemfestplatte eines zentralen Servers nur geringen Einfluss auf die Verfügbarkeit des Systems, zeigt jedoch die Notwendigkeit von Wartungs- und Supportverträgen für eine rasche Wiederherstellung.

## 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. Die wesentlichen qualitätssichernden Massnahmen werden im Folgenden beschrieben.

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 geeicht. Die Eichung hat eine dreijährige Gültigkeit. 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 <sup>137</sup>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 2008 wurde aufgrund der Umbauarbeiten bei den Messstationen und der deshalb fehlenden Ressourcen nur eine Funktionskontrolle 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. Mit Hilfe eines Germanium-Detektors wird die emittierte Gammastrahlung von natürlichen und künstlichen Nukliden gemessen, welche in einem gewissen Radius um den Detektor auf und im Boden abgelagert wurden oder im Boden natürlicherweise vorkommen. Der Abstand Detektor – Boden beträgt 1 m. Gemäss Planung wird pro Jahr abwechselungsweise in der Umgebung zweier Kernkraftwerke gemessen. Die für den Herbst 2008 geplanten Messungen konnten aufgrund eines defekten Detektors nicht durchgeführt werden.

Für das Jahr 2009 ist die Eichung für alle Sonden zu wiederholen. Um den Aufwand für die Eichung zu minimieren, wurde in Zusammenarbeit mit der Eichstelle am Paul Scherrer Institut das Verfahren für die Eichung der Sonden im Feld festgelegt.

## Messergebnisse

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

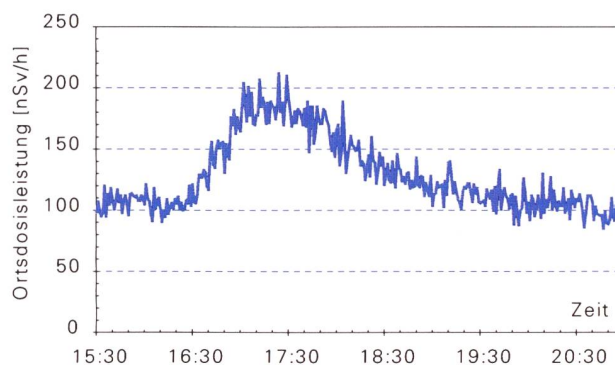
In Rahmen der jährlichen Überprüfungskampagne bei den NADAM Sonden wurde beim Personalrestaurant des PSI durch die dort positionierte MADUK-Station B-11 für eine halbe Stunde erhöhte Werte registriert. Der Maximalwert betrug 3.52 µSv/h.

Am 23. April um 20:20 Uhr überschritt bei der MADUK-Station L-03 (Koblenz, ARA) die Nettodosisleistung mit 52 nSv/h den Schwellwert von 50 nSv/h. Die Station lag nicht im Ausbreitungsfeld von KKL für den entsprechenden Zeitraum, aber im Ausbreitungsfeld von KKB. Im Falle von KKB liegen jedoch noch 3 bis 6 weitere Stationen zwischen KKB und der Station L-03, die im fraglichen Zeitraum jedoch keine erhöhten Werte anzeigten. Es ist deshalb auszuschliessen, dass die Ursache für die erhöhten



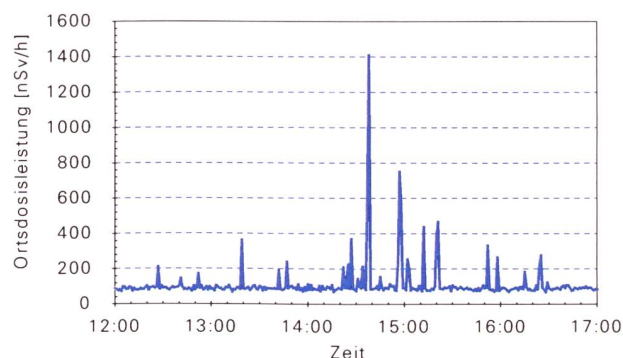
Werte bei KKB liegt. Die Ursache für die Erhöhung konnte nicht geklärt werden. Am 18. Mai lag die Nettodosisleistung bei der MADUK-Station L-06 (Leibstadt, Meteomast KKL) zweimal über dem Schwellwert von 50 nSv/h. Das Maximum wurde mit 61 nSv/h um 22:10 Uhr erreicht. Die Niederschlagsdaten am Meteoturm Leibstadt zeigten parallel zum Anstieg der Ortsdosisleistung Niederschlag an. Da die Station für den entsprechenden Zeitraum weder im Ausbreitungsfeld von KKL noch von KKB lag, ist bei der Ursache für die erhöhten Werte von Auswascheffekten auszugehen. Am 26. Juli überschritten sechs Nettodosisleistungswerte der MADUK-Station G-07 (Niedergösgen, SwissMetNet Station) den Schwellwert von 50 nSv/h. Die maximale Nettodosisleistung wurde um 17:30 Uhr mit 68 nSv/h erreicht. Die Niederschlagsdaten am Meteoturm Gösgen zeigten parallel zum Anstieg der Ortsdosisleistung Niederschlag an. Zudem lag die Station G-07 nicht im Ausbreitungsfeld von KKG für den entsprechenden Zeitraum und die Form des Werteverlaufs deutet auf Radonfolgeprodukte hin (siehe auch Figur 3). Deshalb ist der Anstieg der Dosisleistung auf Auswascheffekte zurückzuführen. In der Nacht vom 31. August auf den 1. September wurde beim Durchzug einer Gewitterfront bei den MADUK-Stationen G-07 (Niedergösgen, SwissMetNet Station), G-08 (Gretzenbach, Werkhof) und G-15 (Oberbösgen, Stegbach Trafostation) der Schwellwert von 50 nSv/h für die Nettodosisleistung mehrfach überschritten. Für G-07 wurde um 01:40 Uhr eine maximale Nettodosisleistung von 63 nSv/h gemessen, für G-08 um 02:00 Uhr 51 nSv/h und für G-15 um 01:50 Uhr 54 nSv/h. Die maximalen gemessenen Ortsdosisleistungen lagen für diese Stationen im Bereich von 236 – 239 nSv/h. Aufgrund einer variierenden Windlage lagen die Stationen zwar im Ausbreitungsfeld von KKG, aber der gleichzeitig gemessene Niederschlag und die Form des Werteverlaufs (typisch für das Abklingen von Radonfolgeprodukten aus der Atmosphäre) deuten auf Auswascheffekte hin. Am 19. September wurde bei der MADUK-Station L-07 (Leuggern, Feuerwehrgebäude/ZSA) eine zweimalige Überschreitung des Schwellwertes für die Nettodosisleistung registriert. Die maximale Nettodosisleistung betrug um 17:30 Uhr 60 nSv/h, die maximale Ortsdosisleistung 171 nSv/h. Da die Station weder im Ausbreitungsfeld von KKL noch von KKB lag und an den Meteotürmen von KKL und KKB leichter Niederschlag gemessen wurde, sind die Erhöhungen auf Auswascheffekte zurückzuführen. In der Nacht vom 8. auf den 9. Oktober wurden an den MADUK-Stationen M-03 (Mühlebühl, SwissMetNet Station) und B-04 (Döttingen, Altersheim/ZSA) während rund drei Stunden eine Erhöhung der Ortsdosisleistung registriert, die zu Überschreitungen des Nettodosisleistungsschwellwertes von 50 nSv/h führten. Bei M-03 wurde der Schwellwert durch zwei Werte überschritten, wobei der Maximalwert um 23:40 Uhr mit 53 nSv/h erreicht wurde. Bei B-04 lagen vier Werte über der Schwelle, wobei der Maximalwert um 4:20 Uhr 57 nSv/h betrug. Beide Stationen lagen ausserhalb des Ausbreitungsfeldes von KKM bzw. KKB. Da zudem parallel zu den

Anstiegen in der Ortsdosisleistung auch Niederschlag an den Meteomasten von KKM und KKB gemessen wurde und der Werteverlauf auf Radonfolgeprodukte hindeutet, liegt die Ursache für die erhöhten Werte bei Auswascheffekten.



**Figur 3:**  
Verlauf der Einminutenwerte für die MADUK-Station G-07 am 26. Juli 2008.

Am 24. Dezember lieferte die MADUK-Station L-07 (Leuggern, Feuerwehrgebäude/ZSA) zwischen 13:00 und 17:00 Uhr mehrere erhöhte Werte. Der maximale Zehnminutenwert betrug um 14:40 Uhr 299 nSv/h. Der zeitliche Verlauf der Werte war für einen Auswaschungseffekt untypisch, da einzelne Zehnminutenwerte bzw. Einminutenwerte erhöht waren (siehe auch Figur 4). Einzelne Einminutenwerte zeigten Werte über 1'000 nSv/h. Die vertiefte Analyse der Messdaten insbesondere der effektiven Zählraten auf dem Messwertsender zeigten, dass eines der beiden Niederdosiszählrohre teilweise massiv erhöhte Werte lieferte. Da die Zählraten des zweiten Niederdosiszählrohrs und des Hochdosiszählrohrs keine wesentlichen Änderungen im entsprechenden Zeitraum zeigten, ist bei der Erhöhung von einer technischen Störung auszugehen. Die Ursache der Störung konnte nicht eruiert werden, da seither die Sonde wieder normale Werte liefert.

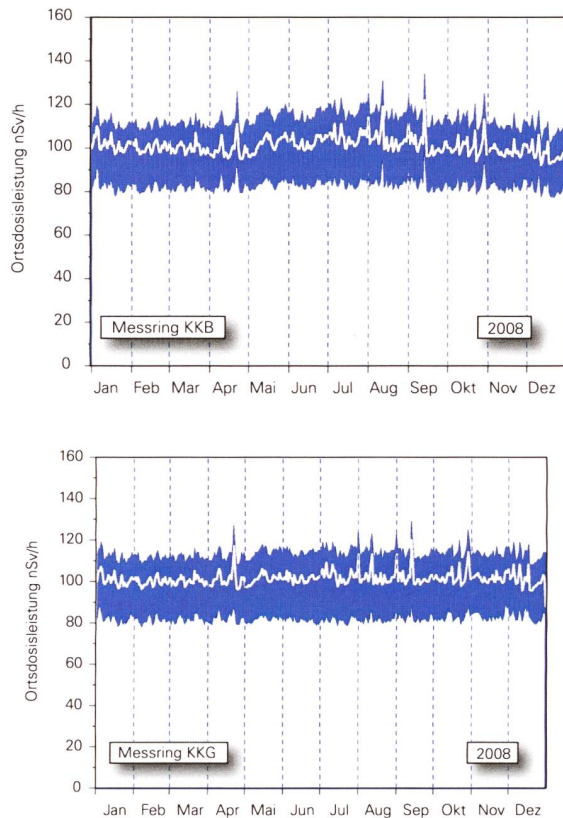


**Figur 4:**  
Verlauf der Einminutenwerte für die MADUK-Station L-07 am 24. Dezember 2008.

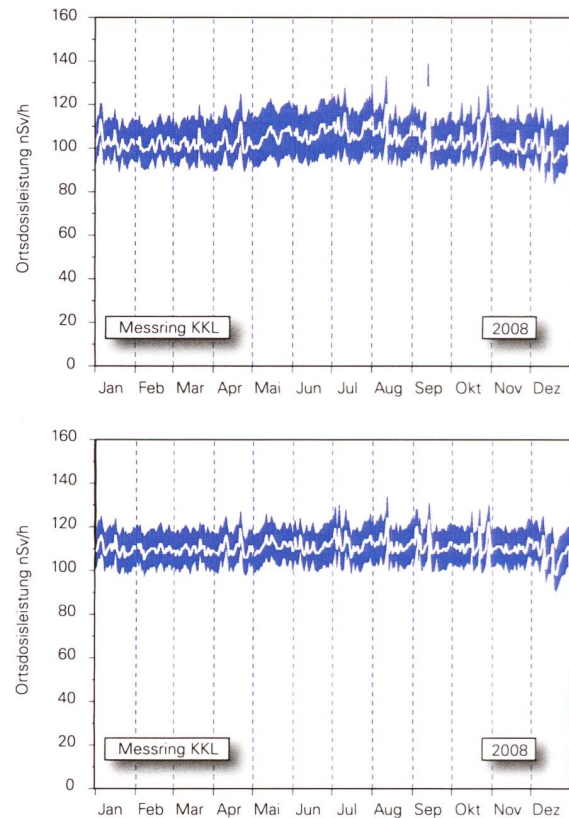


Die Figuren 5 und 6 zeigen die Maxima, die Minima und die Mediane der Tagesmittelwerte im Berichtsjahr in den Umgebungen der Kernkraftwerke. Die Werte liegen im normalen Schwankungsbereich. Deutlich ist der Einfluss

des Schneefalls im Dezember zu erkennen, der durch die zusätzliche Abschirmung der Bodenstrahlung zu einer Reduktion der Ortsdosisleistung führte.



**Figur 5:**  
Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKB, KKG.



**Figur 6:**  
Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKL, KKM.

## Chapitre 8.4

# Les installations nucléaires et l'environnement

**S. Estier, P. Beuret, G. Ferreri, A. Gurtner, M. Jungck, M. Müller, H. Völkle**

Section radioactivité de l'environnement (URA), BAG, 3003 BERNE

### Résumé

L'impact des installations nucléaires suisses sur l'environnement a été très faible en 2008. 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 ( $^{14}\text{C}$  dans les feuillages,  $^{60}\text{Co}$  dans les filtres aérosols du voisinage de Mühleberg) et des rejets liquides (en particulier isotopes du cobalt et  $^{54}\text{Mn}$  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 ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  et  $^{241}\text{Am}$ ) et de l'accident de Tchernobyl ( $^{137}\text{Cs}$ ).

### 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, la DSN 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 ( $^{90}\text{Sr}$  dans les eaux de rejet), du PSI (dosimètres thermoluminescents, aéroradiométrie etc.), de l'EAWAG (Aar et Rhin), de l'université de Berne ( $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$  et  $^{85}\text{Kr}$ ) et du LfU (Baden-Württemberg), conformément au programme germano-suisse autour de la centrale nucléaire de Leibstadt. La DSN met également à disposition de l'OFSP un accès direct à son réseau MADUK, mesurant en continu le débit de dose ambiante au voisinage 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.



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.

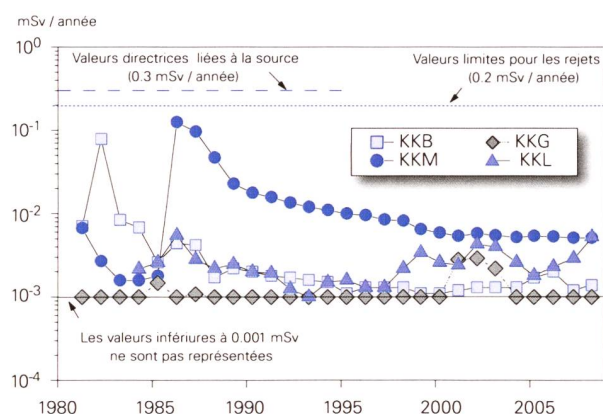
### Méthodologie

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 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 que les quatre centrales nucléaires suisses, à savoir Beznau (KKB 1 et 2), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) et Mühleberg (KKM) ainsi



**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 2008 (données DSN) et comparaison avec la valeur directrice de dose liée à la source de 0.3 mSv/an.

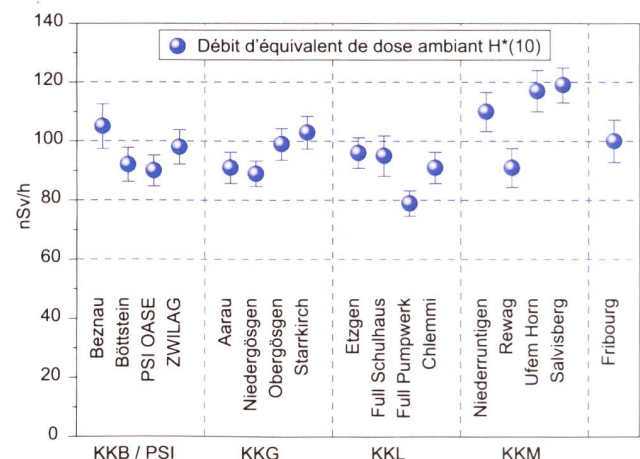
que l'institut Paul Scherrer (PSI) et l'entrepôt de stockage intermédiaire de déchets radioactifs (ZWILAG), situés sur le même site, ont respecté les limites réglementaires fixées pour les émissions en 2008 (voir aussi Chap. 8.1).

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).

### 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 la DSN à la clôture des installations (voir Chap. 8.2 et 8.3). 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 2008. 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



**Figure 2:**

Contrôles du débit d'équivalent de dose ambiante  $H^*(10)$  effectués en 2008 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.



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  $^{40}\text{K}$  (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.

Comme pour les années précédentes, les résultats des mesures des filtres aérosols des environs des centrales nucléaires suisses ainsi que du PSI ont montré la prédominance des radionucléides naturels  $^7\text{Be}$  et  $^{210}\text{Pb}$ , avec des valeurs comprises respectivement entre 0.3 et 4.1 et entre  $< 0.1$  et  $0.9 \text{ mBq/m}^3$  (mesures OFSP et PSI).

Les filtres aérosols du voisinage de la centrale de Beznau et du PSI, analysés par le PSI, n'ont pas présenté de radioactivité gamma d'origine artificielle mesurable (limite de détection pour le  $^{137}\text{Cs}$  :  $10 \text{ } \mu\text{Bq/m}^3$ ).

Les mesures effectuées par l'OFSP en 2008 sur les filtres aérosols des environs des centrales nucléaires de Gösigen et Leibstadt n'ont pas révélé la présence d'émetteur gamma d'origine artificielle à l'exception du  $^{137}\text{Cs}$  ( $0.4$  à  $1.8 \text{ } \mu\text{Bq/m}^3$ ), attribuable à la remise en suspension des anciennes contaminations provenant des essais nucléaires atmosphériques des années 50 et 60 ainsi que de l'accident de Tchernobyl.

Comme par le passé, des traces de  $^{60}\text{Co}$  ont sporadiquement été mises en évidence dans les filtres aérosols du voisinage de la centrale de Mühleberg (valeurs comprises entre  $0.4$  et  $0.8 \text{ } \mu\text{Bq/m}^3$ ). Toutefois, contrairement aux résultats des années précédentes, les concentrations sont toujours restées proches des limites de détection et aucun autre émetteur gamma d'origine artificielle n'a été décelé. Notons ainsi qu'après avoir mesuré durant 3 années consécutives (2005 – 2007) des concentrations plus élevées de  $^{60}\text{Co}$  ( $5$  –  $9 \text{ } \mu\text{Bq/m}^3$ ) dans les aérosols collectés au voisinage de KKM durant sa période de révision, il a été décidé par l'OFSP, la DSN et l'exploitant, que l'OFSP effectue lui-même les prélèvements des échantillons durant l'arrêt programmé en 2008. En effet, même si les concentrations enregistrées durant les mois de révision 2005 – 2007 étaient nettement inférieures aux limites légales (voir plus bas), ces valeurs n'étaient pas habituelles et ne pouvaient être expliquées par les calculs de dispersion, basés sur le bilan des émissions effectué par l'exploitant. Les recherches menées alors par la DSN et l'exploitant avaient conclu à une contamination en  $^{60}\text{Co}$  des filtres aérosols dans les laboratoires de la centrale, avant leur envoi pour mesure au laboratoire de l'OFSP. Les précautions spéciales mises en œuvre en 2008 ont permis de confir-

mer cette hypothèse puisque l'activité du  $^{60}\text{Co}$  enregistrée dans les échantillons collectés en août et septembre 2008 (révision KKM: 10.08-06.09.08) sont restées inférieures à la limite de détection de  $0.7$  –  $0.9 \text{ } \mu\text{Bq/m}^3$ . Une solution à long terme, permettant de garantir un prélèvement propre et fiable, devra ainsi être mise en place par les autorités pour éviter que de tels phénomènes ne biaisent les résultats de la surveillance à l'avenir.

Rappelons finalement que la valeur limite d'immissions pour le  $^{60}\text{Co}$  dans l'air est fixée dans l'ORaP à  $1.66 \text{ Bq/m}^3$ ; les concentrations les plus élevées de  $^{60}\text{Co}$  mesurées dans les filtres des environs de la centrale de Mühleberg en 2008 ne représentent que  $0.00005\%$  de la valeur limite et sont sans conséquence radiologique pour la santé de la population avoisinante. La surveillance mise en place aux environs des centrales nucléaires ne vise pas uniquement à remplir des objectifs d'ordre réglementaire, elle doit aussi permettre d'informer la population de manière claire et transparente. C'est pourquoi l'OFSP met en œuvre des techniques de mesure d'une très grande sensibilité qui permettent de déceler des activités nettement inférieures aux limites légales et ainsi d'évaluer les niveaux réels de radioactivité dans l'environnement.

Aucun émetteur gamma d'origine artificielle n'a été détecté dans les échantillons de pluie collectés aux environs des centrales nucléaires de Mühleberg, Leibstadt, Gösigen et Beznau ni dans ceux du voisinage du PSI et du ZWILAG au cours de l'année 2008.

Les résultats des mesures du tritium ( $^3\text{H}$ ), radionucléide directeur dans les précipitations, dans les échantillons mensuels des environs des installations nucléaires sont résumés dans le tableau 1.

Avec des valeurs systématiquement inférieures à  $3 \text{ Bq/l}$ , les concentrations mensuelles de  $^3\text{H}$  enregistrées en 2008 dans les pluies du voisinage des centrales nucléaires de Mühleberg et Gösigen ne se sont pas distinguées de celles relevées à la station de référence de Fribourg. Les valeurs enregistrées au voisinage des centrales de Leibstadt et Beznau sont également restées faibles (valeurs médianes de  $2.4 \text{ Bq/l}$  et  $3.1 \text{ Bq/l}$  respectivement).

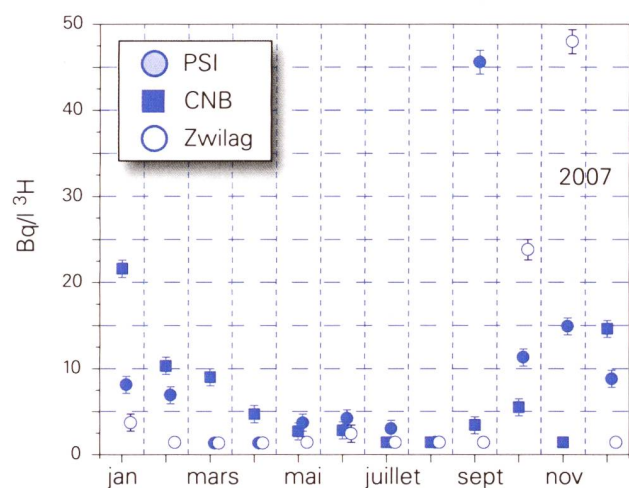
La figure 3 montre le suivi mensuel des concentrations de  $^3\text{H}$  pour les stations de Beznau (PWR KKB), du PSI et du ZWILAG. On notera que des valeurs légèrement plus élevées que la normale ont été enregistrées dans les précipitations des environs du PSI en septembre (valeur maximale de  $46 \text{ Bq/l}$ ). Des rejets contrôlés de tritium, lors du changement d'une cible dans une installation du PSI-West, sont à l'origine de cette augmentation. Au voisinage du Zwiilag, situé à quelques centaines de mètres du PSI, les concentrations de  $^3\text{H}$  mesurées dans les précipitations sont généralement restées inférieures à  $3 \text{ Bq/l}$ . Notons toutefois qu'au cours du 4<sup>ème</sup> trimestre 2008, des actions



**Tableau 1:**

Tritium dans les précipitations au voisinage des installations nucléaires en 2008

| Lieu                                             | Valeur min/max | Médiane |
|--------------------------------------------------|----------------|---------|
|                                                  | (Bq/l)         | (Bq/l)  |
| Niederruntigen<br>(environs KKM)<br>Mesures OFSP | < 1.0 – 2.9    | 1.6     |
| Niedergösgen<br>(environs KKG)<br>Mesures OFSP   | 1.5 – 2.8      | 1.9     |
| Full<br>(environs KKL)<br>Mesures OFSP           | < 1.5 – 4.3    | 2.4     |
| Beznau<br>(environs KKB)<br>Mesures PSI          | < 1.4 – 21.6   | 4.0     |
| PSI<br>Mesures PSI                               | < 1.3 – 45.6   | 5.5     |
| ZWILAG<br>Mesures PSI                            | < 1.3 – 48.0   | < 1.4   |

**Figure 3:**

Suivi du tritium dans les précipitations au voisinage de la centrale nucléaire de Beznau, du PSI et du Zwiilag en 2008 (mesures mensuelles du PSI).

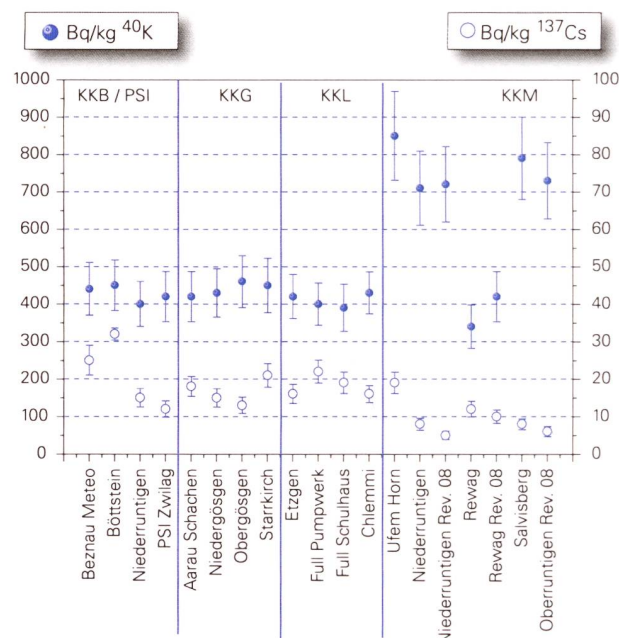
d'incinération de déchets contenant du tritium ont été réalisées au ZWILAG ce qui a conduit à une augmentation clairement mesurable des concentrations en tritium dans les précipitations (valeur maximale de 48 Bq/l en novembre, alors que la valeur médiane pour 2008 est inférieure à 1.5 Bq/l). Ces valeurs sont par ailleurs très inférieures aux valeurs limites autorisées. La figure 3 montre encore que malgré leur proximité géographique, les valeurs plus élevées mesurées au PSI et au ZWILAG ne présentent que peu de corrélation.

Pour le reste, un impact des rejets atmosphériques des centrales nucléaires est avant tout perceptible pour le  $^{14}\text{C}$ , 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 micro-Sv. L'intérêt des mesures de  $^{14}\text{C}$  se situe aussi dans l'utilisation de ce traceur atmosphérique pour affiner la modélisation de la dispersion atmosphérique.

### 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 avérés conformes à ceux enregistrés dans les sites hors de l'influence des installations nucléaires : ils montrent que, dans les échantillons de sol et d'herbe, la radioactivité d'origine naturelle prédomine nettement et que les émetteurs gamma d'origine artificielle se résument au seul  $^{137}\text{Cs}$  issu des essais nucléaires des années 60 et de l'accident de Tchernobyl. La figure 4 présente à titre d'exemple les concentrations de la contamination rémanente en  $^{137}\text{Cs}$  dans les sols prélevés par l'OFSP en 2008.

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 (Figure 1 du Chap. 3.1) montrent que les valeurs dans le voisinage des installations nucléaires n'ont rien d'anormal par

**Figure 4:**

$^{137}\text{Cs}$  et  $^{40}\text{K}$  (naturel) dans les sols secs et tamisés (2mm) examinés par l'OFSP en 2008 (couche 0-5 cm).



rapport aux autres sites. Notons ainsi qu'aucun émetteur gamma d'origine artificielle n'a pu être mis en évidence en dehors du  $^{137}\text{Cs}$ . Les résultats des mesures complémentaires effectués dans les sols et les herbes, en particulier pour les teneurs en  $^{90}\text{Sr}$ , Pu et Am, sont commentés aux chapitres 4.4 et 7.2.

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 (Chap. 5), 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 confirment ce constat. En effet, en ce qui concerne les émetteurs gamma d'origine artificielle, seules des traces de  $^{137}\text{Cs}$  ont pu être détectées dans un échantillon de pommes prélevées à Leibstadt ( $0.07 \pm 0.05$  Bq par kg de matière fraîche). Ces valeurs n'ont par ailleurs rien d'anormal : même si elles n'ont pas atteint les valeurs enregistrées au Tessin, les retombées de  $^{137}\text{Cs}$  résultant de l'accident de Tchernobyl ont été plus importantes dans le nord-est de la Suisse que sur le reste du plateau, c'est pourquoi des traces de  $^{137}\text{Cs}$  sont aujourd'hui encore plus fréquemment décelées dans le sol, l'herbe ou les produits agricoles de cette région.

Les résultats des mesures de  $^{90}\text{Sr}$  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

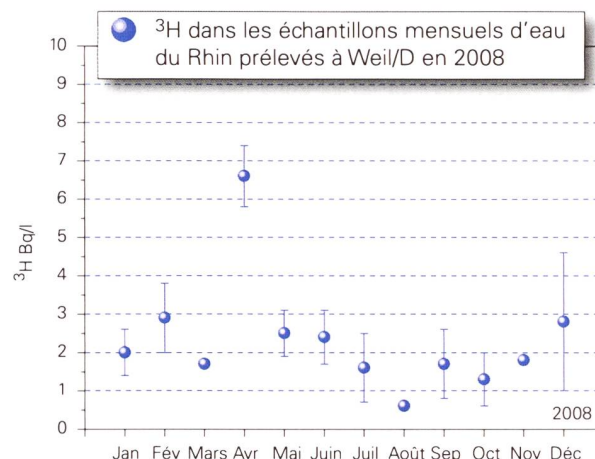
Les résultats détaillés de l'examen des systèmes aquatiques sont présentés dans le chapitre 4.3. En résumé, les analyses des échantillons mensuels des eaux de l'Aar et du Rhin, effectuées par l'EAWAG, ont permis de mettre en évidence les traces des rejets liquides des centrales nucléaires, principalement le  $^{60}\text{Co}$  et le  $^{54}\text{Mn}$  provenant de Mühleberg ainsi que le  $^{58}\text{Co}$  issu de Mühleberg et dans une moindre mesure de Beznau (voir plus bas). 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  $^{137}\text{Cs}$ , 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 2008. La mise en service définitive d'un système de nano-filtration en 2007 dans cette centrale et la réduction des rejets liquides (notamment en  $^{58}\text{Co}$ ) qui s'en est suivie (voir Chap. 8.1), s'est traduite par une diminution significative des concentrations enregistrées dans les échantillons d'eaux par rapport aux années précédentes. Ainsi, en 2008, les activités du  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$  et  $^{54}\text{Mn}$  enregistrées dans les eaux de l'Aar, prélevées à Klingnau/AG (en aval de KKB), ainsi que dans celles du Rhin à Pratteln étaient toutes inférieures aux limites de détection de 0.2 à 0.5 Bq/m<sup>3</sup>.

Dans les échantillons mensuels de sédiments prélevés dans l'Aar à Hagneck, les radionucléides tels que le  $^{54}\text{Mn}$ , le  $^{60}\text{Co}$  ainsi que le  $^{137}\text{Cs}$  sont clairement mesurables (0.2 à 9.2 Bq/kg pour le  $^{54}\text{Mn}$  et 1.1 à 22 Bq/kg pour le  $^{60}\text{Co}$ ). Les mêmes isotopes se retrouvent également sous forme de traces dans les sédiments de l'Aar en aval de KKB (0.3 à 1.2 Bq/kg pour le  $^{54}\text{Mn}$  et 0.2 à 1.5 Bq/kg pour le  $^{60}\text{Co}$ ) ainsi que dans ceux du Rhin. Le  $^{58}\text{Co}$  quant à lui n'a été décelé que sporadiquement dans les sédiments prélevés dans l'Aar à Hagneck.

Des traces de  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{54}\text{Mn}$  et de  $^{137}\text{Cs}$  ont également été mises en évidence dans les plantes aquatiques prélevées fin avril en aval de Mühleberg. Dans les échantillons de mousses prélevées à Klingnau fin septembre, seuls du  $^{60}\text{Co}$  et du  $^{137}\text{Cs}$  ont pu être décelés. Les analyses des poissons prélevés dans l'Aar en aval de KKM, KKG et KKB en 2008



**Figure 5:** Suivi du tritium dans les échantillons mensuels d'eau du Rhin prélevés à Weil/D en 2008 (mesures OFSP).

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 résultats des mesures mensuelles du  $^3\text{H}$  effectuées par l'OFSP dans des échantillons d'eau du Rhin, prélevés à Weil/D en aval de Leibstadt (dernière centrale nucléaire sur son cours en Suisse), sont représentés sur la figure 5. Comme les années précédentes, les concentrations de  $^3\text{H}$  sont généralement faibles (médiane de 2.0 Bq/l), avec des valeurs légèrement plus élevées (6.6 Bq/l) enregistrées en avril 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  $\gamma$ . Aucun émetteur gamma artificiel n'a été détecté en 2008. Les résultats montrent en effet que les activités du  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  et  $^{137}\text{Cs}$  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  $^3\text{H}$  est mesuré par scintillation liquide. Les valeurs moyennes de l'activité du tritium mesurées en 2008 dans les échantillons de la chambre de contrôle et du bassin de contrôle s'élèvent à  $10.5 \pm 0.9$  Bq/l et  $10.6 \pm 1.2$  Bq/l respectivement. Notons encore que l'activité de l'eau de référence (eau robinet IRA) ne dépasse pas la limite de détection de 3 Bq/l.

Pour la mesure du  $^{90}\text{Sr}$ , deux échantillons mensuels sont mélangés, aussi bien pour la chambre de contrôle que pour le bassin de contrôle. A l'exception du mélange des mois de juillet et août du bassin de contrôle, où une valeur de  $7.6 \pm 5.4$  mBq/l a été mesurée, 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 2008. La détection du rayonnement direct, du  $^{14}\text{C}$  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 2008, en tenant compte des rejets des années précédentes, entre 0.001 et 0.005 mSv. La contribution majeure provient des rejets atmosphériques (essentiellement du  $^{14}\text{C}$ ), avec à Mühleberg une contribution rémanente des résines rejetées en 1986, dont l'impact très localisé a constamment diminué depuis.

Les calculs effectués de manière indépendante par le PSI et les autorités ont montré que les doses pour la population avoisinante ont été plus petites que 0.005 mSv/an et donc 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.

## Chapitre 8.5

# Rejets et environnement du CERN (mesures CERN)

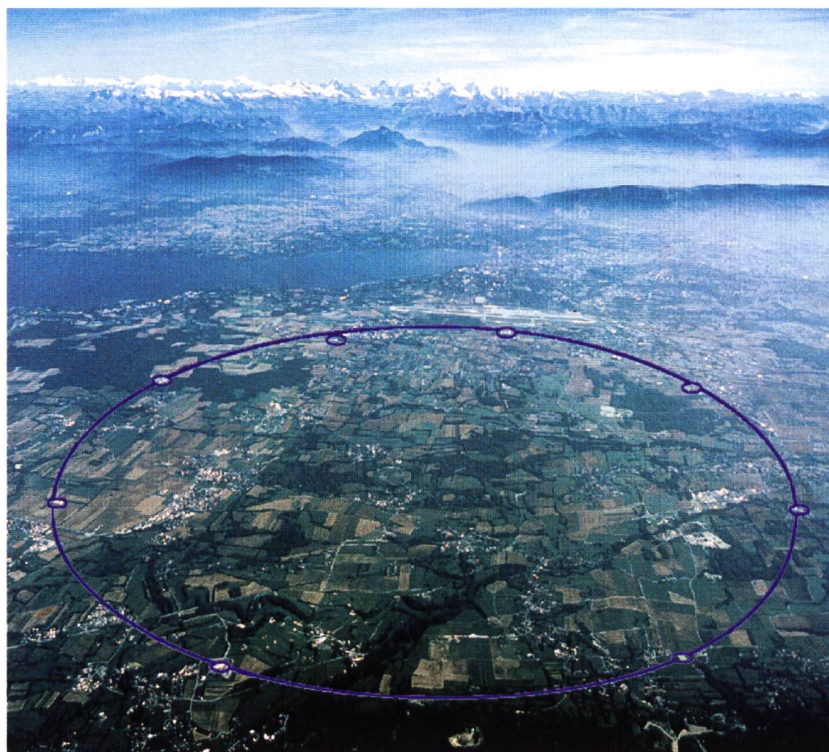
**P. Vojtyla et D. Wittekind**

CERN - Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire  
Commission de Sécurité, 1211 Genève 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 (voire Chapitre 8.6). Dans ce rapport, les résultats de mesures concernent en particulier le territoire suisse.

L'ensemble des mesures effectuées en 2008 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 sont situés, également en 2008 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 2.3% 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.





## Objets de la surveillance

Pendant l'année 2008 tous les accélérateurs du CERN ont été en opération. L'installation CNGS (CERN neutrinos to Gran Sasso) a reçu le faisceau de protons de haute intensité pendant plusieurs mois. Le LHC (Large Hadron Collider) a été en opération pendant quelques jours avant la survenue d'un accident grave le 19 septembre 2008, qui a empêché sa mise en marche avant la fin de l'année 2008. Les intensités de protons reçues pendant son fonctionnement sont restées si faibles, qu'aucun rejet n'a pu être identifié; le LHC n'a donc eu aucun impact radiologique sur l'environnement.

Les contrôles réalisés en 2008 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 de la radioactivité émise 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 de tritium sont estimés à partir des concentrations maximales mesurées aux points de ventilation. Ils sont de ce fait très surestimés. D'une façon similaire, les rejets radioactifs par voie d'eau sont contrôlés par des moniteurs installés aux points de rejet d'eau du CERN (PMWxx, voir figure 1).

**Tableau 1:**

Radioactivité du CERN rejetée dans l'air par la ventilation en 2008.

| Origine du rejet                   | Station | Air rejeté                     | <sup>11</sup> C, <sup>13</sup> N, <sup>14</sup> O, <sup>15</sup> O, <sup>41</sup> Ar | <sup>7</sup> Be aérosol | Bêta aérosol | Tritium   |
|------------------------------------|---------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------|-----------|
|                                    |         | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | TBq                                                                                  | MBq                     | MBq          | GBq       |
| Anneau principal PS                | PMV174  | 253                            | 1.77                                                                                 | 215                     | 6.9          | 2.2       |
| TT10 injection PS-SPS              | PMV11   | 202                            | 5.9                                                                                  | 48                      | 2.1          | 7.0       |
| TT60 extr. SPS-Ouest <sup>1)</sup> | PMV172  | 73                             | 0                                                                                    | 0                       | 0            | 0         |
| TT70 transfert, PS-SPS             | PMV173  | 46                             | 0.08                                                                                 | 0.9                     | 0.017        | 30        |
| ISOLDE                             | PMV170  | 81                             | 5.5                                                                                  | 0.024                   | 0.20         | 10        |
| <b>Site de Meyrin</b>              |         | <b>655</b>                     | <b>13.2</b>                                                                          | <b>264</b>              | <b>9.2</b>   | <b>49</b> |

<sup>1)</sup> Les expériences ont été supprimées, pas de faisceau dans le tunnel

**Tableau 2:**

Radioactivité du CERN rejetée dans l'eau, vers la Suisse, en 2008.

| Origine du rejet            | Station | Quantité d'eau                 | Tritium     | Bêta/gamma ( <sup>22</sup> Na) | Rejeté dans :            |
|-----------------------------|---------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|--------------------------|
|                             |         | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | GBq         | MBq                            |                          |
| Refroidissement du SPS      | PMW62   | 0.15                           | 0.08        | 0.004                          | Nant d'Avril             |
| Site de Meyrin Sud-est      | PMW101  | 1.29                           | 1.42        | 0.020                          | Nant d'Avril             |
| Site de Meyrin Nord-est     | PMW102  | 0.26                           | 0.02        | 0.002                          | Nant d'Avril             |
| AD infiltration             | PMW104  | 0.023                          | 0.08        | 0.004                          | STEP Peney <sup>2)</sup> |
| <b>Total vers la Suisse</b> |         | <b>1.70</b>                    | <b>1.60</b> | <b>0.030</b>                   |                          |

<sup>2)</sup> Station d'épuration d'eau à Peney/GE.



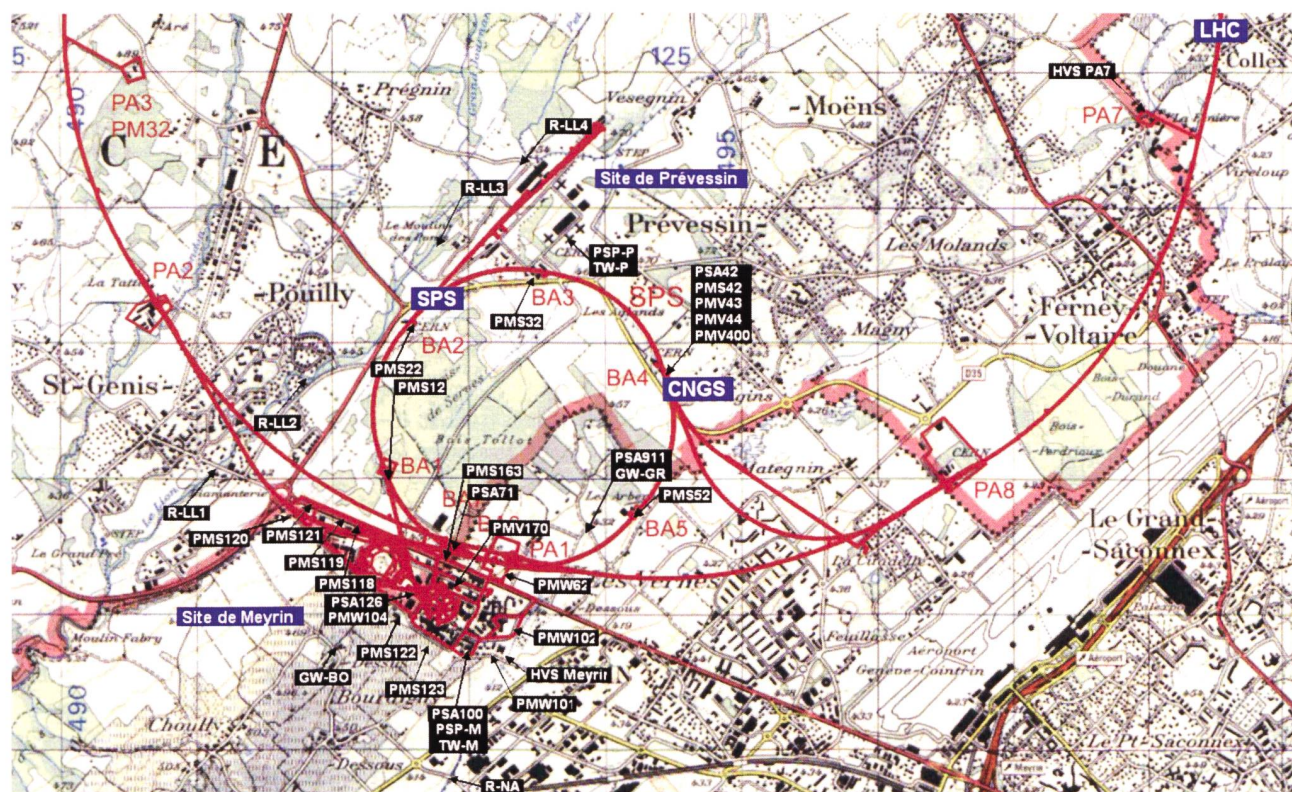
Les résultats des mesures concernant les émissions de radioactivité dans l'air pour les points de rejet sur le site de Meyrin sont présentés dans le tableau 1. Il faut ajouter 4.87 MBq de l'activité alpha (surtout du  $^{222}\text{Rn}$ ) et 11.1 MBq des radioisotopes d'iode ( $^{124}\text{I}$ ,  $^{126}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ) rejetés par l'ISOL-DE. Comme on le verra dans la figure 4, l'impact radiologique en termes d'immission n'est notable que pour les activités bêta/gamma dans l'air d'une période radioactive  $T < 1$  jour ( $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{14}\text{O}$ ,  $^{15}\text{O}$ ,  $^{41}\text{Ar}$ ). 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. Les émissions à partir du CNGS ont été très faibles, 0.03 TBq pour les gaz de périodes courtes, et elles concernent plutôt le territoire français (PMV43, 44, 400).

### Contrôle des immissions

Les accélérateurs du CERN sont des sources de rayonnements diffusés. Pour leur contrôle en continu, des stations de surveillance de site (PMSxx) sont installées

sur les sites du CERN et dans l'environnement. Elles 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.

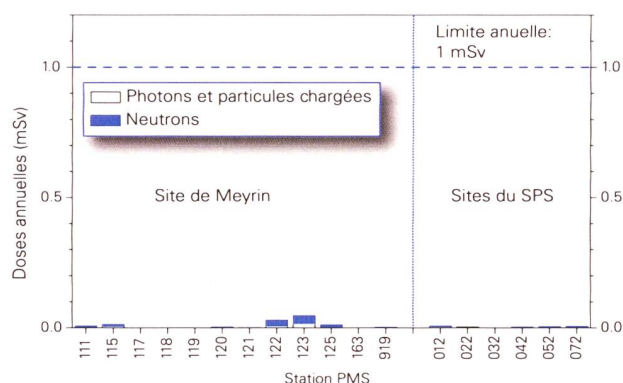
Pour contrôler que l'influence radiologique des rejets du CERN reste négligeable dans son voisinage, la Commission de Sécurité du CERN procède à des mesures de radioactivité sur divers échantillons prélevés à l'extérieur des sites de l'Organisation. Les aérosols dans l'air ambiant sont piégés sur des 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 d'eaux de rivières, de sédiments et de bryophytes dans l'eau des rivières (R-xx) ainsi que des échantillons d'eaux potables (TW-xx) 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.



**Figure 1:**

Sites du CERN, de Meyrin et de Prévessin. 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 stations de monitoring et des endroits d'échantillonnage.





**Figure 2 :**  
Doses nettes ambiantes annuelles des moniteurs de rayonnements diffusés en 2008.

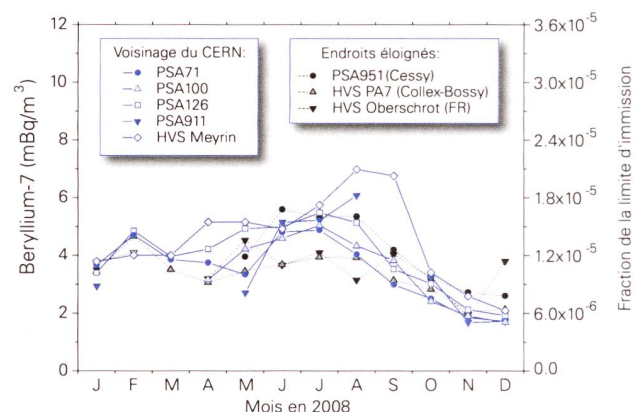
La figure 2 montre les doses nettes intégrées totales en mSv, ainsi que les contributions des rayonnements gamma et neutron à ces doses, telles qu'elles ont été mesurées par les moniteurs de rayonnements (PMS) tout autour des sites. Ces résultats sont cohérents avec ceux des contrôles effectués en 2008 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 5% 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.

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  $^7\text{Be}$ . Le  $^7\text{Be}$  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 un indicateur des rejets atmosphériques.

Le  $^7\text{Be}$  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  $^7\text{Be}$  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 Oberschrot/FR) sont présentées dans la figure 3. Les endroits éloignés sont loin de toutes sources artificielles de  $^7\text{Be}$  et peuvent de ce fait être considérés comme des stations représentatives du bruit de fond naturel. La concentration naturelle du  $^7\text{Be}$  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  $^7\text{Be}$  naturel

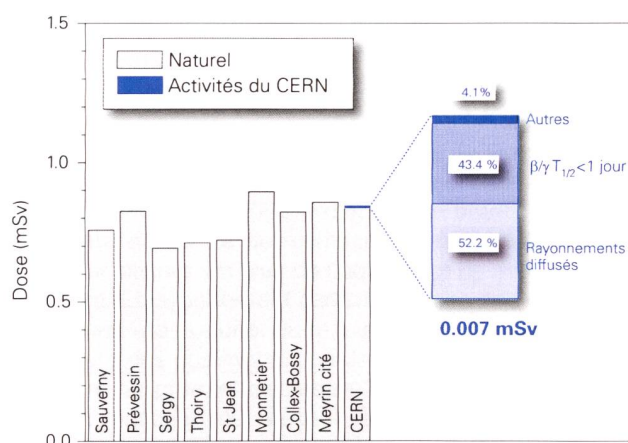
est produite, et la troposphère) et spatiales (remise en suspension par le vent ou par le trafic routier des aérosols déjà déposé au niveau du sol). En 2008 ces variations ne sont pas clairement observables dans la figure 3, mais on peut constater une dispersion des données des différentes stations. Néanmoins, la contribution éventuelle du CERN aux valeurs mesurées ne dépasse pas 5 mBq/m<sup>3</sup>, soit environ 0.0015% de la limite d'immission suisse [4].



**Figure 3:**  
Activité du  $^7\text{Be}$  dans les aérosols de 8 stations de mesure dont 5 au voisinage des points de rejet du CERN en 2008. 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 Oberschrot/FR: Échantillonneurs OFSP à haut débit sur le Site de Meyrin et à Oberschrot/FR [3]. PSA951: Cessy, France; HVS PA7: Échantillonneur CERN à haut débit près de Collex-Bossy/GE.

Pour les autres échantillons environnementaux et les produits agricoles analysés dans le programme de routine du CERN, les concentrations du  $^7\text{Be}$  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 0.007 mSv, dont 96% 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.



**Figure 4:** Contribution à la dose annuelle due aux activités du CERN sur le Site de Meyrin comparée aux variations des doses externes naturelles dans des communes françaises et suisses à proximité. La contribution du CERN de 0.0070 mSv doit être comparée à la valeur directrice de dose liée à la source de 0.3 mSv [1].

## Conclusions

- l'ensemble des résultats des mesures du CERN atteste que, en 2008, 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 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 de référence représente 0.007 mSv en 2008. La valeur correspondante en 2007 était de 0.0086 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 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 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 2008 sans conséquence radiologique à l'environnement et à 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

|               |                                                                                                                 |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>AD</b>     | Décélérateur d'antiprotons                                                                                      |
| <b>CNGS</b>   | CERN neutrinos to Gran Sasso – une source de neutrinos pour les expériences souterraines à Gran Sasso en Italie |
| <b>ISOLDE</b> | Isotope Separator On-Line Device                                                                                |
| <b>LHC</b>    | Large Hadron Collider - Grand collisionneur à hadrons                                                           |
| <b>PS</b>     | Synchrotron à protons                                                                                           |
| <b>SPS</b>    | Super synchrotron à protons                                                                                     |



## Chapitre 8.6

# Environnement du CERN (mesures OFSP)

**S. Estier, P. Beuret, G. Ferreri, A. Gurtner, M. Jungck, M. Müller, H. Völkle**

Section radioactivité de l'environnement (URA), BAG, 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 (voir Chap. 8.5), l'Office Fédéral de la Santé Publique met en œuvre, de manière indépendante, un programme de surveillance de la radioactivité et des doses de rayonnement qui en résulte au voisinage du centre de recherche (territoire suisse uniquement). L'ensemble des mesures effectuées par l'OFSP en 2008 n'a pas révélé d'impact notable des installations du CERN sur l'environnement et la population avoisinante. Même si des traces de radio-isotopes, 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  $^3\text{H}$  dans le vin).

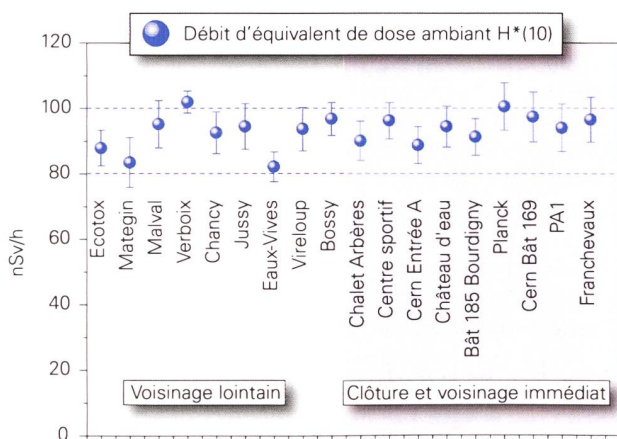
### Programme spécifique "LHC"

Les autorités des pays hôtes, à savoir l'ASN (Autorité de Sécurité 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 2008. Ce programme a été reporté à 2009 suite à l'arrêt prolongé de l'accélérateur.

## 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 2008, 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. Suite à une panne de l'instrument de lecture des dosimètres, seuls les résultats enregistrés au cours du premier semestre 2008 étaient disponibles pour la rédaction du présent rapport. 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.

Les relevés instantanés réalisés par l'OFSP à l'aide d'une chambre d'ionisation (Figure 1) en octobre 2008 ont confirmé ce constat. Les valeurs du débit d'équivalent de dose ambiant ( $H^*(10)$ ) dû au rayonnement gamma se sont ainsi échelonnées entre 83 et 102 nSv/h et se situent dans le domaine de variation de l'irradiation naturelle (moyenne des sites limitrophes:  $94 \pm 4$  nSv/h; moyenne des sites distants  $92 \pm 6$  nSv/h).



**Figure 1:** Mesures du débit d'équivalent de dose ambiant  $H^*(10)$  effectuées par l'OFSP en 2008 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 aérosols) située au CERN et assurant la surveillance de l'air en continu n'a pas signalé d'anomalie en 2008. Un moniteur d'iode a par ailleurs été mis en service en 2007 par l'OFSP sur le site du CERN, pour compléter son réseau suisse de

surveillance de l'iode-131 gazeux. Les données mesurées par ce nouveau moniteur sont transmises à la base de données du système RADAIR depuis mars 2008. Aucune valeur supérieure à la limite de détection de  $0.5 \text{ Bq/m}^3$  n'a été enregistrée. Notons qu'en décembre 2008, le débit d'air pompé par ce nouveau moniteur a été augmenté pour correspondre au niveau de celui des autres stations (débit plus faible en phase de test); la limite de détection a ainsi été abaissée de  $0.5$  à  $0.1 \text{ Bq/m}^3$ .

Les résultats des mesures hebdomadaires des filtres aérosols HVS du CERN ont confirmé, comme les années précédentes, la prédominance des radioéléments d'origine naturelle, tels que  $^7\text{Be}$  et  $^{210}\text{Pb}$  (cf figure 2). Le cas du  $^7\text{Be}$  est toutefois particulier de par sa double origine: naturelle et anthropogénique (production dans les tunnels du CERN). Le tableau 1 indique que les concentrations de  $^7\text{Be}$  mesurées en 2008 dans filtres aérosols de la station du CERN ne se sont pas distinguées de celles enregistrées dans les stations situées hors de son influence. Des traces de  $^{22}\text{Na}$ , également d'origine naturelle, ont été détectées à plusieurs reprises (valeurs comprises entre  $0.2$  et  $1 \text{ } \mu\text{Bq/m}^3$ ).

Parmi les radioéléments d'origine artificielle, des traces de  $^{137}\text{Cs}$  (valeur maximale de  $1.6 \pm 0.3 \text{ } \mu\text{Bq/m}^3$ ) dues à la remise en suspension d'anciennes contaminations (retombées des essais nucléaires soviétiques et américains des années 50 et 60 et de l'accident de Tchernobyl) ont été détectées à plusieurs reprises.

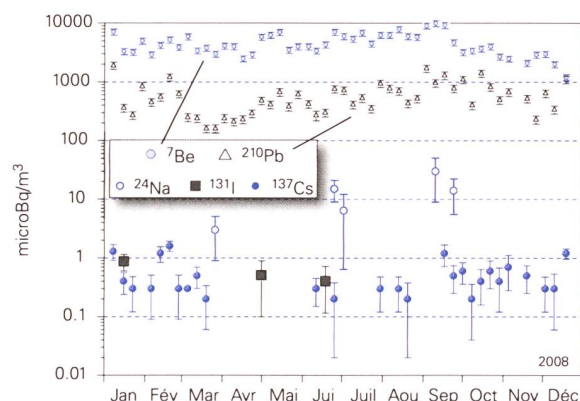
**Tableau 1:** Concentrations du  $^7\text{Be}$  mesurées en 2008 dans les filtres aérosols de la station à haut débit au CERN et comparaison avec les sites situés hors influence.

| Station de collection à haut débit | Valeur min/max       | Moyenne              |
|------------------------------------|----------------------|----------------------|
|                                    | ( $\text{mBq/m}^3$ ) | ( $\text{mBq/m}^3$ ) |
| CERN (Meyrin/GE)                   | 1.2 - 7.1            | 4.1                  |
| Oberschrot/FR                      | 1.2 - 7.5            | 3.5                  |
| Klingnau/AG                        | 0.5 - 7.6            | 3.4                  |
| Güttingen/TG                       | 0.8 - 6.4            | 3.5                  |
| Monte Ceneri/TI                    | 0.9 - 7.5            | 4.4                  |

Les seuls radio-isotopes attribuables aux activités du CERN ayant pu être sporadiquement mis en évidence dans les filtres aérosols sont le  $^{24}\text{Na}$  et le  $^{131}\text{I}$  (valeurs comprises entre  $3$  et  $15 \text{ } \mu\text{Bq/m}^3$  et entre  $0.4$  et  $0.9 \text{ } \mu\text{Bq/m}^3$  respectivement). Ces radionucléides, d'une demi-vie de  $15 \text{ h}$  pour le  $^{24}\text{Na}$  et de  $8 \text{ jours}$  pour le  $^{131}\text{I}$ , sont produits dans les accélérateurs de particules du centre de recherche.

Notons encore que l'impact radiologique des traces de  $^{24}\text{Na}$  et de  $^{131}\text{I}$  mesurées est tout à fait négligeable, puisque





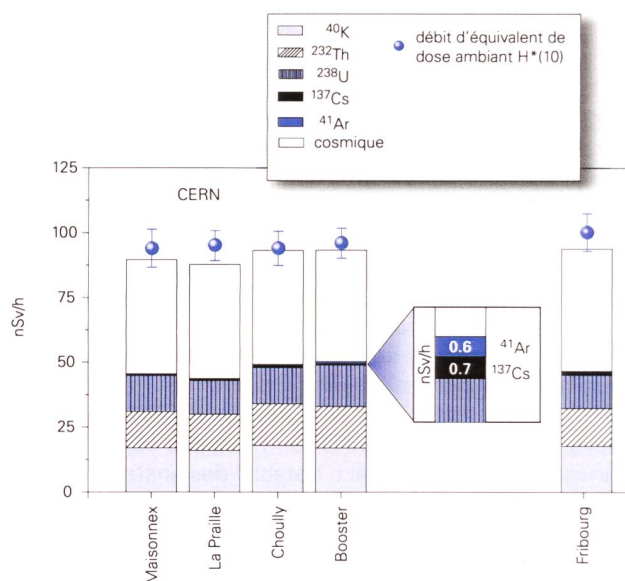
**Figure 2:** Concentrations de divers radio-isotopes (naturels et artificiels) mesurées dans les aérosols collectés chaque semaine à la station à haut débit située au CERN en 2008.

les concentrations les plus élevées enregistrées en 2008 ne représentent qu'environ 0.000015% (pour le  $^{24}\text{Na}$ ) et 0.00004 % (pour le  $^{131}\text{I}$ ) des limites d'immissions suisses. L'identification d'un aussi faible niveau de radioactivité nécessite une méthode extrêmement sensible, comme celle mise en œuvre par l'OFSP.

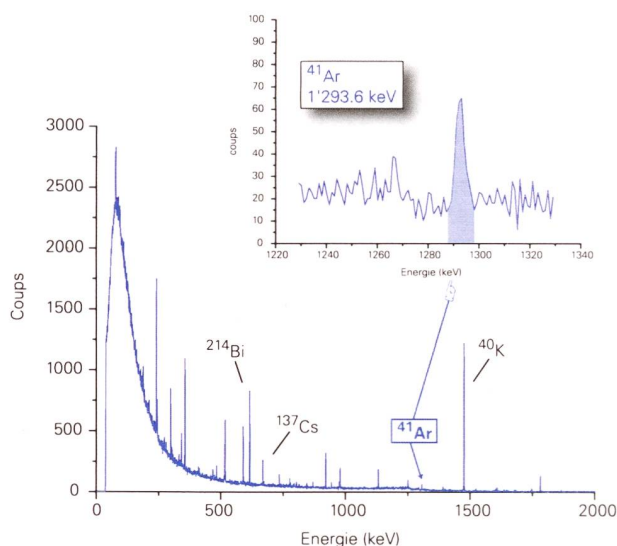
## Mesures dans le milieu terrestre

Les mesures par spectrométrie gamma in situ permettent de distinguer les contributions d'origine naturelle et artificielle à l'exposition externe du public. Les mesures 2008 n'ont pas indiqué d'apport artificiel attribuable aux activités du CERN en dehors de l'enceinte du centre de recherche: la figure 3 montre en effet que les valeurs mesurées au voisinage du CERN 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). Des traces d' $^{41}\text{Ar}$  ont en revanche pu être détectées sur le spectre in situ enregistré à la Rue Booster (voir Figure 4), située à l'intérieur de la clôture du site de Meyrin. La concentration de ce radio-isotope de très courte période (1.8 h) dans l'air environnant a pu être évaluée à 1.6 Bq/m<sup>3</sup>, soit environ 1% de la valeur limite d'immissions définie pour cet isotope dans l'ordonnance sur la radioprotection (ORaP).

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 2008, et comparaison avec les résultats obtenus à Fribourg.



**Figure 4:** Spectre in situ enregistré en octobre 2008 à la Rue Booster (site de Meyrin) présentant des traces d' $^{41}\text{Ar}$ .



## 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 de traces de  $^{137}\text{Cs}$  (valeur maximale de  $1.4 \pm 0.9$  mBq/l) provenant des retombées des essais nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Comme mentionné au chapitre 4.1, les limites de détection des différents émetteurs gamma, et en particulier du  $^{137}\text{Cs}$ , 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 en 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  $1.7 \pm 0.7$  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 octobre 2007 à novembre 2008 a fait l'objet d'un rapport spécifique<sup>1</sup>.

En dehors du  $^{40}\text{K}$  et des isotopes des séries primordiales ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ), seuls 2 radio-isotopes ont été détectés dans les échantillons d'eau prélevés dans le Nant d'Avril: le  $^7\text{Be}$ , d'origine naturelle et le  $^{137}\text{Cs}$  qui résulte de l'érosion des sols, contaminés par les retombées des essais nucléaires des années 50 et 60 et par l'accident de Tchernobyl. Notons que le  $^{65}\text{Zn}$ , régulièrement décelé dans les eaux du Nant d'Avril jusqu'en 2003, n'a pas été décelé au cours de la période sous revue. Les activités maximales relevées pour le  $^7\text{Be}$  et le  $^{137}\text{Cs}$  dans les eaux étaient de  $576 \pm 37$  mBq/l et  $8 \pm 1$  mBq/l respectivement. Comme dans le cas des mesures dans le milieu atmosphérique il ne peut être exclu qu'une partie du  $^7\text{Be}$  mesuré dans les échantillons d'eau provienne des activités du CERN, cependant cette éventuelle fraction est difficilement quantifiable. Le tableau 2 montre que le flux estimé de  $^7\text{Be}$  pour la période 2007 – 2008 est comparable à celui enregistré les années antérieures.

L'analyse des sédiments prélevés mensuellement dans le Nant d'Avril a révélé la présence de  $^7\text{Be}$  et de  $^{137}\text{Cs}$  dans tous les échantillons. Les activités mesurées pour ces deux isotopes sont résumées dans le tableau 3. Notons que depuis la période 2004 – 2005, aucune trace de  $^{54}\text{Mn}$ , de  $^{65}\text{Zn}$  ou d'isotope de Cobalt ( $^{57}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ) 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 Fo-

rel. Cette surveillance a pour but d'identifier d'éventuelles augmentations des immissions radioactives dans le milieu aquatique dues au fonctionnement du LHC. Les activités mesurées dans les échantillons de sédiments se sont échelonnées entre 33 et 1'650 Bq/kg pour le  $^7\text{Be}$  et entre 300 et 950 Bq/kg pour le  $^{40}\text{K}$ . Une valeur maximale de 24 Bq/kg a été enregistrée pour le  $^{137}\text{Cs}$ . Dans les bryophytes, les concentrations en  $^7\text{Be}$  et en  $^{40}\text{K}$  varient entre 590 et 2'290 Bq/kg et entre 150 et 810 Bq/kg respectivement. Des traces de  $^{137}\text{Cs}$  ont été mises en évidence dans deux échantillons (3.7 à 5.2 Bq/kg). Etant donné que le collisionneur n'a pas fonctionné en 2008 suite à une panne, les résultats obtenus peuvent être considérées comme un complément à ceux enregistrés lors des campagnes 2005 et 2006 sur l'état initial du site (programme point zéro LHC).

**Tableau 2:**

*Estimation des flux annuels pour la période 2007 – 2008 des radio-isotopes dans le Nant d'Avril (en gras) et comparaison avec les estimations des années antérieures. (Données provenant de l'Institut Forel).*

| Isotope            | $^7\text{Be}$      | $^{65}\text{Zn}$ |
|--------------------|--------------------|------------------|
|                    | Flux min.-max.     | Flux min.-max.   |
|                    | [MBq/an]           | [MBq/an]         |
| 1999 - 2000        | 810 - 1410         | 69 - 182         |
| 2000 - 2001        | 2076 - 2822        | 89 - 153         |
| 2001 - 2002        | 470 - 859          | 46 - 102         |
| 2002 - 2003        | 960 - 1330         | 14 - 37          |
| 2003 - 2004        | 1460 - 2210        | ND               |
| 2004 - 2005        | 1400 - 2060        | ND               |
| 2005 - 2006        | 1200 - 1470        | 31 - 67          |
| 2006 - 2007        | 2630 - 3280        | ND               |
| <b>2007 - 2008</b> | <b>1660 - 1940</b> | <b>ND</b>        |

**Tableau 3:**

*Résumé des résultats des mesures effectuées par l'Institut F.-A. Forel dans les sédiments du Nant d'Avril durant la période novembre 2007 à novembre 2008 (13 échantillons analysés).*

| Isotope           | Min- Max   | Moyenne | Médiane |
|-------------------|------------|---------|---------|
|                   | [Bq/kg]    | [Bq/kg] | [Bq/kg] |
| $^7\text{Be}$     | 398 - 1696 | 656     | 560     |
| $^{137}\text{Cs}$ | 1.9 - 16.5 | 8.3     | 8.6     |

En résumé, si l'on exclut le  $^7\text{Be}$  dont la fraction produite par les installations du CERN est incertaine, aucun marquage du système aquatique attribuable aux activités du centre de recherche n'a pu être mis en évidence au cours de la période sous revue. En effet, aucun des radioéléments tels que  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ , produits

<sup>1</sup> J.-L. Loizeau et Ph. Arpagaus, Rapport N°9 sur les mesures de la radioactivité dans le Nant d'Avril (Genève), octobre 2007 – novembre 2008; Institut F.-A. Forel (janvier 2009).



par les installations du CERN et mis en évidence par le passé, n'a pu être décelé dans les eaux ou dans les sédiments en 2008.

## 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 2008.

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 ( $^{24}\text{Na}$ ,  $^{131}\text{I}$  ou  $^{41}\text{Ar}$  dans l'air) n'a été possible que grâce à la mise en œuvre de techniques de prélèvement et de mesures d'une très grande sensibilité, dépassant le cadre des contrôles réglementaires. Les activités maximales des radio-isotopes artificiels provenant des activités du CERN n'ont pas dépassé 1 % des limites suisses et sont donc restées sans conséquence d'un point de vue radiologique.

# Kapitel 8.7

## Überwachung des zentralen Zwischenlagers (ZWILAG)

**J. Eikenberg, H. Beer, C. Parussudis, I. Zumsteg**

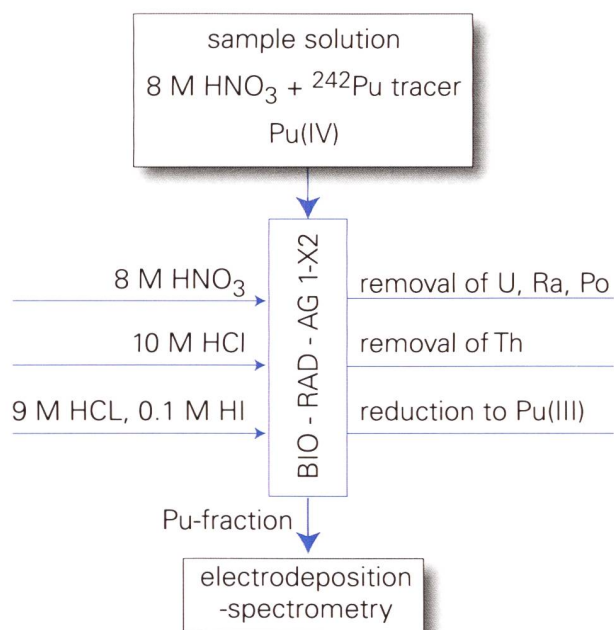
Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen

### Zusammenfassung:

Im Rahmen der Immissionsüberwachung führt das PSI seit 12 Jahren Radionuklidmessungen an Waldbodenproben aus der Umgebung des Zwischenlagers für radioaktive Abfälle (ZWILAG Würenlingen) durch. Die Proben werden dabei zunächst  $\gamma$ -spektrometrisch gemessen und anschliessend radiochemisch für die Bestimmung reiner  $\beta$ - und  $\alpha$ -Strahler ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{244}\text{Cm}$ ) aufbereitet. Die Ergebnisse der  $\gamma$ -Spektrometrie zeigen einen deutlich abnehmenden Trend für das anthropogene Radionuklid  $^{137}\text{Cs}$  von ca. 100 - 150 Bq/kg (im Jahr 1997) auf ca. 20 - 70 Bq/kg (2008). Die Abnahmen für die anthropogenen Radioisotope  $^{90}\text{Sr}$  und  $^{239+240}\text{Pu}$  sind ähnlich signifikant. So sanken die Aktivitätskonzentrationen für  $^{90}\text{Sr}$  von 6 - 10 Bq/kg auf 2 - 4 Bq/kg und diejenigen für  $^{239+240}\text{Pu}$  von 0.4 - 0.9 (1997) auf 0.1 - 0.5 im Jahr 2008. Die konstanten Isotopenverhältnisse von  $^{238}\text{Pu} / ^{239+240}\text{Pu}$  (ca. 0.03) und  $^{241}\text{Am} / ^{239+240}\text{Pu}$  (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 10 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 Bodenproben in der unmittelbaren Umgebung des Areals durchgeführt. (Details über Analysemethoden in [1]). Die-



**Figur 1:**

Schematische Darstellung des radiochemischen Trennverfahrens für Plutonium.

se Analysen dienen der Erfassung der Konzentrationen kosmogener (z.B.  $^7\text{Be}$ ), terrestrischer, ( $^{40}\text{K}$  sowie Radionuklide aus den U- und Th-Zerfallsreihen) und insbesondere anthropogener Radioisotope ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{244}\text{Cm}$ ) 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  $^{243}\text{Am}$ - und  $^{242}\text{Pu}$ -Tracer hinzu gegeben. Nach der Trockenveraschung wird die Probe in 8 M  $\text{HNO}_3$  unter Kochen während 1 Stunde ausgelaugt, so dass die oberflächlich adsorbierten Fallout-Produkte in die wässrige Phase transferiert werden. Die wässrige 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  $\text{HNO}_3$ -Waschlösungen werden potentiell bei der  $\alpha$ -Spektrometrie interferierende, natürliche Radionuklide abgetrennt (z.B.  $\alpha$ -Emission von  $^{228}\text{Th}$  und  $^{238}\text{Pu}$  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<sup>TM</sup>-Kolonne purifiziert und abgetrennt. Zur Retention von U und Th ist der TRU<sup>TM</sup>-Trennsäule eine U/TEVA<sup>TM</sup>-Kolonne vorgeschaltet. Die gereinigten Fraktionen von Pu bzw. Am+Cm werden anschliessend eingedampft und in einer  $\text{NaSO}_4$ - $\text{NaHSO}_4$ -Pufferlösung aufgenommen, die zur elektrolytischen Abscheidung von Aktiniden verwendet wird [2]. Nach der Elektrodeposition werden die Messpräparate über 2 Tage mit hochauflösender  $\alpha$ -Spektrometrie gemessen (alle Details in [1]).

## Resultate und Diskussion

Die Resultate der Radionuklid-Messungen sind in nachstehender Tabelle für die anthropogenen Radioisotope ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) und natürlichen terrestrischen Isotope aus den U- und Th-Zerfallsreihen ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ) zusammengefasst. Dargestellt ist der Streubereich der Probenmessungen aus den 4 Bodenentnahmestellen um das ZWILAG-Areal. Wie die Tabelle zeigt, liegen die typischen Aktivitätskonzentrationen von  $^{239+240}\text{Pu}$  derzeit zwischen 0.1 und 0.5 Bq/kg, diejenigen von  $^{241}\text{Am}$  zwischen 0.05 und 0.3 Bq/kg. In Spuren ist noch  $^{238}\text{Pu}$  nachweisbar (0.005 - 0.02 Bq/kg), während die Werte für fissiogenes  $^{90}\text{Sr}$  etwas höher sind (2 - 4 Bq/kg). Signifikant darüber liegen die Resultate für  $^{137}\text{Cs}$  (20 - 70 Bq/kg). Der Grund hierfür ist der zusätzliche Beitrag von Fallout-Cesium aus dem Chernobyl-Reaktorunfall. Über die Isotopenverhältnisse von  $^{241}\text{Am}$  /  $^{239+240}\text{Pu}$  (im Mittel 0.4) und  $^{238}\text{Pu}$  /  $^{239+240}\text{Pu}$  ( $0.03 \pm 0.01$ ) kann gefolgert werden, dass der Beitrag der anthropogenen Aktiniden ausschliesslich aus den atmosphärischen Kernwaffentests vor ca. 50 Jahren stammt [1, 3]. Nachstehende Tabelle 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 im Mittel ca. einem Faktor 3 beobachten. Dies liegt nur zu einem geringen Teil am radioaktiven Zerfall (die Halbwertszeiten von  $^{90}\text{Sr}$  und  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{226}\text{Ra}$  (als Mass für natürlich vorkommendes, primordiales  $^{238}\text{U}$ ) und  $^{228}\text{Ra}$  (als Mass für  $^{232}\text{Th}$ ). 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  $^{238}\text{U}$  2 - 3 ppm und für  $^{232}\text{Th}$  5 - 7 ppm, d.h. typische Werte für Böden und Gesteine der Erdkruste.

**Tabelle 1:**

Wertebereich für anthropogene Fallout-Isotope ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) und natürlich vorkommende terrestrische Isotope ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ) im Verlauf der letzten Jahre (1997, 2003 und 2008). Alle Werte in Bq/kg Trockengewicht.

| Isotop                           | 1997        | 2003        | 2008         |
|----------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| $^{90}\text{Sr}$                 | 6 - 10      | 3 - 6       | 2 - 4        |
| $^{134}\text{Cs}$ <sup>(1)</sup> | 1 - 2       | < 1         | < 1          |
| $^{137}\text{Cs}$                | 100 - 150   | 40 - 90     | 20 v 70      |
| $^{238}\text{Pu}$                | 0.01 - 0.03 | 0.01 - 0.03 | 0.005 - 0.02 |
| $^{239+240}\text{Pu}$            | 0.4 - 0.9   | 0.3 - 0.6   | 0.1 - 0.5    |
| $^{241}\text{Am}$                | 0.2 - 0.4   | 0.1 - 0.3   | 0.05 - 0.3   |
| $^{226}\text{Ra}$                | 20 - 30     | 20 - 30     | 20 - 30      |
| $^{228}\text{Ra}$                | 20 - 30     | 20 - 30     | 20 - 30      |

<sup>(1)</sup> Die Halbwertszeit von  $^{134}\text{Cs}$  beträgt nur 2.06 Jahre, d.h. das Radioisotop konnte in den Jahren 2003 und 2008 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  $\alpha$ -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.