



Strahlenschutzbericht 2004



Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen · Division principale de la Sécurité des Installations Nucléaires
Divisione principale della Sicurezza degli Impianti Nucleari · Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate

Strahlenschutzbericht 2004

Rapport sur la radioprotection 2004

Radiological Protection Report 2004

Inhaltsverzeichnis

Übersicht	4
Aperçu	5
Summary	6

A: STRAHLENSCHUTZ IN DEN KERNANLAGEN

1. Kernkraftwerke	7
1.1 Kernkraftwerk Beznau (KKB)	7
Schutz des Personals	
Strahlenschutzinstrumentierung	
1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)	8
Schutz des Personals	
Strahlenschutzinstrumentierung	
1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)	10
Schutz des Personals	
Strahlenschutzinstrumentierung	
1.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)	11
Schutz des Personals	
Strahlenschutzinstrumentierung	
2. Weitere Kernanlagen	13
2.1 Paul Scherrer Institut (PSI)	13
2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)	13
2.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)	14
2.4 Universität Basel	14
3. Grafische Darstellungen	15
4. Dosimetrie	18
4.1 Einleitung	18
4.2 Personendosimetrie: akkumulierte Dosen 2004	18
4.3 Job-Dosimetrie	35
4.4 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen der Schweiz	44
4.5 Erwartete Entwicklung der Exposition	44

B: UMWELTRADIOAKTIVITÄT BEI KERNANLAGEN, ÜBERWACHUNG

1. Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen	46
1.1 Emissionen aus den Kernanlagen	46
1.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen	56
2. Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)	57
2.1 Übersicht	57
2.2 Systeminstandhaltung	58
2.3 Systemverfügbarkeit und Störungen	58
2.4 Qualitätssicherung	59
2.5 Messergebnisse	60
2.6 Erneuerung der Messstationen	60
3. Atmosphärische Ausbreitung	67
3.1 Kompetenzzentrum Ausbreitung	67
3.2 Ausbreitungsrechnungen im Rahmen der Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität	67
3.3 Atmosphärisches Ausbreitungsmodell ADPIC/WINDBANK	68
3.4 Aktueller Stand	68
3.5 Ausblick	69
3.6 Beispiele von ADPIC/WINDBANK-Berechnungen	69
4. Kohlenstoff-14-Konzentration in der Atmosphäre	74
5. Aeroradiometrische Messungen	76
5.1 Einleitung	76
5.2 Messungen und Messresultate	76
5.3 Weiterführende Literatur	79



Ab dem Berichtsjahr 2004 erweitert die HSK ihre Berichterstattung auf vier Berichte.

Übersicht

Im vorliegenden Jahresbericht 2004 vermittelt die HSK einen Gesamtüberblick über den Strahlenschutz in ihrem Aufsichtsbereich. Bisher wurden die darin enthaltenen Themen als Beiträge zum Dosimetriebericht und zum Bericht über die Umweltradioaktivität an das Bundesamt für Gesundheit geliefert respektive als HSK-Dokumente erstellt.

Teil A des Berichtes behandelt den Schutz des Personals von Kernanlagen vor den Gefahren der Radioaktivität. Er enthält unter anderem die Zusammenstellung der vom Personal akkumulierten Personendosen. Es handelt sich dabei einerseits um die monatlich bzw. quartalsweise ausgewerteten Dosen, die mit den Dosimetern der anerkannten Dosimetriestellen erfasst wurden, andererseits um die mit direkt ablesbaren, elektronischen Dosimetern gemessenen Dosen. Diese Dosimeter bilden ein wichtiges Werkzeug für die Optimierung im operationellen Strahlenschutz in den Anlagen. Es lassen sich über die Jahre hinweg die für bestimmte Arbeiten akkumulierten Dosen in einer Anlage vergleichen und daraus Erkenntnisse zur Reduktion der Dosen gewinnen.

Dank der grossen Anstrengungen der Betreiber aber auch der Behörden konnten die Jahreskollektivdosen in den Kernkraftwerken der Schweiz deutlich reduziert werden. Den vielleicht wichtigsten Schritt bildete die Reduktion des Dosisgrenzwertes für beruflich strahlenexponierte Personen von 50 mSv pro Jahr auf 20 mSv pro Jahr, die mit der neuen Strahlenschutz-Gesetzgebung im Jahre 1994 in Kraft trat. Seither sind die Kollektivdosen wiederum auf die Hälfte gesunken und die Individualdosis der im Aufsichtsbereich der HSK beschäftigten Personen überschreitet nur noch in wenigen Fällen die Hälfte des Dosisgrenzwerts. Dies ist auf die konsequente Anwendung des Grundsatzes der Optimierung zurückzuführen. Inkorporationen oder Personenkontaminationen treten in den Kernkraftwerken nur sehr selten auf.

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser aus den Kernanlagen werden in Teil B des Berichts behandelt. Sie waren in den vergangenen Jahren stets deutlich geringer als die Abgabelimiten. Die daraus berechneten Dosiswerte für die am meisten betroffene Person in der Umgebung der Kernanlagen betragen jeweils einige Mikrosievert und sind damit radiologisch unbedeutend. Nach der Strahlenschutzverordnung gilt der Grundsatz der Optimierung als erfüllt, wenn die Jahresdosis für nichtberuflich strahlenexponierte Personen kleiner als zehn Mikrosievert ist.

Ein Vergleich der Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus den westeuropäischen Kernkraftwerken zeigt, dass die Abgaben der älteren Anlagen der Schweiz über dem europäischen Mittelwert liegen. Verbesserungsmassnahmen wurden inzwischen eingeleitet. Das Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) misst ganzjährig und 24 Stunden pro Tag die Dosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke. Die Stunden und Tagesmittelwerte der Messungen sind auf der Internetseite der HSK abrufbar (www.hsk.ch). Für die Behörden und gegenüber der Öffentlichkeit dient dieses Messnetz der Beweissicherung. Im Berichtsjahr wurden keine erhöhten Ortsdosisleistungswerte, die auf Abgaben der Kernkraftwerke zurückzuführen wären, festgestellt. Einzelne lokal erhöhte Messwerte sind auf Schwankungen der natürlichen (Untergrund-)Strahlung, zum Beispiel durch Regen, zurückzuführen.

Im Berichtsjahr wurden alle Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung eingehalten. Es gab in den Kernanlagen keine Vorkommnisse, die zu einer unzulässigen Strahlenexposition von Personal oder Bevölkerung geführt hat. Die HSK beurteilt den Stand des operationellen Strahlenschutzes in ihrem Aufsichtsbereich als gut. Es wird jedoch eine herausfordernde Aufgabe für die Betreiber und für die Behörden sein, diesen guten Stand zu halten oder noch zu verbessern.

Aperçu

Dans ce rapport annuel 2004, la DSN donne une vue d'ensemble de la radioprotection dans son domaine de surveillance. Jusqu'à présent, les thèmes qui le constituent étaient abordés et traités dans le rapport de dosimétrie et dans le rapport sur la radioactivité de l'environnement destinés à l'Office fédéral de la santé publique, et élaborés sous forme de documents DSN.

La partie A du rapport traite de la protection du personnel des installations nucléaires contre les dangers de la radioactivité. Elle contient entre autres les doses individuelles accumulées par le personnel. Il s'agit d'une part des doses évaluées mensuellement et par trimestre, qui ont été saisies avec les dosimètres de services dosimétriques reconnus, d'autre part des doses mesurées avec des dosimètres électroniques pouvant être directement relevés. Ces dosimètres sont un outil important de l'optimisation dans la radioprotection opérationnelle des installations. On peut comparer sur plusieurs années les doses accumulées dans une installation pour certains travaux et en tirer ainsi des conclusions sur la réduction des doses.

Les efforts soutenus réalisés par les exploitants ainsi que par les autorités ont permis de réduire sensiblement les doses collectives annuelles dans les centrales nucléaires de la Suisse. L'étape sans doute la plus importante a consisté à réduire la valeur limite de dose pour les personnes professionnellement exposées au rayonnement, valeur qui est passée de 50 mSv à 20 mSv par an et est entrée en vigueur en 1994 avec la nouvelle législation sur la radioprotection. Depuis, les doses collectives ont de nouveau baissé de moitié et la dose individuelle des personnes travaillant dans le domaine de surveillance de la DSN ne dépasse que dans quelques cas encore la moitié de la valeur limite de dose. Cela est dû à l'application systématique du principe de l'optimisation. Des incorporations ou des contaminations de personnes n'apparaissent que très rarement dans les centrales nucléaires.

Les rejets de matières radioactives avec l'air évacué et les eaux usées provenant des installations nucléaires

sont abordés dans la partie B du rapport. Ces dernières années, ils ont toujours été nettement plus faibles que les limites des rejets. Les valeurs de dose ainsi calculées pour les personnes les plus exposées au voisinage des installations nucléaires se sont élevées chaque fois à quelques microsieverts et sont ainsi radiologiquement insignifiantes. En vertu de l'ordonnance sur la radioprotection, le principe de l'optimisation est déclaré satisfait lorsque la dose annuelle des personnes exposées aux radiations en dehors du cadre professionnel est inférieure à dix microsieverts.

Une comparaison des rejets de matières radioactives avec les eaux usées provenant des centrales nucléaires d'Europe de l'Ouest montre que les rejets des anciennes installations de Suisse sont supérieurs à la valeur moyenne européenne. Des mesures d'amélioration ont été introduites entre temps.

Le réseau automatique de mesures et de surveillance du débit de dose au voisinage des centrales nucléaires (MADUK) mesure tout au long de l'année et 24 heures sur 24 le débit de dose au voisinage des centrales nucléaires. Les heures et les valeurs moyennes journalières des mesures peuvent être consultées sur le site Internet de la DSN (www.hsk.ch). Pour les autorités et par rapport au public, ce réseau de mesures sert à la mise en sûreté de la preuve. Au cours de l'exercice sous revue, on n'a constaté aucune valeur accrue de débit de dose local due à des rejets des centrales nucléaires. Quelques valeurs de mesures localement accrues sont dues à des variations du rayonnement ambiant naturel, par exemple la pluie.

En 2004, toutes les valeurs limites de l'ordonnance sur la radioprotection ont été respectées. Il n'y a pas eu dans les installations nucléaires d'événements ayant occasionné une irradiation inadmissible du personnel ou de la population. La DSN juge bon l'état de la radioprotection opérationnelle dans son domaine de surveillance. Mais les exploitants et les autorités ont maintenant pour défi de maintenir ce bon état, voire de l'améliorer encore.

Summary

The Annual Report of the Swiss Nuclear Safety Inspectorate for 2004 provides an overview of the Inspectorate's work in supervising radiological protection in nuclear installations. In the past, the subjects covered by this Report formed part of the Dosimetry and Environmental Radioactivity reports compiled by the Inspectorate and supplied to the Swiss Federal Office of Public Health.

Section A of the Report deals with the radiological protection of personnel from the hazards of radioactivity in nuclear facilities. It includes a summary of the annual cumulative exposure of individuals during the course of their work. The figures are derived partly from the monthly or quarterly analyses of dose readings monitored with dosimeters of authorised dosimetry laboratories and partly from the use of electronic dosimeters with a visual display. These dosimeters are an important tool in efforts to ensure maximum operational radiological protection and allow year-on-year comparisons of the accumulated doses for specific tasks in a nuclear installation. The resultant information can then be used to further reduce doses.

Thanks to strenuous efforts by both operators and authorities, significant reductions have been achieved in the level of annual collective exposure in Swiss nuclear facilities. The main catalyst in this respect was probably the reduction from 50 mSv to 20 mSv in the annual limit for persons occupationally exposed to radiation resulting from the Radiological Protection Act in 1994. Since then, collective doses have dropped by half and very few individual doses for those employed in facilities regulated by the Inspectorate exceeded 50% of the admissible limit. This is attributable to the consistent application of the principle of optimisation. Cases of incorporations or personal contamination occur very rarely in nuclear power plants.

Section B of the Report deals with radioactive releases via exhaust-gas and wastewater systems. In recent years, both figures have remained significantly below the admissible limits and the dose calculated for the most affected persons in the vicinity of nuclear facilities is only a few microsievert, which in radiological terms is insignificant. The principle of optimisation as defined in the Radiological Protection Ordinance is regarded as having been met if the annual dose for individuals exposed to radiation other than during their work is less than 10 microsievert.

A comparison of radioactive releases via the wastewater systems of nuclear power plants in Western Europe revealed that releases from older facilities in Switzerland were above the European average. Remedial action has now been taken.

The automatic dose-rate monitoring network located close to nuclear power plants (MADUK) measures the dose rate in the immediate vicinity of nuclear power plants 365 days a year and 24 hours a day. The hourly and daily averages are shown on the Inspectorate's website at www.hsk.ch. This monitoring network provides documentary evidence for the authorities and the public alike. During the year under review, there was no increase in local dose rates attributable to releases from nuclear power plants and any individual local increases were due to fluctuations in the natural (background) radiation, e.g. resulting from rain.

Similarly, none of the limits specified in the Radiological Protection Ordinance were exceeded during the year and there were no incidents in nuclear facilities resulting in inadmissible exposure to radiation for employees or the public in general. The Inspectorate rates as good the operational radiological protection of facilities that it regulates. However, for both operators and authorities the challenge is to ensure that this state of affairs is maintained or improved further.

A: STRAHLENSCHUTZ IN DEN KERNANLAGEN

1. Kernkraftwerke

1.1 Kernkraftwerk Beznau (KKB)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2004 (Daten für 2003 in Klammern) wurden im KKB folgende Kollektivdosen ermittelt:

KKB 1		
Aktionen	Kollektivdosis [Personen-mSv]	
Revisionsstillstand (2003: BE-Wechsel)	443	(73)
Leistungsbetrieb	54	(58)
Gesamte Jahreskollektivdosis	497	(131)

KKB 2		
Aktionen	Kollektivdosis [Personen-mSv]	
BE-Wechsel (2003: Revisionsstillstand)	68	(267)
Leistungsbetrieb	54	(58)
Gesamte Jahreskollektivdosis	122	(325)

KKB 1 + 2		
Aktionen	Kollektivdosis [Personen-mSv]	
Revisionsstillstand bzw. BE-Wechsel	511	(340)
Leistungsbetrieb	108	(120)
Gesamte Jahreskollektivdosis	619	(460)

Wie aus den obigen Tabellen ersichtlich ist, wurden auch im Jahr 2004 in den beiden Blöcken des KKB tiefe Kollektivdosen verzeichnet.

Die höchste im KKB registrierte Individualdosis betrug 9,2 mSv (2003: 9,5 mSv) und lag damit deutlich unter dem Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr nach Strahlenschutzverordnung. Auch der KKB-interne Richtwert für die maximale jährliche Individualdosis von 10 mSv wurde nicht überschritten. Es traten in beiden Blöcken während der Berichtsperiode keine Personenkontaminationen auf,

die nicht mit herkömmlichen Mitteln (Hände waschen, Duschen) entfernt werden konnten. Die obligatorische Inkorporationsüberwachung des Personals mit dem Triagemonitor vor Ort (Quickcounter) ergab keinen Hinweis auf Inkorporationen. Die regelmässig sowie arbeitsbedingt durchgeführten Kontaminationskontrollen der Luft und der zugänglichen Oberflächen in den kontrollierten Zonen der Anlage zeigten keine unzulässigen Kontaminationen.

Das Abfahren von **Block 1** zur geplanten Revisionsabstellung erfolgte problemlos und ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Im Sicherheitsgebäude wurde während den Revisionsarbeiten das bewährte reduzierte Abschirmkonzept angewendet. Im ersten Untergeschoss konnte auf Grund des geringen Arbeitsaufwandes in einem Sektor auf Abschirmungen verzichtet werden. Dieser Bereich wurde abgesperrt und war nur mit Zustimmung des Betriebsstrahlenschutzes zugänglich. Im übrigen Sicherheitsgebäude wurden etwa 35 Tonnen Bleibleche zur Abschirmung eingesetzt. Generell wurde der Strahlenpegel an den Arbeitsplätzen und Durchgängen dank der Abschirmmassnahmen um etwa einen Faktor 3 gesenkt. Die mittleren Oberflächen-Dosisleistungen am Loop-A des Hauptkühlkreislaufes sowie an den Aussenflächen der beiden Dampferzeuger blieben im Vergleich mit den Vorjahren unverändert oder zeigten leicht sinkende Tendenz. Am Loop-B stiegen die entsprechenden Werte um etwa 40%. Die Gründe für diesen Anstieg lagen in abgelagerten radioaktiven Partikeln (Hotspots) und in einer geringfügigen Rekontamination der inneren Oberflächen des Systems, verursacht durch einen zu geringen Durchfluss während der Abfahrreinigung.

Die geplante Kollektivdosis für die Revisionsabstellung im Block 1 (342 Pers.-mSv) wurde um etwa 30% überschritten. Dies lässt sich unter anderem damit erklären, dass das KKB die mittleren Arbeitsdistanzen zu den radioaktiven Quellen zu wenig konservativ einschätzte. Des Weiteren führten enge Platzverhältnisse und Probleme mit einem Prüfmanipulator zu erhöhten Kollektivdosen. Während der Revisionsabstellung wurde eine Kollektivdosis von 443 Pers.-mSv akkumuliert.

Im **Block 2** wurde während der jährlichen Abstellung als wesentliche Arbeit der Brennelementwechsel durchgeführt. Die Arbeiten ergaben eine Kollektivdosis von 68 Pers.-mSv. Geplant waren 80 Pers.-mSv. Dank der guten Planung und Durchführung der Arbeiten wurde die geplante Kollektivdosis um 30% unterschritten. Bei den Arbeiten für die De- und Remontage der Dichtungen am Reaktordeckel konnte die Kollektivdosis tief gehalten werden. Wegen des geringen Arbeitsaufwands während des Brennelementwechsels musste nur der Reaktordeckel mit Bleiblechen abgeschirmt werden. Die übrigen Bereiche im Sicherheitsgebäude wurden abgesperrt. Zutritt in diese Bereiche war nur mit Erlaubnis des Strahlenschutzes oder des Schichtchefs gestattet. Der radiologische Zustand in den aktiven Systemen und damit auch in den kontrollierten Zonen war dank des schadenfreien Brennstoffs sehr gut. Die Oberflächen-Dosisleistungen an den Komponenten des Hauptkühlkreislaufes sind im Vergleich mit den Vorjahren unverändert geblieben oder haben leicht abgenommen. In den Brennelementlagern wurden während der Bewegungen der Brennelemente kontinuierlich Luftproben für den Nachweis von Aerosolen und Iod in der Luft genommen. Es wurden dabei keine Kontaminationen der Luft festgestellt.

Durch verschiedene Inspektionen in der Anlage – davon zwei unangemeldete – konnte sich die HSK überzeugen, dass die Massnahmen des Strahlenschutzes im KKB zur Überwachung der Tätigkeiten in den kontrollierten Zonen sowie zur Betreuung des Eigen- und Fremdpersonals auf dem Stand der Technik sind. Der Strahlenschutz wird von der HSK als gut beurteilt.

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKB wurde im Rahmen verschiedener Inspektionen und Fachgespräche von der HSK stichprobenweise überprüft. Des Weiteren hat sich die HSK anhand der vom Betreiber eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Vor-Ort-Kontrollen davon überzeugt, dass die regelmäßigen Überprüfungen der Messgeräte durch das Kraftwerkpersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten. Eine zusätzliche Probenahmestelle für die systematische Messung der Abgaben von Tritium und Radiokohlenstoff (^{14}C) ist im 1. Quartal des Berichtsjahres in Betrieb genommen worden. Sie dient der Beweissicherung und einer Überprüfung der für die Dosisleistungsberechnungen

angenommenen ^{14}C - und Tritium-Abgaben. Die einjährige, von der HSK verlangte Messkampagne ist jedoch noch nicht abgeschlossen. Daher basiert die berechnete Dosis für ^{14}C (vgl. Teil B, Kapitel 1) wie in den Vorjahren nicht auf aktuellen Messergebnissen, sondern auf Erfahrungswerten.

Im Berichtsjahr wurde auf Grund der Übergangsbestimmung der Strahlenschutzverordnung eine Neuankennung der Personendosimetriestelle des KKB fällig. Im Rahmen dieser Neuankennung verlangte die HSK, dass ab diesem Zeitpunkt im KKB neben der Personentiefendosis $H_p(10)$ auch die Personenoberflächendosis $H_p(0,07)$ zu messen ist. Das KKB entschied sich, das existierende TLD-Personendosimetriesystem durch ein sogenanntes DIS-1- (Direct Ion Storage) System abzulösen und betrat damit insofern Neuland, als seine Personendosimetriestelle damit erstmals in der Schweiz für die Personendosimetrie ausschliesslich DIS-Dosimeter einsetzt. Auf Grund der vom Werk eingereichten Unterlagen und der Resultate einer Anerkennungsinspektion mit einem Fachexperten vor Ort erteilte die HSK fristgerecht auf Ende September 2004 die Neuankennung der Personendosimetriestelle mit einigen vom KKB noch zu erledigenden Auflagen.

Zusätzlich zu den HSK-Inspektionen wurden wie jedes Jahr bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen verschiedene nationale Labors bzw. Messstellen teilnehmen, überprüft:

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen der HSK und die halbjährlich gemeinsam mit dem Bundesamt für Gesundheit (BAG) durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Jodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des Kernkraftwerks Beznau.
- Die Dosimetriestelle des KKB beteiligte sich im Berichtsjahr sowohl mit dem TLD- wie auch mit dem DIS-System an der vom BAG und von der HSK gemeinsam organisierten Vergleichsmessung für Personendosimeter. Dabei erreichten beide Systeme am Referenzpunkt die erforderliche Messgenauigkeit von $\pm 10\%$.

1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2004 (Daten für 2003 in Klammern) wurden im KKG folgende Kollektivdosen ermittelt:

Aktionen	Kollektivdosis [Personen-mSv]	
Revisionsstillstand	721	(450)
Leistungsbetrieb	113	(107)
Gesamte Jahreskollektivdosis	834	(557)

Dank der defektfreien Brennelemente vor der Revision 2004 sowie dem allgemein sauberen Zustand der Anlage zeigte die Dosisleistung an den relevanten Anlagenteilen (RDB-Deckel, Dampferzeuger, Loopleitungen, Poolwasseroberfläche) im Durchschnitt ähnliche Werte wie in den Vorjahren. Luft- bzw. Oberflächenkontaminationen lagen bezüglich der für die einzelnen Zonentypen unterschiedlichen Richtwerte sehr niedrig oder waren nicht messbar. Seit dem Anfahren nach der Revision deuten die Aktivitätsmessungen im Kühlmittel auf einen weiterhin defektfreien Kern hin.

Während der Revision 2004 standen neben den Routinearbeiten wie Brennelementwechsel und Dampferzeuger-Instandhaltung die Inspektions- und Instandhaltungsarbeiten an Rückschlagventilen und Hauptkühlmittelpumpen im Vordergrund. Zudem wurden vorbereitende Arbeiten zum PISA-Projekt (Primär-Sicherheitsventil-Austausch) 2005 ausgeführt. Durch die konsequente temporäre Abschirmung (etwa 17,5 Tonnen Blei) der stärker strahlenden Komponenten rechnet das KKG mit einer eingesparten Kollektivdosis von ca. 41 Pers.-mSv.

Die HSK überzeugte sich anhand der eingereichten Dosisabschätzung zur Revision (gemäss HSK-Richtlinie R-15), dass die Grundprinzipien der Optimierung berücksichtigt wurden. Im Vergleich mit den Kollektivdosen früherer Jahre ist die Kollektivdosis für die Revision des Jahres 2004 (0,72 Pers.-mSv) etwas höher. Dies ist darauf zurückzuführen, dass einige Arbeiten vorgezogen wurden, um die lange Revision im kommenden Jahr 2005 zu entlasten. So wurde z.B. die Überprüfung der Dampferzeuger-Rohre inklusive dem Austausch der Stopfen, welche auf Grund der Periodizität erst 2005 an der Reihe wären, im Berichtsjahr durchgeführt. Die höchste registrierte Individualdosis betrug 8,8 mSv (2003: 9,8 mSv) und lag damit unter dem Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Im Laufe des Berichtsjahres wurden weder Personenkontaminationen, die nicht mit herkömmlichen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen festgestellt.

Durch verschiedene Inspektionen in der Anlage – davon eine unangemeldete – konnte sich die HSK überzeu-

gen, dass die Massnahmen des Strahlenschutzes im KKG zur Überwachung der Tätigkeiten in den kontrollierten Zonen sowie zur Betreuung des Eigen- und Fremdpersonals auf dem Stand der Technik sind. Der Strahlenschutz wird von der HSK als gut beurteilt.

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKG wurde im Rahmen verschiedener Inspektionen und Fachgespräche von der HSK stichprobenweise überprüft. Des Weiteren hat sich die HSK anhand der vom Betreiber eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Vor-Ort-Kontrollen davon überzeugt, dass die regelmässigen Überprüfungen der Messgeräte durch das Kraftwerkspersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Zu Beginn des Berichtsjahres führte das KKG eine Neukalibrierung der ¹⁴C-Messapparatur durch. Dabei zeigte sich, dass die Kalibrierung mit dem dafür neu beschafften Standard zu deutlich tieferen ermittelten ¹⁴C-Abgaben führte als in den Vorjahren. Eine Überprüfung mit einem zweiten, diversitären ¹⁴C-Standard bestätigte die neue Kalibrierung. Somit ist zu vermuten, dass die in den vergangenen beiden Jahren bilanzierten ¹⁴C-Abgaben des KKG um etwa einen Faktor drei überschätzt wurden. Die nach der Neukalibrierung im Berichtsjahr ermittelten ¹⁴C-Abgaben stimmen mit den aus früheren Messkampagnen zu erwartenden Werten und mit Literaturangaben überein.

Zusätzlich zu den HSK-Inspektionen wurden wie jedes Jahr bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen verschiedene nationale Labors bzw. Messstellen teilnehmen, überprüft:

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen der HSK und die halbjährlich gemeinsam mit dem Bundesamt für Gesundheit (BAG) durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Jodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des Kernkraftwerks Gösgen.
- An der vom BAG und der HSK gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für Personendosimetriestellen hat die Dosimetriestelle des KKG im Berichtsjahr, wie in der Anerkennungsverfugung gefordert, teilgenommen und den Nachweis der am Referenzpunkt erforderlichen Messgenauigkeit von $\pm 10\%$ erbracht.

1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2004 (Daten für 2003 in Klammern) wurden im KKL folgende Kollektivdosen ermittelt:

Aktionen	Kollektivdosis (Personen-mSv)	
Revisionsstillstand	1522	(605)
Leistungsbetrieb	269	(267)
Gesamte Jahreskollektivdosis	1791	(872)

Die Jahres-Hauptrevision war gemäss dem Instandhaltungskonzept des KKL eine «Langrevision» mit einer vorgesehenen Dauer von 35 Tagen. Für das Berichtsjahr war eine Kollektivdosis von 2 Pers.-mSv geplant. Gemäss der Richtlinie HSK R-11 ist bei einer zu erwartenden Jahreskollektivdosis von mehr als 1,5 Pers.-mSv eine detaillierte Überprüfung der Planung durch die HSK vorgesehen. Dazu fanden mehrere Fachgespräche zwischen HSK und KKL statt. Wichtigste Massnahme zur Reduktion der Kollektivdosis war die chemische Dekontamination der Rezirkulationsschleife A, des Reaktorwasser-Reinigungssystems und der Kleinteile zu Beginn der Jahreshauptrevision. Die höchste im KKL akkumulierte Individualdosis betrug 17 mSv (2003: 8,7 mSv) und lag damit unter dem Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr.

Die Inkorporationsüberwachung mittels Triage-Inkorporationsmonitor ergab einen Hinweis auf Inkorporation mit einer daraus resultierenden Folge-Äquivalentdosis von 0,3 mSv. Personenkontaminationen, die nicht mit den üblichen Mitteln (Hände waschen, Duschen) entfernt werden konnten, sind nicht aufgetreten.

An der Aussenseite der Kaltkondensatbehälter wurde eine geringfügige Kontamination festgestellt. In den kontrollierten Zonen der Anlage traten keine unzulässigen Kontaminationen auf, wie laufend durchgeführte Kontrollmessungen an Luft- und Oberflächenproben bestätigten. An den Umwälzschleifen ist die mittlere Dosisleistung zum vierten Mal in Folge weiter leicht gesunken und lag im Revisionsstillstand 2004 mit 1,70 mSv/h (2003: 1,71 mSv/h) unter dem Richtwert aus der Betriebsbewilligung (2 mSv/h). Die Dosisleistungen an den überwachten Reaktoreinbauten haben sich während der vergangenen fünf Jahre kaum verändert. Die Dosisleistungen in der Sekundäranlage liegen im nor-

malen, messtechnisch und betrieblich bedingten Schwankungsbereich.

Während der Revision 2004 wurden in der Anlage temporär 32 Tonnen Abschirmungen montiert, davon 20 Tonnen im Drywell. Wegen des guten Erfolges der chemischen Dekontamination im Dampftunnel konnte die vorgesehene Standardabschirmung mit 450 Bleimatten und zwei Wasserschildern auf eine Abschirmung mit 200 Bleimatten und ein Wasserschild reduziert werden. Die im Zusammenhang mit früher aufgetretenen Brennstoffdefekten durchgeführten Messprogramme zur Bestimmung der Kontamination durch α -Strahler wurden weitergeführt. Die Resultate liegen mit ca. 7000 Bq/cm² an der Innenseite des Reaktordeckels im Bereich des Vorjahres.

Für Arbeiten mit einer zu erwartenden Kollektivdosis von mehr als 50 Pers.-mSv wurden vom KKL ausführliche Strahlenschutzplanungen erstellt und der HSK vorgängig gemäss der Richtlinie HSK-R-15 gemeldet. Hierzu gehörten die zerstörungsfreien Prüfungen, die Arbeiten an der Pumpe A und den Armaturen des Rezirkulationssystems, die Systemdekontaminationen sowie die Arbeiten an Armaturen von Hilfssystemen wie zum Beispiel dem TC-System. Auf Grund des Befundes an der Pumpe A des Rezirkulationssystems wurde eine weitere Strahlenschutzplanung für den Ausbau und die Reparatur der Rezirkulationspumpe B erstellt (siehe auch den Beitrag im Aufsichtsbericht der HSK, Seite 60). Bei den Arbeiten konnten die Dosisplanungsziele eingehalten bzw. unterschritten werden. Die chemische Dekontamination von Anlagenteilen ergab eine Dosisersparnis von 2 Pers.-mSv gegenüber dem ursprünglich geplanten Dosiswert. Auf Grund der sehr hohen Ortsdosisleistungen wären ohne vorgängige Dekontaminationen die notwendig gewordenen Reparaturen dieser Pumpen aus Sicht des Strahlenschutzes nicht möglich gewesen. Durch verschiedene Inspektionen in der Anlage – davon zwei unangemeldete – konnte sich die HSK vergewissern, dass die Massnahmen des Strahlenschutzes im KKL zur Überwachung der Tätigkeiten in den kontrollierten Zonen sowie zur Betreuung des Eigen- und Fremdpersonals auf dem Stand der Technik sind. Der Strahlenschutz wird von der HSK als gut beurteilt.

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKL wurde im Rahmen verschiedener Inspektionen und Fachgespräche von der HSK stichprobenweise überprüft. Des Wei-

teren hat sich die HSK anhand der vom Betreiber eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Vor-Ort-Kontrollen davon überzeugt, dass die regelmäßigen Überprüfungen der Messgeräte durch das Kraftwerkspersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Für die Dosimetrie in der Umgebung des KKL und am Zaun wurden bis anhin Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD, Typ CaF₂:Dy) eingesetzt. Das KKL hat während des Berichtsjahres die Ortsdosimetrie auf einen neuen TLD-Typ (LiF:Mg,Cu,P) umgestellt, da sich in einer Versuchsphase gezeigt hat, dass der neue Typ zur Ermittlung der Dosis für die in der Umgebung des KKL auftretenden Strahlenfelder besser geeignet ist.

Zusätzlich zu den HSK-Inspektionen wurden wie jedes Jahr bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen verschiedene nationale Labors bzw. Messstellen teilnehmen, überprüft:

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen der HSK und die halbjährlich gemeinsam mit dem Bundesamt für Gesundheit (BAG) durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Jodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des Kernkraftwerks Leibstadt.
- An der vom BAG und von der HSK gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für Personendosimetriestellen hat die Dosimetriestelle des KKL im Berichtsjahr, wie in der Anerkennungsverfügung gefordert, teilgenommen und den Nachweis der am Referenzpunkt erforderlichen Messgenauigkeit von $\pm 10\%$ erbracht.

1.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2004 (Daten für 2003 in Klammern) wurden im KKM folgende Kollektivdosen ermittelt:

Aktionen	Kollektivdosis (Personen-mSv)	
Revisionsstillstand	634	(695)
Leistungsbetrieb	458	(368)
Zwischenabstellung	keine	(65)
Gesamte Jahreskollektivdosis	1092	(1128)

Die im Vergleich zum Vorjahr leicht niedrigeren Kollektivdosiswerte aus dem Revisionsstillstand sind im Wesentlichen auf die Dosisleistungswerte im Reaktorgebäude und dort besonders im Drywell zurückzuführen, die tiefer als erwartet lagen.

Der radiologische Zustand der Anlage war gut, der Brennstoff war schadensfrei. Im Drywell wurden bei Beginn der Jahresrevision weder Luft- noch erhöhte Oberflächenkontaminationen gemessen. Um den höheren Dosisleistungen im Drywell zu begegnen, wurden dort insgesamt ca. 75 Tonnen Blei für Abschirmungen verwendet. In der Anlage traten keine unzulässigen Kontaminationen auf, wie laufend durchgeführte Kontrollmessungen an Luft- und Oberflächenproben bestätigten.

Die höchste registrierte Individualdosis betrug 12,5 mSv (2003: 13,1 mSv). Sie liegt damit unter dem Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr.

Die Zahl der geringen Personenkontaminationen, die mit herkömmlichen Mitteln wie Händewaschen oder Duschen entfernt werden konnten, verringerte sich gegenüber dem Vorjahr deutlich. Es traten keine Kontaminationen auf, die nicht durch einfache Mittel wie Waschen oder Duschen entfernt werden konnten. Bei den Triagemessungen (Quick-Counter) des Personals ergab sich ein Inkorporationsverdacht, der durch nachfolgende Messungen bestätigt wurde. Die daraus resultierende Folge-Äquivalentdosis belief sich auf 0,13 mSv. Der Vorfall wurde anlageintern untersucht und zur Vermeidung von weiteren Fällen ausgewertet.

Im Vergleich zum Vorjahr stieg die Dosisleistung im Zentrum des Reaktordruckbehälter-Deckels nur unwesentlich an. Die mittlere Dosisleistung an den Umwälzschleifen lag um etwa 3% höher als im Vorjahr und betrug 3,99 mSv/h (2003: 3,86 mSv/h). In den anderen Anlageteilen wie am Dampftrockner oder Wasserabscheider wurde die Vorgehensweise bei der Messung der Dosisleistung geändert, was einen Vergleich mit den Vorjahren erschwert. Die Änderungen erlauben eine Vereinfachung der Messung sowie eine Dosis-Optimierung.

Die nuklidspezifischen Messungen der Kontamination in den Umwälzschleifen zeigten an den betreffenden Messpunkten eine Erhöhung der Kontamination um etwa 60% im Vergleich zum Vorjahr. Da diese Erhöhung nicht mit den gemessenen Dosisleistungen korreliert, sind noch weitere Abklärungen notwendig.

Die am Reaktorwasser-Reinigungssystem durchgeführten Messungen zeigten, dass sich die mittlere Dosisleistung (aus 24 Messpunkten erhoben) im Vergleich zum

Vorjahr mehr als verdoppelt hat. Dies überträgt sich zwar nicht proportional auf die Kollektivdosis, führt aber zu einer Erhöhung.

Durch verschiedene Inspektionen in der Anlage – davon eine unangemeldete – konnte sich die HSK vergewissern, dass die Massnahmen des Strahlenschutzes im KKM zur Überwachung der Tätigkeiten in den kontrollierten Zonen sowie zur Betreuung des Eigen- und Fremdpersonals auf dem Stand der Technik sind. Der Strahlenschutz wird von der HSK als gut beurteilt.

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKM wurde im Rahmen verschiedener Inspektionen und Fachgespräche von der HSK stichprobenweise überprüft. Des Weiteren hat sich die HSK anhand der vom Betreiber eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Vor-Ort-Kontrollen davon überzeugt, dass die regelmässigen Überprüfungen der Messgeräte durch das Kraftwerkspersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Im Jahr 2003 wurde im KKM eine zusätzliche Probenahmestelle für die systematische Messung der Abgaben von Tritium und Radiokohlenstoff (^{14}C) mit der Kaminfortluft in Betrieb genommen. Die Messstelle dient der Beweissicherung und der Überprüfung der für die Dosisleistungsberechnungen angenommenen ^{14}C - und Tritium-Abgaben. Auf Grund von Betriebsstörungen konnten bis zum Ende des Berichtsjahres noch keine zusammenhängenden Messungen während eines Jahres durchgeführt werden, wie dies von der HSK verlangt wurde. Aus diesem Grund wird die Messkampagne insbesondere für die ^{14}C -Abgaben auch während des Jahres 2005 fortgeführt. Erste Auswertungen der bereits erfolgten Messreihen sind aber in guter Übereinstimmung mit den aus der Literatur und aus früheren Messkampagnen zu erwartenden ^{14}C -Abgaben. Die berechnete Dosis für ^{14}C (vgl. Teil B, Kapitel 1) basiert deshalb wie in den Vorjahren nicht auf aktuellen Messergebnissen, sondern auf Erfahrungswerten.

Das KKM betreibt als einziges Schweizer Kernkraftwerk neben einer Triagemessstelle für Inkorporation auch eine anerkannte Inkorporationsmessstelle. Bei einer Jod-Vergleichsmessung für Schilddrüsenmonitore, welche gemeinsam vom Bundesamt für Gesundheit (BAG)

und von der HSK im Jahr 2003 organisiert wurde, ergab sich im KKM eine grössere Abweichung vom Sollwert. Deshalb suspendierte die HSK die Anerkennung für die Inkorporationsmessungen. Abklärungen des KKM zusammen mit dem Hersteller des Inkorporations-Messplatzes zeigten, dass die Ursache für die Abweichung in der Verwendung von zwei verschiedenen Auswerteprogrammen ohne Sicherstellung eines geeigneten Abgleichs der Kalibrierdaten lag. Um ähnliche Vorkommnisse in Zukunft ausschliessen zu können, wurden die notwendigen Vorkehrungen und Anpassungen im Managementsystem durchgeführt, sodass die Anerkennung der Inkorporationsmessstelle gleichzeitig mit der Neuankennung der Personendosimetriestelle für externe Strahlung im September 2004 wieder erteilt werden konnte.

Im Berichtsjahr wurde auf Grund der Übergangsbestimmung der Strahlenschutzverordnung eine Neuankennung der Personendosimetriestelle für externe Strahlung fällig. Im Rahmen dieser Neuankennung verlangte die HSK, dass ab diesem Zeitpunkt im KKM neben der Personen-Tiefendosis $H_p(10)$ auch die Personenoberflächendosis $H_p(0,07)$ zu messen sei. Das KKM entschied sich dazu, das existierende TLD-Personendosimetriesystem in geeigneter Weise zu ändern.

Auf Grund der vom Werk eingereichten Unterlagen und der Resultate einer Anerkennungsinspektion mit einem Fachexperten vor Ort erteilte die HSK auf Ende September 2004 die Neuankennung der Personendosimetriestelle des KKM.

Zusätzlich zu den HSK-Inspektionen wurden wie jedes Jahr bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen verschiedene nationale Labors bzw. Messstellen teilnehmen, überprüft:

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen der HSK und die halbjährlich gemeinsam mit dem Bundesamt für Gesundheit (BAG) durchgeführten Vergleichsmessungen von Abwasserproben und Aerosol- und Jodfiltern sowie teilweise von Abgasproben zeigten Übereinstimmung mit den Messwerten des Kernkraftwerks Mühleberg.
- An der vom BAG und der HSK gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für Personendosimetriestellen hat die Dosimetriestelle des KKM im Berichtsjahr, wie in der Anerkennungsverfügung gefordert, teilgenommen und den Nachweis der am Referenzpunkt erforderlichen Messgenauigkeit von $\pm 10\%$ erbracht.

2. Weitere Kernanlagen

2.1 Paul Scherrer Institut (PSI)

Das PSI ist das grösste Forschungsinstitut für Natur- und Ingenieurwissenschaften der Schweiz. Zusammen mit in- und ausländischen Hochschulen, Instituten, Kliniken und Industriebetrieben arbeitet das PSI in den Bereichen Materialwissenschaften, Elementarteilchen-Physik, Umwelt- und Energieforschung sowie Biowissenschaften. Der Forschungsreaktor PROTEUS, das zur Untersuchung von Kernbrennstoffen und radioaktiven Werkstoffen spezialisierte Hotlabor, die Anlagen für die Behandlung und Lagerung radioaktiver Abfälle sowie die im Rückbau befindlichen Forschungsreaktoren SAPHIR und DIORIT sind Kernanlagen und werden deshalb durch die HSK beaufsichtigt.

Im Jahr 2004 akkumulierten die 1232 beruflich strahlenexponierten Mitarbeiter am gesamten PSI, d.h. im Aufsichtsbereich des BAG und der HSK eine Kollektivdosis von 221,7 Pers.-mSv (2003: 181,7 Pers.-mSv). Da sich der Arbeitsaufwand und die radiologischen Zustände nicht wesentlich vom Vorjahr unterschieden, stieg die Kollektivdosis im Aufsichtsbereich der HSK von 59,5 Pers.-mSv im Jahr 2003 auf 62,1 Pers.-mSv im Jahr 2004 nur wenig an.

Aus den bilanzierten Abgaben radioaktiver Stoffe über die Fortluftanlagen und über das Abwassersystem des PSI wurde eine Dosis von 0,0036 mSv/Jahr für eine Person am ungünstigsten Aufenthaltsort ausserhalb des überwachten PSI-Areals nach HSK-Richtlinie R-41 berechnet. Diese Dosis liegt deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,15 mSv/Jahr für radioaktive Abgaben gemäss PSI-Abgabereglement.

Strahlenschutzrelevante Arbeiten wurden im Aktivlabor der für die Entsorgung radioaktiver Abfälle zuständigen Sektion durchgeführt. Hierzu gehörte die Konditionierung von Abfällen, die Alpha-Strahler und/oder Kernbrennstoffe enthalten. Im Hotlabor wurden im Berichtsjahr einige ausgediente Experimentiereinrichtungen für die gefahrlose Entsorgung vorbereitet. Trotz der hohen Kontamination mit Alpha-Strahler ergaben sich keinerlei Probleme, was auf die fachgerechte Strahlenschutzplanung und Durchführung der Arbeiten zurückzuführen ist. In den im Rückbau befindlichen Reaktoren SAPHIR und DIORIT konnte mit dem Ausbau und der Vorconditionierung der letzten hochaktivierten Teile die radiologische Gefährdung um einige Grössenordnungen gesenkt werden, sodass weitere Rückbauarbeiten sei-

tens des Strahlenschutzes nicht mehr freigabepflichtig sind.

Im Berichtsjahr erteilte die HSK dem PSI mehrere Freigaben für die Entlassung von Gebäuden und Materialien aus dem Strahlenschutzrecht. Besonders erwähnenswert ist der lückenlose Nachweis der Inaktivität von ca. 300 Tonnen Füllkies aus der Abschirmung des SAPHIR-Reaktors. Hierfür wurde ein Messverfahren von der HSK freigegeben, welches den erstmaligen Einsatz eines Freimessschanks in der Schweiz bei Materialien mit hoher natürlicher Eigenaktivität erlaubte. Die anspruchsvolle Kalibrierung des Freimessschanks wurde vom Eich-Labor des PSI durchgeführt.

Mit der Ausnahme von identifizierten Schwächen im Transportbereich war der Zustand der im HSK-Aufsichtsbereich stehenden PSI-Anlagen in Bezug auf den operationellen Strahlenschutz und die nukleare Sicherheit gesamthaft betrachtet gut.

2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)

Im Kalenderjahr 2004 (Daten für 2003 in Klammern) wurden in der ZWILAG folgende Kollektivdosen ermittelt:

Aktionen	Kollektivdosis [Personen-mSv]	
Betrieb	3,1	(2,7)

Das Jahr 2004 war für den Strahlenschutz von den beiden Testkampagnen für die aktive Inbetriebnahme des Verbrennungsofens sowie von den Einlagerungen von Transportbehältern mit abgebrannten Brennelementen und Fässern mit Abfällen aus den Kernanlagen geprägt. Trotz auftretender technischer Probleme am Verbrennungsofen konnten alle vorgesehenen Tätigkeiten erfolgreich durchgeführt und abgeschlossen werden. Die maximale Individualdosis betrug 0,4 mSv. Dank der radiologisch sauberen Anlage sowie der effizienten und fachgerechten Einsätze des Strahlenschutzpersonals konnten Kontaminationsverschleppungen ausserhalb der speziell eingerichteten Strahlenschutzzonen vermieden werden. Auch in diesen Zonen war das Kontaminationsniveau tief. Personenkontaminationen, die nicht mit herkömmlichen Mitteln (Hände waschen) ent-

fernt werden konnten, wurden nicht registriert. Inkorporationen waren nicht zu verzeichnen.

Auch im Jahr 2004 wurden die dafür vorgesehenen Räume und Einrichtungen der Konditionierungsanlage mit Ausnahme des Hochregallagers, der Wasseraufbereitungsanlage und des Chemielabors nicht nuklear in Betrieb genommen. Im Gebäude S werden bis auf weiteres keine radioaktiven Stoffe behandelt.

Durch ihre Inspektionen überzeugte sich die HSK davon, dass sich die Anlagen des ZZL in einem sauberen, ordentlichen Zustand befinden und die Vorschriften betreffend Strahlenschutz für das Personal und die Umwelt eingehalten werden.

2.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

Die Kernanlagen der EPFL umfassen den Forschungsreaktor CROCUS, das Neutronenexperiment CARROUSEL, die Neutronenquelle LOTUS und die angegliederten Labors. Diese Anlagen sind dem Laboratoire de physique des réacteurs et de comportement des systèmes (LRS) zugeteilt, das dem Institut de physique de l'énergie et des particules (IPEP) zugehört. Im Jahr 2004 stand der CROCUS-Reaktor Ingenieur- und Physikstudenten der EPFL, Kursteilnehmern der Reaktorschule des PSI sowie Studenten der Ingenieurschule Genf während 435 Stunden bei kleiner Leistung (unter 100 W) für Ausbildungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 157 Wh thermische Energie erzeugt. Am Experiment CARROUSEL wurden Praktika zur Wirkung unterschiedlicher Moderatoren und Absorber auf den Neutronenfluss durchgeführt. Die Neutronenquelle LOTUS wurde nicht in Betrieb genommen. Im Berichtsjahr traten keine meldepflichtigen Vorkommnisse ge-

mäss HSK-Richtlinie R-25 auf. Die Dosen des Personals lagen unterhalb der Nachweisgrenze. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war radiologisch unbedeutend. Anlässlich einer Inspektion im November 2004 überzeugte sich die HSK davon, dass sich die Anlagen in einem sauberen, ordentlichen Zustand befinden und die Vorschriften betreffend Strahlenschutz für das Personal und die Umwelt eingehalten werden.

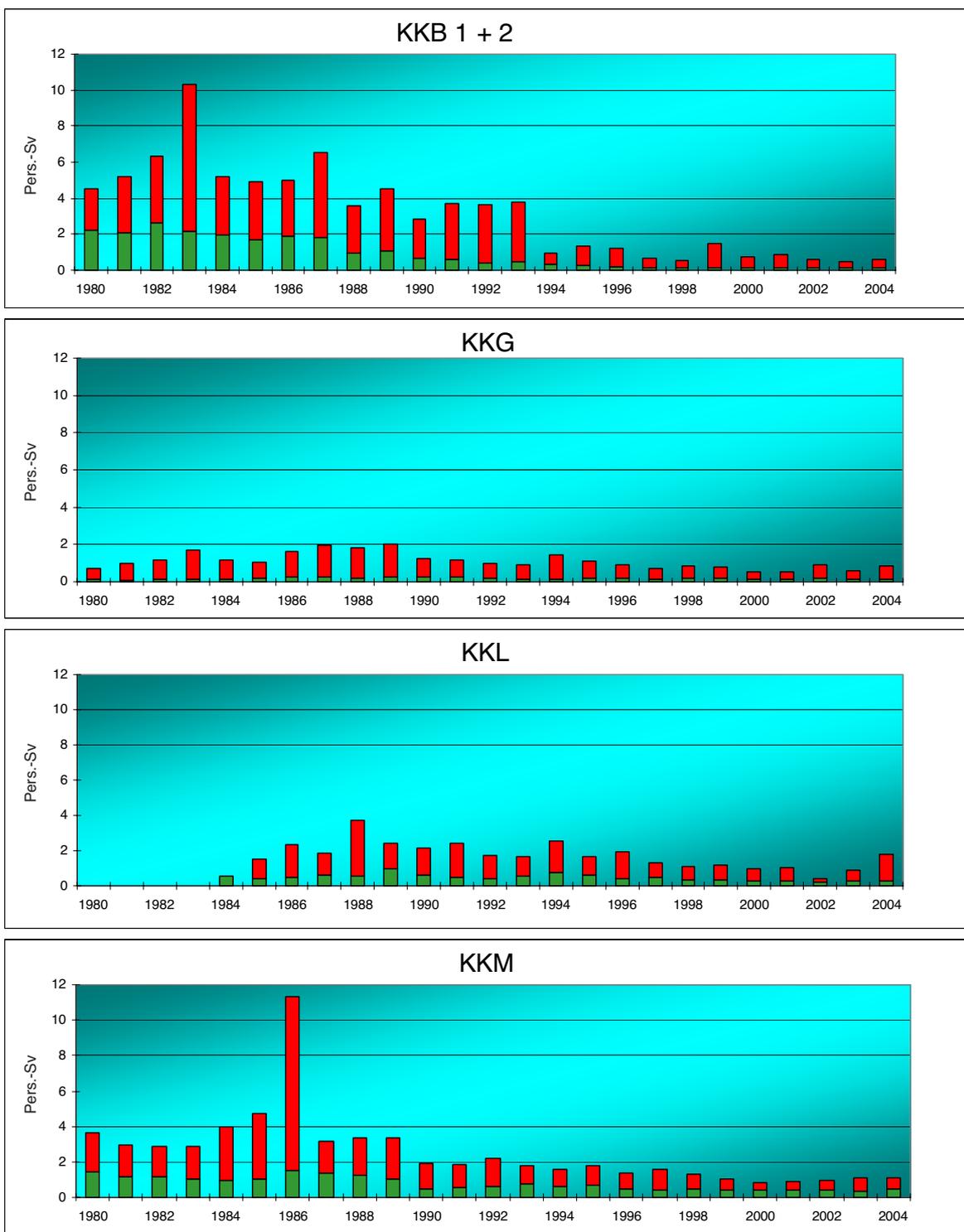
2.4 Universität Basel

Der Forschungsreaktor der Universität Basel dient ebenfalls dem Unterricht. Neben dem reaktorphysikalischen Praktikum für Physik-Studenten wurde der Reaktor für Studenten der HTL-Windisch und der PSI-Reaktorschule benutzt. Für Kurse einer Strahlenschutzschule sowie für das kantonale Labor Basel-Stadt wurden Proben bestrahlt. Im Berichtsjahr wurde der Reaktor während 19 h bei einer thermischen Leistung von 1 kW störungsfrei betrieben. Die Individualdosen sowie die Kollektivdosen lagen unterhalb der Nachweisgrenze. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend.

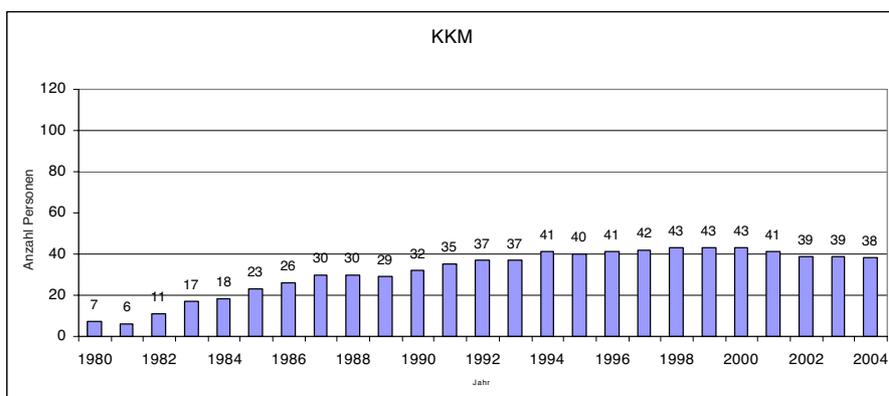
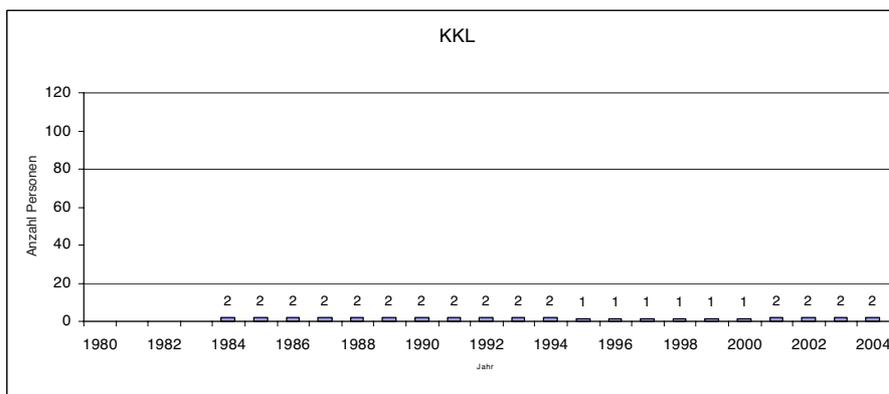
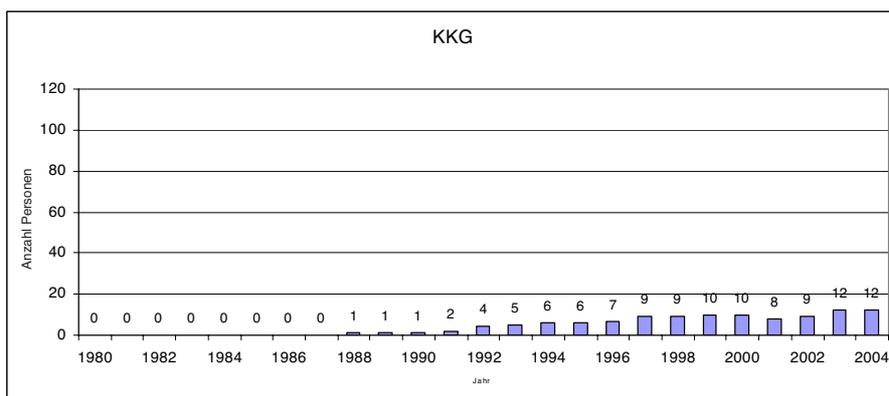
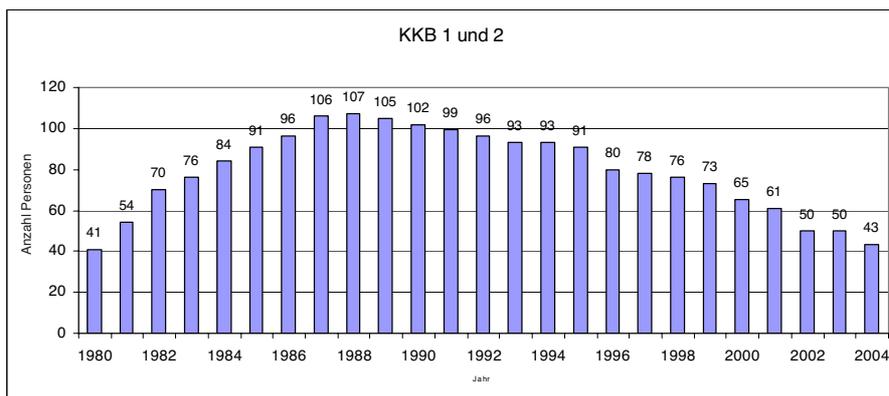
Auf Grund einer HSK-Inspektion wurden 2004 der Brandschutz und die Sicherung verbessert. Die HSK erteilte 2004 nach positiver Überprüfung der dafür erforderlichen Bedingungen eine strahlenschutzrechtliche Bewilligung zur Lagerung und Handhabung von radioaktiven Strahlenquellen im Reaktorraum.

Anlässlich einer Inspektion überzeugte sich die HSK davon, dass sich die Anlagen in einem sauberen, ordentlichen Zustand befinden und die Vorschriften betreffend Strahlenschutz für das Personal und die Umwelt eingehalten werden.

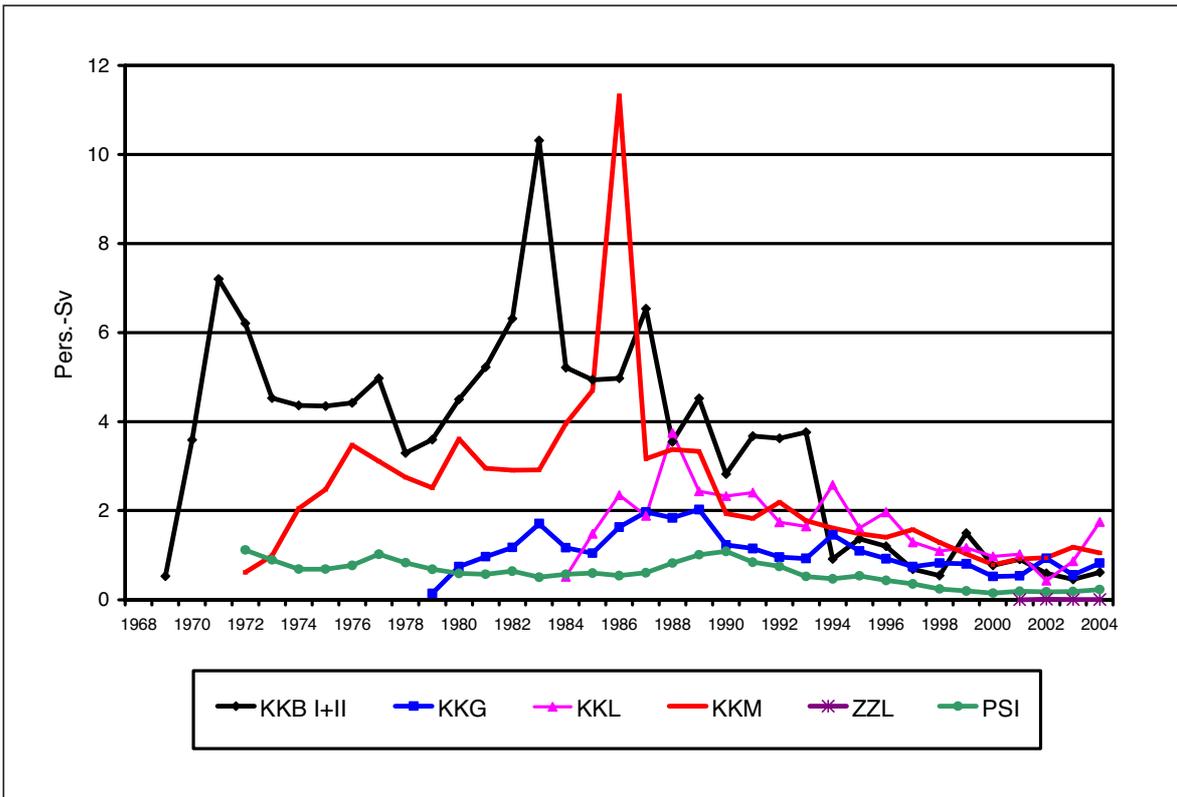
3. Grafische Darstellungen



Figur A.1: Jahreskollektivdosen (Personen-Sv/Jahr) der Kernkraftwerke, 1980 – 2004. Rot bezeichnet die Daten aus den Stillständen, Grün diejenigen aus dem Betrieb.



Figur A.2: Anzahl Personen mit einer beruflichen Lebensdosis >200 mSv, Kraftwerke, 1980 – 2004



Figur A.3: Jahreskollektivdosen (Personen-Sv) der Kernanlagen, 1968 – 2004

4. Dosimetrie

4.1 Einleitung

Als zuständige Aufsichtsbehörde hat die HSK zu prüfen, ob bei der Exposition des Personals die gesetzlichen Limiten sowie die regulatorischen Richtwerte eingehalten werden. Seit dem 1. Oktober 1994 bildet die Strahlenschutzverordnung (StSV) die gesetzliche Grundlage zur Überwachung des beruflich strahlenexponierten Personals in der Schweiz. Im Oktober 1997 wurde die Richtlinie HSK R-12, «Erfassung und Meldung der Dosen des strahlenexponierten Personals der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts» revidiert und in Kraft gesetzt. Sie regelt technische Details über die Form und den Umgang der von den Anlagen im HSK-Aufsichtsbereich zu meldenden Individualdosen und arbeitsspezifischen Kollektivdosen. Aufgabe der HSK ist es, die Angaben aus den einzelnen Anlagen kritisch zu prüfen, aufzuarbeiten, statistisch auszuwerten und entsprechend der Vorgaben der Strahlenschutzverordnung ans Bundesamt für Gesundheit, Zentrales Dosisregister (BAG) zu melden. Die Resultate dieser Arbeiten sind im vorliegenden Kapitel dargestellt.

Die Strahlenschutzverordnung schreibt vor, dass die maximale Exposition jeder einzelnen beruflich strahlenexponierten Person 20 mSv pro Jahr nicht überschreiten darf. Eine Exposition bis 50 mSv pro Jahr ist nur zulässig, wenn die Fünfjahres-Dosis unter 100 mSv bleibt und der Strahlenschutz optimiert ist. Zudem ist in diesem Fall die vorgängige Zustimmung der Aufsichtsbehörde erforderlich. Davon wurde seit Einführung dieser Regelung im Jahre 1994 im Aufsichtsbereich der HSK kein Gebrauch gemacht.

Weiter schreibt die Strahlenschutzverordnung vor, dass die Schutzmassnahmen optimiert werden müssen. Die HSK prüft vor jeder geplanten Abstellung eines Kernkraftwerks die Strahlenschutzplanungen. Für Arbeiten mit einer erwarteten Jobdosis über 50 Pers.-mSv legen die Bewilligungsinhaber die ausgearbeiteten Planungen rechtzeitig der Behörde vor.

In der HSK-Richtlinie R-11, «Ziele für den Schutz von Personen vor ionisierender Strahlung im Bereich von Kernkraftwerken», ist für die jährliche Kollektivdosis einer Anlageneinheit (Block) ein Wert von 1.5 Pers.-mSv festgelegt, bei dessen Überschreitung die HSK die Optimierungsmassnahmen des Betreibers detailliert prüft. Zur Ermittlung der Dosen und zum Nachweis der Ein-

haltung der gesetzlichen Vorgaben betreibt jedes Kernkraftwerk eine von der HSK anerkannte Dosimetriestelle. Hier werden die Dosimeter des Eigen- und des Fremdpersonals ausgewertet. Mit wenigen Ausnahmen betreiben die Kernanlagen ihre Dosimetriestellen selbst: Für das ZZL übernimmt das Kernkraftwerk Beznau diese Aufgabe. Die Neutronendosimetrie wird für alle Anlagen vom PSI durchgeführt.

4.2 Personendosimetrie: akkumulierte Dosen 2004

In den Kernanlagen existieren zwei Kategorien von dosimetrierten Personen: Es sind dies das Eigenpersonal, in den Tabellen mit «EP» gekennzeichnet, und das Fremdpersonal, in den Tabellen mit «FP» gekennzeichnet. Es kommt vor, dass Eigenpersonal aus dem Überwachungsbereich einer Dosimetriestelle vorübergehend in den Überwachungsbereich einer anderen Dosimetriestelle wechselt und dort als Fremdpersonal geführt wird. Durch die Regelungen in der HSK-Richtlinie R-12 werden die akkumulierten Dosen dieser zwischen den Kraftwerken wechselnden Personen einerseits als Eigenpersonal-Dosen der einen Anlage und andererseits als Fremdpersonal-Dosen einer anderen Anlage gemeldet. Da beide Dosimetriestellen dieselben Dosen melden, führt dies zu einer doppelten Verbuchung. Anhand der individuellen Dosismeldungen werden solche Doppelverbuchungen bereinigt. Dabei können sich in den nachfolgenden Tabellen Unterschiede ergeben. Beispielsweise entspricht die Anzahl der gemeldeten Personen aus den einzelnen Kraftwerken nicht der Gesamtsumme der Personen. Ausserdem ergeben sich Ungenauigkeiten durch Rundungen.

Für das Jahr 2004 haben die fünf Dosimetriestellen (KKB, KKG, KKL, KKM und PSI) im Aufsichtsbereich der HSK insgesamt 5031 beruflich strahlenexponierte Personen mit einer Kollektivdosis von 4462.1 Pers.-mSv (Mehrfachbuchungen bereinigt) gemeldet. Die Meldungen der Dosimetriestelle des PSI umfassen Dosen, die sowohl in Anlagen aus dem Aufsichtsbereich des BAG als auch in Anlagen aus dem Aufsichtsbereich der HSK akkumuliert wurden. Eine sinnvolle Trennung dieser Dosen ist zur Zeit nicht möglich.

Tabelle A.1: Zusammenfassung der Kollektivdosen in den schweizerischen Kernanlagen im Jahr 2004

Bereich	Anzahl überwachte Personen (EP+FP)	Kollektivdosis (Pers.-mSv)
KKB	874	618
KKG	923	823
KKM	929	1049
KKL	1495	1747
ZZL*	104	3
PSI und Universitäten	1245	228
Aufsichtsbereich der HSK	5044	4462

*Die Dosimetrie des ZZL wird von der Dosimetriestelle des KKB durchgeführt.

Es traten keine Überschreitungen des Grenzwertes für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv/Jahr nach StSV auf. Die höchste Individualdosis im Berichtsjahr betrug 17,7 mSv.

Die mittlere Dosis pro Person (Personen-Tiefendosis $H_p(10)$) liegt in den Druckwasserreaktoren bei 0,80 mSv und in den Siedewasserreaktoren bei 1,15 mSv pro Person und Jahr.

In einzelnen Anlagen werden auch nicht beruflich strahlenexponierte Personen mit Dosimetern überwacht. Diese Dosen werden ebenfalls der HSK gemeldet. Im Jahr 2004 haben insgesamt 323 Personen aus diesem Personenkreis eine Kollektivdosis von 2,9 Personen-mSv akkumuliert. Keine dieser Personen akkumulierte eine Individualdosis von mehr als 0,5 mSv pro Jahr. Der Jahressgrenzwert von 1 mSv pro Person gemäss Artikel 37 der StSV wurde damit eingehalten.

Entsprechend der «Empfehlung zur Rundung der Dosiswerte der anerkannten Personendosimetriestellen für die Meldung an die Kunden und ans zentrale Dosisregister», die von der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität (KSR) am 24. Januar 2004 verabschiedet und am 8. Dezember 2004 veröffentlicht wurde, hat die HSK ihre Jahresauswertungen der von den Dosimetriestellen ge-

meldeten Dosimetriedaten angepasst. Die Anpassung bedeutet, dass die Messwerte gemäss den international üblichen Rundungsregeln in 0,1 mSv-Schritten gerundet werden. Ferner werden im untersten Dosisbereich (kleiner als 0,1 mSv) Messwerte unterhalb von 0,075 mSv auf 0 gerundet. Messwerte zwischen 0,075 mSv und 0,1 mSv werden auf 0,1 mSv gerundet. Die von der Dosimetriestelle des PSI ermittelten Neutronendosen werden bei der Bestimmung der Ganzkörperdosen berücksichtigt.

Auf Grund der Veröffentlichung im Dezember wurde diese Empfehlung im Jahr 2004 noch nicht von sämtlichen Dosimetriestellen verwendet. Daher können sich zwischen den Meldungen der Dosimetriestellen nach HSK-Richtlinie R-12 und den HSK-Auswertungen Diskrepanzen ergeben.

Die nachstehenden Tabellen zeigen die Resultate der Auswertungen der HSK. Die Aufschlüsselung der Daten erfolgt nach Kernanlage, Fremd- und Eigenpersonal, Dosis- und Altersverteilung sowie Geschlecht. In den folgenden Tabellen bedeutet: M = Männer und F = Frauen. Ferner können aus den Tabellen Informationen über Extremitätendosen und Inkorporationen sowie die Aufteilung der Kollektivdosen auf Betrieb und Revision der betreffenden Anlage entnommen werden.

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2004. Anzahl Personen und mittlere Jahresdosis.

Tabelle A.2a: Kernkraftwerke

Dosisverteilung [mSv]	KKB I+II			KKG			KKL			KKM			Total KKW ¹⁾		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	FP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
> 0.0 - 1.0	293	389	682	255	465	720	268	806	1074	154	495	649	969	1767	2736
> 1.0 - 2.0	61	46	107	21	45	66	54	98	152	38	78	116	174	251	425
> 2.0 - 5.0	29	38	67	36	54	90	48	127	175	56	62	118	169	273	442
> 5.0 - 10.0	6	12	18	15	30	45	12	63	75	20	17	37	53	126	179
> 10.0 - 15.0				1	1	2		16	16	7	2	9	8	24	32
> 15.0 - 20.0								3	3					3	3
> 20.0 - 50.0															
> 50.0															
Total Personen	389	485	874	328	595	923	382	1113	1495	275	654	929	1373	2444	3817
Mittel pro Person [mSv]	0.7	0.7	0.7	1.0	0.9	0.9	1.0	1.2	1.2	1.8	0.8	1.1	1.1	1.1	1.1

1) Fremdpersonal, das in mehreren Anlagen eingesetzt wurde, ist hier nur einmal gezählt.
In allen Anlagen werden TL- oder DIS-Dosimeter benutzt.

Tabelle A.2b: Kernanlagen und Forschung

Dosisverteilung [mSv]	PSI			Universitäten ²⁾	Total Forschung	ZZL			Total KKW	Total Kernanlagen und Forschung ¹⁾
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP	EP + FP	
0.0 - 1.0	912	258	1170	13	1183	33	71	104	2736	3901
> 1.0 - 2.0	34	3	37		37				425	461
> 2.0 - 5.0	16	5	21		21				442	464
> 5.0 - 10.0	4		4		4				179	183
> 10.0 - 15.0									32	32
> 15.0 - 20.0									3	3
> 20.0 - 50.0										
> 50.0										
Total Personen	966	266	1232	13	1245	33	71	104	3817	5044
Mittel pro Person [mSv]	0.2	0.1	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	1.1	0.9

1) Fremdpersonal, das in der Forschung und in den Kraftwerken eingesetzt wurde, ist hier nur einmal gezählt.

2) EPFL und UNI Basel

In allen Anlagen werden TL- oder DIS-Dosimeter benutzt.

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2004.

Tabelle A.3a: Kernkraftwerke

Dosisverteilung [mSv]	KKB I+II			KKG			KKL			KKM			Total KKW1)		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
0.0 - 1.0	60.1	66.2	126.3	41.6	65.1	106.7	47.8	143.2	191.0	27.8	101.8	129.6	177.1	332.6	509.7
> 1.0 - 2.0	92.8	69.2	162.0	33.3	66.7	100.0	80.2	142.3	222.5	59.0	119.3	178.3	265.3	370.1	635.4
> 2.0 - 5.0	89.8	119.7	209.5	124.6	185.0	309.6	148.3	411.8	560.1	188.0	200.3	388.3	550.7	907.4	1458.1
> 5.0 - 10.0	42.0	78.1	120.1	101.5	182.6	284.1	92.2	441.8	534.0	140.7	110.8	251.5	376.4	833.8	1210.2
> 10.0 - 15.0				11.0	11.6	22.6				190.0		190.0	78.6	22.3	100.9
> 15.0 - 20.0										49.1		49.1			50.6
> 20.0 - 50.0															
> 50.0															
Total [Pers.-mSv]	284.7	333.2	617.9	312.0	511.0	823.0	368.5	1378.2	1746.7	494.1	554.5	1048.6	1459.1	2775.7	4234.8
Höchste Einzeldosis [mSv]	9.2	8.5	9.2	11.0	11.6	11.6	9.7	17.0	17.0	12.6	12.2	12.6	12.6	17.7	17.7

1) Fremdpersonal, das in mehreren Anlagen eingesetzt wurde, ist hier nur einmal gezählt. Durch die Addition von in verschiedenen Werken akkumulierten Individualdosen verändern sich die Kollektivdosen in einzelnen Dosisintervallen.

Tabelle A.3b: Kernanlagen und Forschung

Dosisverteilung [mSv]	PSI			Universitäten ²⁾	Total Forschung	ZZL			Total KKW EP + FP	Total Kernanlagen und Forschung ¹⁾
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP		
0.0 - 1.0	66.6	11.2	77.8	0.0	77.8	2.6	0.7	3.3	509.7	583.5
> 1.0 - 2.0	51.7	4.7	56.4		56.4				635.4	690.7
> 2.0 - 5.0	53.2	16.4	69.6		69.6				1458.1	1531.7
> 5.0 - 10.0	24.2		24.2		24.2				1210.2	1234.8
> 10.0 - 15.0									370.8	370.8
> 15.0 - 20.0									50.6	50.6
> 20.0 - 50.0										
> 50.0										
Total [Pers.-mSv]	195.7	32.3	228.0	0.0	228.0	2.6	0.7	3.3	4234.8	4462.1
Höchste Einzeldosis [mSv]	6.9	4.8	6.9	0.0	6.9	0.4	0.2	0.4	17.7	17.7

1) Fremdpersonal, das in mehreren Anlagen eingesetzt wurde, ist hier nur einmal gezählt.

2) EPFL und UNI Basel

Verteilung der Lebensalterdosen des Eigenpersonals 2004

Personen mit einer Lebensalterdosis unter 100 mSv sind in den Tabellen nicht aufgeführt.

Tabelle A.4a: Kernanlagen und Forschung

Dosisverteilung [mSv]	KKB I+II	KKG	KKL	KKM	KKW Total	PSI	ZZL	Kernanlagen und PSI Total
> 100 - 150	32	14	11	23	80	10	31	121
> 150 - 200	25	12	6	14	57	3	1	61
> 200 - 250	15	7	2	12	36	3		39
> 250 - 300	9	4		9	22	1	1	24
> 300 - 350	10	1		2	13	1		14
> 350 - 400	3			5	8			8
> 400 - 450	1			1	2			2
> 450 - 500	3			4	7			7
> 500 - 550				4	4			4
> 550 - 600	1			1	2			2
> 600	1				1*			1
Total Personen	100	38	19	75	232	18	33	283

inklusive Personal, das 2004 ausgetreten ist

* diese Person hatte Ende 2004 eine Lebensalterdosis von 606 mSv

Tabelle A.4b: Kernanlagen und Forschung

Dosisverteilung [mSv]	21 - 30 Jahre	31 - 40 Jahre	41 - 50 Jahre	51 - 60 Jahre	> 60 Jahre	Kernanlagen und PSI Total
> 100 - 150		13	44	49	15	121
> 150 - 200			9	42	10	61
> 200 - 250		1	5	23	10	39
> 250 - 300			3	12	9	24
> 300 - 350			1	11	2	14
> 350 - 400			1	4	3	8
> 400 - 450				1	1	2
> 450 - 500				5	2	7
> 500 - 550				3	1	4
> 550 - 600				2		2
> 600				1		1
Total Personen		14	63	153	53	283

inklusive Personal, das 2004 ausgetreten ist

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2004. Anzahl Personen nach Alter und Geschlecht

Tabelle A.5a: Kernanlagen und Forschung, Eigen- und Fremdpersonal

Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
[mSv]															
0.0 - 1.0	22	2	52	2	555	66	839	73	1021	51	908	32	269	9	3901
> 1.0 - 2.0	2		3		55		120		138	2	120	3	18		461
> 2.0 - 5.0	2		5		75		129	1	144	1	93	1	13		464
> 5.0 - 10.0			3		27		49		62		36		6		183
> 10.0 - 15.0			1		5		7		13		5		1		32
> 15.0 - 20.0			1						2						3
> 20.0 - 50.0															
> 50.0															
Total Personen	26	2	65	2	717	66	1144	74	1380	54	1162	36	307	9	5044
Mittel pro Person [mSv]	0.39	0.00	1.18	0.00	0.95	0.04	1.01	0.11	1.04	0.12	0.80	0.26	0.49	0.01	0.88
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	10.1	0.0	76.6	0.0	678.3	2.7	1155.0	7.8	1439.2	6.6	924.4	9.4	151.9	0.1	4462.1

Tabelle A.5b: Forschung (PSI, EPFL und UNI-Basel), Eigen- und Fremdpersonal

Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
[mSv]															
0.0 - 1.0	7	2	6	2	150	55	288	54	243	36	218	19	98	5	1183
> 1.0 - 2.0					1		11		9	1	11	3	1		37
> 2.0 - 5.0					2		9		3		6		1		21
> 5.0 - 10.0							2				2				4
> 10.0 - 15.0															
> 15.0 - 20.0															
> 20.0 - 50.0															
> 50.0															
Total Personen	7	2	6	2	153	55	310	54	255	37	237	22	100	5	1245
Mittel pro Person [mSv]	0.00	0.00	0.13	0.00	0.13	0.04	0.25	0.03	0.16	0.06	0.27	0.24	0.10	0.02	0.18
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0	0.0	0.8	0.0	20.3	2.0	78.8	1.7	41.4	2.4	64.8	5.3	10.4	0.1	228.0

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2004, Fortsetzung

Tabelle A.6: Kernkraftwerk Beznau 1 und 2 (KKB)

Eigenpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre	Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F		
	0.0 - 1.0	4		7		8	2	59	3	79		104	3	24	293
	> 1.0 - 2.0	1				4		22		11		22		1	61
	> 2.0 - 5.0							11		14		4			29
	> 5.0 - 10.0					1		1		3		1			6
	> 10.0 - 15.0														
	> 15.0 - 20.0														
	> 20.0 - 50.0														
	> 50.0														
Total Personen	5		7		13	2	93	3	107		131	3	25	389	
Mittel pro Person [mSv]	0.30		0.14		1.11	0.30	1.04	0.13	0.90		0.53	0.17	0.17	0.73	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.5		1.0		14.4	0.6	97.0	0.4	96.2		68.8	0.5	4.3	284.7	

Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre	Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F		
	0.0 - 1.0	3		3		64	2	91	3	113	2	87	1	20	389
	> 1.0 - 2.0					15		13		11		7			46
	> 2.0 - 5.0	1				11		11		10		4		1	38
	> 5.0 - 10.0					3		4		2		3			12
	> 10.0 - 15.0														
	> 15.0 - 20.0														
	> 20.0 - 50.0														
	> 50.0														
Total Personen	4		3		93	2	119	3	136	2	101	1	21	485	
Mittel pro Person [mSv]	0.73		0.40		0.89	0.00	0.82	0.10	0.62	0.50	0.58	0.10	0.25	0.69	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	2.9		1.2		82.6	0.0	97.7	0.3	83.7	1.0	58.4	0.1	5.3	333.2	

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre	Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F		
	0.0 - 1.0	7		10		72	4	150	6	192	2	191	4	44	682
	> 1.0 - 2.0	1				19		35		22		29		1	107
	> 2.0 - 5.0	1				11		22		24		8		1	67
	> 5.0 - 10.0					4		5		5		4			18
	> 10.0 - 15.0														
	> 15.0 - 20.0														
	> 20.0 - 50.0														
	> 50.0														
Total Personen	9		10		106	4	212	6	243	2	232	4	46	874	
Mittel pro Person [mSv]	0.49		0.22		0.92	0.15	0.92	0.12	0.74	0.50	0.55	0.15	0.21	0.71	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	4.4		2.2		97.0	0.6	194.7	0.7	179.9	1.0	127.2	0.6	9.6	617.9	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2004, Fortsetzung

Tabelle A.7: Kernkraftwerk Gösgen (KKG)

Eigenpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	1				13		51	4	57	5	97		27		255
	> 1.0 - 2.0						3		8		8		2		21	
	> 2.0 - 5.0						9		6		14		7		36	
	> 5.0 - 10.0						4		5		5		1		15	
	> 10.0 - 15.0												1		1	
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	1				13		67	4	76	5	124		38		328	
Mittel pro Person [mSv]	0.00				0.49		1.05	0.00	0.98	0.00	0.88		1.37		0.95	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0				6.4		70.4	0.0	74.2	0.0	108.8		52.2		312.0	

Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0			5		44	3	119	2	159	1	104	1	27		465
	> 1.0 - 2.0					4		11		19		10		1		45
	> 2.0 - 5.0					15		20		10		9				54
	> 5.0 - 10.0					6		7		14		3				30
	> 10.0 - 15.0									1						1
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen			5		69	3	157	2	203	1	126	1	28		595	
Mittel pro Person [mSv]			0.14		1.38	0.00	0.97	0.00	0.89	0.30	0.62	0.00	0.12		0.86	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]			0.7		95.3	0.0	152.3	0.0	180.6	0.3	78.5	0.0	3.3		511.0	

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	1		5		57	3	170	6	216	6	201	1	54		720
	> 1.0 - 2.0					4		14		27		18		3		66
	> 2.0 - 5.0					15		29		16		23		7		90
	> 5.0 - 10.0					6		11		19		8		1		45
	> 10.0 - 15.0									1				1		2
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	1		5		82	3	224	6	279	6	250	1	66		923	
Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.14		1.24	0.00	0.99	0.00	0.91	0.05	0.75	0.00	0.84		0.89	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.7		101.7	0.0	222.7	0.0	254.8	0.3	187.3	0.0	55.5		823.0	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2004, Fortsetzung

Tabelle A.8: Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)

Eigenpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	2		4		9	1	35	5	102	5	91	3	9	2	268
	> 1.0 - 2.0			1		1		9		26		16		1		54
	> 2.0 - 5.0					4		7		23		12		2		48
	> 5.0 - 10.0							1		4		5		2		12
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	2		5		14	1	52	5	155	5	124	3	14	2	382	
Mittel pro Person [mSv]	0.35		0.58		1.13	0.00	0.97	0.10	1.04	0.00	0.93	0.00	1.61	0.00	0.96	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.7		2.9		15.8	0.0	50.4	0.5	160.8	0.0	114.8	0.0	22.6	0.0	368.5	

Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	5		18		216	2	167	3	208	5	148	2	32		806
	> 1.0 - 2.0	1		1		22		27		25		18		4		98
	> 2.0 - 5.0			4		29		39	1	38	1	14		1		127
	> 5.0 - 10.0			2		18		12		23		8				63
	> 10.0 - 15.0					3		5		7		1				16
	> 15.0 - 20.0			1						2						3
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	6		26		288	2	250	4	303	6	189	2	37		1113	
Mittel pro Person [mSv]	0.47		1.81		1.20	0.05	1.38	1.20	1.53	0.50	0.84	0.00	0.29		1.24	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	2.8		47.0		344.9	0.1	344.0	4.8	462.4	3.0	158.3	0.0	10.9		1378.2	

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	7		22		225	3	202	8	310	10	239	5	41	2	1074
	> 1.0 - 2.0	1		2		23		36		51		34		5		152
	> 2.0 - 5.0			4		33		46	1	61	1	26		3		175
	> 5.0 - 10.0			2		18		13		27		13		2		75
	> 10.0 - 15.0					3		5		7		1				16
	> 15.0 - 20.0			1						2						3
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	8		31		302	3	302	9	458	11	313	5	51	2	1495	
Mittel pro Person [mSv]	0.44		1.61		1.19	0.03	1.31	0.59	1.36	0.27	0.87	0.00	0.66	0.00	1.17	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	3.5		49.9		360.7	0.1	394.4	5.3	623.2	3.0	273.1	0.0	33.5	0.0	1746.7	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2004, Fortsetzung

Tabelle A.9: Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)

Eigenpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0					4	1	31	2	49	1	43	1	22		154
	> 1.0 - 2.0					1		5		12		16		4		38
	> 2.0 - 5.0					1		11		22		20	1	1		56
	> 5.0 - 10.0							4		7		7		2		20
	> 10.0 - 15.0							1		3		3				7
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen					6	1	52	2	93	1	89	2	29		275
	Mittel pro Person [mSv]					0.68	0.00	1.70	0.00	2.02	0.00	2.07	1.70	0.89		1.80
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]					4.1	0.0	88.6	0.0	187.7	0.0	184.5	3.4	25.8		494.1

Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0			10		83	2	111	1	141	2	109	6	29	1	495
	> 1.0 - 2.0			1		9		27		21		14		6		78
	> 2.0 - 5.0	1		1		15		18		20		7		1		62
	> 5.0 - 10.0			2		1		8		3		2		1		17
	> 10.0 - 15.0									1		1				2
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	1		14		108	2	164	1	186	2	133	6	36	1	654
	Mittel pro Person [mSv]	2.20		1.64		0.88	0.00	1.08	0.10	0.82	0.00	0.66	0.02	0.47	0.00	0.85
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	2.2		23.0		94.5	0.0	177.9	0.1	152.2	0.0	87.5	0.1	17.0	0.0	554.5

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0			10		87	3	142	3	190	3	152	7	51	1	649
	> 1.0 - 2.0			1		10		32		33		30		10		116
	> 2.0 - 5.0	1		1		16		29		42		27	1	1		118
	> 5.0 - 10.0			2		1		12		10		9		3		37
	> 10.0 - 15.0							1		4		4				9
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	1		14		114	3	216	3	279	3	222	8	65	1	929
	Mittel pro Person [mSv]	2.20		1.64		0.86	0.00	1.23	0.03	1.22	0.00	1.23	0.44	0.66	0.00	1.13
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	2.2		23.0		98.6	0.0	266.5	0.1	339.9	0.0	272.0	3.5	42.8	0.0	1048.6

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2004, Fortsetzung

Tabelle A.10: Kernkraftwerke gesamt

Eigenpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	7		11		34	4	175	14	287	11	335	7	82	2	969
	> 1.0 - 2.0	1		1		6		39		57		62		8		174
	> 2.0 - 5.0					5		38		65		50	1	10		169
	> 5.0 - 10.0					1		10		19		18		5		53
	> 10.0 - 15.0							1		3		3		1		8
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	8		12		46	4	263	14	431	11	468	8	106	2	1373	
Mittel pro Person [mSv]	0.28		0.33		0.88	0.15	1.16	0.06	1.20	0.00	1.02	0.49	0.99	0.00	1.06	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	2.2		3.9		40.7	0.6	306.2	0.9	518.9	0.0	476.9	3.9	104.9	0.0	1459.1	

Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	8		34		372	7	386	4	497	4	358	6	90	1	1767
	> 1.0 - 2.0	1		2		48		70		72	1	48		9		251
	> 2.0 - 5.0	2		5		68		82	1	76	1	36		2		273
	> 5.0 - 10.0			3		26		37		43		16		1		126
	> 10.0 - 15.0			1		5		6		10		2				24
	> 15.0 - 20.0			1						2						3
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	11		46		519	7	581	5	700	6	460	6	102	1	2444	
Mittel pro Person [mSv]	0.72		1.56		1.19	0.01	1.33	1.04	1.25	0.72	0.83	0.03	0.36	0.00	1.14	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	7.9		71.9		617.3	0.1	771.7	5.2	877.9	4.3	382.7	0.2	36.5	0.0	2775.7	

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	15		45		406	11	561	18	784	15	693	13	172	3	2736
	> 1.0 - 2.0	2		3		54		109		129	1	110		17		425
	> 2.0 - 5.0	2		5		73		120	1	141	1	86	1	12		442
	> 5.0 - 10.0			3		27		47		62		34		6		179
	> 10.0 - 15.0			1		5		7		13		5		1		32
	> 15.0 - 20.0			1						2						3
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	19		58		565	11	844	19	1131	17	928	14	208	3	3817	
Mittel pro Person [mSv]	0.53		1.31		1.16	0.06	1.28	0.32	1.24	0.25	0.93	0.29	0.68	0.00	1.11	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	10.1		75.8		658.0	0.7	1077.9	6.1	1396.8	4.3	859.6	4.1	141.4	0.0	4234.8	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2004, Fortsetzung

Tabelle A.11: Zentrales Zwischenlager (ZZL)

Eigenpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0							9	1	12	1	7		3		33
	> 1.0 - 2.0															
	> 2.0 - 5.0															
	> 5.0 - 10.0															
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen							9	1	12	1	7		3		33
	Mittel pro Person [mSv]							0.10	0.00	0.13	0.00	0.00		0.03		0.08
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]							0.9	0.0	1.6	0.0	0.0		0.1		2.6

Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0			1		9		16		21		17	1	5	1	71
	> 1.0 - 2.0															
	> 2.0 - 5.0															
	> 5.0 - 10.0															
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen			1		9		16		21		17	1	5	1	71
	Mittel pro Person [mSv]			0.00		0.00		0.00		0.01		0.03	0.00	0.00	0.00	0.01
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]			0.0		0.0		0.0		0.2		0.5	0.0	0.0	0.0	0.7

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0			1		9		25	1	33	1	24	1	8	1	104
	> 1.0 - 2.0															
	> 2.0 - 5.0															
	> 5.0 - 10.0															
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen			1		9		25	1	33	1	24	1	8	1	104
	Mittel pro Person [mSv]			0.00		0.00		0.04	0.00	0.05	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.03
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]			0.0		0.0		0.9	0.0	1.8	0.0	0.5	0.0	0.1	0.0	3.3

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2004, Fortsetzung

Tabelle A.12: Kernkraftwerke und Zentrales Zwischenlager (ZZL)

Eigenpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	7		11		34	4	184	15	298	12	342	7	85	2	1001
	> 1.0 - 2.0	1		1		6		39		57		62		8		174
	> 2.0 - 5.0					5		38		65		50	1	10		169
	> 5.0 - 10.0					1		10		19		18		5		53
	> 10.0 - 15.0							1		3		3		1		8
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	8		12		46	4	272	15	442	12	475	8	109	2	1405	
Mittel pro Person [mSv]	0.28		0.33		0.88	0.15	1.13	0.06	1.18	0.00	1.00	0.49	0.96	0.00	1.04	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	2.2		3.9		40.7	0.6	307.1	0.9	520.5	0.0	476.9	3.9	105.0	0.0	1461.7	

Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	8		35		377	7	388	4	499	4	362	6	90	2	1782
	> 1.0 - 2.0	1		2		48		70		72	1	48		9		251
	> 2.0 - 5.0	2		5		68		82	1	76	1	36		2		273
	> 5.0 - 10.0			3		26		37		43		16		1		126
	> 10.0 - 15.0			1		5		6		10		2				24
	> 15.0 - 20.0			1						2						3
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	11		47		524	7	583	5	702	6	464	6	102	2	2459	
Mittel pro Person [mSv]	0.72		1.53		1.18	0.01	1.32	1.04	1.25	0.72	0.83	0.03	0.36	0.00	1.13	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	7.9		71.9	0.0	617.3	0.1	770.6	5.2	878.1	4.3	383.0	0.2	36.5	0.0	2775.1	

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	15		46		411	11	572	19	797	16	704	13	175	4	2783
	> 1.0 - 2.0	2		3		54		109		129	1	110		17		425
	> 2.0 - 5.0	2		5		73		120	1	141	1	86	1	12		442
	> 5.0 - 10.0			3		27		47		62		34		6		179
	> 10.0 - 15.0			1		5		7		13		5		1		32
	> 15.0 - 20.0			1						2						3
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	19		59		570	11	855	20	1144	18	939	14	211	4	3864	
Mittel pro Person [mSv]	0.53		1.28		1.15	0.06	1.26	0.31	1.22	0.24	0.92	0.29	0.67	0.00	1.10	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	10.1		75.8		658.0	0.7	1077.7	6.1	1398.6	4.3	859.9	4.1	141.5	0.0	4236.8	

Verteilung der Extremitätendosen 2004

Tabelle A.13: Kernanlagen und Forschung

Dosisverteilung	KKB I+II			KKG			KKL			KKM			Total KKW			PSI			ZZL			Summe Kernanlagen und PSI
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	
0 - 25	7	2	9	3	2	5	2	18	20	7	9	16	19	31	50	111	3	114	0	0	0	164
> 25 - 50	1		1										1		1	5		5				6
> 50 - 75																						
> 75 - 100																						
> 100 - 150									1		1		1		1							1
> 150 - 200																						
> 200 - 250																						
> 250 - 300																						
> 300 - 350																						
> 350 - 400																						
> 400 - 450																						
> 450 - 500																						
> 500																						
Total Personen	8	2	10	3	2	5	2	18	20	8	9	17	21	31	52	116	3	119	0	0	0	171

Folgedosis E₅₀ durch Inkorporationen des beruflich strahlenexponierten Personals, 2004

Tabelle A.14: Kernanlagen und Forschung

Folgedosis E ₅₀ Dosisverteilung	KKB I+II			KKG			KKL			KKM			Total KKW			PSI			ZZL			Summe Kernanlagen und PSI
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	
<= 1.0	345	471	816	325	568	893	387	1144	1531	552	1777	2329	1609	3960	5569	233	12	245	32	109	141	5955
> 1.0 - 2.0																						
> 2.0 - 5.0																						
> 5.0 - 10.0																						
> 10.0 - 15.0																						
> 15.0 - 20.0																						
> 20.0 - 50.0																						
> 50.0																						
Total Personen	345	471	816	325	568	893	387	1144	1531	552	1777	2329	1609	3960	5569	233	12	245	32	109	141	5955

Personen, die in der Triagemessung die Triageschwelle nicht überschritten haben, werden in dieser Tabelle im Dosisintervall <= 1.0 mSv eingetragen.

Tätigkeiten der Personendosimetriestellen im Aufsichtsbereich der HSK 2004

Tabelle A.15: Dosimetriestellen

Messstelle	Überwachung der äusseren Bestrahlung									Überwachung der Inkorporationen								
	Ganzkörper			Haut			Extremitäten			Ganzkörperzähler			Schilddrüse			Urin		
	r ¹⁾	m ²⁾	a ³⁾	r ¹⁾	m ²⁾	a ³⁾	r ¹⁾	m ²⁾	a ³⁾	r ¹⁾	m ²⁾	a ³⁾	r ¹⁾	m ²⁾	a ³⁾	r ¹⁾	m ²⁾	a ³⁾
PSI	β, γ, x	TLD	1232	β, γ, x	TLD	1232	β, γ, x	TLD	119	γ	GE	228	γ, x	Nal	19	a,b,g,x	LSC/ Nal GE	37
	β, γ, x n	DIS Cr-39	15 929	β, γ, x	DIS	15												
KKB	γ	TLD/ DIS	873	β, γ, x	TLD/ DIS	873	γ	TLD	10	γ	Nal	816	γ	Nal	816			
KKG	γ	TLD	921							γ	PSC	893	γ	PSC	893			
KKL	β,γ	TLD	1644	β,γ	TLD	1644	β,γ	TLD	20	γ	Nal	1531	γ	Nal	1531	β,γ	GE	1
KKM	γ	TLD	930	β/γ	TLD	930	γ	TLD	17	γ	Nal	2329	γ	Nal	2329			
ZZL ⁴⁾	γ	TLD/ DIS	104	β, γ,x	TLD/ DIS	104	γ	TLD	104	γ	Nal	141	γ	Nal	141			

1) r = Strahlungsart: α = Alpha
 β = Beta
 γ = Gamma
 n = Neutronen
 x = Röntgen

2) m = Messmethode: TLD = Thermolumineszenzdosimeter
 Cr-39 = Spaltspurdosimeter
 LSC = Flüssigkeitsszintillator
 PSC = Plastiksintillator
 GE = Reinstgermanium – Detektor
 Nal = Nal(Tl) – Szintillator
 DIS = Direct Ion Storage

3) a = Anzahl der überwachten Personen

4) Die Dosimetrie für das ZZL erfolgt in der Dosimetriestelle des KKB

Zusammenstellung der Kollektivdosen

Tabelle A.16: Relative Aufteilung der Kollektivdosen auf Betrieb und Revisionsstillstand 1980 bis 2004 in Prozent

Jahr	Relative Aufteilung der Jahreskollektivdosen [%]									
	KKB		KKG		KKL		KKM		Total	
	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand
1980	49%	51%	22%	78%			40%	60%	43%	57%
1981	40%	60%	9%	91%			39%	61%	36%	64%
1982	41%	59%	9%	91%			41%	59%	38%	62%
1983	21%	79%	8%	92%			36%	64%	22%	78%
1984	37%	63%	13%	87%	100%	0%	25%	75%	33%	67%
1985	35%	65%	19%	81%	28%	72%	22%	78%	28%	72%
1986	38%	62%	17%	83%	20%	80%	13%	87%	20%	80%
1987	28%	72%	13%	87%	33%	67%	44%	56%	30%	70%
1988	26%	74%	9%	91%	15%	85%	37%	63%	23%	77%
1989	24%	76%	12%	88%	39%	61%	31%	69%	27%	73%
1990	23%	77%	20%	80%	29%	71%	25%	75%	25%	75%
1991	17%	83%	23%	77%	20%	80%	30%	70%	21%	79%
1992	12%	88%	19%	81%	25%	75%	27%	73%	19%	81%
1993	13%	87%	16%	84%	34%	66%	42%	58%	24%	76%
1994	34%	66%	11%	89%	29%	71%	39%	61%	28%	72%
1995	20%	80%	18%	82%	39%	61%	37%	63%	30%	70%
1996	19%	81%	22%	78%	22%	78%	37%	63%	25%	75%
1997	22%	78%	22%	78%	35%	65%	25%	75%	27%	73%
1998	25%	75%	25%	75%	34%	66%	35%	65%	31%	69%
1999	8%	92%	22%	78%	32%	68%	41%	59%	24%	76%
2000	16%	84%	27%	73%	29%	71%	55%	45%	32%	68%
2001	16%	84%	21%	79%	30%	70%	41%	59%	28%	72%
2002	23%	77%	20%	80%	51%	49%	46%	54%	33%	67%
2003	25%	75%	19%	81%	31%	69%	33%	67%	28%	72%
2004	17%	83%	14%	86%	15%	85%	42%	58%	22%	78%

Tabelle A.17: Aufteilung der Kollektivdosen auf Betrieb und Revisionsstillstand 1980 bis 2004 in Pers.-Sv

Jahr	Aufteilung der Jahreskollektivdosen [Pers.-Sv]									
	KKB I + II		KKG		KKL		KKM		Total	
	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand
1980	2.217	2.283	0.160	0.580			1.430	2.180	3.807	5.043
1981	2.077	3.144	0.090	0.870			1.147	1.800	3.314	5.814
1982	2.605	3.708	0.110	1.060			1.199	1.710	3.914	6.478
1983	2.126	8.189	0.130	1.580			1.042	1.870	3.298	11.639
1984	1.946	3.269	0.150	1.020	0.520	0.000	0.990	2.960	3.606	7.249
1985	1.719	3.222	0.200	0.850	0.414	1.070	1.050	3.650	3.383	8.792
1986	1.913	3.058	0.270	1.360	0.480	1.870	1.490	9.830	4.153	16.118
1987	1.828	4.707	0.250	1.720	0.620	1.260	1.390	1.770	4.088	9.457
1988	0.911	2.635	0.170	1.670	0.570	3.180	1.250	2.120	2.901	9.605
1989	1.106	3.415	0.250	1.770	0.940	1.500	1.030	2.300	3.326	8.985
1990	0.651	2.172	0.250	0.980	0.630	1.530	0.490	1.440	2.021	6.122
1991	0.630	3.048	0.270	0.880	0.470	1.930	0.540	1.290	1.910	7.148
1992	0.429	3.194	0.180	0.780	0.430	1.310	0.590	1.600	1.629	6.884
1993	0.484	3.276	0.150	0.770	0.561	1.084	0.736	1.037	1.931	6.167
1994	0.310	0.607	0.160	1.296	0.745	1.832	0.630	0.979	1.845	4.714
1995	0.279	1.090	0.193	0.900	0.639	1.019	0.671	1.121	1.782	4.130
1996	0.228	0.973	0.201	0.720	0.434	1.524	0.510	0.886	1.374	4.103
1997	0.151	0.538	0.162	0.580	0.458	0.832	0.394	1.182	1.164	3.132
1998	0.139	0.407	0.209	0.612	0.367	0.723	0.456	0.831	1.171	2.572
1999	0.119	1.381	0.174	0.630	0.372	0.793	0.420	0.611	1.085	3.414
2000	0.124	0.651	0.140	0.382	0.288	0.691	0.432	0.360	0.984	2.084
2001	0.141	0.766	0.111	0.429	0.300	0.710	0.380	0.542	0.932	2.447
2002	0.135	0.462	0.184	0.750	0.225	0.218	0.432	0.517	0.976	1.947
2003	0.116	0.340	0.107	0.450	0.268	0.605	0.368	0.760	0.859	2.155
2004	0.107	0.511	0.113	0.721	0.269	1.522	0.458	0.634	0.947	3.388

Tabelle A.18: Kollektivdosen 2004

Jahreskollektivdosen

Anlage	KKB I + II	KKG	KKL	KKM	Total
Pers.-mSv	617.9	823.0	1746.7	1048.6	4234.8

Kollektivdosen der Revisionsstillstände

Anlage	KKB I + II	KKG	KKL	KKM	Total
Pers.-mSv	511.0	721.0	1522.0	633.9	3387.9

Tabelle A.19: Paul Scherrer Institut (PSI): Kollektivdosis des dosimetrierten Personals

Kalender- Jahr	PSI-Gesamtpersonal		
	Anzahl Personen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Pers. [mSv]
1972	268	1'118.0	4.2
1973	288	892.0	3.1
1974	287	688.0	2.4
1975	288	687.0	2.4
1976	294	767.0	2.6
1977	360	1'019.0	2.8
1978	351	830.0	2.4
1979	358	683.0	1.9
1980	337	590.0	1.8
1981	380	572.0	1.5
1982	374	640.0	1.7
1983	382	507.0	1.3
1984	374	566.0	1.5
1985	383	598.0	1.6
1986	380	541.0	1.4
1987	423	603.3	1.4
1988	1180	822.9	0.7
1989	1199	1'011.2	0.8
1990	1217	1'085.3	0.9
1991	1257	840.0	0.7
1992	1164	745.0	0.6
1993	1112	523.3	0.5
1994	1129	469.1	0.4
1995	1156	537.8	0.5
1996	1179	431.9	0.4
1997	1161	354.2	0.3
1998	1260	239.5	0.2
1999	1245	195.9	0.2
2000	1197	145.7	0.1
2001	1137	188.6	0.2
2002	1156	179.6	0.2
2003	1142	182.7	0.2
2004	1232	228.0	0.2

PSI-Gesamtpersonal (Aufsichtsbereich BAG und HSK sowie HSK-Personal)

PSI (EIR): ab 1988 Zusammenlegung von EIR und SIN zum PSI

Dosimetertyp: bis 1977 Film, ab 1978 TLD

Tabelle A.20: Zentrales Zwischenlager (ZZL), Kollektivdosis des dosimetrierten Personals

Kalender- jahr	Eigenpersonal			Fremdpersonal			Total		
	Anzahl Personen	Kollektiv- dosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person	Anzahl Personen	Kollektiv- dosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person	Anzahl Personen	Kollektiv- dosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person
2001	21	1.3	0.1	35	0.9	0.0	56	2.2	0.0
2002	30	6.1	0.2	61	2.0	0.0	91	8.1	0.1
2003	29	1.8	0.1	59	0.9	0.0	88	2.7	0.0
2004	33	2.6	0.1	71	0.7	0.0	104	3.3	0.0

4.3 Jobdosimetrie

Die Jobdosimetrie dient der Optimierung von Arbeiten im Hinblick auf den Strahlenschutz. Eine Arbeit in einem bestimmten Jahr kann mit der gleichen Arbeit in früheren Jahren verglichen werden. Daraus ergeben sich wertvolle Erkenntnisse für den Strahlenschutz. Diese Informationen sind hauptsächlich für eine Anlage relevant. Verschiedene Anlagen können nur selten miteinander verglichen werden. Die Meldungen der Kernkraftwerke über die arbeitsspezifischen Dosen (Jobdosen) im Berichtsjahr sind in diesem Kapitel dargestellt und durch Trendentwicklungen ergänzt. Bewertungen der Entwicklungen im Strahlenschutz befinden sich am Ende des Kapitels.

Die Systeme, mit denen heute in den Kernkraftwerken die Jobdosen ermittelt werden, sind stetig verbessert worden. Die HSK-Richtlinie R-12, «Erfassung und Meldung der Dosen des strahlenexponierten Personals der Kernanlagen und des Paul Scherrer Institutes» regelt die Minimalanforderungen an die elektronischen Kontrolldosimeter hinsichtlich Warn- und Schutzfunktion und der Möglichkeit, diese Geräte für die Ermittlung der Jobdosen einzusetzen. Elektronische Dosimeter haben zusätzlich den Vorteil, dass sie sofort nach einer tatsächlich erfolgten oder nach einer vermuteten Exposition abgelesen werden können. Die Richtlinie äussert sich aber bewusst nicht darüber, wie im Detail die Jobdosimetrie erfolgen soll, da diese Aufgabe im Verant-

wortungsbereich des Strahlenschutzes einer Kernanlage liegt und die Freiheit zur Entwicklung eines für die spezifischen Gegebenheiten optimalen Systems offen bleiben soll.

In den folgenden Tabellen werden Kategorien von Arbeiten, Personengruppen und Tätigkeiten vorgegeben. Die Aufteilung der Dosen auf diese Kategorien wird von den Betreibern auf Grund der Möglichkeiten ihrer Systeme vorgenommen. Daher ist es möglich, dass bestimmte Kernkraftwerke zu einzelnen Kategorien oder Aufteilungen keine Informationen liefern. Die HSK wird in Zukunft verstärkt auf eine der HSK-Richtlinie R-12 angemessene Berichterstattung hinwirken.

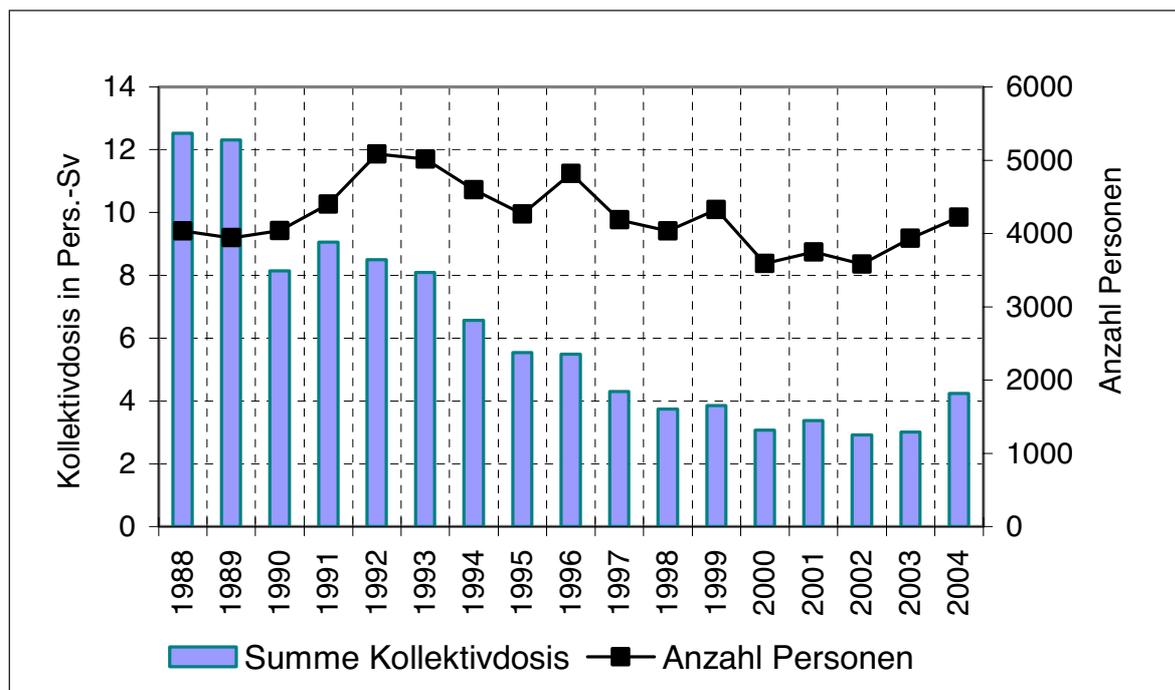
Die Kernkraftwerke in der Schweiz sind auf Grund ihrer Konstruktion (Siede- oder Druckwasseranlage) sowie ihres Alters nicht oder nur bedingt miteinander vergleichbar. Zudem werden die Jobdosen unterschiedlich ermittelt und der Arbeitsaufwand in jeder Anlage variiert von Jahr zu Jahr. Aussagen über den Strahlenschutz in den einzelnen Anlagen lassen sich aus der Trendverfolgung und dem Trendvergleich zwischen den Anlagen sehr wohl ableiten, wenn die durchgeführten Arbeiten, zum Beispiel ein Dampferzeugeraustausch oder die Reparatur einer grossen Pumpe, angemessen berücksichtigt werden. Ein direkter Vergleich von Jobdosen zwischen verschiedenen Anlagen kann zu falschen Schlüssen führen, wenn die Randbedingungen nicht adäquat berücksichtigt werden.

Jahreskollektivdosen der Kernkraftwerke in der Schweiz

Tabelle A.21: Summe der Kollektivdosis [Pers.-Sv] und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen

Jahr	Summe Kollektivdosis	Anzahl Personen
1988	12.520	4035
1989	12.310	3941
1990	8.150	4040
1991	9.056	4402
1992	8.500	5084
1993	8.100	5011
1994	6.559	4595
1995	5.535	4268
1996	5.487	4818
1997	4.297	4186
1998	3.744	4031
1999	3.859	4326
2000	3.068	3586
2001	3.380	3745
2002	2.922	3580
2003	3.013	3937
2004	4.236	4221

Die Anzahl der Personen in dieser Tabelle ist die Summe der Meldungen der einzelnen Kernkraftwerke. Sie enthält demnach Mehrfachzählungen wegen denjenigen Personen, die in mehr als einer Anlage eingesetzt wurden. Weitere Informationen dazu sind im Kapitel Personendosimetrie zu finden.



Grafische Darstellung der Werte aus Tabelle A.21. Der Anstieg im Berichtsjahr wird von der verlängerten 10-Jahres-Revision im KKL mitverursacht.

Verhältnis zwischen Dosisaufwand und Energieerzeugung (QSE)

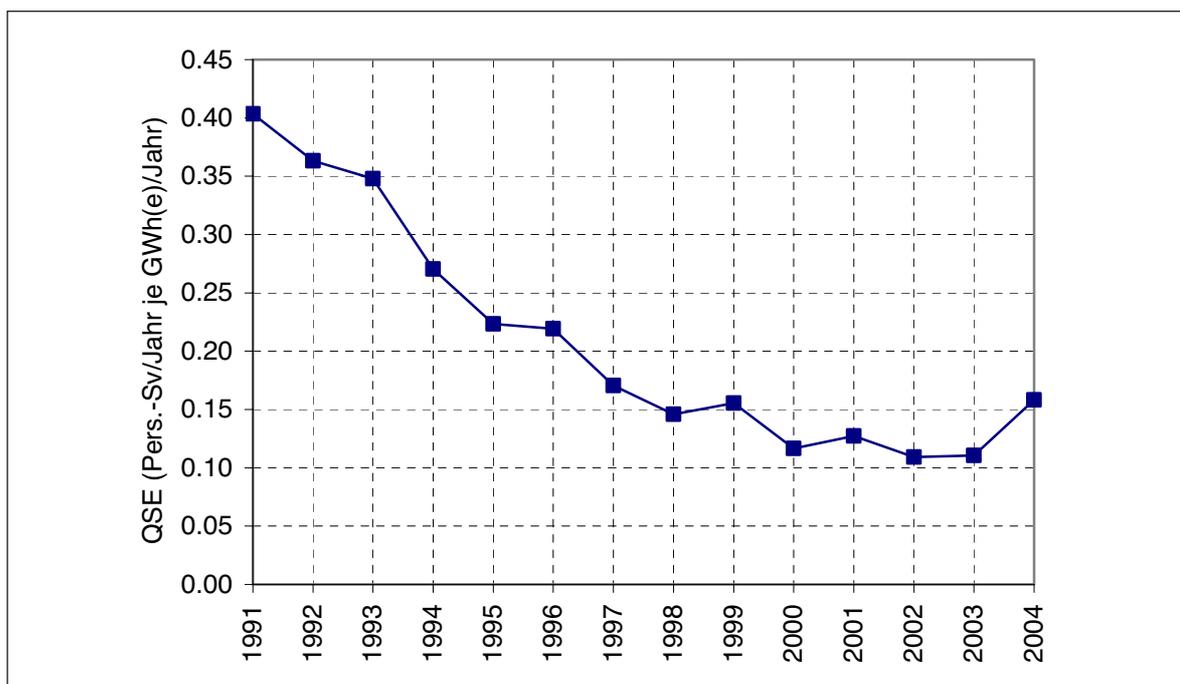
Tabelle A.22: Entwicklung des Verhältnisses Kollektivdosis zur erzeugten elektrischen Bruttoenergie (QSE) über alle Kernkraftwerke

Jahr	Dosis	Energie	QSE
1991	9'056	22'438.1	0.404
1992	8'500	23'394.0	0.363
1993	8'100	23'290.8	0.348
1994	6'559	24'250.1	0.270
1995	5'535	24'783.6	0.223
1996	5'487	25'026.6	0.219
1997	4'297	25'190.8	0.171
1998	3'744	25'683.1	0.146
1999	3'859	24'835.0	0.155
2000	3'068	26'310.0	0.117
2001	3'380	26'556.1	0.127
2002	2'922	26'738.9	0.109
2003	3'013	27'233.8	0.111
2004	4'236	26'769.1	0.158

Dosis: Jahreskollektivdosis aller Kernkraftwerke in Pers.-mSv

Energie: erzeugte elektrische Bruttoenergie aller Kernkraftwerke in GWh(e)/Jahr

QSE: Quotient in Pers.-mSv/Jahr je GWh(e)/Jahr



Grafische Darstellung der Werte aus Tabelle A.22. Grosse Anlagen mit einer hohen erzeugten Brutto-Energie haben gegenüber kleineren Anlagen bei der Berechnung dieses Wertes einen Vorteil.

Vergleich der TLD-Messwerte mit den Messwerten der EPD

Die Elektronischen Personen-Dosimeter (EPD) liefern vom behördlich anerkannten Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) abweichende Messwerte. Die Unterschiede sind vom EPD-Typ des Kernkraftwerks sowie von den Eigenschaften des Strahlungsfeldes abhängig und daher nicht identisch für die einzelnen Anlagen. Die EPDs überbewerten die erhaltene Dosis. Somit bewegt man sich damit strahlenschutztechnisch auf der sicheren Seite.

Tabelle A.23: Zusammenstellung der mit EPD und TLD ermittelten Kollektivdosen (Pers.-Sv/Jahr; pro KKW)

Werk	TLD* [Pers.-Sv/Jahr]	EPD* [Pers.-Sv/Jahr]	EPD/TLD*
KKB I + II**	EP 0.2841	EP 0.2841	EP -
	FP 0.3338	FP 0.3338	FP -
	EP+FP 0.6179	EP+FP 0.6179	EP+FP -
KKM	EP 0.5259	EP 0.5357	EP 1.02
	FP 0.5657	FP 0.6701	FP 1.18
	EP+FP 1.0916	EP+FP 1.2058	EP+FP 1.10
KKG**	EP 0.3188	EP 0.3188	EP -
	FP 0.5149	FP 0.5149	FP -
	EP+FP 0.8337	EP+FP 0.8337	EP+FP -
KKL	EP 0.3923	EP 0.4220	EP 1.08
	FP 1.3984	FP 1.4934	FP 1.07
	EP+FP 1.7907	EP+FP 1.9154	EP+FP 1.07

EP = Eigenpersonal, FP = Fremdpersonal

* Je nach Kernkraftwerk erfolgt die Meldung der Kollektivdosen unterschiedlich. KKM und KKL melden sowohl EPD- als auch TLD-Dosen, wobei die arbeits- und gruppenspezifischen Dosen auf dem EPD basieren. Im Bericht erscheinen, wenn nicht anders vermerkt, auf TLD-Werte umgerechnete EPD-Dosen.

** KKB und KKG melden sämtliche Dosen als TLD-Dosen, wobei für die Ermittlung der Werte intern EPD-Daten hinzugezogen werden.

Kollektivdosen in den einzelnen Betriebsphasen (Pers.-mSv; pro KKW im Berichtsjahr)

Tabelle A.24: Kollektivdosen in den einzelnen Betriebsphasen
(Pers.-Sv; pro KKW im Berichtsjahr)

Betriebsphasen	KKB (I+II)	KKM	KKG	KKL
Leistungsbetrieb	0.107	0.441	0.113	0.270
Geplanter Stillstand	0.511	0.651	0.721	1.521
Ungeplante Stillstände	-	-	-	-
Summe	0.618	1.092	0.834	1.791

Tabelle A.25: Kollektivdosisanteile von Personen in verschiedenen Arbeitsbereichen
(Pers.-Sv; pro KKW im Berichtsjahr)

Personengruppe	KKB(I+II)	KKM	KKG	KKL
Strahlenschutz/Chemie	0.028	0.158	0.052	0.165
Brennstoff	-	0.001	0.007	0.035
Reinig./Dekontamination	0.039	0.122	0.070	0.082
Gerüstbau	0.034	0.022	-	0.062
Mechanik	0.071	0.430	0.162	1.088
Isoleure	0.034	0.032	-	0.137
Elektrotechnik	0.011	0.049	0.025	0.081
Betrieb (Schicht)	-	0.176	0.044	0.105
Behörden (SVTI, HSK)	-	0.006	0.005	0.006
Übrige	0.401 *	0.096	0.468	0.032
Summe	0.618	1.092	0.834	1.791

* inkl. 0,014 Pers.-Sv für Personal, welches Abschirmungen errichtet und abbaut

Figur A.4: Kollektivdosisanteile von Personengruppen [%]

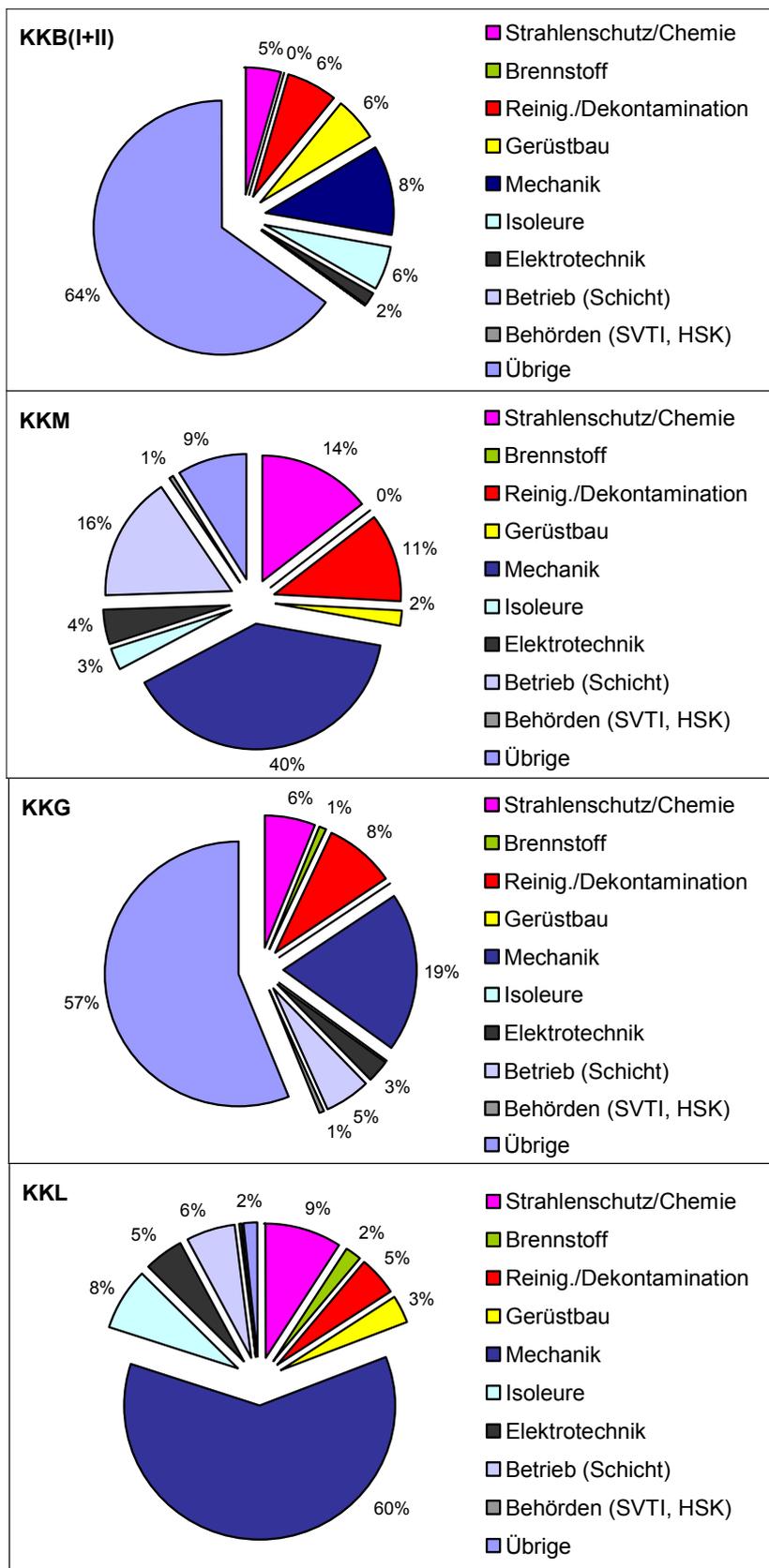


Tabelle A.26: Kollektivdosisanteile von Personen in verschiedenen Arbeitsbereichen im Leistungsbetrieb (Pers.-Sv pro KKW im Berichtsjahr)

Personengruppen	KKB	KKM	KKG	KKL
Strahlenschutz	-	0.061	0.021	0.034
Brennstoff	-	0.000	0.002	0.008
Reinigung / Dekontamination	-	0.068	0.016	0.020
Gerüstbau	-	-	-	0.004
Mechanik	-	0.133	0.013	0.088
Isoleure	-	-	-	0.002
Elektrotechnik	-	0.021	0.002	0.019
Betrieb (Schicht)	-	0.127	0.016	0.077
Behörden (SVTI / HSK)	-	0.001	0.000	0.001
Übrige Personengruppen	0.107	0.025	0.042	0.018

Figur A.5: Kollektivdosisanteile von Personen im Leistungsbetrieb [%]

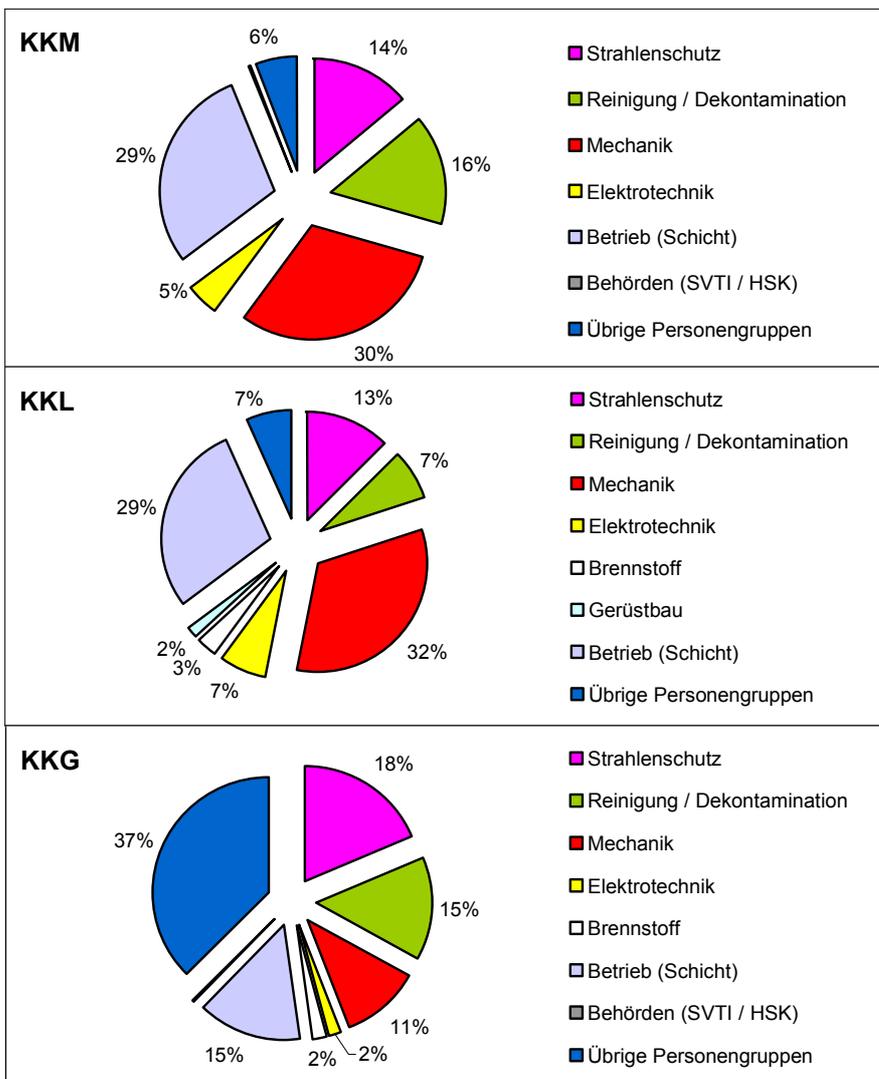
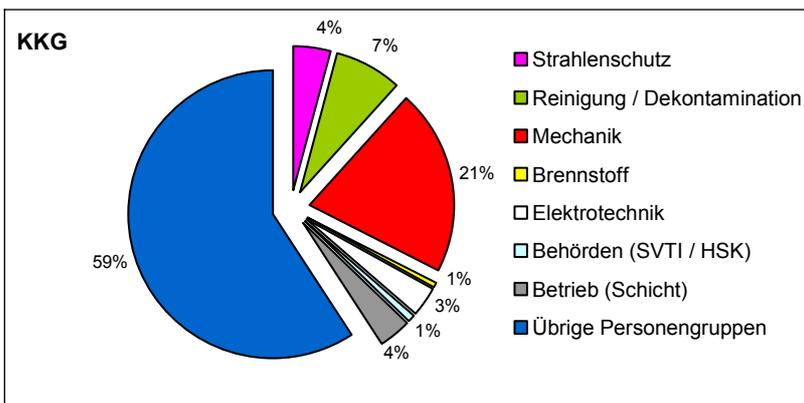
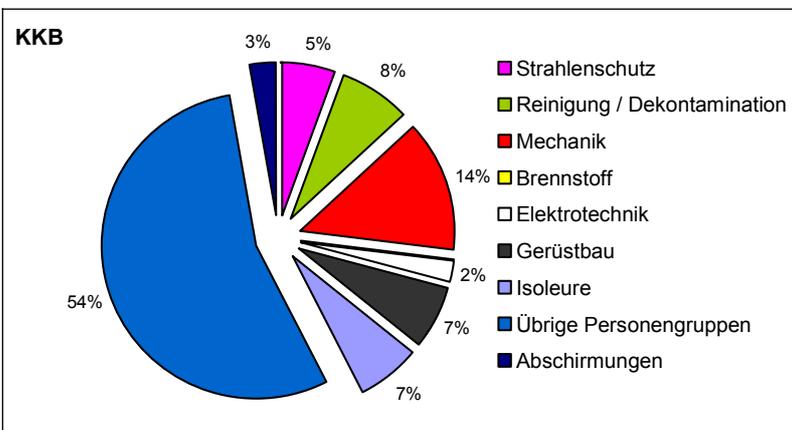
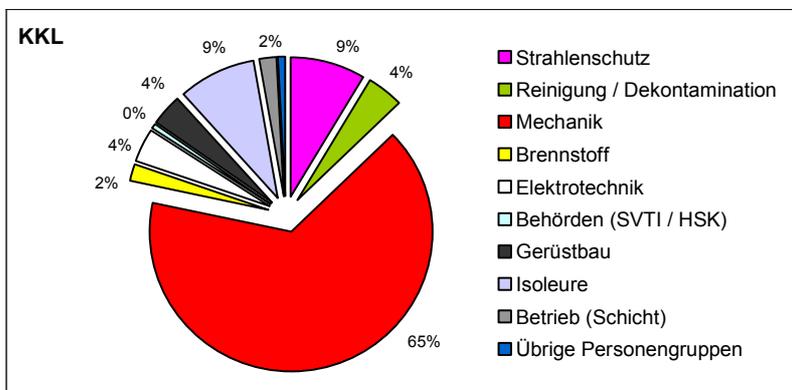
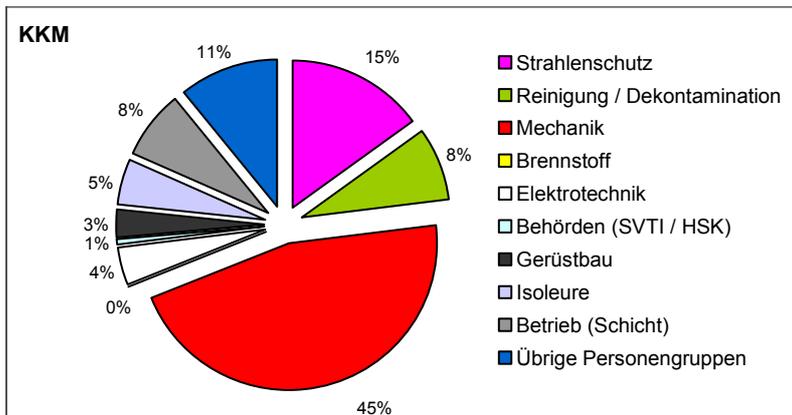


Tabelle A.27: Kollektivdosisanteile von Personen in verschiedenen Arbeitsbereichen;
geplanter Stillstand (Pers.-Sv pro KKW im Berichtsjahr)

Personengruppe	KKM	KKL	KKB	KKG
Strahlenschutz	0.097	0.131	0.028	0.031
Brennstoff	0.000	0.027	-	0.005
Reinigung / Dekontamination	0.054	0.061	0.039	0.054
Gerüstbau	0.019	0.058	0.034	-
Mechanik	0.297	1.000	0.071	0.149
Isoleure	0.032	0.135	0.034	-
Elektrotechnik	0.028	0.062	0.011	0.023
Betrieb (Schicht)	0.049	0.028	-	0.028
Behörden (SVTI / HSK)	0.005	0.005	-	0.005
Übrige Personengruppen	0.071	0.014	0.280	0.426
Abschirmungen	-	-	0.014	-

Figur A.6: Kollektivdosisanteile von Personengruppen; geplanter Stillstand



4.4 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen der Schweiz

Der Jahresgrenzwert für die Individualdosis des beruflich strahlenexponierten Personals wurde im Jahr 2004, wie in den Vorjahren seit Inkrafttreten der Strahlenschutzverordnung 1994, im Aufsichtsbereich der HSK nicht überschritten.

Zur *Kollektivdosis* in den schweizerischen Kernkraftwerken ist zu bemerken, dass sie in den vergangenen Jahren auf die Hälfte reduziert werden konnte. Weiter fällt auf, dass sich die Jahreskollektivdosiswerte von Alt- (KKB; KKM) und Neuanlagen (KKG; KKL) im Laufe der Zeit immer mehr angenähert haben, wobei Nachrüstungen und ausserordentlicher Unterhalt berücksichtigt werden müssen. Dabei kann festgehalten werden, dass die älteren Anlagen im Durchschnitt ihre Kollektivdosis stärker reduzieren konnten als die neueren. Bewährt hat sich in diesem Jahr die im KKL durchgeführte chemische Dekontamination einer Umwälzschleife, der Reaktorwasser-Reinigung und von Kleinteilen. Mit der Massnahme konnte eine Kollektivdosis von ca. 2 Pers.-Sv eingespart werden.

Als Folge von Dosisreduktion, Verkürzung der Stillstände und Leistungserhöhungen ist der QSE, der Quotient aus Dosis pro erzeugte elektrische Energie, in der Vergangenheit stetig gefallen. Nun ist eine Stabilisierung bei etwa 0,125 Pers.-Sv pro GWh_{el} abzusehen. Die lange Revision des KKL, mit einer Dauer von 45 Tagen und einer Kollektivdosis von 1623 Pers.-mSv, erhöhte im Berichtsjahr diesen Wert merklich.

Bei der *mittleren Individualdosis* ist das gleiche Bild wie bei den Kollektivdosen zu beobachten: die *mittleren Individualdosen* konnten in den letzten Jahren um einen Faktor 2 gesenkt werden. Die mittleren Expositionen des Personals in den einzelnen Anlagen haben sich angeglichen und liegen heute im Bereich von 1 mSv pro Jahr, was dem Grenzwert der Dosis für nichtberuflich strahlenexponierte Personen nach Strahlenschutzverordnung entspricht.

Wesentlicher für den Strahlenschutz als die mittlere Individualdosis sind die *maximalen Individualdosen* einiger Spezialisten, die bei ihren Arbeiten an Komponenten mit relativ hoher Ortsdosisleistung nicht durch andere Personen ersetzt werden können. Hier wurde ein grosser Aufwand für die Optimierung der Arbeiten und ihre Überwachung notwendig.

Aus Sicht der zuständigen Aufsichtsbehörde kann dem Strahlenschutz in den schweizerischen Kernkraftwer-

ken ein gutes Zeugnis ausgestellt werden: Die Optimierungsanstrengungen, die seit den 90er-Jahren zur Reduktion der Dosis führten, hatten Erfolg. Es ist nun die Aufgabe, diesen guten Zustand zu erhalten.

4.5 Erwartete Entwicklung der Exposition

Aussagen über die Zukunft sind schwierig, insbesondere in einem komplexen Gebiet wie dem Strahlenschutz in Kernkraftwerken. Dennoch kann versucht werden, aus der Exposition des beruflich strahlenexponierten Personals in der Vergangenheit Tendenzen für die Zukunft abzuleiten.

Das Potenzial der *technischen Massnahmen*, welche für die Reduktion der Dosis eingesetzt werden, wie zum Beispiel temporäre Abschirmungen aus Bleiblechen, ist vermutlich weitestgehend ausgeschöpft. Optimierungen sowie Beschleunigungen beim Auf- und Rückbau der Abschirmungen, Verfeinerungen beim Design und bei der Planung und ähnlichen Massnahmen erlauben die Effizienz dieser Mittel noch zu steigern. Signifikante Beiträge zur Dosisreduktion dürfen aber nicht mehr erwartet werden. Viel mehr müssen alterungsbedingte Aufwendungen für die Werkstoffprüfung im Strahlenfeld und die damit verbundene Expositionen des Personals erwartet werden.

Änderungen in der *Wasserchemie der verschiedenen Anlagen* könnten in der Zukunft, je nach angewandter Methode, sowohl zu einer Dosisreduktion wie auch zu einem Anstieg der Dosis beitragen. In ausländischen DWR-Anlagen konnten durch die Einspeisung von Zink, dessen Isotop ^{64}Zn vorher abgereichert wurde, die Dosisleistungen an Komponenten des Primärkreislaufes halbiert werden. Die Einspeisung von Wasserstoff bei SWR verursacht hingegen bei Betrieb der Anlagen einen massiven Anstieg der durch ^{16}N verursachten Dosisleistung.

Mit der Einführung von modernen Strahlenschutzplanungen und laufender Jobdosimetrie wurde bereits viel zur Reduktion der Dosis erreicht. Hier gilt es, durch stetige Verbesserungen und Optimierungen noch eine Steigerung der Effektivität dieser Mittel zu erreichen.

In Zukunft muss durch die Einführung von Hybridzyklen mit einer stärkeren Fluktuation der Jahreskollektivdosen gerechnet werden. Im Hybridzyklus wird eine Anlage während eines Jahres betrieben und danach zu einem kurzen Stillstand abgefahren, während dem nur der

Brennstoff gewechselt wird. Die Anlage läuft dann für ein weiteres Jahr, bevor sie zur Revision mit Brennstoffwechsel und umfangreicheren Wartungsarbeiten abgestellt wird. Stillstände mit eigentlichen Revisions-, Prüf- und Unterhaltsarbeiten finden also nur alle zwei Jahre statt. KKB und KKL haben dieses Betriebsregime bereits realisiert. Alle zehn Jahre findet eine besonders lange Revisionsabstellung zur Durchführung umfangreicher periodischer Prüfungen und Massnahmen statt. Im Jahr 2004 war dies beim KKL der Fall.

Zusammenfassend erwartet die HSK für den Strahlenschutz, dass sich der sehr gute Zustand in den schweizerischen Kernkraftwerken halten und vielleicht sogar noch verbessern wird. Für das Anlagenpersonal bedeutet dies eine weitere, wenn auch im Durchschnitt nur geringe Reduktion der Exposition, die mit einem Mittelwert von rund 1 mSv pro Jahr schon seit einigen Jahren an der Grenze zur Gruppe der nichtberuflich strahlenexponierten Personen liegt.

B: UMWELTRADIOAKTIVITÄT BEI KERNANLAGEN, ÜBERWACHUNG

1. Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser und der Abluft lagen im Jahr 2004 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 ist selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren für Erwachsene und Kleinkinder weit unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwertes 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 Ortsdosisleistungsmesssonden 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 HSK-Zentrale übertragen und automatisch analysiert. Gegebenenfalls werden Abweichungen vom natürlichen Schwankungsbereich der natürlichen Strahlung signalisiert und automatisch dem HSK-Piketingenieur 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.

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 können im Allgemeinen mit den Atomwaffentests (^{90}Sr) oder mit dem Reaktorunfall in Tschernobyl (^{137}Cs) in Verbindung gebracht werden. Die langjährige Mess-

reihe der Universität Bern von ^{14}C in Baumblättern in der Umgebung der Kernkraftwerke wurde fortgesetzt. Im aquatischen Milieu zeigten Wasser- und Sedimentproben Spuren von künstlichen Radionukliden, wie ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co und ^{65}Zn , welche aus den Abgaben der Kernanlagen stammen. Zudem wurde auch ^{137}Cs festgestellt, welches aus dem Tschernobyl-Unfall und den Atomwaffen-Tests stammt. In Lebensmitteln konnte keine Erhöhung von künstlichen Radionukliden gemessen werden, die auf Abgaben der schweizerischen Kernanlagen schliessen lassen.

1.1 Emissionen aus den Kernanlagen

Die Abgaben von radioaktiven Stoffen mit der Abluft und dem Abwasser der schweizerischen Kernkraftwerke sind in den Figuren B.1a und B.1b für die letzten fünf Jahre zusammen mit den entsprechenden Jahreslimiten dargestellt. Alle Kernkraftwerke haben die vorgeschriebenen Jahres- und die Kurzzeitlimiten eingehalten. Tabelle B.1 zeigt die gemessenen Abgabewerte sowie die unter ungünstigen Annahmen errechneten Personendosen für Erwachsene und Kleinkinder in der Umgebung im Jahr 2004. Die Abgaben des Paul Scherrer Instituts und die daraus in gleicher Weise berechneten Dosiswerte sind in Tabelle B.2 zusammengestellt. Eine nuklidspezifische Aufschlüsselung der Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser ist in Tabelle B.3a, mit der Abluft in den Tabellen B.3b und B.3c aufgelistet. Die Fussnoten zu den Tabellen geben Hinweise zu den Limiten, den Messungen und den bei der Berechnung der Jahresdosis verwendeten Annahmen.

Die gemessenen Abgaben der Kernkraftwerke wurden mit mehr als 150 Proben durch die Behörden kontrolliert. Dabei wurden Aerosol- und Jodfilter sowie Abwasserproben stichprobenweise analysiert. Die Ergebnisse stimmen im Rahmen der Vorgaben überein und zeigen, dass die Abgabereglemente 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 ungefähr 0,002 mSv, beim KKG 0,001 mSv, beim KKL 0,005 mSv und beim KKM 0,005 mSv. Die aus den Abgaben berechneten Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung jeder Anlage betragen im Jahr 2004 nur einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,2 mSv pro Jahr.

Die HSK berücksichtigt bei den Dosisberechnungen die ^{14}C -Abgaben, da diese seit einigen Jahren auf Grund der geringen übrigen Abgaben die Dosis dominieren. Das radioaktive Kohlenstoffisotop ^{14}C entsteht im Reaktor durch Kernreaktionen von Neutronen mit Stickstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff. Die Abgaberate in den Kernkraftwerken ist primär von der Reaktorleistung, aber auch von weiteren Faktoren abhängig, die gegenwärtig in den Schweizer Kernkraftwerken vertieft untersucht werden. Das KKL führt seit längerer Zeit aus eigener Initiative ^{14}C -Messungen durch. Mitte 1998 wurde das System zur Messung von ^{14}C auf Grund 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 hat seit Ende 2001 ebenfalls Messungen der ^{14}C -Abgaben mit der Abluft durchgeführt. Diese Messungen wurden im Jahr 2004 vom KKG aus eigener Initiative weitergeführt. Dabei zeigte es sich, dass die in den Vorjahren ermittelten, dosisrelevanten ^{14}C -Abgaben als Folge eines fehlerhaften Kalibrierstandards vermutlich um ca. Faktor 3 überschätzt wurden. Das KKG hat deshalb zu Beginn des Berichtsjahrs die Messapparatur mit zwei diversitären, neuen Standards kalibriert. Die damit ermittelten ^{14}C -Abgaben korrespondieren sehr gut mit den Erfahrungswerten aus einer früheren Messkampagne und den in der einschlägigen Literatur angegebenen ^{14}C -Abgabewerten für ähnliche Anlagen. Für die Dosisberechnung wurden die im Jahr 2004 mit der neu kalibrierten Messapparatur bestimmten ^{14}C -Werte verwendet. Für die beiden andern schweizerischen Kernkraftwerke werden bei der Dosisberechnung für die ^{14}C -Abgaben weiterhin Erfahrungswerte eingesetzt. Zu deren Überprüfung sind Probe- nahmeeinrichtungen und Messgeräte in Betrieb.

Bei der Bewertung der errechneten Dosiswerte gilt es zu beachten, dass diese unterhalb von 0,01 mSv liegen. Dosen in dieser Grössenordnung gelten gemäss Artikel 5 und Artikel 6 der Strahlenschutzverordnung als gerechtfertigt und optimiert. Ein Vergleich mit den Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus den westeuropäischen Kraftwerken zeigt, dass die Abgaben der älteren Anlagen der Schweiz über dem europäischen Mittelwert liegen. Verbesserungsmassnahmen sind bereits vorgesehen.

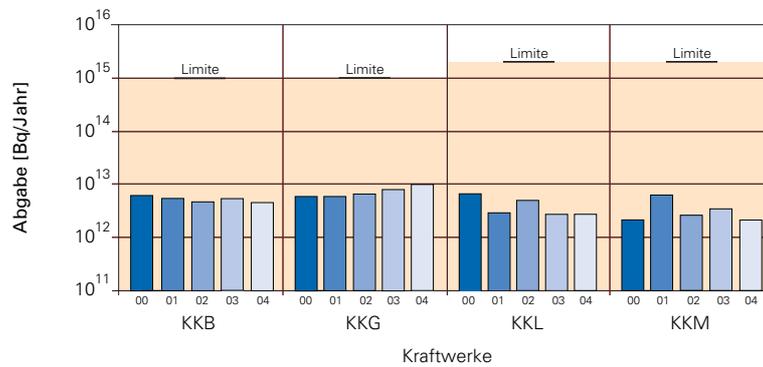
Das PSI ist auf Grund der Bewilligung für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung verpflichtet, sowohl für die einzelnen Anlagen als auch für die Gesamtanlage des PSI die aus den Abgaben resultierende Dosis in der Umgebung zu berechnen. Beim PSI errechnet die HSK eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von weniger als 0,004 mSv. Der Betrieb der Verbrennungsanlage am PSI Ost, welche in den vergangenen Jahren ebenfalls einen kleinen Beitrag zur Gesamtdosis lieferte, wurde auf Anfang 2003 eingestellt. Beinahe die gesamte Dosis ergibt sich im PSI durch die Abgabe von kurzlebigen radioaktiven Edelgasen aus den Teilchenbeschleunigern im West-Areal des Institutes. Die vom PSI und von der HSK unabhängig voneinander durchgeführten Berechnungen zeigen, dass selbst unter ungünstigen Annahmen die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung deutlich unterhalb des Dosisanteils des PSI von 0,15 mSv pro Jahr am quellenbezogenen Dosisrichtwert des gemeinsamen Standortes PSI und ZZL liegt.

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 Verbrennungsanlage fand Ende März ein Testbetrieb mit sehr schwach aktiven Abfällen statt, der zeigte, dass der Grossteil der Radionuklide in das Abfallprodukt eingebunden wird und dass allfällige Restanteile an bzw. in den dafür vorgesehenen Komponenten des Ofens und der Abgasreinigungsanlage zurückgehalten werden. Während des aktiven Testbetriebs traten keine nennenswerten Störungen auf. Die Abgabelimiten wurden eingehalten. Die gemessenen radioaktiven Abgaben an die Umwelt und die daraus resultierenden Dosiswerte für die Umgebungsbevölkerung waren unbedeutend.

Figur B.1a: Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke in den letzten fünf Jahren (2000 – 2004) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten

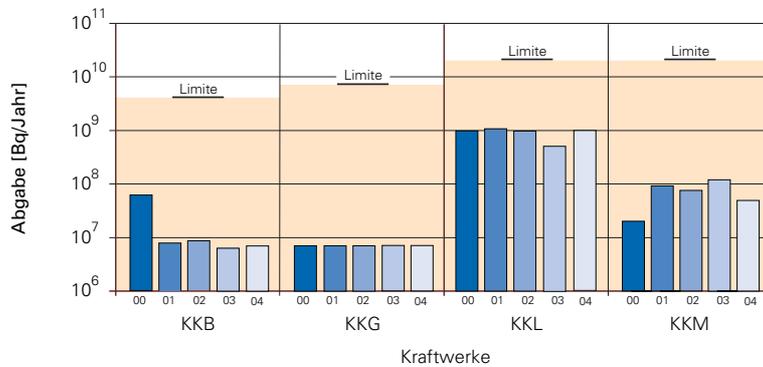
Abluft

a) Edelgase



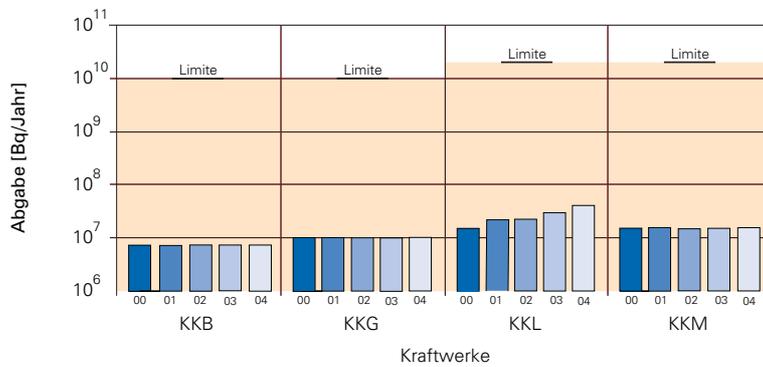
Abluft

b) Jod



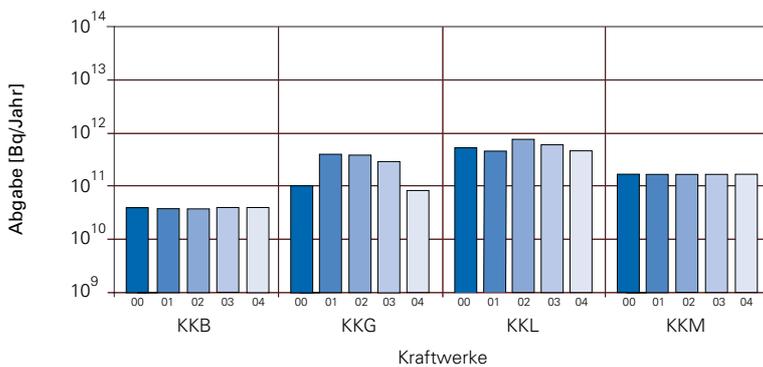
Abluft

c) Aerosole



Abluft

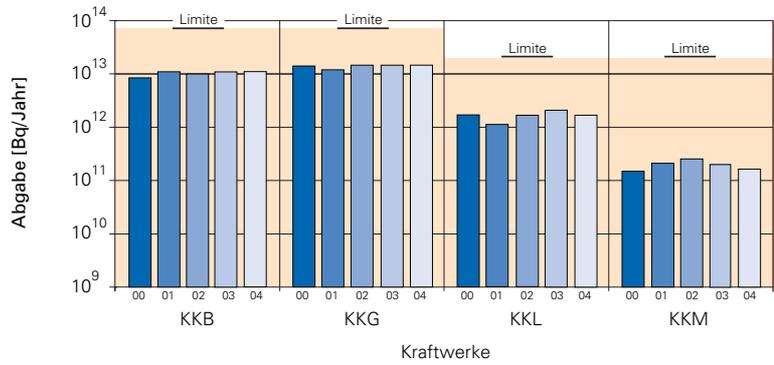
d) Kohlenstoff-14



Figur B.1b: Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke in den letzten fünf Jahren (2000 – 2004) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten

Abwasser

a) Tritium im Abwasser



Abwasser

a) Übrige flüssige Abgaben

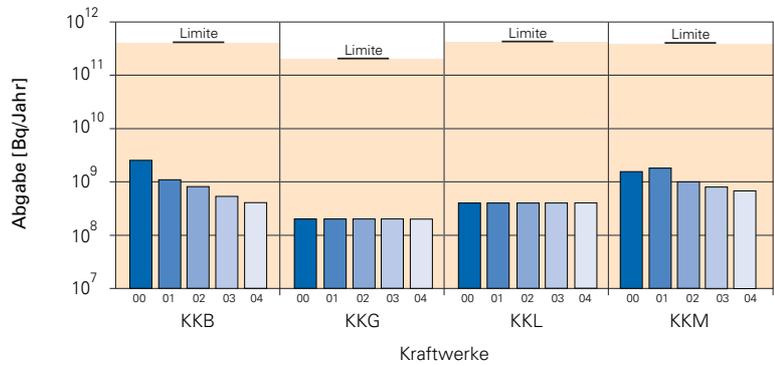


Tabelle B.1: Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe der Kernkraftwerke an die Umgebung im Jahr 2004 und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung

Anlage	Medium	Art der Abgaben ⁴	Abgabelimiten ¹ Bq/Jahr	Tatsächliche Abgaben ^{2,4} Aequivalentabgaben (Vergleich mit den Limiten)			Berechnete Jahresdosis ³	
				Bq/Jahr	Prozent der Limite	Bq/Jahr	Erwachsener mSv/Jahr	Kleinkind mSv/Jahr
KKB1 + KKB2	Abwasser (4066 m ³)	Nuklidgemisch (ohne Tritium)	4·10 ¹¹	4.0·10 ⁸	0.1%	1.2·10 ¹⁰	<0.001	<0.001
		Tritium	7·10 ¹³	1.1·10 ¹³	16%	1.1·10 ¹³	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	1·10 ¹⁵	4.0·10 ¹²	0.4%	3.6·10 ¹²	<0.001	<0.001
		Aerosole	6·10 ⁹	-	<0.1%	9.5·10 ⁵	<0.001	<0.001
		Iod: ¹³¹ I Kohlenstoff (CO ₂): ¹⁴ C	4·10 ⁹ -	5.5·10 ⁶ -	0.1% -	5.5·10 ⁶ 4.0·10 ¹⁰	<0.001 0.0012	<0.001 0.0020
Gesamtdosis						0.0013	0.0021	
KKM	Abwasser (4729 m ³)	Nuklidgemisch (ohne Tritium)	4·10 ¹¹	6.1·10 ⁸	0.2%	5.4·10 ⁹	<0.001	<0.001
		Tritium	2·10 ¹³	1.5·10 ¹¹	0.8%	1.5·10 ¹¹	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	2·10 ¹⁵	2.1·10 ¹²	0.1%	1.0·10 ¹²	<0.001	<0.001
		Aerosole	2·10 ¹⁰	-	<0.1%	5.5·10 ⁶	0.0044	0.0038
		Iod: ¹³¹ I Kohlenstoff (CO ₂): ¹⁴ C	2·10 ¹⁰ -	5.5·10 ⁷ -	0.3% -	5.5·10 ⁷ 2·10 ¹¹	<0.001 <0.001	<0.001 0.0012
Gesamtdosis						0.0052	0.0050	
KKG	Abwasser (7138 m ³)	Nuklidgemisch (ohne Tritium)	2·10 ¹¹	-	<0.1%	4.8·10 ⁶	<0.001	<0.001
		Tritium	7·10 ¹³	1.4·10 ¹³	20%	1.4·10 ¹³	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	1·10 ¹⁵	<9.6·10 ¹²	<1.0%	<8.4·10 ¹²	<0.001	<0.001
		Aerosole	1·10 ¹⁰	-	<0.1%	2.5·10 ⁵	<0.001	<0.001
		Iod: ¹³¹ I Kohlenstoff (CO ₂): ¹⁴ C	7·10 ⁹ -	- -	<0.1% -	- 8.4·10 ¹⁰	<0.001 <0.001	<0.001 0.001
Gesamtdosis						<0.001	0.0011	
KKL	Abwasser (15524 m ³)	Nuklidgemisch (ohne Tritium)	4·10 ¹¹	-	<0.1%	1.9·10 ⁸	<0.001	<0.001
		Tritium	2·10 ¹³	1.9·10 ¹²	10%	1.9·10 ¹²	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	2·10 ¹⁵	-	<0.1%	3.0·10 ¹²	<0.001	<0.001
		Aerosole	2·10 ¹⁰	3.9·10 ⁷	0.2%	3.9·10 ⁷	<0.001	<0.001
		Iod: ¹³¹ I Kohlenstoff (CO ₂): ¹⁴ C	2·10 ¹⁰ -	9.9·10 ⁸ -	5% -	9.9·10 ⁸ 4.5·10 ¹¹	<0.001 0.0024	<0.001 0.0041
Gesamtdosis						0.0026	0.0049	

Tabelle B.2:

Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2004 und der daraus berechneten Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung

	Hochkamin (PSI Ost)	Saphir, Proteus (PSI Ost)	Forschungs- labor (PSI Ost)	Betriebsge- bäude für radioaktive Abfälle Ost	Bundes- zwischen- lager	Zentrale Fortluftan- lagen (PSI West)	Injektor II (PSI West)	C-Labor (PSI West)	Abwasser PSI (2692 m ³)	Gesamtanlage des PSI ^{2,4}	
										Gesamt- summe	Aequivalent- abgaben
Abgaben im Abwasser ^{2,4} [Bq]											
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	-	-	-	-	-	-	7.5·10 ⁷	7.5·10 ⁷	8.0·10 ⁷
Tritium	-	-	-	-	-	-	-	-	6.6·10 ¹⁰	6.6·10 ¹⁰	-
Abgaben über die Abluft ^{2,4} [Bq]											
Edelgase und andere Gase	2.3·10 ¹²	-	-	-	-	9.2·10 ¹³	8.9·10 ¹⁰	-	-	9.4·10 ¹³	2.0·10 ¹⁴
β/γ-Aerosole (ohne Iod, Halbwertszeit>8 Std)	1.4·10 ⁶	-	-	-	-	1.2·10 ¹⁰	3.8·10 ⁶	7.1·10 ³	-	1.2·10 ¹⁰	-
α-Aerosole	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Iod	4.7·10 ⁸	-	1.7·10 ⁴	-	-	7.1·10 ⁷	-	-	-	5.4·10 ⁸	4.7·10 ⁸
Tritium (tritiertes Wasser, HTO)	1.8·10 ¹⁰	1.7·10 ⁹	-	6.3·10 ⁹	2.3·10 ⁹	8.6·10 ¹¹	-	-	-	8.8·10 ¹¹	-
Kohlenstoff (CO ₂): ¹⁴ C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jahresdosis ³ [mSv/Jahr] für:											
Erwachsene	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015	0.0030	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.004
Kleinkinder	0.0003	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015	0.0031	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.004
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert ¹	0.2%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	2.1 %	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<3%

Tabelle B.3a: Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2004:
Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben²⁾

Nuklid β/γ -Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]				
	Beznau	Gösgen	Leibstadt	Mühleberg	PSI
³ H	1.1·10 ¹³	1.4·10 ¹³	1.9·10 ¹²	1.5·10 ¹¹	6.6·10 ¹⁰
⁷ Be					3.0·10 ⁵
²² Na					3.4·10 ⁶
²⁴ Na	2.4·10 ⁷				
³⁵ S					4.6·10 ⁶
⁵¹ Cr	7.3·10 ⁶		1.1·10 ⁷	4.4·10 ⁸	
⁵⁴ Mn	8.4·10 ⁷	5.2·10 ⁴	1.4·10 ⁷	1.4·10 ⁹	6.3·10 ⁵
⁵⁶ Mn					
⁵⁹ Fe				9.2·10 ⁷	
⁵⁶ Co					1.3·10 ⁵
⁵⁷ Co	6.8·10 ⁷				7.2·10 ⁵
⁵⁸ Co	1.0·10 ¹⁰		8.3·10 ⁶	5.5·10 ⁸	2.5·10 ⁶
⁶⁰ Co	6.3·10 ⁸	2.7·10 ⁶	1.0·10 ⁸	2.2·10 ⁹	8.5·10 ⁶
⁶⁵ Zn				2.1·10 ⁸	4.8·10 ³
⁸⁶ Sr					2.4·10 ⁵
⁸⁹ Sr	4.5·10 ⁷			7.7·10 ⁶	
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	7.2·10 ⁶			2.0·10 ⁷	3.3·10 ⁵
⁹⁵ Zr	3.6·10 ⁶			2.1·10 ⁶	
⁹⁷ Zr					
⁹⁵ Nb	1.4·10 ⁷	2.4·10 ⁵		7.3·10 ⁶	
⁹⁹ Mo	6.1·10 ⁶				
^{99m} Tc	3.6·10 ⁵			9.9·10 ⁴	
¹⁰³ Ru					
^{115m} Cd					
^{110m} Ag	4.4·10 ⁷				
¹²² Sb	5.6·10 ⁷				
¹²⁴ Sb	3.4·10 ⁸			1.5·10 ⁷	
¹²⁵ Sb	1.9·10 ⁸				
^{123m} Te	4.6·10 ⁶	1.8·10 ⁶			
¹³² Te	3.9·10 ⁵				
¹²⁵ I					1.1·10 ⁷
¹²⁶ I					
¹³¹ I	1.9·10 ⁷		2.8·10 ⁷		3.1·10 ⁶
¹³³ I	4.6·10 ⁶				
¹³⁴ Cs	1.9·10 ⁶		1.2·10 ⁷	2.3·10 ⁶	1.1·10 ⁶
¹³⁶ Cs					
¹³⁷ Cs	1.4·10 ⁸		1.5·10 ⁷	3.8·10 ⁸	2.1·10 ⁷
¹³³ Ba					9.2·10 ⁴
¹⁴⁰ Ba					
¹⁴⁰ La					
¹⁴¹ Ce	3.5·10 ⁵				
¹⁴³ Ce					
¹⁴⁴ Ce	1.2·10 ⁶				
¹⁵² Eu					2.8·10 ⁶
¹⁷⁷ Lu					8.6·10 ⁵
¹⁹² Ir				2.7·10 ⁷	
²³⁹ Np					
α-Strahler		<1.2·10 ⁵	4.6·10 ⁵	1.9·10 ⁵	
²¹⁰ Po					5.4·10 ⁶
^{239/240} Pu					5.3·10 ⁶
²³⁸ Pu/ ²⁴¹ Am					3.5·10 ⁶

Tabelle B.3b: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, 2004:

Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben, Edelgase und Iod

Nuklid β/γ -Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]				
	Beznau	Gösgen	Leibstadt	Mühleberg	PSI
Gase, Edelgase					
^3H			$1.4 \cdot 10^{12}$		$8.8 \cdot 10^{11}$
^{11}C					$1.4 \cdot 10^{13}$
^{14}C (CO_2)		$8.4 \cdot 10^{10}$	$4.5 \cdot 10^{11}$		
^{13}N					$1.5 \cdot 10^{13}$
^{15}O					$5.9 \cdot 10^{13}$
^{18}F					$4.6 \cdot 10^{11}$
^{24}Ne					$4.1 \cdot 10^{11}$
^{41}Ar				$4.3 \cdot 10^9$	$3.0 \cdot 10^{12}$
^{85}Kr					$2.3 \cdot 10^{12}$
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	$1.6 \cdot 10^{11}$			$1.8 \cdot 10^{11}$	$2.7 \cdot 10^{10}$
^{87}Kr				$1.7 \cdot 10^9$	$7.1 \cdot 10^{10}$
^{88}Kr				$1.5 \cdot 10^{11}$	$2.1 \cdot 10^{10}$
^{127}Xe					
$^{131\text{m}}\text{Xe}$					
^{133}Xe	$1.4 \cdot 10^{12}$		$1.4 \cdot 10^{12}$	$3.4 \cdot 10^{11}$	
$^{133\text{m}}\text{Xe}$					
^{135}Xe	$1.8 \cdot 10^{12}$		$9.2 \cdot 10^{11}$	$2.1 \cdot 10^{10}$	
$^{135\text{m}}\text{Xe}$			$6.7 \cdot 10^{11}$	$5.8 \cdot 10^{10}$	
^{137}Xe					
^{138}Xe				$2.2 \cdot 10^{11}$	
EG-Aequiv. ⁴⁾				$4.1 \cdot 10^{10}$	
EG: β -total		$<8.4 \cdot 10^{12}$			
Andere	$2.6 \cdot 10^{11}$				
Iod					
^{123}I					$5.5 \cdot 10^7$
^{124}I					$2.2 \cdot 10^6$
^{125}I					$5.7 \cdot 10^7$
^{126}I					$8.6 \cdot 10^5$
^{131}I	$5.5 \cdot 10^6$		$9.9 \cdot 10^8$	$5.5 \cdot 10^7$	$4.3 \cdot 10^8$
^{133}I	$3.3 \cdot 10^7$				

Tabelle B.3c: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, 2004:

Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben, Aerosole

Nuklid β/γ -Aerosole	Abgaben [Bq im Jahr]				
	Beznau	Gösgen	Leibstadt	Mühleberg	PSI
⁷ Be					2.3·10 ⁵
²² Na					
²⁴ Na					
³⁸ S					1.3·10 ⁹
³⁸ Cl					4.6·10 ⁸
³⁹ Cl					1.4·10 ¹⁰
⁵¹ Cr	6.2·10 ²				
⁵⁴ Mn					
⁵⁷ Co					
⁵⁸ Co	9.2·10 ⁴				
⁶⁰ Co	7.7·10 ²	2.5·10 ⁵	4.4·10 ⁵	7.3·10 ⁵	1.2·10 ⁶
⁶⁵ Zn				4.2·10 ⁴	
⁶⁹ Ge					1.4·10 ⁶
⁷⁵ Se					5.6·10 ⁵
⁷⁶ Br					1.4·10 ⁷
⁷⁷ Br					8.2·10 ⁶
⁸² Br					5.0·10 ⁸
⁸⁹ Sr				1.2·10 ⁵	
⁹⁰ Sr				2.0·10 ²	
^{99m} Tc					
⁹⁵ Zr	2.8·10 ⁴				
⁹⁵ Nb	4.8·10 ⁴			6.2·10 ³	
¹⁰⁶ Ru/Rh					
^{108m} Ag					
^{110m} Ag					
^{123m} Te	2.4·10 ³				
^{125m} Te					
¹²⁴ Sb					
¹²⁵ Sb	2.6·10 ³				
¹³¹ I			3.2·10 ⁷	2.5·10 ⁵	
¹³⁴ Cs			2.5·10 ⁵		
¹³⁷ Cs	6.2·10 ⁴		1.8·10 ⁵	5.6·10 ⁵	4.8·10 ³
¹⁴⁰ Ba			6.4·10 ⁶	3.8·10 ⁶	
¹⁴⁰ La			6.0·10 ⁶		
¹⁴¹ Ce					
¹⁸¹ Re					3.1·10 ⁷
¹⁸² Re					9.3·10 ⁷
¹⁸³ Os					1.3·10 ⁸
^{183m} Os					2.8·10 ⁸
¹⁸⁵ Os					7.4·10 ⁶
¹⁹² Au					1.7·10 ⁹
¹⁹³ Au					3.1·10 ⁸
¹⁹² Hg					8.5·10 ⁸
^{193m} Hg					2.2·10 ⁸
¹⁹⁴ Hg					1.4·10 ⁶
¹⁹⁵ Hg					7.6·10 ⁹
^{195m} Hg					9.3·10 ⁷
^{197m} Hg					1.1·10 ⁸
²⁰³ Hg					5.4·10 ⁶
Nicht spezifizerte	7.8·10 ⁵				
α -Aerosole					
²¹⁰ Po	<1·10 ⁵	4.3·10 ⁴	<2.3·10 ⁴	7.8·10 ⁴	

Fussnoten zu den Tabellen B.1 bis B.3

- 1 **Abgabelimite** gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die Abgabelimite wurden für die Kernkraftwerke so festgelegt, dass die Jahresdosis für Personen in der Umgebung (vgl. Fussnote 3) unter 0,2 mSv/Jahr bleibt. Für das Paul Scherrer Institut (PSI) sind die Abgaben gemäss Bewilligung 6/2000 direkt über den quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0,15 mSv/Jahr limitiert.
- 2 Die **Messung der Abgaben** erfolgt nach den Erfordernissen der Reglemente «für die Abgaben radioaktiver Stoffe und die Überwachung von Radioaktivität und Direktstrahlung in der Umgebung des...» jeweiligen Kernkraftwerkes resp. des PSI. Die Messgenauigkeit beträgt ca. $\pm 50\%$. Abgaben unterhalb 0,1% der Jahresabgabelimite werden von der HSK als nicht-relevant betrachtet.
- 3 Die **Jahresdosis** ist für Personen berechnet, die sich dauernd am kritischen Ort aufhalten, ihre gesamte Nahrung von diesem Ort beziehen und ihren gesamten Trinkwasserbedarf aus dem Fluss unterhalb der Anlage decken. Die Dosis wird mit den in der HSK-Richtlinie R-41 angegebenen Modellen und Parametern ermittelt.
Dosiswerte kleiner als 0,001 mSv – entsprechend einer Dosis, die durch natürliche externe Strahlung in ca. zehn Stunden akkumuliert wird – werden in der Regel nicht angegeben. Beim PSI wird die Jahresdosis der Gesamtanlage als Summe über die Abgabestellen gebildet.
- 4 Bei der **Art der Abgaben** resp. den **Tatsächlichen Abgaben** ist Folgendes zu präzisieren:
Abwasser: Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-LE-Wert von 200 Bq/kg angegeben. Die LE-Werte für die einzelnen Nuklide sind dem Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Ein LE-Wert von 200 Bq/kg entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Ingestionsdosisfaktor von $5 \cdot 10^{-8}$ Sv/Bq. Die unnormierte Summe der Abwasserabgaben ist in einer weiteren Spalte angegeben.
Edelgase: Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-CA-Wert von $2 \cdot 10^5$ Bq/m³ angegeben. Die CA-Werte für die Edelgasnuklide sind dem Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Ein CA-Wert von $2 \cdot 10^5$ Bq/m³ entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Immersionsdosisfaktor von $4,4 \cdot 10^{-7}$ (Sv/Jahr)/(Bq/m³). Die unnormierte Summe der Edelgasabgaben ist in einer weiteren Spalte angegeben.

Beim KKG wird für die Bilanzierung der Edelgase eine β -total-Messung durchgeführt; für die Aequivalent-Umrechnung wurde in diesem Fall ein Gemisch von 80 % ¹³³Xe, 10% ¹³⁵Xe und 10 % ⁸⁸Kr angenommen.

Gase: Beim PSI handelt es sich dabei vorwiegend um die Nuklide ¹¹C, ¹³N, ¹⁵O und ⁴¹Ar. 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/m³ 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 demgegenüber vernachlässigbar und liegt in der Grössenordnung der anderen schweizerischen Kernkraftwerke.

Iod: Bei den Kernkraftwerken ist die Abgabe von ¹³¹I 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 ¹³¹Iod-Aequivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben, wobei sich der Gewichtungsfaktor aus dem Verhältnis des Ingestionsdosisfaktors des jeweiligen Nuklides zum Ingestionsdosisfaktor von ¹³¹I 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 ¹³³I berücksichtigt.

Kohlenstoff ¹⁴C: In den Tabellen ist der als Kohlendioxid vorliegende Anteil des ¹⁴C, der für die Dosis relevant ist, angegeben. Die für ¹⁴C angegebenen Werte basieren beim KKG und KKL auf aktuellen Messungen, beim KKB und KKM auf Literaturangaben und in früheren Jahren durchgeführten Messungen.

1.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen

Das Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) dient der permanenten Überwachung der externen ionisierenden Strahlung. In Kapitel 2 wird detailliert auf das MADUK-Messsystem und die damit erhobenen Messergebnisse eingegangen.

Die Ortsdosis respektive die Ortsdosisleistung durch externe Strahlung wird in der Umgebung der Kernanlagen mit dem MADUK-Messnetz und mittels am Arealzaun positionierten Thermolumineszenzdosimetern (TLD) überwacht. Zusätzlich dazu führt die HSK vierteljährlich stichprobenweise Dosisleistungsmessungen am Arealzaun sowie bei Bedarf spezielle Messkampagnen durch. Im Berichtsjahr wurden die Dosismessungen mit Thermolumineszenz-Dosimetern (TLD) in der Umgebung der Kernanlagen und des PSI fortgeführt. Bei der routinemässig durchgeführten Analyse der Messergebnisse ergaben sich folgende Befunde:

- In der Umgebung des KKB/PSI wurde im 1. Quartal 2004 beim Standort «Unterswald Südost, Pkt. 356» eine Erhöhung der Quartalsdosis um 50 μSv , d.h. ca. 30 % des langjährigen Erfahrungswerts, festgestellt. Bei nachfolgenden Direktmessungen mit einem Dosisleistungsmessgerät konnte hingegen an diesem Standort und in dessen Umgebung keine Erhöhung festgestellt werden. In den folgenden Quartalen zeigte das TLD an diesem Standort Dosiswerte, welche den langjährigen Erfahrungswerten entsprachen.
- Am Standort «Starrkirch/Wil» in der Umgebung des KKG wurde das TLD Mitte 2002 wegen Umbauarbeiten leicht verschoben. Seit diesem Zeitpunkt hat sich die gemessene Quartalsdosis auf einem um ca. 25 μSv höheren Wert stabilisiert.
- Bei der routinemässig durchgeführten Analyse der Messergebnisse ergaben sich gegenüber den Erfahrungswerten beim Standort «Station Schwaderloch, KKL» wie bereits im Vorjahr leicht erhöhte Quartalsdosiswerte, die auf eine baulich bedingte Verschiebung des Dosimeters zurückzuführen sind.

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

Beim KKM wurden am Zaun im Rahmen der stichprobenweise, vierteljährlich von der HSK durchgeführten Messungen Dosisleistungen zwischen 0,07 $\mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und 0,43 $\mu\text{Sv/h}$ gemessen; im Jahresdurchschnitt ergibt sich an letzterem Standort nach Abzug des Untergrundes umgerechnet auf ein Jahr und unter Berücksichtigung der Betriebszeit eine Dosis von ca. 2,7 mSv. Die vom KKM ausgewerteten Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD), die an mehreren Stellen am Zaun die Dosis messen, weisen für das Berichtsjahr einen Höchstwert von 2,4 mSv auf (inkl. natürlicher Untergrund von ca. 0,5 mSv).

Beim KKL wurden im Rahmen der vierteljährlichen Stichproben der HSK während des Leistungsbetriebes am Zaun Ortsdosisleistungen zwischen 0,06 mSv/h (natürlicher Untergrund) und 0,29 $\mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes und unter Berücksichtigung der Betriebszeit einer Dosis von ca. 1,7 mSv pro Jahr. Der vom KKL im Berichtsjahr ermittelte höchste Wert eines Thermolumineszenz-Dosimeters (TLD) am Zaun betrug 2,6 mSv (inkl. natürlicher Untergrund von ca. 0,7 mSv). Im Vergleich zu den Vorjahren ergibt sich somit eine deutliche Verbesserung der Übereinstimmung zwischen stichprobenweiser Ortsdosisleistungsmessung und Umgebungs-Ortsdosimetrie. Dies ist auf den Ersatz der früher verwendeten $\text{CaF}_2\text{:Dy}$ Dosimeter durch für die Ortsdosimetrie besser geeignete GR200-Dosimeter zurückzuführen.

Im Jahr 2004 betrug der höchste, mit einem Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun des Paul Scherrer Instituts (PSI) gemessene Wert 1,0 mSv (inkl. natürlichem Untergrund von ca. 0,6 mSv). Der zugehörige Messpunkt liegt bei der Aktivlagerhalle am PSI-Ost. Dieser Wert ist etwas kleiner als der auf Grund der stichprobenweisen Ortsdosisleistungsmessung der HSK am Zaun des PSI zu erwartende Dosiswert von 0,7 mSv (nach Abzug des Untergrundes). Allerdings muss dazu bemerkt werden, dass die Standorte der TLD und der Ortsdosisleistungsmessung nicht gleich sind und deshalb Unterschiede in dieser Grössenordnung zu erwarten sind.

Beim Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) wurde am Zaun weder mittels TLD noch bei den vierteljährlichen, stichprobenweisen Messungen der HSK eine Erhöhung der Ortsdosis über dem natürlichen Untergrund festgestellt. Die Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Betriebsareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn-, Aufenthalts- und Arbeitsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche nach Art. 102 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung wurden auch im Berichtsjahr von allen Anlagen eingehalten.

2. Messnetz zur automatischen Dosisleistungüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)



MADUK-Sonde Nr. 7 in der Umgebung des KKG

2.1 Übersicht

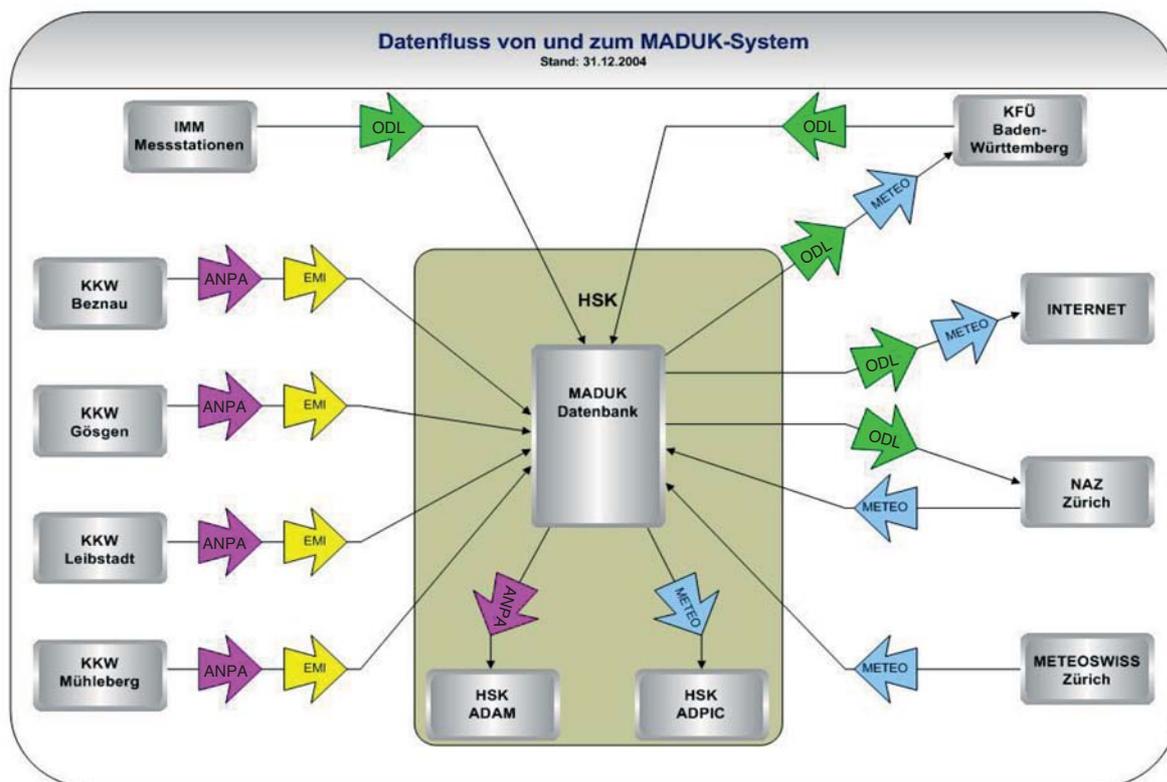
Das MADUK-System inklusive der Einrichtungen zur Übernahme von **Anlageparametern** (ANPA) und Kaminemissionswerten aus den Kernkraftwerken wurde im Laufe des Jahres 1993 aufgebaut und ab Frühjahr 1994 in den operationellen Betrieb überführt. Da das System die Dosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke ganzjährig während 24 Stunden pro Tag 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 automatisch angezeigt werden. Bei einem Störfall unterstützt MADUK die HSK-Notfallorganisation bei der Bestimmung des betroffenen Gebietes und der Einschätzung der möglichen Auswirkungen sowie der notwendigen Massnahmen. Zusätzlich dient es

dem schnellen Datenaustausch mit nationalen und internationalen Behörden.

Das MADUK-System besteht aus insgesamt 57 Messstationen (Figur B.4), die um alle schweizerischen Kernkraftwerksstandorte die Ortddosisleistungen messen, und je einem Rechner innerhalb der Kernkraftwerke Beznau, Leibstadt und Mühleberg sowie einem Computer im Messringknoten Olten für das Kernkraftwerk Gösgen für die Übernahme der ANPA- und Emissionsdaten. Neben den notwendigen Netzwerkeinrichtungen befinden sich in der MADUK-Zentrale der HSK ein 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: mit der Nationalen Alarmzentrale (NAZ) in Zürich, der Kernreaktorfernüberwachung Baden-Württemberg und der MeteoSchweiz in Zürich. Sie liefern ebenfalls die benötigten Daten an die Systeme ADAM und ADPIC in der HSK (Figur B.2).

Die Daten von MADUK können mittels spezieller Arbeitsplatzrechner in der HSK, in den Kernkraftwerken und beim BAG, SUER (Sektion Überwachung Radioaktivität des Bundesamts für Gesundheit) in Fribourg abgerufen werden. Auf der Internetseite www.hsk.ch unter «Messen/Messwerte, Radioaktivität» sind ausserdem die Stunden- und Tagesmittelwerte aller MADUK-Stationen in Form von Verlaufskurven abrufbar (Figur B.3). In den Grafiken B.7 bis B.10 sind Beispiele für die Verteilung von Windrichtung und Geschwindigkeit sowie die Häufigkeitsverteilung der vom System gemäss der deutschen KTA-Regel 1580 errechneten Ausbreitungsklassen für jeden Kernkraftwerkstandort dargestellt. Die Werte beziehen sich auf die Erfassungshöhe von 110 m bzw. für KKB auf 70 m.

Die Lieferung von aktuellen Daten aus den Kernkraftwerken erfolgt nur im Anforderungsfall bzw. bei einem Störfall in den Werken. Im Normalbetrieb werden nur Testwerte geliefert. Bei zwei Betriebsstörungen, jeweils eine im KKB, Block 1 und eine im KKL, wurden die Echt-daten zugeschaltet. Die Erfassung und Archivierung verliefen einwandfrei.



Figur B.2: Schematische Darstellung aller Datenflüsse zum und vom MADUK-System. Die Ortodosisleistungs (ODL)-, Meteo- und Emissionsdaten (EMI) werden im 10-Minuten-Takt erfasst, die ANPA-Daten im 2-Minuten-Rhythmus.

2.2 Systeminstandhaltung

In den Jahren 1999 – 2001 musste das System das erste Mal auf den aktuellen technischen Stand nachgerüstet werden. Weitere Erneuerungen und Ertüchtigungen werden seit 2002 jährlich umgesetzt.

Die Schwerpunkte der Investitionsmassnahmen im Jahr 2004 lagen im Austausch der Sonden im Messring KKM mit einem Folgemodell, in der Einbringung eines erweiterten Simulationsmoduls sowie in der Bereitstellung einer flexiblen Eingabemöglichkeit für den Quellterm in das in MADUK integrierte Ausbreitungsprogramm TIS/ADP. Bei Übungen und Benutzerschulungen kann jetzt ein Simulationsprogramm gestartet werden, bei dem auf simulierte Daten in einer für den Anwender transparenten Weise zugegriffen wird. In eine solche Simulation können entweder echte oder simulierte Immissions-, Emissions-, ANPA- und Meteodaten eingespeist werden. In Abhängigkeit der an der Simulation teilnehmenden Partner erfolgt auch der Datenaustausch mit echten oder simulierten Daten.

2.3 Systemverfügbarkeit und Störungen

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

Im Berichtsjahr lag die Systemverfügbarkeit etwas über 99%. Über die schwerwiegenden Systemstörungen und Betriebsvorkommen wird jeweils in den MADUK-Quartalsberichten detailliert berichtet. Es mussten hauptsächlich Peripheriegeräte und eine USV (unterbrechungsfreie Stromversorgung) ausgetauscht werden. Im Berichtsjahr traten bei der Datenübertragung Störungen und Instabilitäten bei einigen Stationen auf: die Stationen Nummer 2 und 12 um das KKM, 2 und 10 um

siert, andererseits werden bereits plausibilisierte Werte von der NAZ übermittelt. Die zyklische Prüfung, ob die auf diesen zwei Wegen erfassten Werte übereinstimmen, wurde vorgenommen und als einwandfrei bewertet. Mit jedem Kernkraftwerk wurden die zweimal pro Jahr vorgesehenen Echtdatenzuschaltungen zwecks Überprüfung der Datenübermittlung und korrekten Archivierung im MADUK-Archiv vorgenommen. Ausserdem erfolgten im Rahmen von Softwareanpassungen im MADUK weitere Testzuschaltungen. Die Datenübernahmen verliefen zufrieden stellend.

Im Rahmen der Qualitätssicherung wurde bisher einmal pro Jahr mit einer Prüfquelle die Genauigkeit des Niederdosis- und des Hochdosis-Zählrohres der MADUK-Sonden erfasst. Gleichzeitig wurde die Sondenfunktionskontrolle auch für die Überprüfung der Datenübermittlung, der korrekten Archivierung im MADUK-Datenarchiv sowie der Überprüfung der Alarmauslösung benutzt. Im Berichtsjahr wurde die bisher benutzte Prüfquelle ausgemustert. Auf Grund von Lieferschwierigkeiten der neuen Quelle wurde die für das Jahr 2004 vorgesehene Testmessung auf das Jahr 2005 verschoben.

2.5 Messergebnisse

Erhöhte Ortsdosisleistungswerte, die auf Abgaben der Kernkraftwerke zurückzuführen waren, wurden keine festgestellt. Die Figur B.5 zeigt pro Messring die maximalen, minimalen und gemittelten Tagesmittelwerte für das Berichtsjahr. Die Werte liegen im normalen Schwankungsbereich. Ein mehrjähriger Zeitverlauf bei ausgewählten Sonden ist in Figur B.6 ersichtlich.

In Rahmen der jährlichen Überprüfung der NADAM-Sonden wurden bei den Meteotürmen und beim PSI-Personal-Restaurant an den dort positionierten MADUK-Stationen jeweils für eine halbe Stunde erhöhte Werte registriert: Bei der Station 11 des Messrings Beznau betrug der Maximalwert 3782 nSv/h, bei der Station 7 des Messrings Gösigen 1320 nSv/h, bei der Station 6 des Messrings Leibstadt 488 nSv/h, bei der Station 3 des Messrings Mühleberg 315 nSv/h.

Anlässlich angemeldeter Schweissnahtprüfungen in der Nähe des Meteomastes KKG in Niedergösigen wurden kurzzeitig leicht erhöhte Werte an der Station 7 des Messrings Gösigen registriert. Der maximale Messwert betrug dabei 171 nSv/h.

Hohes lokales Auswaschen von natürlichen radioaktiven Substanzen durch Regen (washout) führte am 2. Januar 2004 bei der Station 12 des Messrings Leibstadt (Leibstadt, Wehrübergang) mit einer maximalen Nettodosisleistung von 96 nSv/h zu einer 30-minütigen Überschreitung des auf 50 nSv/h gesetzten Schwellenwertes für die Nettodosisleistung. Bei Messungen an Proben, die vor Ort erhoben wurden, konnte keinerlei künstliche Radioaktivität festgestellt werden. Ein hoher lokaler washout führte am 1. November 2004 bei der Station 6 des Messrings Leibstadt (Leibstadt, Meteomast KKL) zu einer 40-minütigen Überschreitung des 50-nSv/h-Schwellenwertes für die Nettodosisleistung, wobei ein Maximum von 163 nSv/h gemessen wurde. Gemäss Angaben des KKL war die Anlage zu dem entsprechenden Zeitpunkt im Normalbetrieb und wies keine erhöhten Abgaben aus.

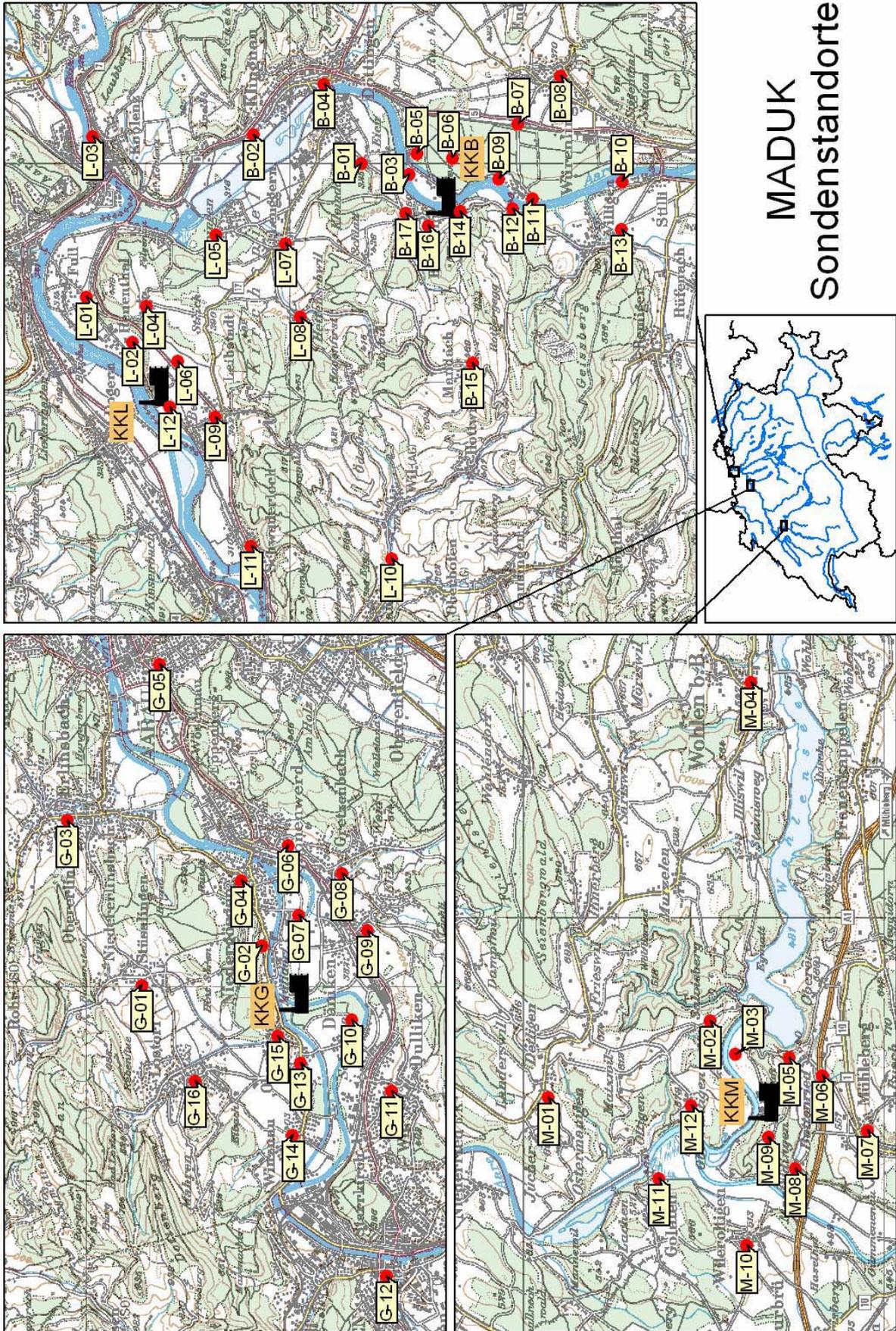
2.6 Erneuerung der Messstationen

Da für die im Einsatz stehenden Sonden und die Elektronik teilweise keine Ersatzteile mehr erhältlich sind, wurde beschlossen, in einer ersten Tranche die Stationen des Messringes Mühleberg während des Jahres 2004 zu erneuern. Das Folgemodell weist im Vergleich zum alten aus Redundanzgründen zwei Niedrigdosiszählrohre auf. Solange beide funktionstüchtig sind, führt dies auch zu einem geringeren Schwankungsbereich der Messwerte.

Bevor die neuen Sonden im Messring Mühleberg installiert wurden, erfolgte im Eichlabor des PSI eine Kalibrierung der Sonden. Dabei wurde der im neuen Messsystem (DLM-1450 und IGS421BH) integrierte automatische Genauigkeitstest verwendet, für den ein Protokoll generiert wird. Dieses Protokoll bildet dann die Grundlage für die Konstanzprüfung jeder einzelnen Messsonde bzw. Messstation.

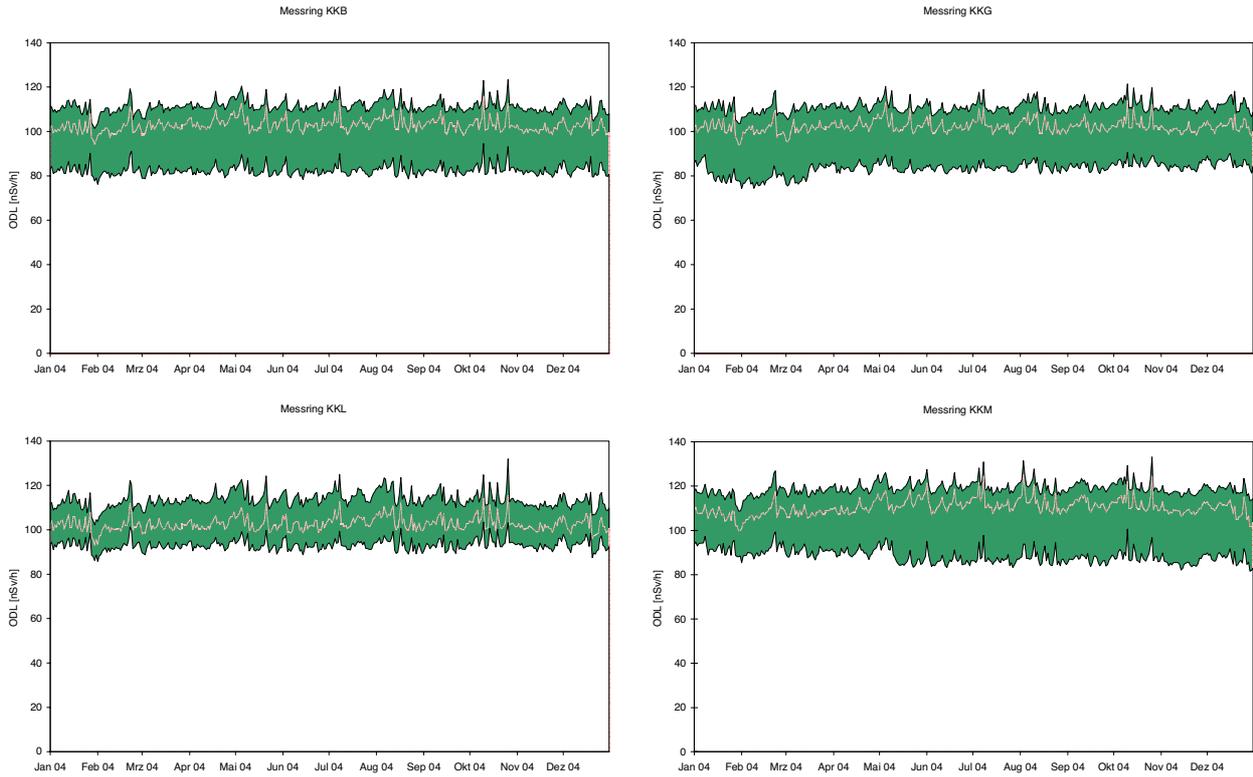
Die Umbauarbeiten an den Sondenstandorten erfolgten im Zeitraum vom 10. bis 19. Mai 2004. Die Umbauarbeiten umfassten den kompletten Ersatz der Elektronik, das heisst der Mutterplatine, der Prozessorkarte und des Speisegerätes in der Messstation sowie den Austausch der Messsonde selbst.

Weitere Angaben sind dem Jahresbericht «Umweltra dioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz» im Kapitel 8 (unter www.bag.admin.ch) und auf der Homepage der HSK (<http://www.hsk.ch>) unter «Messen» zu entnehmen.

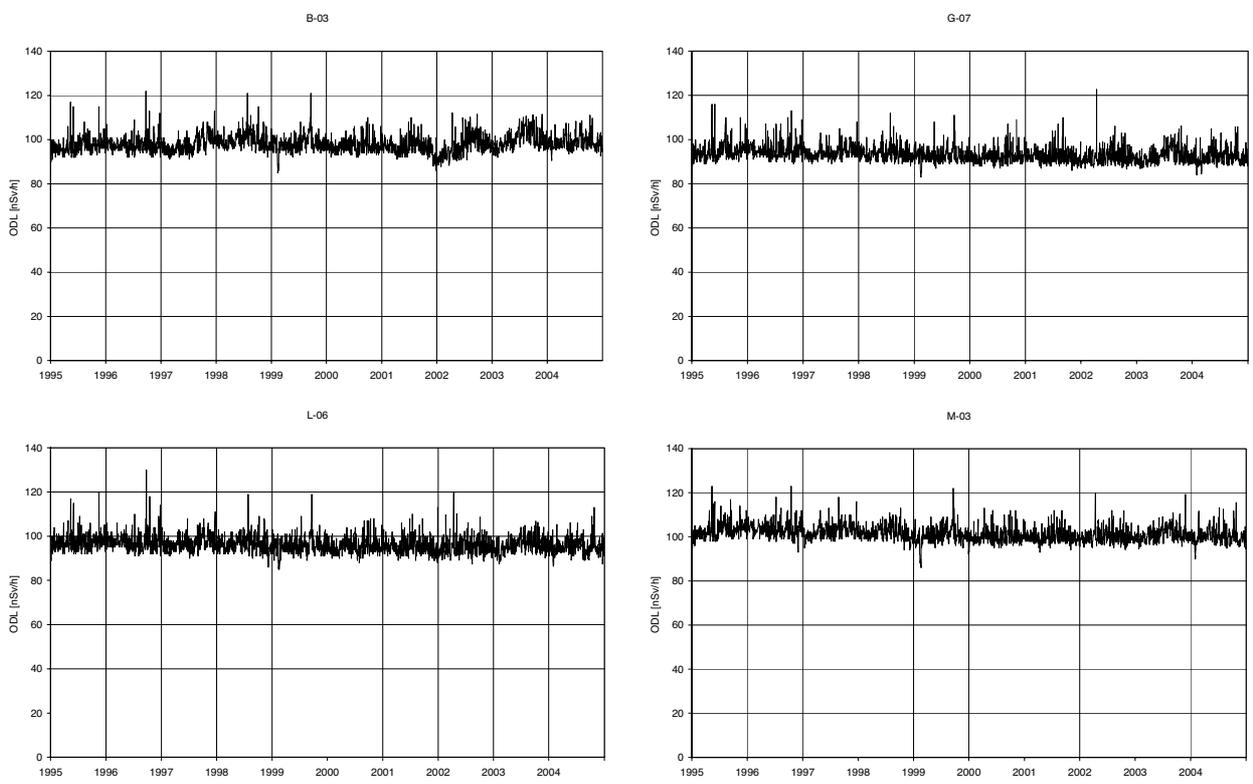


MADUK Sondenstandorte

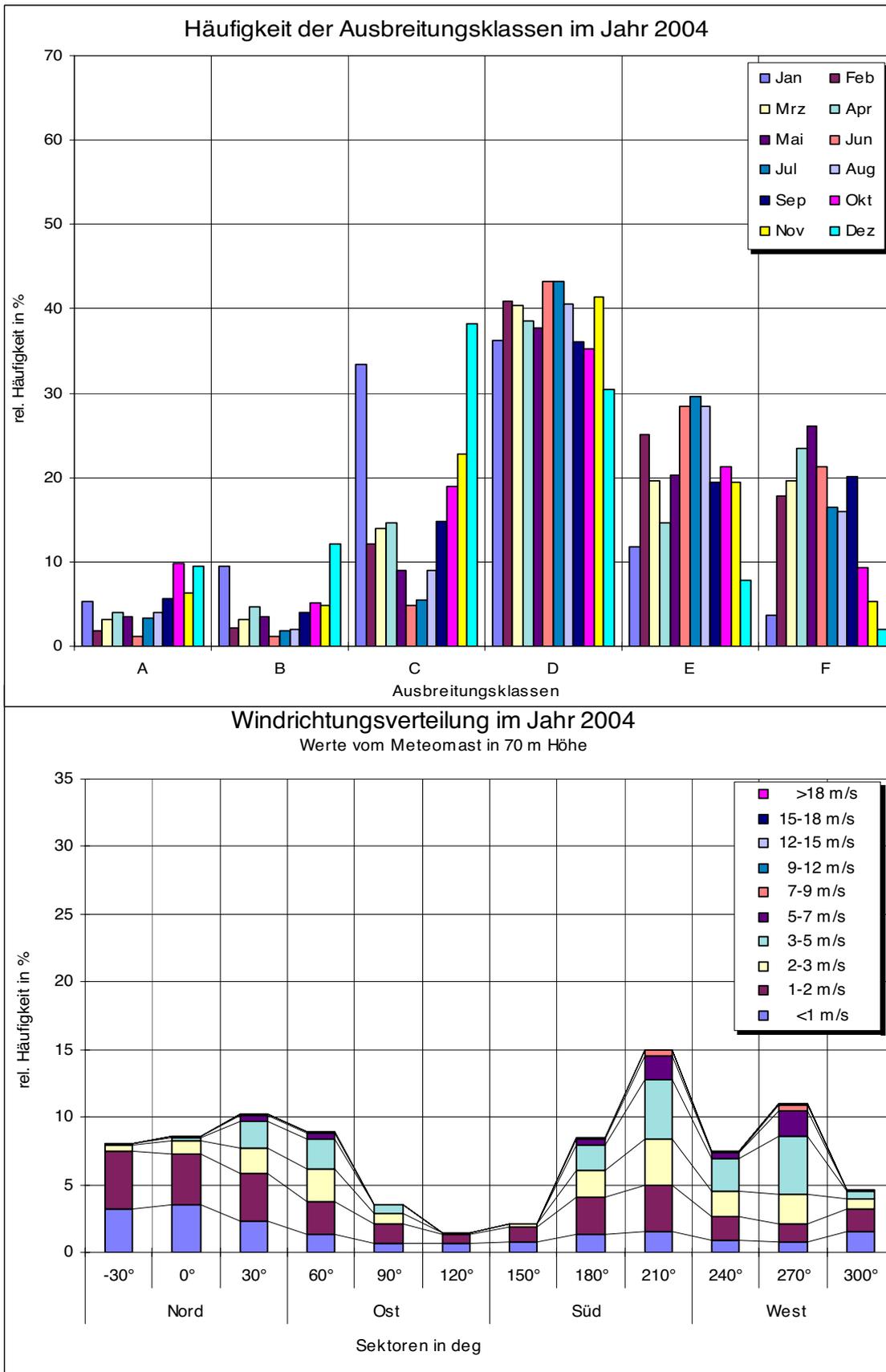
Figur B.4: Die vier MADUK-Messringe.



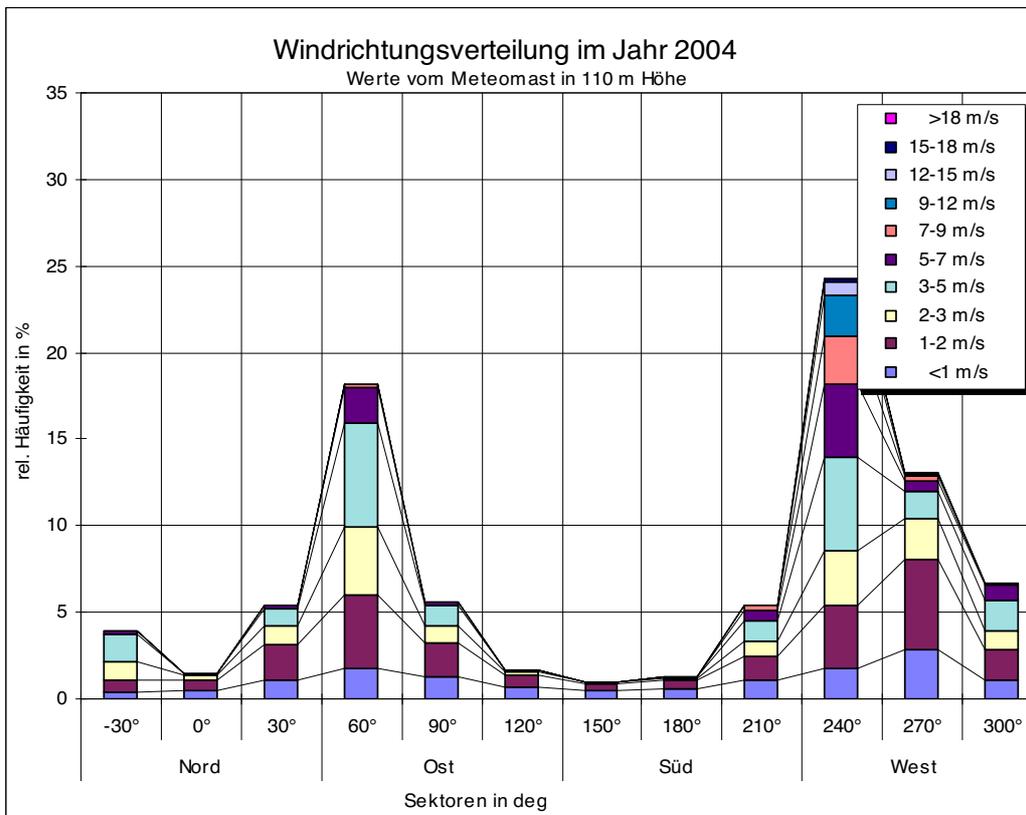
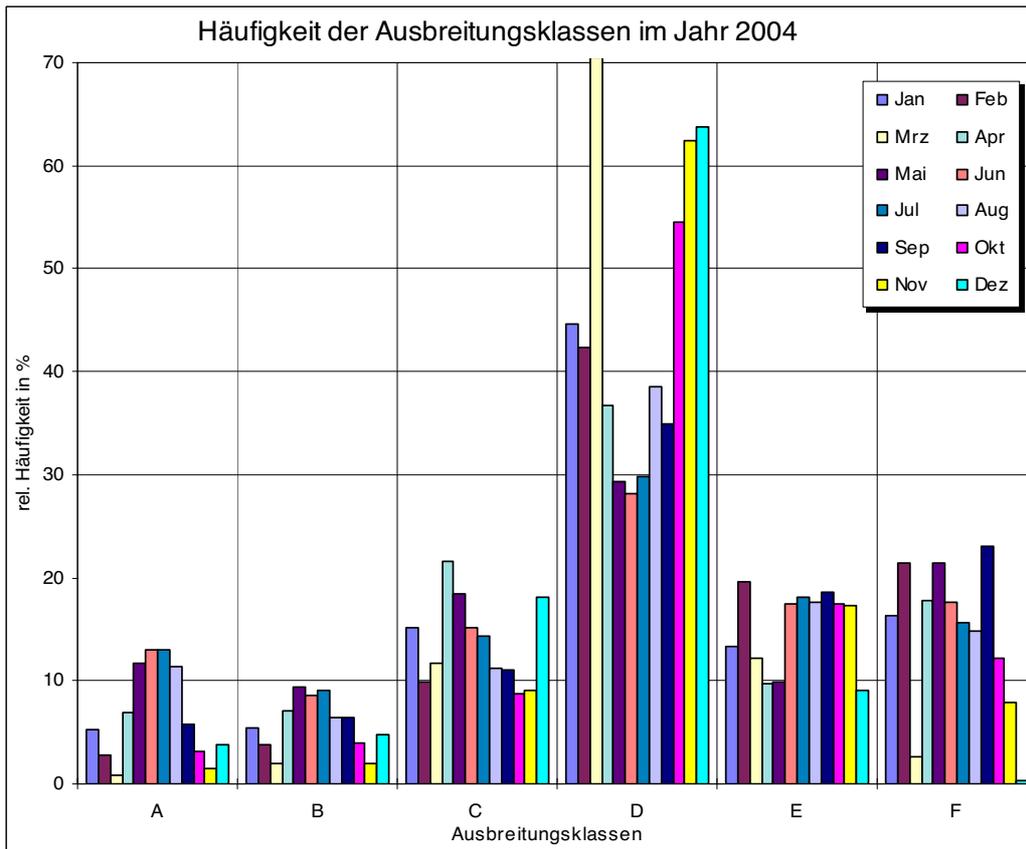
Figur B.5: Wertebereiche von Tagesmittelwerten für die Messringe KKB, KKG, KKL, KKM des MADUK-Systems



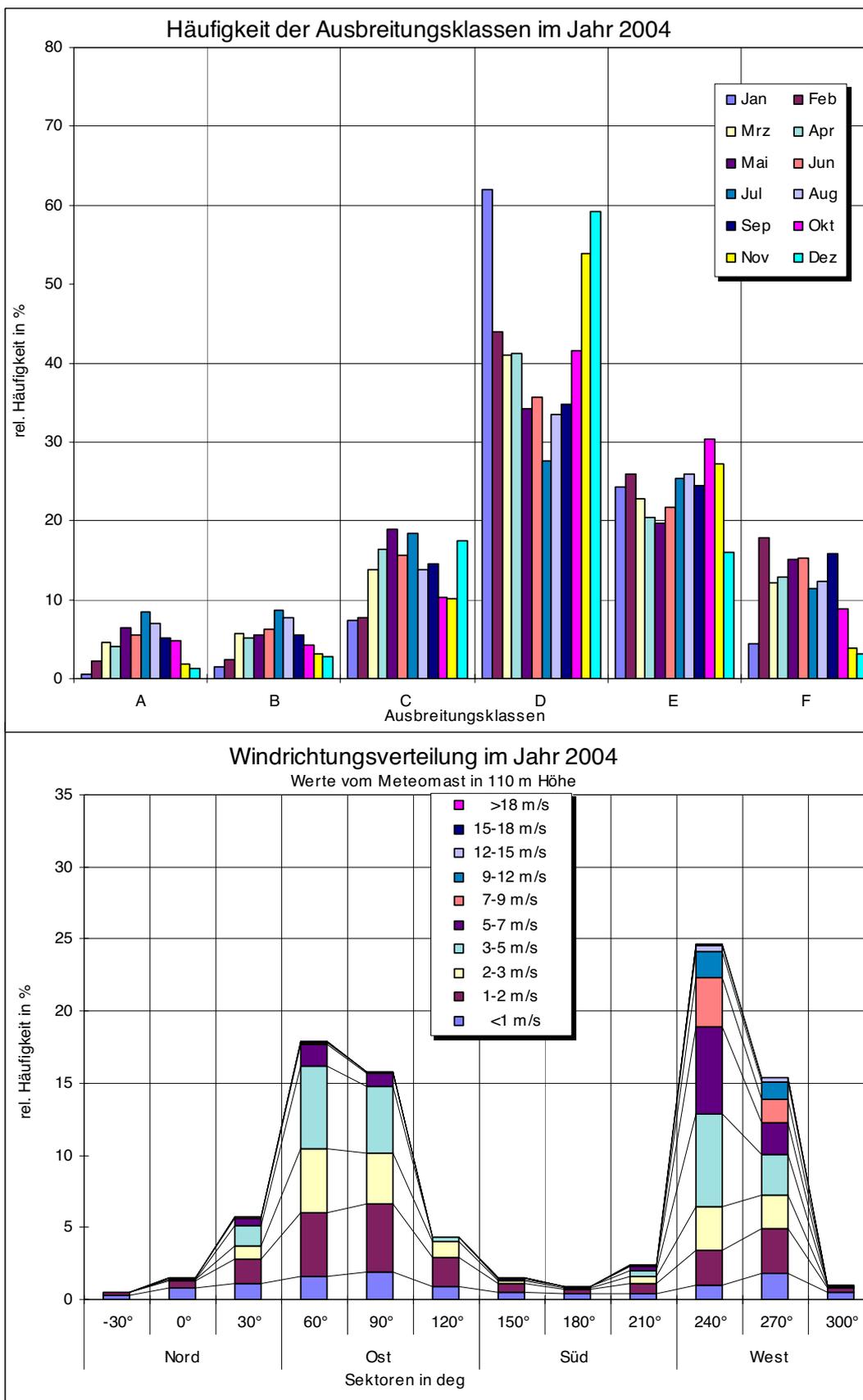
Figur B.6: Tagesmittelwerte für 4 ausgewählte Sonden (an den Meteotürmen) für die Jahre 1995 bis 2004



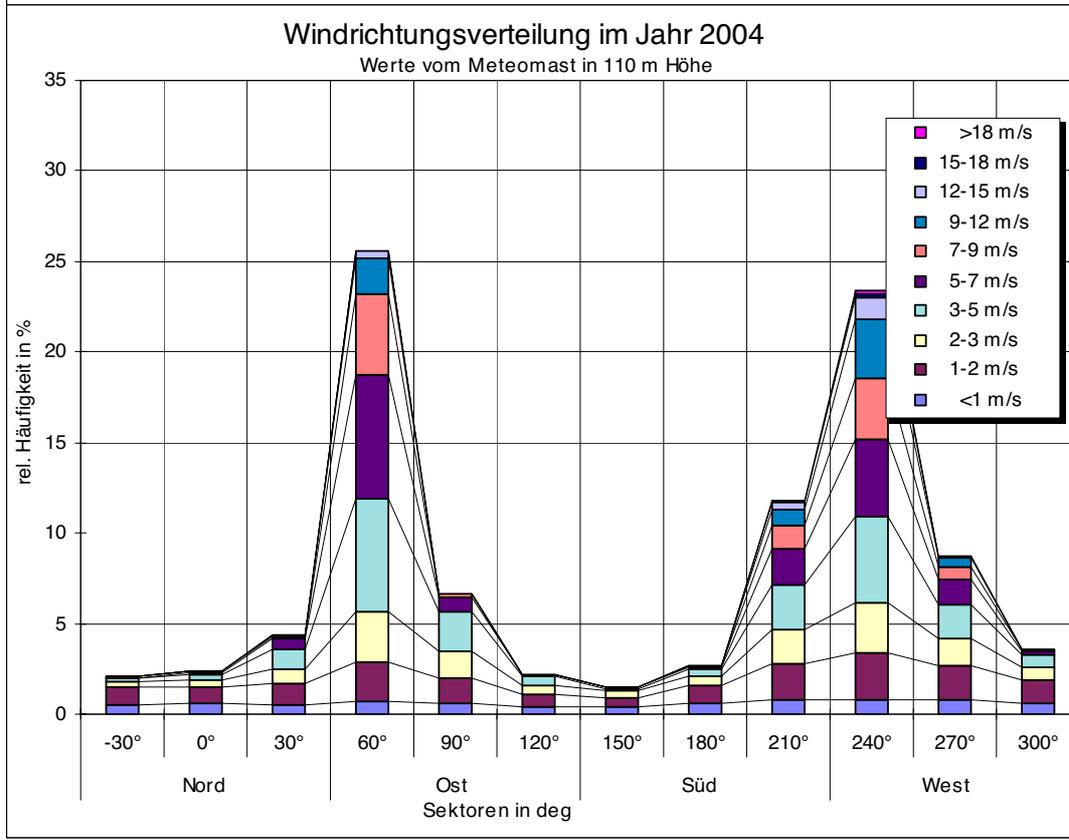
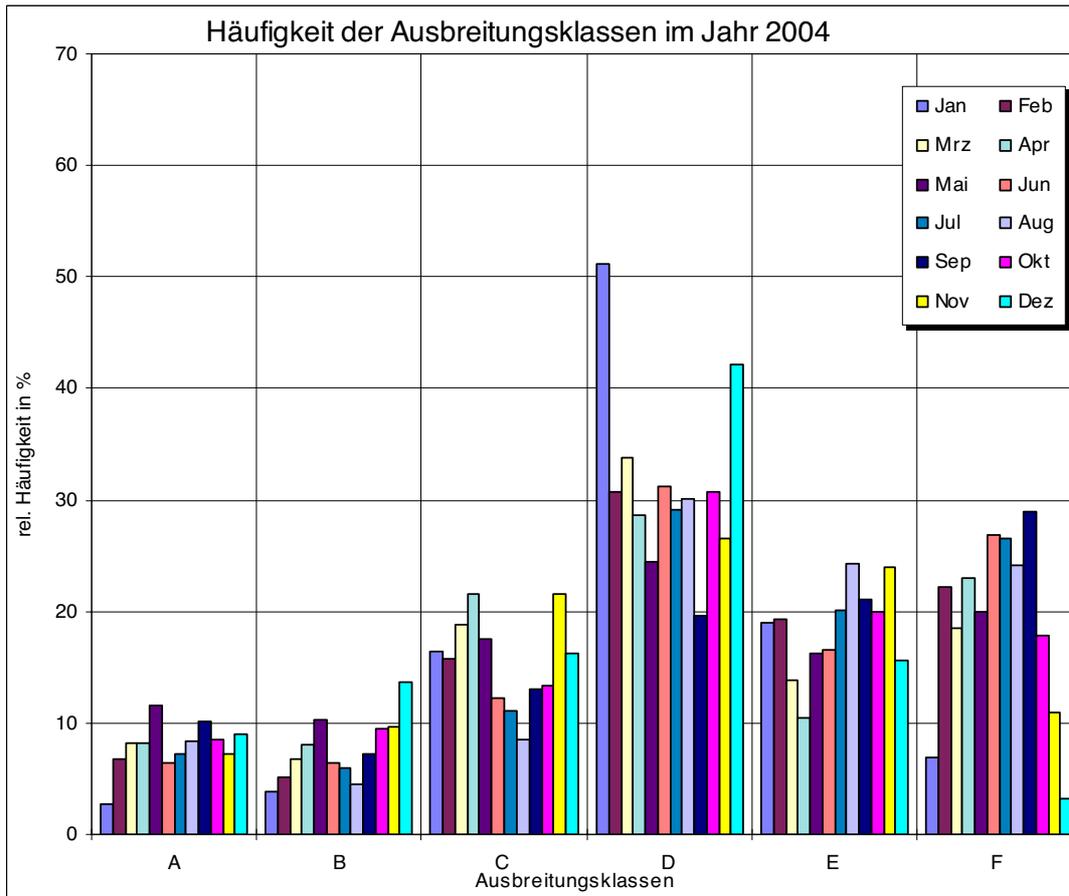
Figur B.7: Ausbreitungsklassen- und Windverteilung am Standort Beznau



Figur B.8: Ausbreitungsklassen- und Windverteilung am Standort Gösgen



Figur B.9: Ausbreitungsklassen- und Windverteilung am Standort Leibstadt



Figur B.10: Ausbreitungsklassen- und Windverteilung am Standort Mühleberg

3. Atmosphärische Ausbreitung

Die HSK führt im Rahmen ihrer gesetzlichen Aufgaben Berechnungen zur Ausbreitung der Radioaktivität in der Umgebung durch. Es sind dies:

- Berechnungen für Gutachten, Abgabelimiten, Referenz-Szenarien, Studien bei Anlageänderungen u.a.,
- Berechnungen für den Normalbetrieb, Kontrollrechnungen betreffend Einhaltung des quellenbezogenen Dosisrichtwertes,
- Berechnungen bei Abgaben unterhalb der Abgabelimiten und
- Berechnungen bei Ereignissen U, Ö, A, B und S.

Die Ausbreitungsrechnungen wurden für die Auslegung und im Normalbetrieb mit der Herausgabe der HSK-Richtlinie R-41 im Juli 1997 innerhalb der HSK vereinheitlicht. Die aktuell vorhandenen Rechenprogramme sind daraufhin angepasst worden. Mit Ausnahme der laufend notwendigen Anpassungsarbeiten (z.B. auf Grund von Änderungen der Strahlenschutzverordnung) und zusätzlichen Verbesserungen bei der Konformität der verwendeten Daten besteht derzeit in diesen Bereichen kein weiterer Handlungsbedarf.

Die Aufgaben der HSK hinsichtlich der Erstellung von Ausbreitungsrechnungen sind in der Verordnung über die Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität (VEOR) Art. 18 [1] geregelt. Danach ist die HSK für die Prognosen der Entwicklung des Störfalls in der Anlage sowie der möglichen Ausbreitung der Radioaktivität in der Umgebung und der Abschätzung von deren radiologischen Konsequenzen zuständig.

3.1 Kompetenzzentrum Ausbreitung

Die Eidgenössische Kommission für ABC-Schutz (KomABC) hat bezüglich Ausbreitungsrechnungen in der Notfallorganisation bei KKW-Unfällen die vorhandenen Mittel beurteilt und die Anforderungen an die Resultate der Berechnungen sowie die Verfügbarkeit und den Einsatz der benötigten Modelle festgelegt (Stellungnahme bezüglich Ausbreitungsrechnungen in der Notfallorganisation bei KKW-Unfällen vom 8. März 2001 [2]). Dabei wurde im Kapitel 5.7 dieser Stellungnahme insbesondere die folgende Empfehlung gegeben:

«Die Zuständigkeiten sind auf die drei Organisationen NAZ, HSK und SMA (heute Meteo Schweiz) aufgeteilt. Eine grosse Bedeutung kommt den lokalen Modellen MADUK und ADPIC zu. Die HSK ist für diese Modelle

zuständig und in diesem Bereich personell unterdotiert. Es wird empfohlen, die Gruppe <Ausbreitungsrechnungen> bei der HSK personell zu verstärken.» Abklärungen im Anschluss ergaben, dass dieser Empfehlung mit der Schaffung eines «Kompetenzzentrums Ausbreitungsrechnungen» innerhalb der HSK am besten Rechnung getragen werden kann. Dessen Aufbau wurde im Rahmen eines Projekts in die Wege geleitet, welches im Berichtsjahr mit der Einbindung des Kompetenzzentrums ins HSK-Management-System im Rahmen des Prozesses «Fernüberwachung und Prognose» abgeschlossen wurde.

Tätigkeiten im Berichtsjahr:

Neben der Einbindung des Kompetenzzentrums ins HSK-Management-Handbuch und der Erstellung eines weiterführenden Grundsatzpapiers zu den Tätigkeiten des Kompetenzzentrums wurde im Berichtsjahr die periodisch durchzuführenden Stärken-/Schwächenanalyse der bei der HSK eingesetzten Instrumente für die Ausbreitungsrechnungen im Normalbetrieb, für die Auslegung und im Störfall in Angriff genommen. Daraus soll 2005 die Strategieplanung für die Weiterentwicklung des HSK-Instrumentariums im Bereich Ausbreitungsrechnungen aus fachtechnischer Sicht resultieren.

Einen grossen Einfluss auf die strategische Ausrichtung wird die Realisierung des Projekts CN-Met durch die MeteoSchweiz haben. Dabei sollen einerseits die zum gegenwärtigen Zeitpunkt an sämtlichen Kernkraftwerkstandorten vorhandenen Meteotürme durch 3 Windprofiler, welche sich nicht mehr an den Standorten befinden würden, ersetzt werden. Andererseits soll das für die Windfeldprognosen von der MeteoSchweiz verwendete Programm durch eine Verkleinerung der zugrunde liegenden Maschenweite deutlich verbessert werden. In diesem Zusammenhang war eine Gruppe des Kompetenzzentrums intensiv an der Erarbeitung des technischen Teils des Pflichtenheftes für das Projekt CN-Met beteiligt.

3.2 Ausbreitungsrechnungen im Rahmen der Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität

Die Organisation, die Zuständigkeiten und der Einsatz der Organe des Bundes bei einem Ereignis in einer

Kernanlage mit einer bevorstehenden oder bereits erfolgten Freisetzung von radioaktiven Stoffen sind in der «Verordnung über die Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität» (VEOR) [1] geregelt. Die Grundlage für die Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung bildet die Beurteilung der radiologischen Gefährdung. Insbesondere ist die HSK bei einer störfallbedingten Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus einer schweizerischen Kernanlage für die zeitgerechte Beurteilung der akuten radiologischen Gefährdung der Bevölkerung in der näheren Umgebung verantwortlich. Schutzmassnahmen sollten wenn möglich vorsorglich angeordnet werden. In der Vorphase, d.h. vor Freisetzungsbeginn, kann jedoch nicht auf Radioaktivitätsmessungen in der Umgebung abgestützt werden. Die Gefährdung muss vielmehr mittels Rechnungen auf Grund der aktuellen Situation in der Anlage und der vorherrschenden Wetterbedingungen in der Umgebung abgeschätzt werden. Diese Rechnungen dienen insbesondere dazu, das potenziell gefährdete Gebiet abzugrenzen, die notwendigen Schutzmassnahmen festzulegen und die Messstrategie zu optimieren. Da die Anforderungen der Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität nicht durch ein einziges Modell erfüllt werden können, sind spezifische Modelle für den lokalen, regionalen und grossräumigen Bereich notwendig. Die Zuständigkeiten für die benötigten Modelle sind auf die HSK, NAZ und MeteoSchweiz aufgeteilt.

3.3 Atmosphärisches Ausbreitungsmodell ADPIC/WINDBANK

Im Ereignisfall ist vorgesehen, dass eine erste rasche Abschätzung der radiologischen Auswirkungen durch das in MADUK integrierte Ausbreitungs- und Dosisprogramm erfolgt. Als Ergänzung dazu wird das wesentlich komplexere atmosphärische Ausbreitungsmodell ADPIC (Atmospheric Diffusion Particle-In-Cell Model), welches Topografie und lokale Windverhältnisse berücksichtigt, eingesetzt. Für Anwendungen in der unmittelbaren Umgebung der schweizerischen Kernanlagen werden die gemessenen Windfelder aus der WINDBANK (Windfeld-Datenbank) verwendet.

Das von Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) entwickelte Ausbreitungsmodell ADPIC wurde im Rahmen einer Modell-Evaluation aus einer Vielzahl von atmosphärischen Dispersionsmodellen, welche Ausbreitungsvorgänge im komplexen Gelände beschreiben können, als das für die Schweiz am besten geeignete

Modell ausgewählt. Die Evaluation erfolgte auf Grund von Tracer-Experimenten im Raum Gösgen. Für einen operationellen Einsatz des Modells in der Schweiz waren umfangreiche Anpassungen notwendig, insbesondere bezüglich On-line-Meteodaten-Erfassung, dreidimensionale Windfelddaten und Visualisierung der Ergebnisse. Die aus den WINDBANK-Projekten [3-6] ermittelten dreidimensionalen Windfeldklassen wurden in einer Datenbank integriert und stehen für alle KKW-Standorte und für das PSI/ZZL in verschiedenen örtlichen Auflösungen bis zu einer maximalen Abwinddistanz von 32 km zur Verfügung. Die Auswahl der korrekten Windfeldklasse und der dazugehörigen Parameter erfolgt automatisch auf Grund von gemessenen Meteodaten bzw. auf Grund von Prognose-Meteodaten der MeteoSchweiz.

3.4 Aktueller Stand

Das Ausbreitungsmodell ADPIC/WINDBANK ist heute sowohl für diagnostische als auch für prognostische Modellberechnungen operationell:

- Routinemässige Berechnungen mit einer Einheitsquelle (1 Bq/s ^{137}Cs) werden automatisch rund um die Uhr im Stundentakt und für drei verschiedene Freisetzungshöhen durchgeführt. Die Freisetzungsdauer beträgt 5 Stunden, wobei jeweils während 3 Stunden gemessene Meteodaten und während 2 Stunden Prognose-Meteodaten verwendet werden. Folgende Daten werden berechnet: dreidimensionale Windfelder, momentane und integrierte Luft- und Bodenaktivitäten. Die Ergebnisse werden laufend auf dem ADPIC/WINDBANK-Server aktualisiert und können jederzeit HSK-intern, von der NAZ/Zürich und vom UVM/Stuttgart (Ministerium für Umwelt und Verkehr, Baden-Württemberg) über Intranet/Internet abgerufen werden.
- Im Ereignisfall (und bei Übungen) sind störfallspezifische Berechnungen spätestens innerhalb einer Stunde nach der Einsatzbereitschaft der HSK-Notfallorganisation zu erwarten. Folgende Daten werden berechnet: dreidimensionale Windfelder, momentane und integrierte Luft- und Bodenaktivitäten sowie entsprechende Dosen und Dosisleistungen durch Inhalation und externe Bestrahlung aus der radioaktiven Wolke bzw. vom kontaminierten Boden. Der Hauptzweck der Routineberechnungen ist die dauernde Sicherstellung der Verfügbarkeit des Systems und die Überwachung der aktuellen Ausbreitungssituation

(Diagnose und kurzfristige Prognose). Zudem können Routineberechnungen auch im Ereignisfall – insbesondere in der Anfangsphase, z.B. bei einem schnellen Störfall – für eine erste Beurteilung verwendet werden. Der Hauptzweck der störfallspezifischen Berechnungen in der Vor- und Wolkenphase ist die Beurteilung der Gefährdung der Bevölkerung in der Umgebung des Kernkraftwerks bei einer späteren oder bereits erfolgten Freisetzung von radioaktiven Stoffen. Die Berechnungen dienen als Grundlage, um das möglicherweise gefährdete Gebiet abzugrenzen und über weitere eventuell notwendige Messungen oder Massnahmen entscheiden zu können. Nach dem Wolkendurchzug ist die Beurteilung der tatsächlichen Gefährdung der Bevölkerung auf Grund der in der Wolkenphase erhaltenen Dosen und den noch zu erwartenden Dosen infolge Deposition wichtig. Zudem helfen die Modellberechnungen zur Festlegung des Wolkendurchzuggebietes als Grundlage für die Optimierung der Messstrategie. Für die Sicherstellung der Notfallbereitschaft im Ereignisfall muss neben der technischen Verfügbarkeit auch die personelle Bedienung des Systems gewährleistet sein. Damit das System jederzeit auf Anforderung durch die HSK-Notfallorganisation eingesetzt werden kann, wurden mehrere Personen der HSK in der fachtechnischen Betreuung und Bedienung des Systems ausgebildet.

3.5 Ausblick

Die bisherigen WINDBANK-Projekte erstrecken sich über einen Zeitraum von mehr als 7 Jahren und sind daher hinsichtlich Methodik nicht alle auf dem gleichen Stand. Im laufenden Projekt ADPIC-Aktualisierung sollen die in den Vorgängerprojekten entwickelten Verfahren zur Bestimmung von Windfeldklassen, sowie deren Diagnose und Prognose, für alle Standorte auf identische Art und Weise implementiert werden. Mit den im Rahmen des Projektes bereits durchgeführten Untersuchungen [7–8] sind die Voraussetzungen für eine Implementierung der neuen WINDBANK-Methode in das operationelle ADPIC/WINDBANK-System erfüllt. Im Jahr 2005 sollen die neuen Windfeldklassen schrittweise ins bereits aktive System der HSK eingeführt werden.

3.6 Beispiele von ADPIC/WINDBANK-Berechnungen

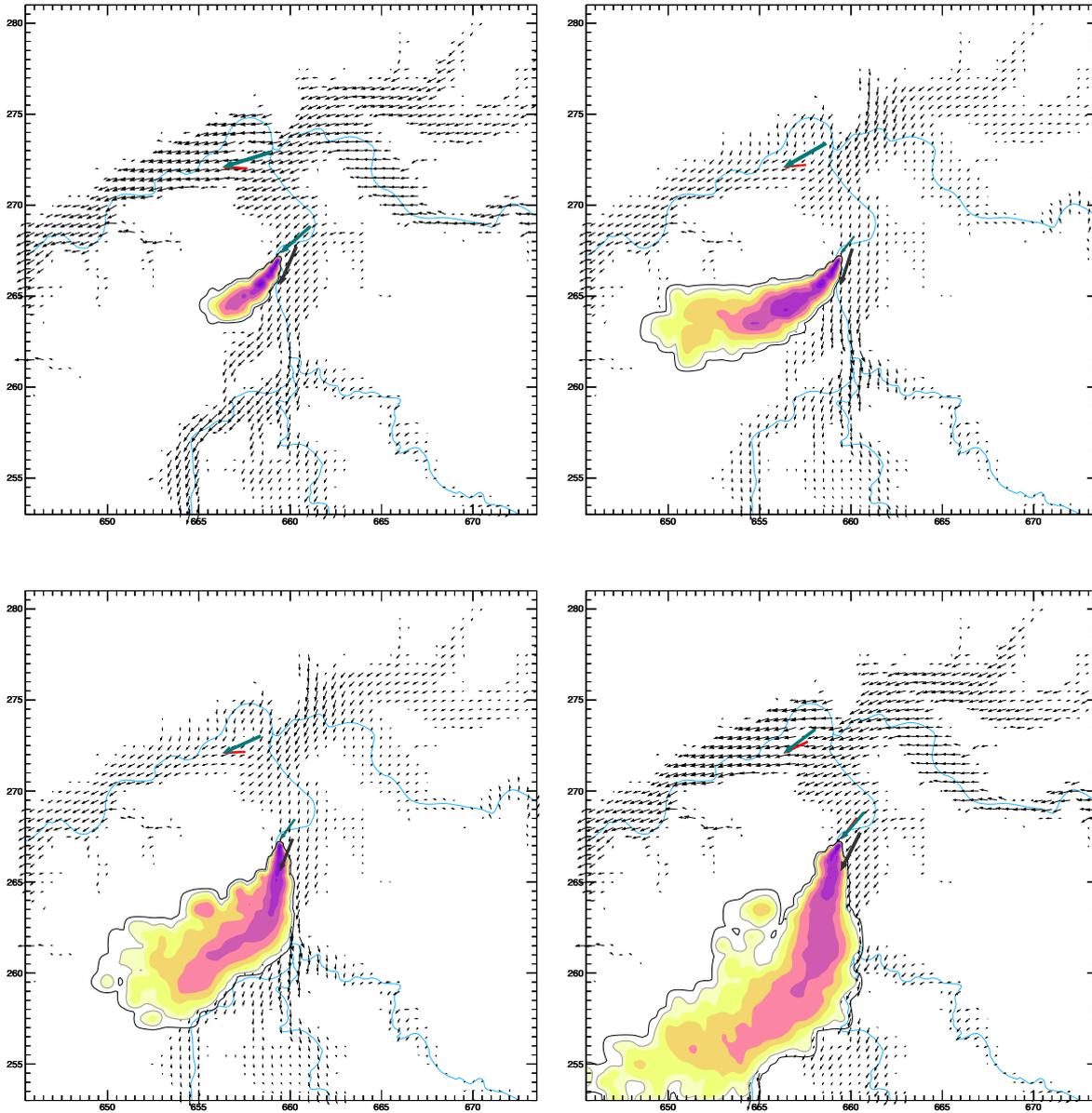
Das Ausbreitungsmodell ADPIC/WINDBANK ermöglicht auf Grund von aktuellen meteorologischen Daten eine

realistische Beurteilung der radiologischen Gefährdung der Bevölkerung. In den Figuren B.11 bis B.14 wird – es handelt sich um eine fiktive Freisetzung von radioaktiven Stoffen – die zeitliche Entwicklung der Ausbreitung bzw. Deposition dargestellt. Die Beispiele stammen aus den routinemässig durchgeführten Berechnungen und beruhen auf echten Wettersituationen.

Referenzen

- [1] Verordnung über die Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität (VEOR) vom 26. Juni 1991 (Stand am 16. Februar 1999)
- [2] Atmosphärische Ausbreitungsrechnungen bei Unfällen in Kernanlagen, Konzept verabschiedet durch die Eidgenössische Kommission für ABC-Schutz anlässlich der Sitzung vom 7. März 2002
- [3] Projekt WINDBANK unteres Aaretal, Klassifikation von Windfeldern als Grundlage zur Diagnose der aktuellen Ausbreitungssituation, W.K. Graber und D. Bürki, PSI Bericht Nr. 96-11 (Juni 1996)
- [4] Projekt WINDBANK unteres Aaretal, Vergleich von Windmessungen beim Wasserwirtschaftsamt Waldshut mit den durch die HSK verwendeten Windfeldklassen, F. Gassmann, PSI Bericht Nr. 02-25 (Dezember 2002)
- [5] Projekt WINDBANK oberes Aaretal, Klassifikation, Diagnose und Prognose von Windfeldern in der Region des Kernkraftwerkes Mühleberg, W.K. Graber und M. Tinguely, PSI Bericht Nr. 99-09 (Oktober 1999)
- [6] Projekt WINDBANK mittleres Aaretal, W.K. Graber und M. Tinguely, Analyse, Diagnose und Prognose der Windverhältnisse um das Kernkraftwerk Gösgen, PSI-Bericht Nr. 02-17 (Juli 2002)
- [7] Projekt ADPIC-Aktualisierung, F. Gassmann, M. Tinguely, H. Isaak, Beitrag zum Jahresbericht 2003 der regulatorischen Sicherheitsforschung, HSK-AN-5052 (April 2004)
- [8] Projekt ADPIC-Aktualisierung, F. Gassmann, M. Tinguely, H. Isaak, Beitrag zum Erfahrungs- und Forschungsbericht 2004, HSK-AN-5437 (April 2005)

Abb. B.11: Beispiel einer ADPIC/WINDBANK-Simulation (momentane Luftaktivität in Bq/m³)



- Ausbreitungsrechnung mit einer Einheitsquelle von 1 Bq/s ¹³⁷Cs
- Effektive Abgabehöhe 50 m über Boden
- Nord-Ost-Wind mit wechselnden Windrichtungen während der Ausbreitung
- Ausbreitungssituation nach 30, 70, 110 und 150 Minuten
- Vordergrund: momentane Luftaktivität in Bq/m³
- Hintergrund: 3D-Windfeld auf 400 m über Meer und Standortwinde

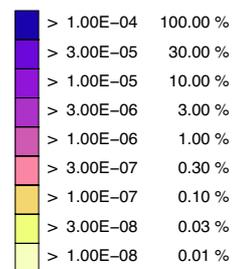
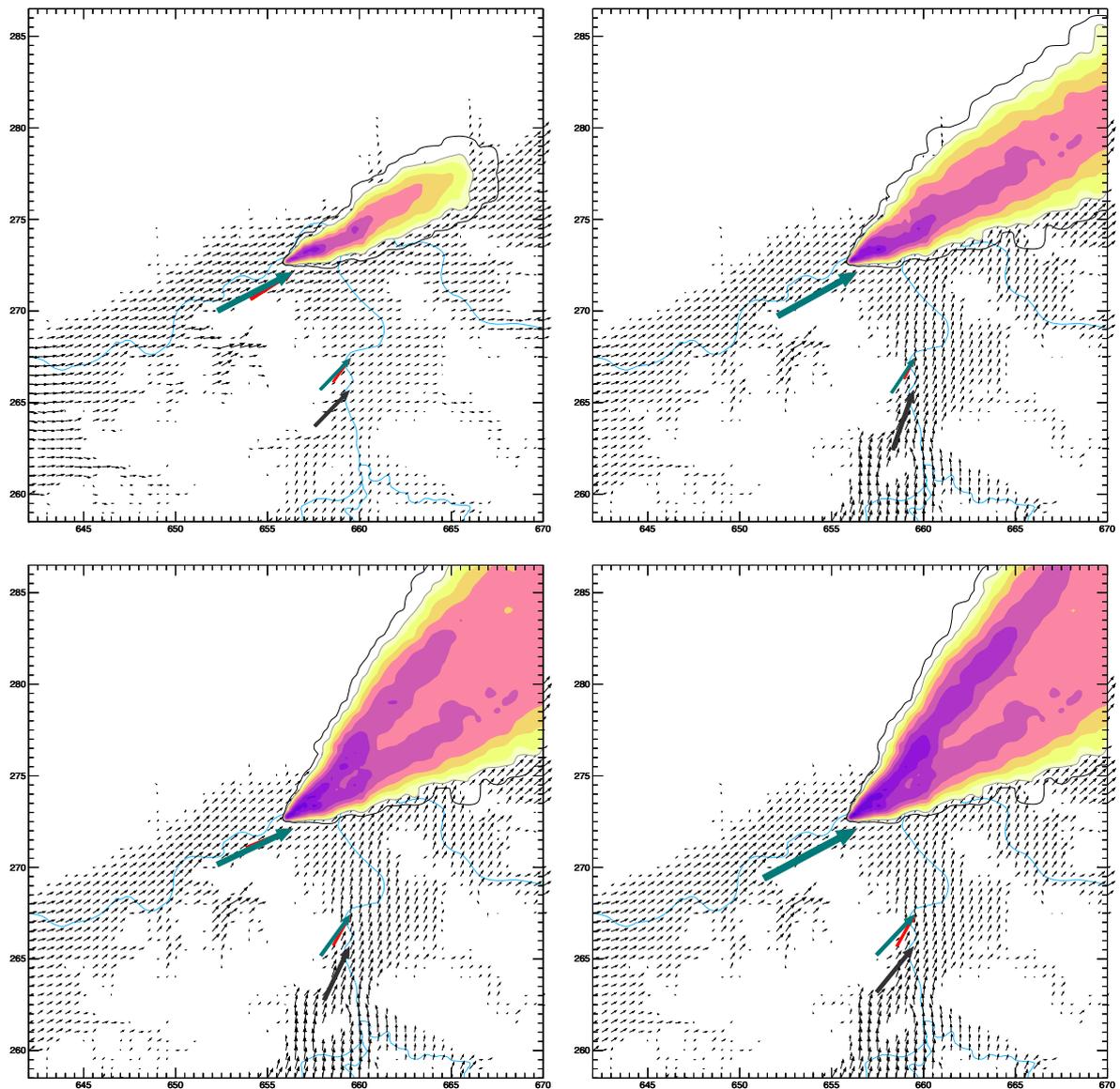
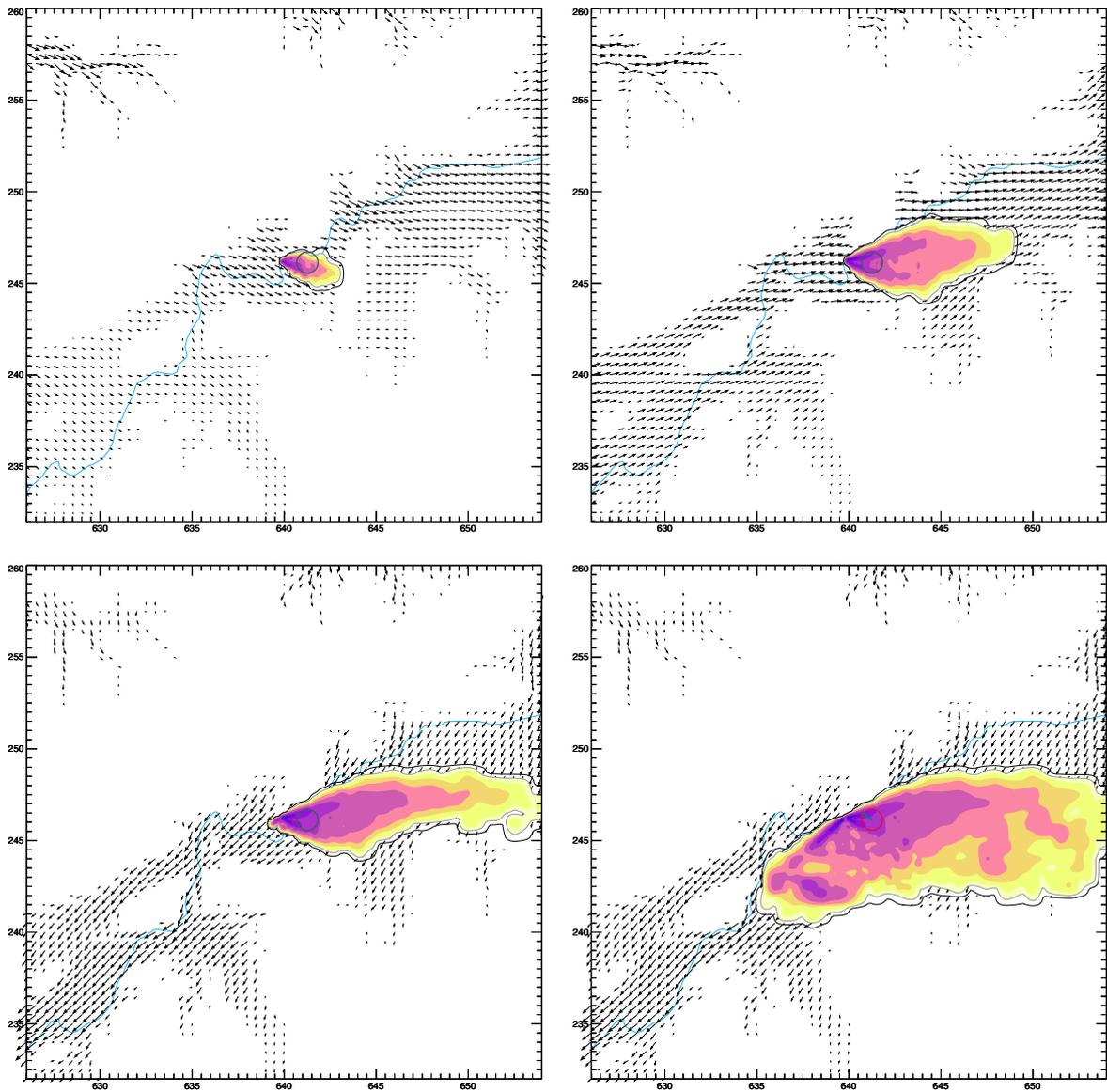


Abb. B.12: Beispiel einer ADPIC/WINDBANK-Simulation (integrierte Luftaktivität in Bq·s/m³)



- Ausbreitungsrechnung mit einer Einheitsquelle von 1 Bq/s ¹³⁷Cs
- Effektive Abgabehöhe 100 m über Boden
- Süd-West-Wind mit wechselnden Windrichtungen während der Ausbreitung
- Ausbreitungssituation nach 30, 70, 110 und 150 Minuten
- Vordergrund: integrierte Luftaktivität in Bq·s/m³
- Hintergrund: 3D-Windfeld auf 450 m über Meer und Standortwinde

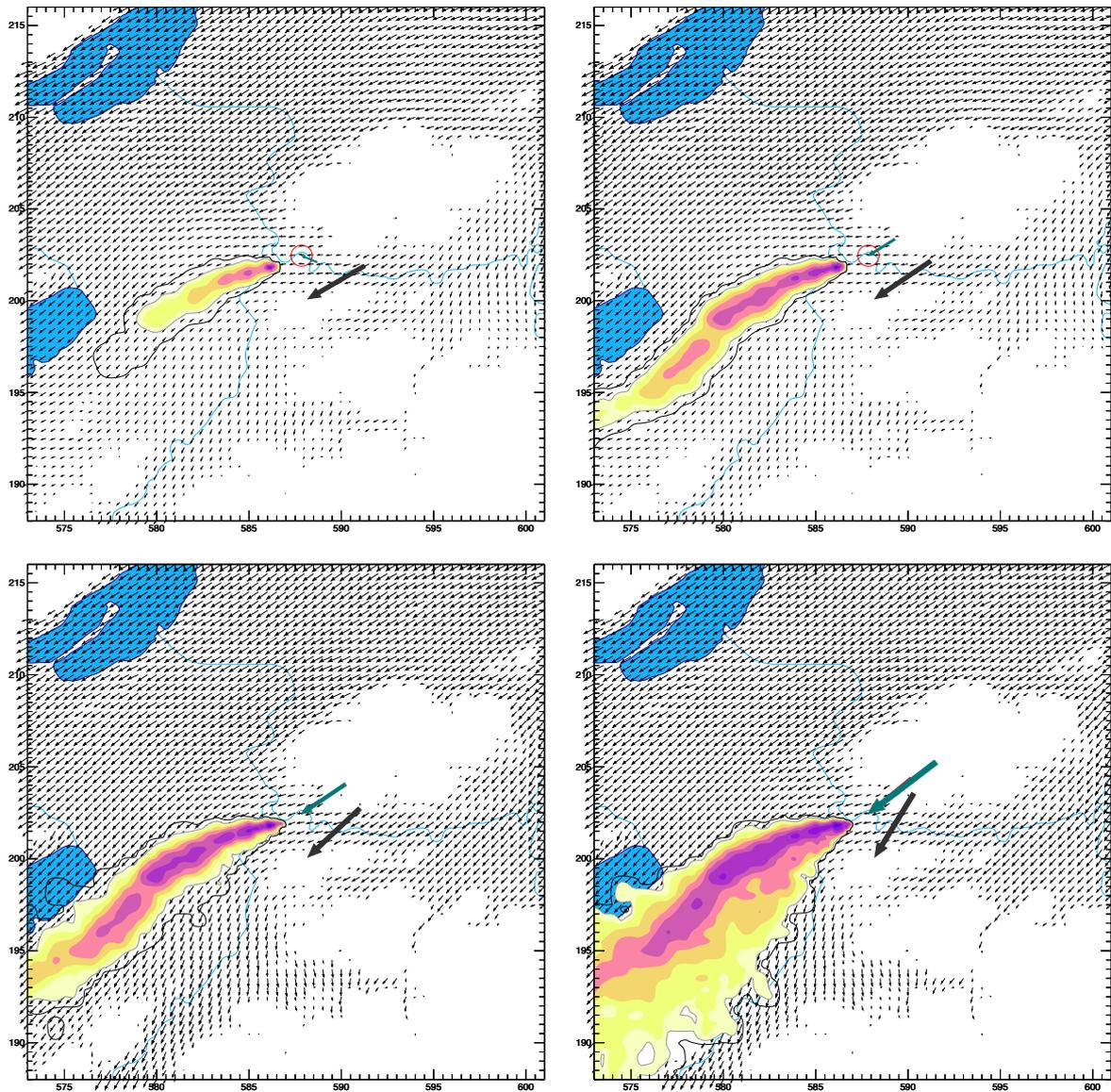
Abb. B.13: Beispiel einer ADPIC/WINDBANK-Simulation (momentane Bodenaktivität in Bq/m²)



- Ausbreitungsrechnung mit einer Einheitsquelle von 1 Bq/s ¹³⁷Cs
- Effektive Abgabehöhe 50 m über Boden
- Schwachwindlage mit wechselnden Windrichtungen während der Ausbreitung
- Ausbreitungssituation nach 40, 120, 170 und 240 Minuten
- Vordergrund: momentane Bodenaktivität in Bq/m²
- Hintergrund: 3D-Windfeld auf 450 m über Meer und Standortwinde

> 1.00E-03	100.00 %
> 3.00E-04	30.00 %
> 1.00E-04	10.00 %
> 3.00E-05	3.00 %
> 1.00E-05	1.00 %
> 3.00E-06	0.30 %
> 1.00E-06	0.10 %
> 3.00E-07	0.03 %
> 1.00E-07	0.01 %

Abb. B.14: Beispiel einer ADPIC/WINDBANK-Simulation (integrierte Bodenaktivität in Bq·s/m²)



- Ausbreitungsrechnung mit einer Einheitsquelle von 1 Bq/s ¹³⁷Cs
- Effektive Abgabehöhe 100 m über Boden
- Nord-Ost-Wind mit wechselnden Windrichtungen während der Ausbreitung
- Ausbreitungssituation nach 60, 120, 170 und 240 Minuten
- Vordergrund: integrierte Bodenaktivität in Bq·s/m²
- Hintergrund: 3D-Windfeld auf 600 m über Meer und Standortwinde

> 3.33E+00	100.00 %
> 1.00E+00	30.00 %
> 3.33E-01	10.00 %
> 1.00E-01	3.00 %
> 3.33E-02	1.00 %
> 1.00E-02	0.30 %
> 3.33E-03	0.10 %
> 1.00E-03	0.03 %
> 3.33E-04	0.01 %

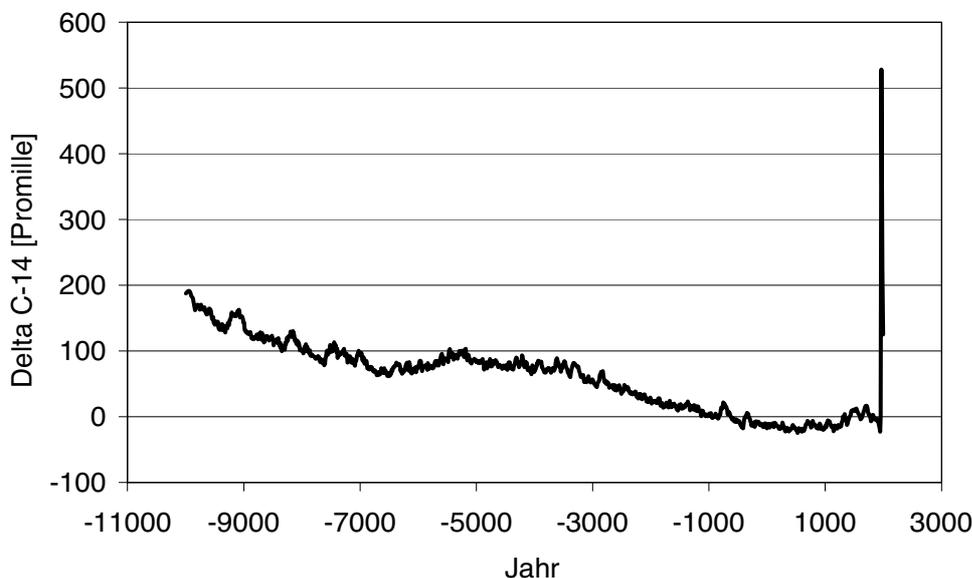
4. Kohlenstoff-14-Konzentration in der Atmosphäre

Jedes schweizerische Kernkraftwerk gibt im Jahr etwas weniger als 10^{12} Bq Kohlenstoff-14 (^{14}C) über den Kamin an die Umgebung ab. Diese Abgaben verursachen lokale Erhöhungen von bis zu 20% der ^{14}C -Konzentration in der Luft und in den dort wachsenden Pflanzen. Zur Beurteilung der Radiotoxizität dieser ^{14}C -Emissionen wird für eine Person aus der Bevölkerung unter ungünstigen Annahmen die dadurch verursachte Jahresdosis berechnet. Es ergeben sich Dosiswerte von weniger als 10 Mikro Sv/pro Jahr. Ein weiterer interessanter Aspekt zur Beurteilung der ^{14}C -Emissionen ist der Vergleich mit der natürlich vorkommenden ^{14}C -Konzentration in der Atmosphäre und ihrer Schwankungen sowie den Auswirkungen der überirdischen Atomwaffentests der 50er- und 60er-Jahre des vorigen Jahrhunderts.

Die Kenntnis der ^{14}C -Konzentration in der Luft über Jahrtausende hinweg ist zur genauen Altersbestimmung von organischen Proben mit der Radiokarbonmethode wichtig. Kohlenstoff- 14 ist ein natürlich vorkommendes Isotop. Der meiste ^{14}C wird in der oberen Erdatmosphäre auf natürliche Weise gebildet. Hochenergetische Teilchen der galaktischen kosmischen Strahlung bombardieren unaufhörlich die obere Atmosphäre der Erde und wechselwirken mit den darin vorhandenen Atomen. Dabei wird eine ganze Kaskade von Kernreaktionen durchlaufen, wobei auch langsame Neutronen gebildet werden. Diese wiederum reagieren in der unteren Atmosphäre mit dem darin enthaltenen Stick-

stoff. Bei dieser Kernreaktion dringt das Neutron in den ^{14}N -Kern ein, wird darin eingefangen und schlägt bei diesem Prozess ein Proton heraus. Zurück bleibt ein ^{14}C -Kern, der mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren zu stabilem ^{14}N -Kern zerfällt. Sind Produktion und Zerfall im Gleichgewicht, stellt sich in der Atmosphäre und in allen lebenden Organismen ein konstantes Verhältnis von radioaktivem ^{14}C zu den stabilen Isotopen Kohlenstoff-12 und -13 ein. Stirbt der Organismus ab, so findet nur noch der Zerfall des instabilen Isotops nach dem bekannten Zerfallsgesetz statt. Daher kann aus dem heute noch vorhandenen Anteil an ^{14}C in organischen Proben auf das Alter der Probe geschlossen werden. Voraussetzung dazu ist die genaue Kenntnis der Halbwertszeit von ^{14}C , das Wissen der ursprünglichen ^{14}C -Konzentration in der Erdatmosphäre über mehrere Jahrtausende und die Fraktionierung des lebenden Organismus. In einer internationalen Zusammenarbeit von Dendrochronologie- und Radiokarbonlaboratorien wurden die ^{14}C -Konzentrationen in der Erdatmosphäre als 10-Jahresmittelwerte anhand von ^{14}C -Analysen von chronologisch geordneten Holzproben für die Zeitspanne von 10 000 vor Christus bis 1950 rekonstruiert [1]. Das absolute Alter dieser Holzproben wurde durch Zählen der Baumringe von sich altersmässig überlappenden Bäumen (Dendrochronologie) bestimmt.

In Figur B.15 ist das Ergebnis dieser Rekonstruktion dargestellt. Der ^{14}C -Anteil zum Gesamtkohlenstoff in der



Figur B.15:
 ^{14}C -Konzentrations-
erhöhung in der
Erdatmosphäre in
Promille zum 1950 er-
hobenen Referenzwert
als 10-Jahresmittelwert
von 10 000 vor unserer
Zeitrechnung bis heute.

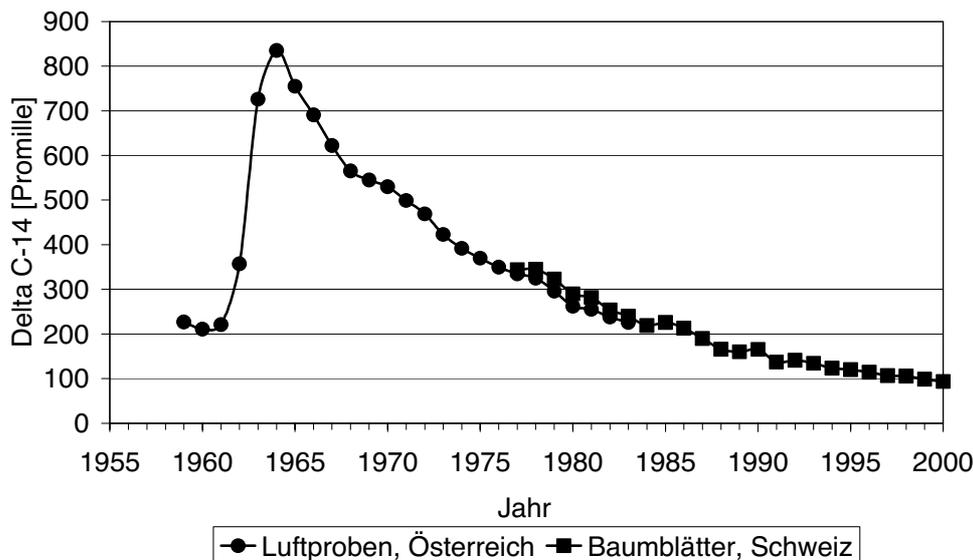


Abb. B.16: Kohlenstoff-14-Konzentrationserhöhung in der Erdatmosphäre in Promille zum 1950 erhobenen Referenzwert als 1-Jahresmittelwert von 1957 bis heute.

Erdatmosphäre wird als Abweichung in Promille vom Referenzwert, der 1950 in der Atmosphäre gemessen wurde, angegeben. Ergänzt wurden die Daten für die Zeit zwischen 1950 bis heute mit den 10-Jahres-Mittelwerten von Messungen der ^{14}C -Konzentration an Luftproben, die in Vermunt in Österreich vom Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg erhoben wurden [2] und von Messungen der ^{14}C -Konzentrationen in Buchenblättern vom Belpberg (Schweiz), die die Universität Bern durchgeführt hatten [3].

Beginnend mit einer Erhöhung von ungefähr 17% vor 12 500 Jahren nahm der Anteil des ^{14}C zum Gesamtkohlenstoff in der Atmosphäre bis zum Jahre 1950 generell ab. Dieser generelle Trend lässt sich durch eine sich ändernde Abschirmung der kosmischen Strahlung durch das Erdmagnetfeld erklären. Die kleineren Fluktuationen (typische Zeitperiode 100 Jahre) werden auf Änderungen der Sonnenaktivität zurückgeführt [4]. Auffällig ist die signifikante Zunahme des ^{14}C -Anteils in den 50er- und 60er-Jahren des vorigen Jahrhunderts verursacht durch die oberirdischen Atombombentests. In Figur B.16 sind als 1-Jahres-Mittelwerte die Ergebnisse der ^{14}C -Analysen der Luftproben aus Vermunt in Österreich und die Ergebnisse der Analysen der Buchenblätter vom Belpberg in der Schweiz dargestellt. Die in den 60er-Jahren des vorigen Jahrhunderts durch oberirdische Atomwaffentests produzierte ^{14}C -Aktivität nimmt in der Erdatmosphäre kontinuierlich ab. Dies ist auf den Austausch des Kohlenstoffdioxids zwischen der Erdatmosphäre und den Ozeanen zurückzuführen. Zusätzlich wird die ^{14}C -Konzentration in der Erdatmo-

sphäre durch den steigenden Anteil von ^{14}C freien Kohlendioxid aus der Verbrennung von fossilen Brennstoffen erniedrigt (Suess-Effekt). Im Jahr 2003 hat sich der Anteil des ^{14}C zum Gesamtkohlenstoff wieder auf einen Wert reduziert, der noch 8% über dem Referenzwert von 1950 liegt. Die schweizerischen Kernkraftwerke verursachen durch ihre ^{14}C -Emission mit der Kaminfortluft lokal in einer Umgebung an den meistbetroffenen Orten eine Erhöhung des ^{14}C -Anteils von bis zu 20%, bezogen auf den Referenzwert von 1950. Im Jahr 2003 wurden in der Umgebung der Kernkraftwerke Erhöhungen von bis zu 28%, bezogen auf den Referenzwert von 1950, gemessen.

Die Arbeit entstand in Zusammenarbeit mit dem Physikalischen Institut der Universität Bern, Abteilung Klima- und Umweltphysik, und mit der EAWAG, Abteilung SURF/RT.

- [1] M. Stuiver et al., INTCAL98 Radiocarbon age calibration, *Radiocarbon* 40, 1041-1083 (1998)
- [2] I. Levin et al., Institut für Umweltphysik, Universität Heidelberg, 69120 Heidelberg
- [3] Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz, Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz, Sektion Überwachung der Radioaktivität, Chemin du Musée 3, CH-1700 Fribourg
- [4] S. K. Solanki, I. G. Usoskin, B. Kromer, M. Schüssler, J. Beer, Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11'000 years, *Nature* Vol 431, 1084-1087 (2004)

5. Aeroradiometrische Messungen

5.1 Einleitung

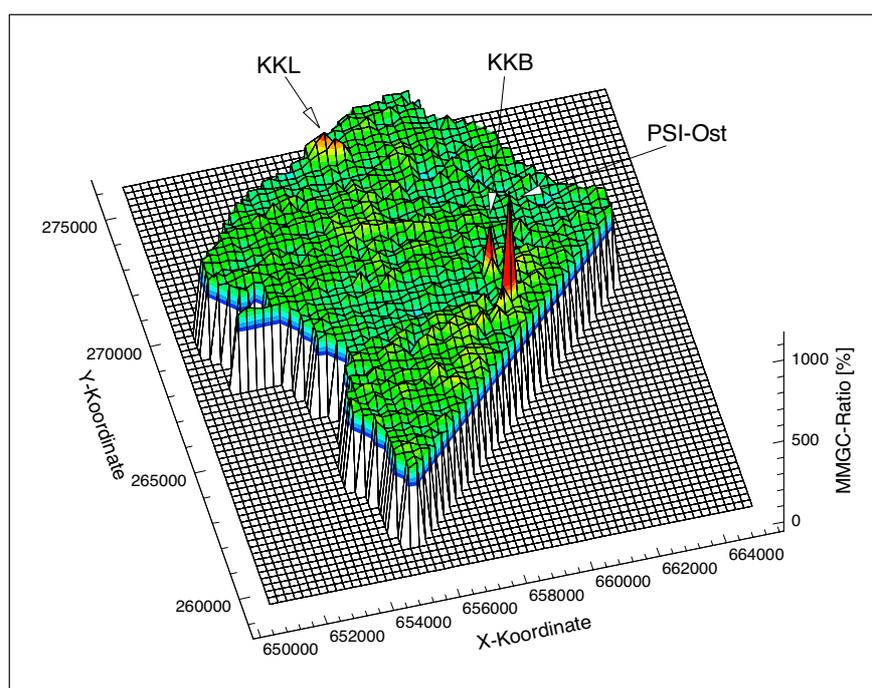
Aeroradiometrische Messungen sind flächendeckend durchgeführte Messungen der Dosisleistung aus der Luft. Sie wurden in der Schweiz 1986 begonnen. Methodik und Software für Kalibrierung, Datenerfassung, Datenverarbeitung und Kartendarstellung wurden am Institut für Geophysik der ETH Zürich entwickelt (Schwarz 1991). In der Zeit von 1989 bis 1993 wurde die Umgebung (jeweils rund 50 km²) der schweizerischen Kernanlagen jährlich aeroradiometrisch vermessen. Im Jahre 1994 ging man zu einem Zweijahresrhythmus über, wobei abwechselungsweise zwei bzw. drei Gebiete mit Kernanlagen vermessen werden. 1992 und 1995 wurden ebenfalls am Institut für Geophysik der ETH Zürich zwei neue Messgeräte gebaut (16,8 und 4,0 l Detektoren). Seit den Messflügen 2001 kommt eine neu entwickelte Online-Datenauswertungs- und Kartierungssoftware zum Einsatz (Bucher 2001).

Im Jahre 1994 wurde die Aeroradiometrie in die Einsatzorganisation Radioaktivität des Bundes integriert. Als mögliche Einsatzfälle stehen Transport- und Industrieunfälle mit radioaktivem Material, KKW-Störfälle und Abstürze von Satelliten mit Nuklearreaktoren im Vor-

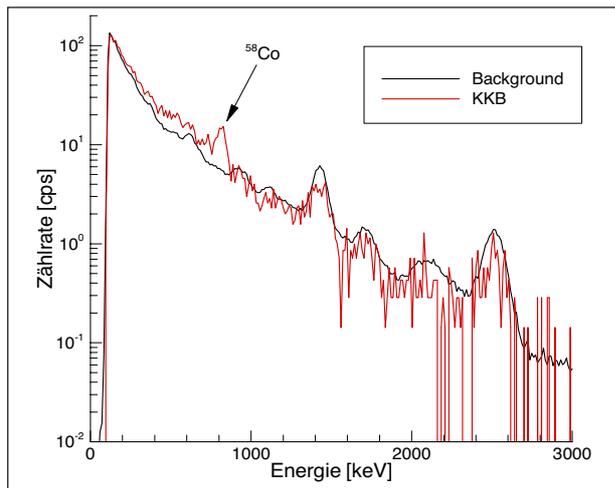
dergrund. Der Einsatz erfolgt unter der Regie der Nationalen Alarmzentrale (NAZ). Unterhalt und Bereitstellung des Messsystems erfolgen seit 2004 durch das Paul Scherrer Institut (PSI).

5.2 Messungen und Messresultate

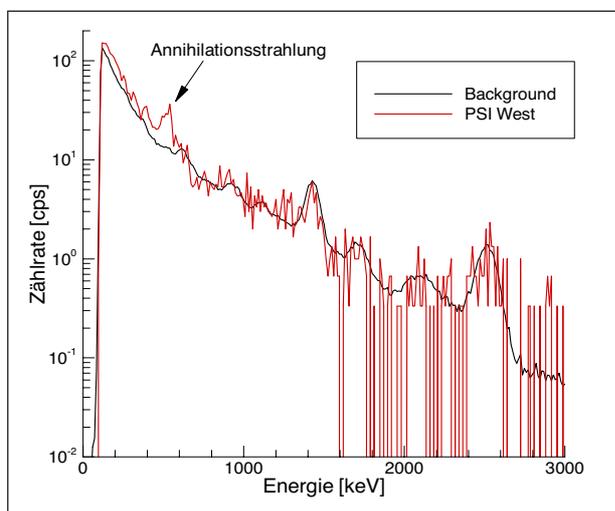
Zum ersten Mal wurden im Jahre 2004 mit Davos und Lausanne zwei Städte aeroradiometrisch vermessen. Damit konnte die Machbarkeit solcher Messungen im praktischen Einsatz überprüft werden. Diese Messflüge stellten auch eine grosse Herausforderung an die Piloten und ihre Navigationsfähigkeiten dar. Weder in Lausanne noch in Davos wurden erhöhte Radioaktivitätswerte festgestellt. In Davos waren die gemessenen Ortsdosisleistungen höher als in Lausanne. Dies ist auf den grösseren Beitrag der kosmischen Strahlung in dieser Höhenlage zurückzuführen. In Lausanne wurden zum Vergleich mit der Aeroradiometrie auch Bodenmessungen mit in-situ-Gammaspektrometrie und Reuter Stokes Ionisationskammern durchgeführt. Die Resultate wiesen im Rahmen der Messungenauigkeiten eine gute Übereinstimmung auf.



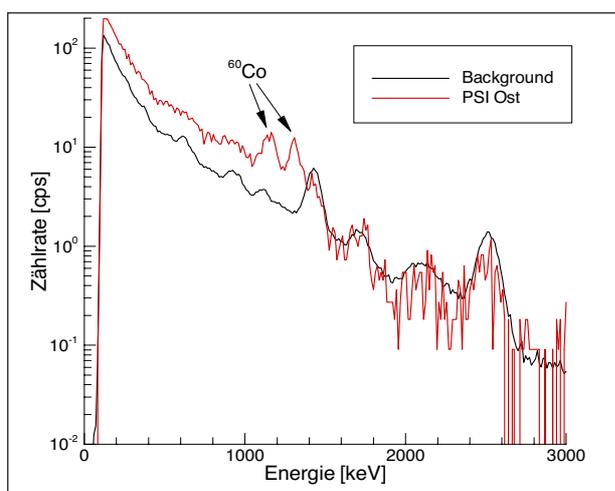
Figur B.17: Dreidimensionale Darstellung des MMGC-Ratio im Messgebiet KKB/KKL/PSI und ZWILAG



Figur B.18: Gemittelte Spektren aus der unmittelbaren Umgebung des Reaktorgebäudes KKB und aus der weiteren Umgebung (Background)



Figur B.19: Gemittelte Spektren aus der unmittelbaren Umgebung des Fortluftkamins Süd beim PSI-West und aus der weiteren Umgebung (Background)



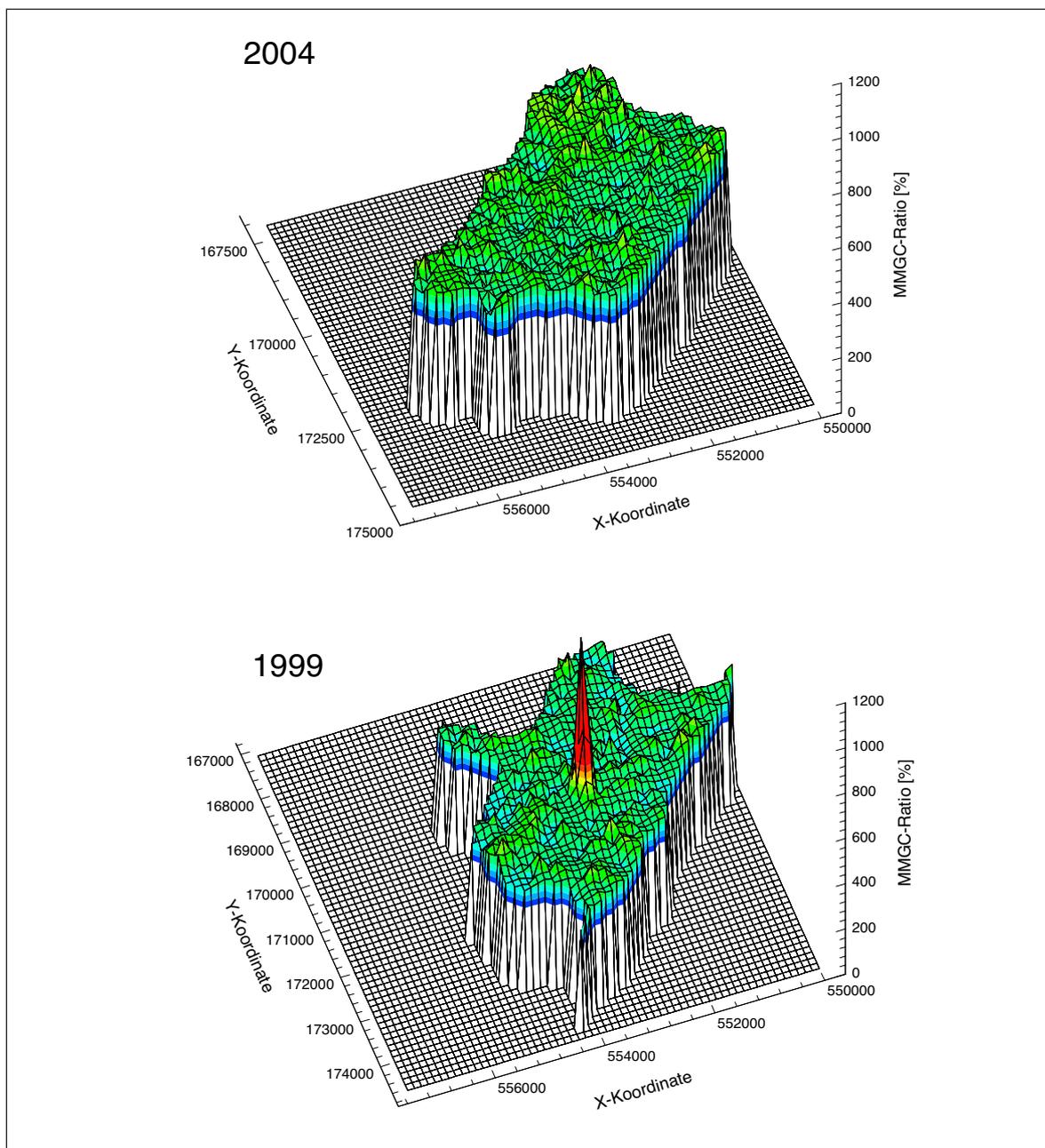
Figur B.20: Gemittelte Spektren aus der unmittelbaren Umgebung des BZL auf dem Areal des PSI-Ost und aus der weiteren Umgebung (Background)

Im Auftrag der HSK wurden die Messgebiete um die Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie um die Forschungsanstalt Paul Scherrer Institut (PSI) und das Zentrale Zwischenlager (ZZL) bereits mehrmals vermessen. Das KKL, das während der aeroradiometrischen Messungen in Betrieb war, konnte anhand der ^{16}N -Strahlung (Halbwertszeit $t_{1/2}=7,3$ s) gut detektiert werden. Diese Strahlung wird bei Siedewasserreaktoren durch das Aktivierungsprodukt ^{16}N erzeugt, welches im Betrieb durch die Frischdampfleitung ins Maschinenhaus gelangt (siehe auch Kapitel 1.2, Seite 56). Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise wenig abgeschirmt ist, kann die hochenergetische Gammastrahlung des ^{16}N aus der Luft gut detektiert werden. In Figur B.17 ist der nach Schwarz et al. (1991) modifizierte MMGC-Ratio im Gebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG dargestellt. Deutlich sind die Kernkraftwerke Leibstadt und Beznau sowie das PSI-Ost zu erkennen. Die MMGC-Ratio (MMGC: Man Made Gross Count) entspricht dem Verhältnis der Zählrate im tieferenergetischen Bereich des Spektrums (400 bis 1400 keV) zur Zählrate im hochenergetischen Bereich des Spektrums (1400 bis 3000 keV). Da Spaltprodukte im Gegensatz zu natürlichen Radionukliden hauptsächlich im tieferenergetischen Bereich Gammastrahlung aussenden, weisen hohe Werte auf durch Menschen verursachte Strahlung hin. Die Messflüge im Berichtsjahr fanden während des Revisionsstillstandes im Block I des KKB statt. Da sich beim Stillstand die ^{58}Co -Aktivitäten im Brennstofflagerbecken und im Reaktorkühlsystem temporär erhöhten (siehe auch Teil A), konnte dieses Jahr ein ^{58}Co -Signal bei 810 keV aus der Luft detektiert werden (Figur B.18). In der Umgebung des Fortluftkamins im PSI-West konnte Annihilationsstrahlung identifiziert werden (Figur B.19). Diese wird durch den Zerfall von Aktivierungsprodukten (Positronen-Zerfall) in der Fortluft verursacht. Über dem Areal des PSI-Ost konnte das Bundeszwischenlager für radioaktive Abfälle (BZL) anhand der Gammalinien von ^{60}Co detektiert werden (Figur B.20). Das ZWILAG war aus der Luft wie bereits in früheren Jahren nicht detektierbar.

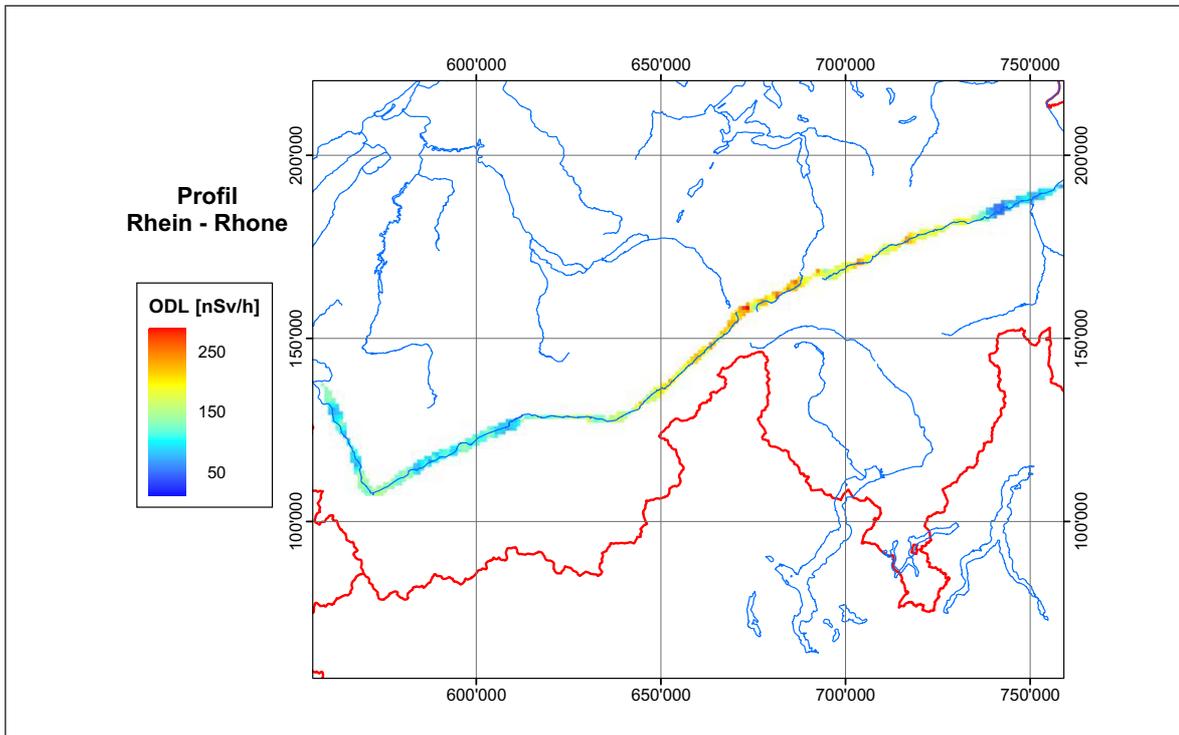
Nachdem die letzten radioaktiven Abfälle vom Gelände des ehemaligen Versuchsreaktors Lucens ins Zwischenlager ZWILAG überführt worden waren, wurde im entsprechenden Gebiet eine Kontrollmessung vorgenommen. Es wurde im ganzen Messgebiet keine durch menschliche Aktivität verursachte Radioaktivität mehr festgestellt, die nicht auf Fallout der Bombentests oder des Tschernobyl-Ereignisses zurückgeführt werden

kann. Der Unterschied zwischen dem MMGC-Ratio vom Jahre 2004 und den Resultaten aus dem Jahre 1999 ist klar ersichtlich (Figur B.21). Damals wurden im Bereich der gelagerten radioaktiven Abfälle deutlich höhere Zählraten gemessen und die Nuklide ^{137}Cs und ^{60}Co identifiziert. Im Jahre 2004 unterscheidet sich der ehemalige Lagerplatz radiologisch nicht mehr von seiner Umgebung.

Mit einem weiteren Messflug wurde ein Profil entlang der Linie Rhein – Rhone aeroradiometrisch vermessen. Die Messungen zeigten die natürlichen Schwankungen im Strahlungsfeld, die durch die unterschiedliche Zusammensetzung des Gesteins und durch den höhenabhängigen Beitrag der kosmischen Strahlung verursacht werden. Erwartungsgemäss wurden im Zentralmassiv mit granitischen Gesteinen und grösseren Höhenlagen die höchsten Ortsdosisleistungen bestimmt (Figur B.22).



Figur B.21: Vergleich der MMGC-Ratio im Messgebiet Lucens für die Jahre 1999 und 2004



Figur B.22: Ortsdosisleistungen entlang des Profiles Rhein – Rhone. Kartendaten VECTOR200 © 2000 swisstopo.

5.3 Weiterführende Literatur

Bucher, B., 2001: Methodische Weiterentwicklungen in der Aeroradiometrie. Dissertation Nr. 13973, ETH Zürich.
 Schwarz, G. F., 1991: Methodische Entwicklungen zur Aerogamma-Spektrometrie. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr.23, Schweizerische Geophysikalische Kommission.

Schwarz, G. F., Klingelé, E. E., Rybach, L., 1991: Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen. Bericht für das Jahr 1991 zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich.

Impressum

HSK Strahlenschutzbericht 2004

Herausgeber

Hauptabteilung für die Sicherheit
der Kernanlagen (HSK)
CH-5232 Villigen-HSK
Telefon ++41(0)56 310 38 11
Telefax ++41(0)56 310 39 95

zu beziehen bei

Hauptabteilung für die Sicherheit
der Kernanlagen
Informationsdienst
CH-5232 Villigen-HSK
oder per E-Mail
Infodienst@hsk.ch

Zusätzlich zu diesem Strahlenschutzbericht...

...informiert die HSK in drei weiteren
jährlichen Berichten aus ihrem
Arbeits- und Aufsichtsgebiet.

abrufbar unter

www.hsk.ch

HSK-AN-5438
ISSN 1661-2906

© HSK, Juni 2005