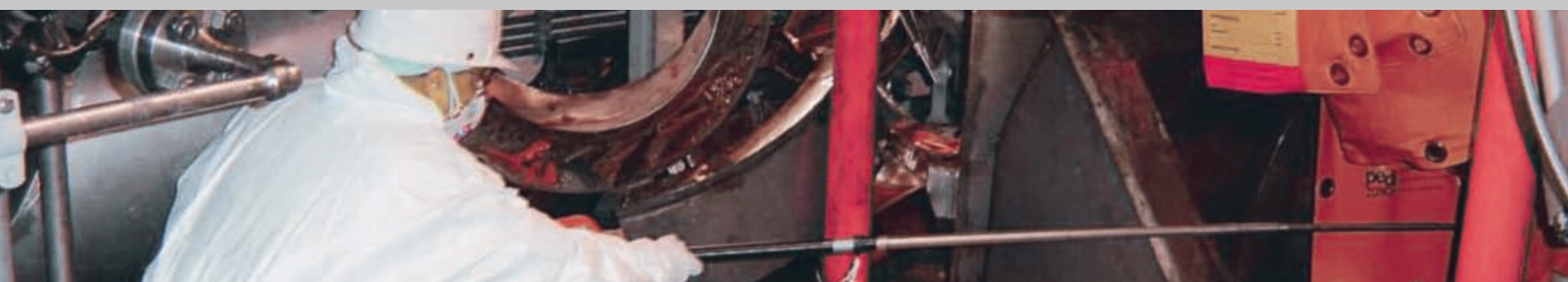




Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen HSK
Division principale de la sécurité des installations nucléaires DSN
Divisione principale della sicurezza degli impianti nucleari DSN
Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate HSK



Strahlenschutzbericht 2005

Strahlenschutzbericht 2005

Rapport sur la radioprotection 2005

Radiological Protection Report 2005

Inhaltsverzeichnis

Übersicht	4
Aperçu	5
Summary	6

A: STRAHLENSCHUTZ IN DEN KERNANLAGEN

1. Kernkraftwerke	7
1.1 Kernkraftwerk Beznau (KKB)	7
Schutz des Personals	7
Strahlenschutzinstrumentierung	8
1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)	9
Schutz des Personals	9
Strahlenschutzinstrumentierung	9
1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)	10
Schutz des Personals	10
Strahlenschutzinstrumentierung	11
1.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)	12
Schutz des Personals	12
Strahlenschutzinstrumentierung	12
2. Weitere Kernanlagen	14
2.1 Paul Scherrer Institut (PSI)	14
2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)	15
2.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)	15
2.4 Universität Basel	15
2.5 Felslabor Grimsel	15
3. Grafische Darstellungen	17
4. Dosimetrie	20
4.1 Einleitung	20
4.2 Personendosimetrie: akkumulierte Dosen 2005	20
4.3 Jobdosimetrie	37
4.4 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen der Schweiz	47
4.5 Erwartete Entwicklung der Exposition	47

B: ÜBERWACHUNG DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT IM BEREICH DER KERNANLAGEN

1. Überwachung der Emissionen und Immissionen	49
1.1 Emissionen aus den Kernanlagen	49
1.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen	59
2. Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)	60
2.1 Übersicht	60
2.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung	60
2.3 Systemverfügbarkeit und Störungen	63
2.4 Erneuerung der IMM-Stationen im Messring Gösgen	63
2.5 Qualitätssicherung	63
2.6 Messergebnisse	65
3. Atmosphärische Ausbreitung	71
3.1 Kompetenzzentrum Ausbreitung	71
3.2 Modellberechnungen im Ereignisfall	71
3.3 Projekt CN-MET	71
Aktueller Stand	72
3.4 Atmosphärisches Ausbreitungsmodell ADPIC/WINDBANK	72
Aktueller Stand	73
Beispiele von WINDBANK-Ergebnissen	73
3.5 Referenzen	74
4. Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) in der Umgebung der Kernanlagen	79
4.1 Einleitung	79
4.2 Analysemethode	79
4.3 Ergebnisse	81
4.4 Fazit	84
5. Aeroradiometrische Messungen	85
5.1 Einleitung	85
5.2 Messungen und Messresultate 2005	85
5.3 Referenzen	88



Übersicht

Im vorliegenden Jahresbericht 2005 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 operativen Strahlenschutz in den Anlagen. Es lassen sich über die Jahre hinweg die für bestimmte Arbeiten akkumulierten Dosen vergleichen und daraus Erkenntnisse zur weiteren 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 Individualdosen der im Aufsichtsbereich der HSK beschäftigten Personen überschreiten nur noch in wenigen Fällen die Hälfte des Dosisgrenzwertes. 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 mit dem Abwasser aus den Kernanlagen werden im 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 nach Regenfällen, 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 haben. Die HSK beurteilt den Stand des operativen 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 2005, 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 celui sur la radioactivité de l'environnement, destinés tous deux 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 récapitule notamment les doses individuelles accumulées par le personnel. Il s'agit d'une part des doses évaluées mensuellement et trimestriellement, 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 pour certains travaux et en tirer ainsi des conclusions pour une nouvelle 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 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 sensiblement 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 microsievverts 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 microsievverts.

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 valeurs moyennes par heure et par jour 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 après des chutes de pluie.

En 2005, 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 2005 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 in part to the Swiss Federal Office of Public Health.

Section A of the Report deals with the radiological protection of personnel working 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 readings by authorised dosimetry laboratories and partly from the use of portable 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. The resultant information can then be used to reduce doses further.

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 the individual dose for those employed in facilities regulated by the Inspectorate only exceeded 50% of the admissible limit in very few cases. This is attributable to the consistent application of the principle of optimisation. Cases of incorporation or personal contamination occur very rarely in nuclear power plants.

Section B of the Report deals with radioactive releases via exhaust gas and via 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 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. after rainfall.

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 2005 (Daten für 2004 in Klammern) wurden im KKB folgende Kollektivdosen ermittelt:

KKB 1		
Aktionen	Kollektivdosis [Personen-mSv]	
BE-Wechsel (2004: Revisionsstillstand)	152	(443)
Leistungsbetrieb	51	(54)
Gesamte Jahreskollektivdosis	203	(497)

KKB 2		
Aktionen	Kollektivdosis [Personen-mSv]	
Revisionsstillstand (2004: BE-Wechsel)	451	(68)
Leistungsbetrieb	51	(54)
Gesamte Jahreskollektivdosis	502	(122)

KKB 1 + 2		
Aktionen	Kollektivdosis [Personen-mSv]	
Revisionsstillstand bzw. BE-Wechsel	603	(511)
Leistungsbetrieb	102	(108)
Gesamte Jahreskollektivdosis	705	(619)

Im Berichtsjahr betrug die höchste in den beiden Blöcken des KKB registrierte Individualdosis 11,0 mSv. Das KKB-interne Ziel des Strahlenschutzes, alle Individualdosen unter 10 mSv zu halten, konnte damit zum ersten Mal seit vielen Jahren nicht erreicht werden, weil bei einem Tenuewechsel zwar das DIS¹-Dosimeter vorschriftsmässig eingesteckt, aber das EPD² vergessen wurde. Die Überschreitung der KKB-internen «Vorwarnlimite» von

8 mSv konnte nicht bemerkt werden, weil die bei diesem Einsatz akkumulierte Dosis von 2,6 mSv durch das fehlende EPD nicht registriert wurde. Das Versehen wurde vom Mitarbeiter dem Strahlenschutz korrekt gemeldet. Obwohl derartige Einzelfälle nicht vollständig vermieden werden können, intensiviert der Strahlenschutz des KKB zukünftig die Kontrollen, ob insbesondere nach dem Umkleiden für die Zonen III und IV beide Dosimeter getragen werden. Trotzdem lag die höchste Individualdosis deutlich unter dem Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr nach Strahlenschutzverordnung. Es traten weder unzulässige Kontaminationen noch Inkorporationen auf.

Im **Block 1** wurde im Berichtsjahr ein Brennelementwechsel durchgeführt. Das Abfahren verlief ohne Hinweise auf Hüllrohrschäden. Die Dosisleistungen an den Komponenten des Hauptkühlkreislaufes haben sich im Vergleich zu den Vorjahren nicht signifikant verändert. Die Ortsdosisleistung (ODL) an der Wasseroberfläche des Reaktorbeckens war mit maximal 0,27 mSv gegenüber den Vorjahren um etwa einen Faktor 7 erhöht. Dies hatte jedoch auf die ODL in den Arbeitsbereichen und die Jobdosen keinen feststellbaren Einfluss. Die Arbeiten während des Brennelementwechsels führten zu einer Kollektivdosis von 152 Pers.-mSv, geplant waren 188 Pers.-mSv. Die niedrigere Kollektivdosis ist vor allem auf die Arbeiten beim Austausch der RDB-Kalottenisolation zurückzuführen, wo die Planungs-dosis von 100 mSv um 41 mSv erheblich unterschritten werden konnte. Bei der Montage der neuen Isolation im Strahlenfeld waren keine Nacharbeiten notwendig, weil die Massaufnahmen und die Vorfertigung der Teile sehr gut waren. Ausserdem verhielten sich alle Mitarbeiter strahlenschutzgerecht. Die Wirkung von temporären Abschirmungen war deutlich besser als erwartet.

Im **Block 2** wurde eine geplante Revisionsabstellung durchgeführt. Das Abfahren verlief ebenfalls ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Der radiologische Zustand in den aktiven Systemen und damit auch in den

¹ Amtliches Dosimeter

² Elektronisches Dosimeter

kontrollierten Zonen war wegen der schadensfreien Hüllrohre und der effektiven Reinigung des Primärkühlmittels sehr gut. Die Oberflächendosisleistungen an den Komponenten des Hauptkühlkreislaufes waren im Vergleich mit den Vorjahren mit einer Ausnahme gleich geblieben. Am Deckel des Reaktordruckbehälters hatte die Dosisleistung um 40% abgenommen.

Das Wasser im Reaktorbecken war durch gelöste Fasern von Formierpapier und Flocken aus dem zugehörigen Polyvinylacetat-Klebstoff zeitweise getrübt. Diese Fremdstoffe stammten von mehrlagig verklebtem Formierpapier, welches als Hilfsmittel bei den Schweissarbeiten für den Ausbau der Backingringe eingesetzt wurde. Eine solche Wassertrübung war in anderen Kraftwerken bisher nicht beobachtet worden, da sich Formierpapier oder Klebstoff im Primärwasser bestimmungsgemäss auflösen sollten. Die notwendigen Reinigungsmaßnahmen wurden durchgeführt. Die Reinigungselemente des Baldur-Filters mussten häufiger als gewöhnlich gewechselt werden. Dies war mit einer kleinen Jobdosiserhöhung für das damit beschäftigte Personal verbunden und erhöhte geringfügig die Menge von radioaktivem Abfall.

Die während der gesamten Revisionsarbeiten akkumulierte Kollektivdosis belief sich auf 451 Pers.-mSv, vorgesehen waren 574 Pers.-mSv. Für viele Standardarbeiten war eine gute Übereinstimmung zwischen der auf Erfahrungswerten beruhenden Planungsdosis und der effektiven Kollektivdosis festzustellen. Bei den nicht routinemässig ausgeführten Arbeiten wurden die folgenden signifikanten Abweichungen von den Dosisprognosen festgestellt: Für den Ausbau der Backingringe ergab sich mit 43 Pers.-mSv eine um ca. 60% niedrigere Dosis als die erwarteten 110 Pers.-mSv. Wesentliche Gründe waren, dass die Dosisprognose von der ausführenden externen Firma erstellt wurde, die mit grossen Konservativitätszuschlägen rechnete und die für Transporte aufzuwendenden Dosen deutlich überschätzte.

Beim Ersatz der RDB-Kalottenisolation konnte gegenüber der Prognose von 80 Pers.-mSv eine Dosis von 20 Pers.-mSv, d.h. 25%, eingespart werden. Dies wurde wie bereits vorher beim Block 1 erreicht, weil die erwarteten Anpassungsarbeiten im Strahlenfeld vollständig entfallen konnten.

Die HSK stellte bei ihren Inspektionen (acht angemeldete und eine unangemeldete) fest, dass in den beiden Anlagen des KKB ein konsequenter und guter Strahlenschutz durchgeführt wird.

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 Kraftwerkspersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Die zusätzliche Probenahmestelle für die systematische Messung der Abgaben von Tritium und Radiokohlenstoff (^{14}C) war während des Berichtsjahrs erstmals ohne Unterbruch im Block 1 des KKB in Betrieb. Sie dient der Beweissicherung und einer Überprüfung der für die Dosisberechnungen angenommenen ^{14}C - und Tritium-Abgaben. KKB betreibt diese Messstelle auch nach dem formalen Abschluss der von der HSK geforderten einjährigen Betriebsphase weiter. Die berechnete Dosis für ^{14}C (vgl. Teil B, Kapitel 1) basiert daher für das Berichtsjahr erstmalig auf tatsächlichen Messergebnissen.

Im Berichtsjahr wurden durch KKB ausführliche Vergleichsmessungen und Abklärungen mit dem Hersteller der DIS-Dosimeter durchgeführt. Damit konnten die noch offenen, terminierten Auflagen, die sich bei der Neuankennung der Dosimetriestelle ergaben, abgearbeitet und erledigt werden.

Folgende aus der Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) stammende Pendenzen im Bereich Strahlenschutzinstrumentierung konnten im Berichtsjahr erledigt werden:

- Die Strontiummessung in der Kaminabluft und die α -Aktivitätsmessung im Abwasser wurden gemäss der Forderung der HSK in das Analysenprogramm aufgenommen und in die periodische Berichterstattung integriert.

- Ausgehend von der Anzeige der RABE-Monitore kann die Aktivität im Containment nun abgeschätzt werden. Die dazu notwendige Umrechnungsanleitung wurde in die Notfalldokumentation aufgenommen.

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 BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Jodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des Kernkraftwerks Beznau.

KKB beteiligte sich im Berichtsjahr sowohl mit dem TLD- wie mit dem DIS-System an der von BAG und 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 2005 (Daten für 2004 in Klammern) wurden im KKG folgende Kollektivdosen ermittelt:

Aktionen	Kollektivdosis [Personen-mSv]	
Revisionsstillstand	1145	(721)
Leistungsbetrieb	120	(113)
Gesamte Jahreskollektivdosis	1265	(834)

Die höchste registrierte Individualdosis betrug im Jahr 2005 14,2 mSv (8,8 mSv) und lag damit unter dem Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Für den Monat Mai wurde die übliche Auswertung der TL-Dosimeter versehentlich nicht durchgeführt. KKG meldete dieses Versäumnis der HSK. Die Dosimetriedaten gingen aber nicht verloren, sondern wurden der HSK zusammen mit der Monatsmeldung Juni nachträglich gemeldet.

Gegen Ende des Berichtsjahres zeigten sich Hinweise auf einen Brennstoffdefekt: es wurden erhöhte Konzentrationen von ^{131}I und ^{133}Xe im Primärwasser festgestellt. Sonst verlief der Normalbetrieb störungsfrei. Die im Zusammenhang mit der Revisionsabstellung gemessenen Dosisleistungen am RDB-Deckel, an den Dampferzeugern, an den Loopleitungen und an anderen relevanten Anlagenteilen lagen alle im Bereich der Vorjahrswerte. Der nach der Zinkeinspeisung festgestellte Anstieg des ^{60}Co -Gehalts im Primärwasser war für die radiologische Situation während der Revision ohne Bedeutung. Das ^{60}Co -Aktivierungsprodukt wurde durch den Einsatz der internen Reinigungssysteme aus dem Kreislauf entfernt. Es wurden keine erhöhten Luft- bzw. Oberflächenkontaminationen während der zahlreichen Kontrollmessungen in der kontrollierten Zone festgestellt.

Die Revision 2005 konnte bei einer geplanten Kollektivdosis von 2300 Pers.-mSv mit 1145 Pers.-mSv abge-

schlossen werden. Die Arbeiten wurden von der Durchführung des Projektes PISA (Primär-Sicherheitsventil-Austausch) geprägt. KKG reichte für dieses Projekt rechtzeitig eine detaillierte Dosissschätzung gemäss den Vorgaben in der HSK-R-15 ein. Die Arbeiten konnten mit einer Kollektivdosis von 594 Pers.-mSv und somit deutlich unter dem Planwert von 1550 Pers.-mSv abgeschlossen werden. Der Grund für die Unterschreitung liegt vor allem in den temporären Systemdekontaminationen, aber auch in einer guten Planung und Organisation vor Ort sowie im strahlenschutzbewussten Verhalten des Personals. Die übrigen Revisionsarbeiten wie Brennelement-Servicearbeiten, zerstörungsfreie Prüfungen und Instandhaltungs- und Inspektionsarbeiten wurden ebenfalls strahlenschutzkonform durchgeführt. Auch die Montage der etwa 45 Tonnen Bleiabschirmungen, die teilweise für diese Revision speziell angefertigt wurden, trug zu den radiologisch guten Arbeitsverhältnissen bei.

Mit einer Ausnahme wurden im Berichtsjahr keine Personenkontaminationen, die nicht mit herkömmlichen Mitteln entfernt werden konnten, festgestellt. Die betroffene Person hatte sich im Gesicht leicht kontaminiert. Nach geeigneten Dekontaminationsmassnahmen und erneutem Ausmessen konnte sie am nächstfolgenden Tag ihre Arbeit in der kontrollierten Zone wieder aufnehmen. Es wurden keine Inkorporationen registriert.

Im Laufe des Berichtsjahres führte die HSK mehrere Inspektionen, davon eine unangemeldete, durch. Sie konnte feststellen, dass im KKG ein guter und moderner Strahlenschutz betrieben wird. Der Schutz des Personals, der Bevölkerung, der Anlage und der Umgebung war jederzeit gewährleistet.

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.

Die im Berichtsjahr vom KKG fortgeführten Messungen hinsichtlich der ^{14}C -Abgaben mit der Abluft stimmen mit den aus früheren Messkampagnen zu erwartenden Werten und mit Literaturangaben überein.

Im Berichtsjahr war wegen der gesetzlich vorgeschriebenen Befristung der Gültigkeit der Anerkennung eine Überprüfung der Personendosimetriestelle des KKG fällig. Aufgrund der vom Werk eingereichten Unterlagen und der Resultate einer Anerkennungsinspektion mit einem Fachexperten vor Ort verlängerte die HSK auf Ende Mai 2005 die Anerkennung der Personendosimetriestelle um weitere fünf Jahre.

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

1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2005 (Daten für 2004 in Klammern) wurden im KKL folgende Kollektivdosen ermittelt:

Aktionen	Kollektivdosis (Personen-mSv)	
Revisionsstillstand	399	(1522)
Leistungsbetrieb	171	(269)
Gesamte Jahreskollektivdosis	570	(1791)

Die höchste im KKL akkumulierte Individualdosis beträgt im Berichtsjahr 13 mSv (17 mSv) und liegt damit unter dem Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr.

Die Inkorporationsüberwachung mittels Triage-Inkorporationsmonitor ergab keinen Hinweis auf Inkorporationen. Personenkontaminationen, die nicht mit den üblichen Mitteln (Hände waschen, Duschen) entfernt wer-

den konnten, sind weder während des Leistungsbetriebes noch während der Jahreshauptrevision aufgetreten. Gemäss KKL-Konzept war die Jahres-Hauptrevision 2005 als Kurzrevision im August 2005 mit einer Dauer von 14 Tagen geplant. Wegen eines Erdschlusses musste KKL aber den Generator bereits am 28. März vom Netz trennen. Dieser Zeitpunkt definierte den Beginn des Stillstandes, der am 3. April von KKL zur vorgezogenen Jahreshauptrevision 2005 deklariert wurde und sich bis zum 30. August 2005 erstreckte (Dauer 153 Tage). Bei Stillstandsbeginn waren das Ausmass des Generatorschadens und die zu seiner Behebung notwendigen Arbeiten noch nicht absehbar. Aus diesem Grunde verlängerte KKL die Stillstandsdauer sowie die Arbeits- und die Strahlenschutzplanung paketweise. Das Dosisbudget wurde jeweils nach Bekanntwerden der geplanten Arbeiten erstellt und aktualisiert. Ursprünglich waren 500 Pers.-mSv als Revisionskollektivdosis geplant. Da sich aber nach Abschluss der ersten beiden Revisionsabschnitte herausstellte, dass der Planungsverlauf deutlich unterschritten würde, wurde der Zielwert für die Revisionsdosis von KKL in der Absicht herabgesetzt, um für das an der Revision beteiligte Personal einen Ansporn zu schaffen und zugleich das Dosisbewusstsein hoch zu halten. Die geplante Revisionsdosis wurde mit 463 Pers.-mSv leicht unterschritten. Die höchsten Einzeldosen während der Revision beliefen sich auf 5,5 mSv (EP) respektive 8,7 mSv (FP) elektronisch erfasst. Die Bemühungen von KKL, die Anzahl der leichten Kontaminationsfälle zu reduzieren, ergaben eine im Vergleich zu 2004 um 63% verringerte Zahl.

Aus den Abgas- und Reaktorwasseranalysen gab es keine Hinweise auf Brennelementschäden. Die Dosisleistung an den Recirc-Schleifen, gemittelt über acht Messpunkte, lag im Vergleich zu 2004 mit 1,46 mSv/h deutlich unter dem Wert, der vor der Systemdekontamination 2004 gemessen worden war. Innerhalb der verlängerten Jahreshauptrevision sank der Wert weiter auf 1,3 mSv/h. Die Dosisleistung stammt hauptsächlich von ⁶⁰Co, Spaltprodukte wurden keine nachgewiesen. Nach der Dekontamination 2004 ist eine Rekontamination festzustellen, die aber nicht auf eine Änderung des Aktivitätsgehaltes im Reaktorwasser zurückgeführt werden kann. Da keine Defekte am Brennstoff zu verzeichnen waren, verringerte sich der Anteil der Alpha-Strahler, und das Mischungsverhältnis verschob sich auf die Seite der langlebigen Alpha-Nuklide.

Durch den erzwungenen längeren Stillstand und die damit verbundenen Abklingzeiten konnten verschiedene dosisrelevante Arbeiten, die eigentlich für die nächsten

Revisionen vorgesehen waren, mit deutlich niedrigeren Jobdosen bereits im Berichtsjahr durchgeführt werden. So waren insbesondere in der Sekundäranlage markante Verringerungen der Dosisleistung zu verzeichnen, die eindeutig auf den Zerfall von Spaltprodukten zurückgeführt werden können.

Im Rahmen der Revision waren keine Arbeiten mit Kollektivdosen von mehr als 50 Pers.-mSv geplant. In den kontrollierten Zonen der Anlage traten keine unzulässigen Kontaminationen auf, wie laufend durchgeführte Kontrollmessungen an Luft- und Oberflächenproben bestätigten. Während der Revision 2005 wurden in der Anlage temporär 10 t Abschirmungen montiert, davon 5,8 t im Drywell. Insbesondere dort konnte der Arbeitsumfang klein gehalten werden.

Für gewisse Reparaturschritte musste der Generator senkrecht in der Maschinenhaus-Schleuse aufgestellt werden. Dies hatte zur Folge, dass während dieser Zeit die Schleuse nicht mehr vom Maschinenhaus getrennt war, weil sich die Lukendeckel zum Maschinenhaus nicht mehr schliessen liessen. Das Ein- und Ausschleusen von Material war so nicht mehr möglich. Deshalb wurde vor dem westlichen Zugang zum Maschinenhaus eine temporäre Schleuse errichtet, was eine zeitlich begrenzte Änderung des Zonenkonzeptes und somit eine Freigabe der HSK erforderte. Dieser Freigabe folgend wurde die Schleuse nach Beendigung der Arbeiten wieder abgebaut.

Die HSK verlangte von KKL ein Programm zur Aufdeckung unerlaubter Abgabepfade für radioaktive Stoffe aus der Anlage in die Umgebung. Dabei wurde in einer Fahrzeugschleuse die Sumpfentleerung als fehlerhaft geschaltet identifiziert. Der Fehler wurde umgehend behoben, und KKL konnte nachweisen, dass keine Wässer mit Aktivitätskonzentrationen über der Abgabelimite ins Meteorwasser gelangten.

Als vorbereitende Massnahme für die Fahrweise unter Wasserstoff-Einspeisung wurden die Fenster auf der Ostseite des Maschinenhauses entfernt und durch Betonmauern ersetzt. Die ausgebauten Fenster und der anfallende Bauschutt wurden in Absprache mit der HSK ordnungsgemäss frei gemessen und entsorgt. Wegen der durch die veränderte Fahrweise erwarteten höheren Dosisleistungen wird KKL die Begehungen im Maschinenhaus durch kameraunterstützte visuelle Inspektionen ersetzen. Dazu wurden zu Testzwecken fünf Kamera-Prototypen in abgeschirmten Gehäusen installiert.

Während des Revisionsstillstandes wurde aufgrund der Fehlinterpretation einer Fahrvorschrift das Reaktorbecken irrtümlich überfüllt, wodurch sich überlaufendes

Wasser durch verschiedene Lüftungskanäle im Containment verteilte. Die betroffenen, zugänglichen Bereiche wurden vom Strahlenschutz umgehend ausgemessen und gereinigt, die Behörde wurde informiert. Intensive Untersuchungen von Seiten KKL zeigten aber, dass es aufgrund der Qualität des Primärwassers zu keinen unzulässigen Kontaminationen kam.

Die HSK überzeugte sich anlässlich zahlreicher Inspektionen (9 angemeldet, eine unangemeldet), dass im KKL auch im Jahr 2005 ein guter Strahlenschutz betrieben wurde, welcher der besonderen Anforderung während einer ungewöhnlich langen Stillstandszeit gerecht wurde.

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKL wurde im Rahmen mehrerer 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 Zusammenhang mit dem Zubetonieren der Maschinenhausfenster führte die HSK am höchstexponierten Punkt am Zaun mittels einer Reuter&Stokes Hochdruckionisationskammer eine Vergleichsmessung mit einem ebenfalls an diesem Ort vom Betreiber exponierten Umgebungs-TLD (Thermolumineszenz-Dosimeter) durch. Dabei konnte eine sehr gute Übereinstimmung (Abweichung rund 2%) zwischen den beiden Messsystemen festgestellt werden.

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

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen der HSK und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Jodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des Kernkraftwerks Leibstadt.
- An der vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) und 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 2005 (die Daten für 2004 stehen in Klammern) wurden im KKM folgende Kollektivdosen ermittelt:

Aktionen	Kollektivdosis (Personen-mSv)	
Revisionsstillstand	871	(634)
Leistungsbetrieb	540	(458)
Gesamte Jahreskollektivdosis	1411	(1092)

Der im Vergleich zum Vorjahr hohe Kollektivdosiswert aus dem Revisionsstillstand ist im Wesentlichen auf vermehrte Prüfungen und Instandhaltungsarbeiten im Drywell, in der Steuerstabwerkstatt sowie im Reaktorbecken zurückzuführen. Trotz zusätzlicher und längerer Arbeitseinsätze in der kontrollierten Zone wurde der Planungswert von 880 Pers.-mSv nicht überschritten.

Der radiologische Zustand der Anlage war aufgrund der schadenfreien Brennelemente sowie der rechtzeitigen Abschaltung der Wasserstoff-Einspeisung vor dem Abfahren des Reaktors gut. Die Dosisleistungen an den Umwälzschleifen sind gegenüber dem Vorjahr im Mittel um 14% gesunken. Der Durchschnitt der Messwerte an 30 Messpunkten betrug 3,44 mSv/h. Um den Dosisleistungen im Drywell zu begegnen, wurden dort insgesamt ca. 75 Tonnen Blei für Abschirmungen verwendet. Beim Öffnen des Deckels des Reaktordruckbehälters wurden nur geringe Luftkontaminationen gemessen. In der Anlage traten keine unzulässigen Kontaminationen auf, wie laufend durchgeführte Kontrollmessungen an Luft- und Oberflächenproben bestätigten.

An den Ausgangsmonitoren festgestellte Kontaminationsfälle wurden vom Strahlenschutz schnell ausgewertet, und es wurden entsprechend der Ursachen geeignete Massnahmen ergriffen. Eine Häufung von leichten Personenkontaminationen wurde bei der Reaktorgrubenreinigung beobachtet. Es traten aber keine Kontaminationen auf, die nicht durch einfache Mittel wie Waschen oder Duschen entfernt werden konnten. Die Triagemessungen (Quick-Counter) des gesamten Personals während der Revision ergaben keine Befunde, die auf Inkorporationen deuteten.

Die höchste registrierte Individualdosis betrug 16,9 mSv (2004: 12,5 mSv). Sie liegt unter dem Dosisgrenzwert

der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr, ist jedoch die höchste Individualdosis in allen Kernanlagen der Schweiz im Jahr 2005. Der Hauptanteil an dieser Dosis wurde aufgrund der Konditionierung von Kerneinheiten während des Leistungsbetriebs verursacht. Die relativ hohe Individualdosis für diese Aktion (14 mSv) und die deutliche Abweichung der tatsächlichen Kollektivdosis von 126 Pers.-mSv vom Planungsziel (62 Pers.-mSv) weisen in diesem Fall auf mangelnde Sorgfalt bei der Strahlenschutzplanung und deren Umsetzung hin. Die HSK hat daraufhin das KKM aufgefordert, die Ursachen zu überprüfen.

Durch mehrere 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 ansonsten auf dem Stand der Technik sind. Lobenswert sind die besonderen Optimierungsmassnahmen, wie z.B. der speziell konstruierte Sauger zur Dekontamination des Drywellsumpfes oder die Anbringung eines zusätzlichen Pegelwächters im oberen Bereich des Drywells. Die HSK hat festgestellt, dass der Strahlenschutz im Wesentlichen den gesetzlichen Vorgaben entspricht.

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 (¹⁴C) mit der Kaminfortluft in Betrieb genommen. Die Messstelle dient der Beweissicherung und der Überprüfung der für die Dosisberechnungen angenommenen ¹⁴C- und Tritium-Abgaben. Aufgrund von Betriebsstörungen der Messstelle konnten allerdings bis zum Ende des Berichtsjahres noch während keiner zusammenhängenden, einjährigen Periode Messungen durchgeführt werden, wie dies von der HSK verlangt wurde. Aus diesem Grund wurde die Messkampagne insbesondere für die ¹⁴C-Abgaben

auch während des Jahres 2005 fortgeführt. Die Auswertungen dieser Messungen zeigen eine gute 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 in diesem Jahr auf den in dieser Messkampagne ermittelten Abgabewerten.

Die Leittechnik der Kreislauf-Strahlungsüberwachung wurde im Berichtsjahr vollständig ersetzt. Die bisher zweikanalige Messung der Ortsdosisleistung am Abluftkanal wurde auf vier Kanäle erweitert.

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

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen der HSK und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Abwasserproben und Aerosol- und Jodfiltern sowie teilweise von Abgasproben zeigten Übereinstimmung mit den Messwerten des Kernkraftwerks Mühleberg.
- An der vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) und der HSK gemeinsam organisierten jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für Personendosismessstellen hat die Dosismessstelle 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 2005 akkumulierten die 1313 (Vorjahr: 1232) beruflich strahlenexponierten Mitarbeiter am gesamten PSI, d.h. im Aufsichtsbereich des BAG und der HSK, eine Kollektivdosis von 177,7 Pers.-mSv (2004: 221,7 Pers.-mSv). Da die Kollektivdosen in den Rückbauprojekten SAPHIR und DIORIT gegenüber den Vorjahren deutlich abnahmen, verringerte sich auch die Kollektivdosis des zum Aufsichtsbereich der HSK gehörenden Teils des PSI von 62,1 Pers.-mSv im Jahr 2004 auf 26,7 Pers.-mSv im Jahr 2005 deutlich.

Aus den bilanzierten Abgaben radioaktiver Stoffe über die Fortluftanlagen und über das Abwassersystem des PSI wurde eine Dosis von 0,0045 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. Die unkontrollierte Abgabe von Wasser aus dem Abwassersystem durch einen offenen Rohrstutzen wurde als meldepflichtiges Vorkommnis eingestuft, obwohl die radiologische Auswirkung gegenüber den oben erwähnten bilanzierten Abgaben mit $1 \cdot 10^{-8}$ mSv (0,00000001 mSv) einen zu vernachlässigenden Bruchteil darstellt.

Im Kalenderjahr wurden einige Arbeiten durchgeführt, bei denen aufgrund fehlender Erfahrungen besondere Strahlenschutzmassnahmen getroffen wurden. Beispielsweise richtete das PSI für die Zerlegung schwach aktivierter Stahlplatten aus der Tumorbestrahlungsanlage PIOTRON eine halbautomatische Brennschneideanlage mit spezieller Staubansaugung und Filtermobil ein.

Dadurch konnte die Luftkontamination an den Arbeitsplätzen sehr gering gehalten werden.

Die Rückbauarbeiten der ehemaligen Forschungsreaktoren SAPHIR und DIORIT konnten aufgrund der niedrigen radiologischen Gefährdung ohne gesonderte Massnahmen durchgeführt werden.

Insgesamt wurde im Jahr 2005 an 619,5 Tonnen die Inaktivität diverser Materialien für die Entlassung aus dem Strahlenschutzrecht mittels Freimessungen durch das PSI nachgewiesen und der HSK gemeldet. Der grösste Teil davon stammt aus dem Rückbau der beiden Forschungsreaktoren DIORIT und SAPHIR. Mehrere Inaktiv-Freimessungen wurden von der HSK inspiziert, wobei stets Übereinstimmung mit den Vorschriften festgestellt wurde.

Bei einem Transport radioaktiver Proben wurde am Versandstück eine Überschreitung der zulässigen Dosisleistung von $5 \mu\text{Sv/h}$ um einen Faktor 2,4 festgestellt. Dies wurde als Vorkommnis der HSK gemeldet. Durch organisatorische Verbesserungen soll eine Wiederholung verhindert werden.

Mit der Ausnahme der meldepflichtigen Vorkommnisse, die keine strahlenschutz relevanten Auswirkungen nach sich zogen, sondern nur auf Verbesserungspotential hingen, war der Zustand der im HSK-Aufsichtsbereich stehenden PSI-Anlagen in Bezug auf den operationellen Strahlenschutz und die nukleare Sicherheit gesamthaft betrachtet gut.

Strahlenschutzinstrumentierung

Im Berichtsjahr war wegen der Befristung der Gültigkeit von Anerkennungen eine Überprüfung der Personendosimetriestelle des PSI fällig. Die Personendosimetriestelle des PSI ist sowohl für die Dosismessung bei externer Beta- Gamma- und Neutronenexposition wie auch für Inkorporationsmessungen mittels nuklidabhängiger Methoden anerkannt. Aufgrund der vom PSI eingereichten Unterlagen und der Resultate einer Inspektion mit einem Fachexperten vor Ort verlängerte die HSK die Anerkennung der Personendosimetriestelle um weitere fünf Jahre.

2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)

Im Kalenderjahr 2005 wurde im ZZL eine Kollektivdosis von 15,0 Pers.-mSv ermittelt. Damit wurde der von der ZWILAG aufgestellte Planwert von 11,5 Pers.-mSv überschritten. Der Hauptgrund für die Überschreitung lag in den Ausbesserungsarbeiten an den Behältern mit radioaktiven Abfällen aus der Versuchsanlage Lucens, bei denen eine höhere Dosis als geplant akkumuliert wurde. Der Jahreshgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen wurde für die Berichtsperiode nicht überschritten, Personenkontaminationen wurden keine festgestellt. Es trat kein Fall von Inkorporation auf. Die Kontrollen der Atemluft und der Oberflächen in der Anlage gaben keine Hinweise auf unzulässige Kontaminationen.

Weitere strahlenschutztechnisch relevante Arbeiten, die während der Berichtsperiode im ZZL durchgeführt wurden, waren die beiden Verbrennungskampagnen, die beide aus technischen Gründen frühzeitig beendet werden mussten. Der Strahlenschutz für das Personal, die Anlage, die Bevölkerung und die Umgebung war immer gewährleistet. Ferner wurden Abfallgebinde aus dem KKG und mehrere Transport- und Lagerbehälter angeliefert und eingelagert. Die HSK führte im aktuellen Jahr 6 Inspektionen im Bereich Strahlenschutz durch, wobei Übereinstimmung mit den Vorgaben festgestellt wurde.

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) angehört. Im Jahr 2005 stand der CROCUS-Reaktor Ingenieur- und Physikstudenten der EPFL, Kursteilnehmern der Reaktorschule des PSI sowie Studenten der Ingenieurschule Genf während 125 Stunden bei kleiner Leistung (unter 100 W) für Ausbildungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 140 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 Be-

trieb genommen. Im Berichtsjahr traten keine meldepflichtigen Vorkommnisse gemäss 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 Oktober 2005 überzeugte sich die HSK davon, dass sich die Anlagen in einem ordentlichen, sauberen und sicherheitstechnisch einwandfreien 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. Aufgrund der Aufrüstungsarbeiten betreffend die Sicherung und den Brandschutz konnte der AGN-211-P Reaktor der Universität Basel im Jahr 2005 nur beschränkt für den Lehrbetrieb eingesetzt werden. Neben dem reaktorphysikalischen Praktikum für Physikstudenten wurde der Reaktor für Schüler der PSI-Reaktorschule benutzt. Für Kurse einer Strahlenschutzschule sowie für das kantonale Labor Basel-Stadt wurden Proben bestrahlt. Im Berichtsjahr wurde der Reaktor während 18 Stunden 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. Aufgrund einer HSK-Inspektion wurden im Berichtsjahr der Brandschutz und die Sicherung verbessert. Anlässlich der Jahresinspektion der HSK wurde eine Forderung bezüglich Kalibrierung und Funktionskontrolle aller Strahlmessgeräte entsprechend der Richtlinie R-47/d ausgesprochen. Dieser wurde mittlerweile nachgekommen. In einer Kontrollliste werden die Daten der Kalibrierungen und Funktionskontrollen nun laufend eingetragen. Die HSK stellte im Bereich Strahlenschutz Übereinstimmung mit den Vorgaben fest.

2.5 Felslabor Grimsel

Die HSK hat im Oktober 2005 auf Antrag der Nagra die Bewilligung erteilt, im Felslabor Grimsel einen Laborraum Typ C für die Untersuchung radioaktiver Gesteinsproben zu betreiben.

Die Experimente im Projekt HPF (Hyperalkaline Plume in Fractured Rock) wurden im Berichtsjahr abgeschlossen.

Die Klassifizierung des Experimentierareals als Zonentyp C wurde aufgehoben. Die Strahlenschutz-Schlussberichte wurden der HSK zugestellt. Die HSK führte dazu am 6. Juli 2005 eine Inspektion durch.

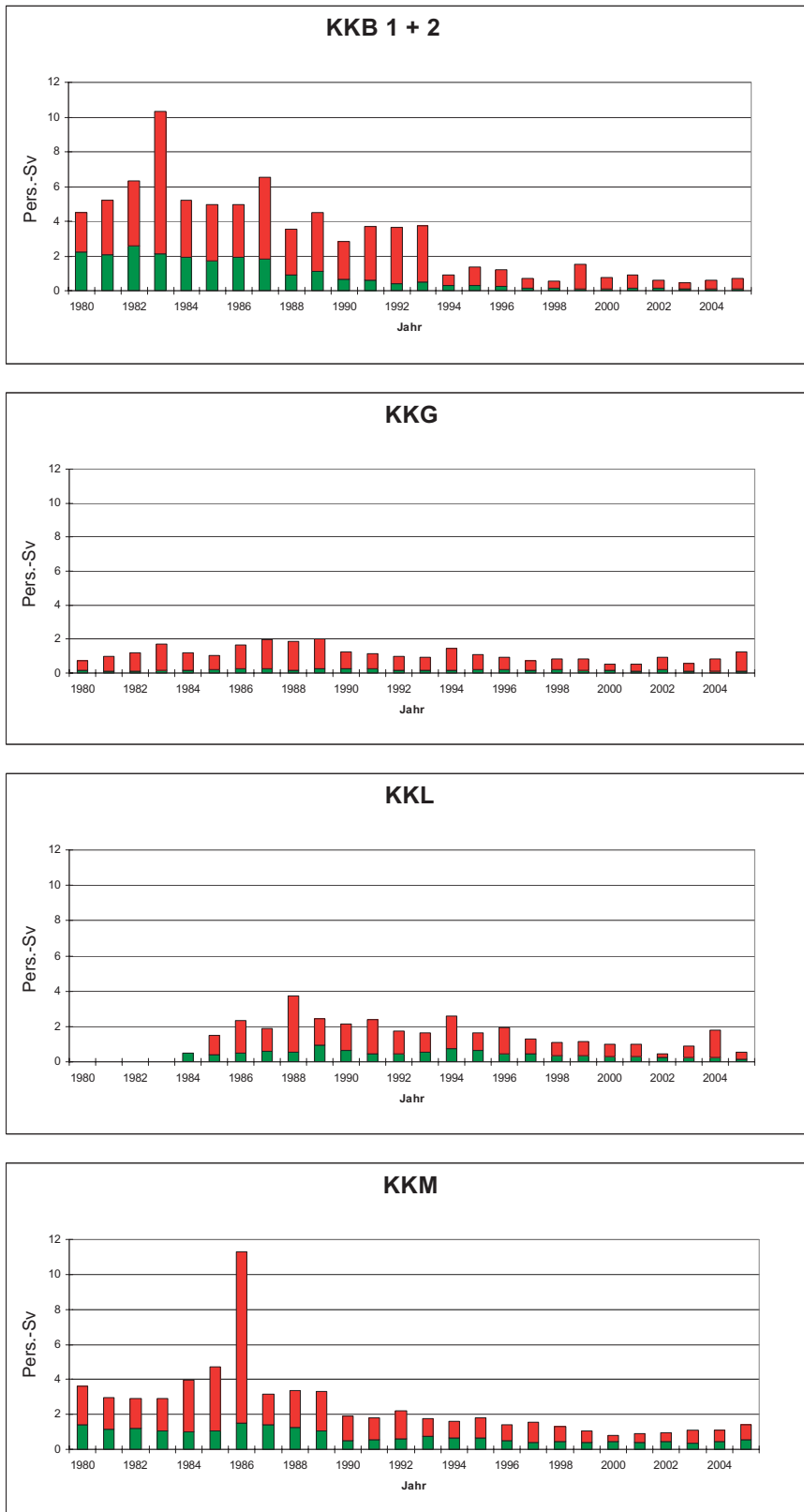
Die Arbeiten im Projekt LTD (Long Term Diffusion) betreffen die Diffusions-Prozess-Studie DPS, in der die langfristige Matrix-Diffusion von ^{137}Cs anhand von fünf Proben aus bereits vorhandenen Bohrkernen aus dem Felslabor Grimsel untersucht wurde. Diese Untersuchung wurde

in den Monaten November und Dezember im Laborraum Typ C durchgeführt. Die Arbeiten der Nagra erfolgten plangemäss und wurden in der HSK eingereichten Berichten festgehalten.

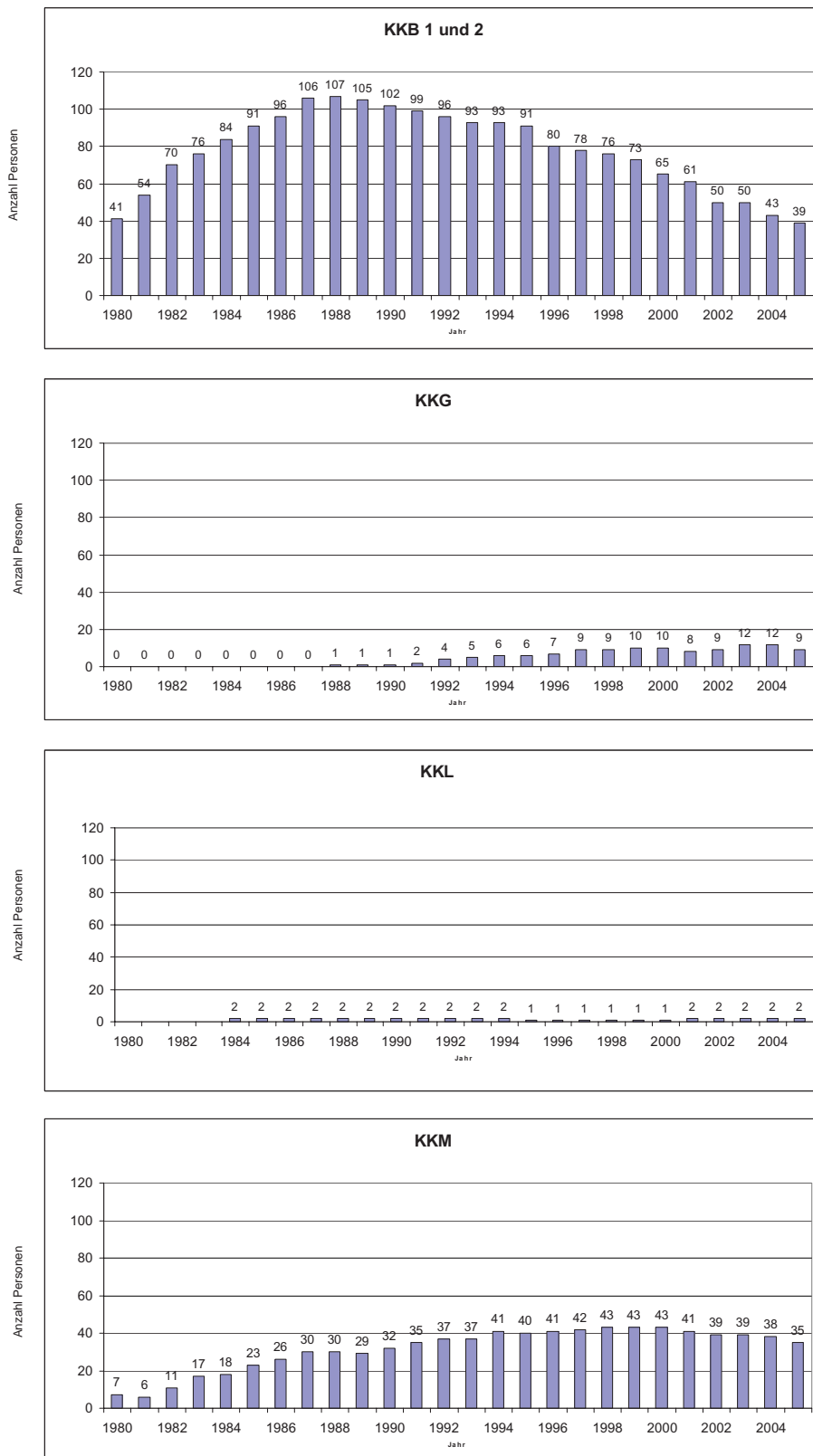
Es gab bei den Arbeiten der Nagra im Grimsel keine radiologischen Vorfälle oder Kontaminationen, und es wurden keine Dosimeter-Messungen über dem Untergrund registriert.

3. Grafische Darstellungen

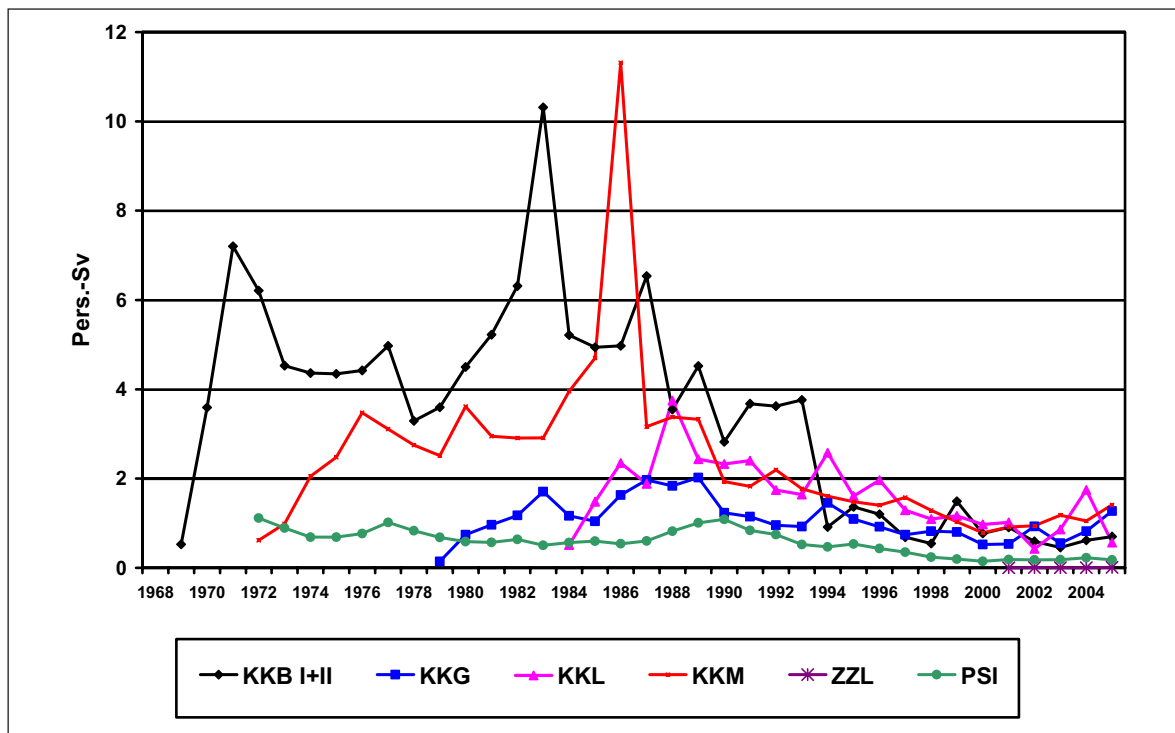
Figur A.1: Jahreskollektivdosen (Pers.-Sv) der Kernkraftwerke, 1980–2005. Rot bezeichnet die Daten aus den Stillständen, Grün diejenigen aus dem Betrieb.



Figur A.2: Anzahl Personen mit einer beruflichen Lebensdosis über 200 mSv, Kernkraftwerke, 1980–2005



Figur A.3: Jahreskollektivdosen (Pers.-Sv) in den Kernanlagen, 1968–2005



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 (BAG), Zentrales Dosisregister, 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 der Einführung dieser Regelung im Jahr 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 von 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.-Sv festgelegt, bei dessen Überschreitung die HSK die Optimierungsmassnahmen des Betreibers detailliert prüft.

Zur Ermittlung der Dosen und zum Nachweis der Einhaltung 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 (siehe dazu auch Tabelle A.15).

4.2 Personendosimetrie: akkumulierte Dosen 2005

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 2005 haben die fünf Dosimetriestellen (KKB, KKG, KKL, KKM und PSI) im Aufsichtsbereich der HSK insgesamt 5220 beruflich strahlenexponierte Personen mit einer Kollektivdosis von 4135,8 Pers.-mSv gemeldet (Mehrfachbuchungen bereinigt). Die an den Universitäten verwendeten Dosimeter (11 Personen) werden entweder vom Institut Universitaire de Radio-physique appliquée (IRA) oder von der SUVA ausgewertet. Die Meldungen der Dosimetriestelle des PSI umfas-

Tabelle A.1: Zusammenfassung der Kollektivdosen in den schweizerischen Kernanlagen 2005

Bereich	Anzahl überwachte Personen (EP+FP)	Kollektivdosis (Pers.-Sv)
KKB 1+2	900	0,70
KKG	1099	1,27
KKM	1086	1,41
KKL	1300	0,57
ZZL	108	0,02
PSI	1313	0,18
Universitäten	11	0,00
NAGRA	10	0,00
Aufsichtsbereich der HSK	5231	0,79

sen Dosen, die sowohl in Anlagen aus dem Aufsichtsbereich des BAG als auch in Anlagen aus dem Aufsichtsbereich der HSK akkumuliert wurden.

Im Berichtsjahr traten keine Überschreitungen des Grenzwertes für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr auf. Die höchste Individualdosis betrug 16,9 mSv und wurde im KKM ermittelt (siehe dazu Kapitel 1.4).

Die mittlere Dosis pro Person (Personen-Tiefendosis $H_p(10)$) liegt in den Druckwasser-Reaktoren bei 0,98 mSv (0,80 mSv), in den Siedewasser-Reaktoren bei 0,83 mSv (1,15 mSv) pro Person und Jahr. In Klammern sind die Werte aus dem Jahr 2004 angegeben.

In einzelnen Anlagen werden auch nicht beruflich strahlenexponierte Personen mit Dosimetern überwacht. Diese Dosen werden ebenfalls der HSK gemeldet. Im Jahr 2005 haben insgesamt 275 Personen aus diesem Personenkreis eine Kollektivdosis von 2,2 Pers.-mSv akkumuliert. Keine dieser Personen akkumulierte eine Individualdosis von mehr als 0,5 mSv pro Jahr. Der Jahresgrenzwert von 1 mSv pro Person gemäss Artikel 37 der StSV wurde damit eingehalten.

Bei der Auswertung der Daten richtet sich die HSK nach der «Empfehlung zur Rundung der Dosiswerte der aner-

kannten Personendosimetriestellen für die Meldung an die Kunden und ans Zentrale Dosisregister», die von der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität (KSR) im Jahr 2004 verabschiedet und veröffentlicht wurde. Die Messwerte werden gemäss den international üblichen Rundungsregeln in 0,1-mSv-Schritten gerundet. Ferner werden im untersten Dosisbereich (kleiner als 0,1 mSv) Messwerte unterhalb von 0,075 mSv auf 0 gerundet. Messwerte zwischen 0,075 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.

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, 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 2005. Anzahl Personen und mittlere Jahresdosis.

Tabelle A.2a: Kernkraftwerke

Dosisverteilung [mSv]	KKB 1 + 2			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	302	402	704	248	519	767	320	820	1140	151	586	737	1020	1888	2908
> 1.0 - 2.0	42	41	83	24	97	121	30	54	84	36	92	128	132	253	385
> 2.0 - 5.0	29	55	84	35	112	147	33	31	64	55	94	149	151	268	419
> 5.0 - 10.0	18	10	28	15	44	59	5	4	9	30	27	57	68	108	176
> 10.0 - 15.0		1	1	3	2	5			3	3		3	8	5	13
> 15.0 - 20.0													1	1	2
> 20.0 - 50.0															
> 50.0															
Total Personen	391	509	900	325	774	1099	388	912	1300	281	805	1086	1383	2530	3913
Mittel pro Person [mSv]	0.9	0.7	0.8	1.1	1.2	1.2	0.6	0.4	0.4	2.1	1.0	1.3	1.1	1.0	1.0

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, Forschung und NAGRA

Dosisverteilung [mSv]	PSI			Universitäten ²⁾	NAGRA	Total Forschung	ZZL			Total KKW EP + FP	Total Kernanlagen und Forschung ¹⁾
	EP	FP	EP+FP				EP	FP	EP+FP		
0.0 - 1.0	995	272	1267	11	10	1288	28	76	104	2908	4173
> 1.0 - 2.0	27	1	28			28	1	3	4	385	419
> 2.0 - 5.0	13	1	14			14				419	434
> 5.0 - 10.0	4		4			4				176	180
> 10.0 - 15.0										23	23
> 15.0 - 20.0										2	2
> 20.0 - 50.0											
> 50.0											
Total Personen	1039	274	1313	11	10	1334	29	79	108	3913	5231
Mittel pro Person [mSv]	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	1.0	0.8

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 2005.

Tabelle A.3a: Kernkraftwerke

Dosisverteilung [mSv]	KKB 1 + 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW ¹⁾		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
0.0 - 1.0	60.6	70.3	130.9	48.1	100.8	148.9	56.8	101.7	158.5	24.4	122.7	147.1	189.4	344.2	533.6
> 1.0 - 2.0	61.2	62.3	123.5	34.7	146.6	181.3	45.8	79.5	125.3	57.4	133.2	190.6	199.1	376.2	575.3
> 2.0 - 5.0	95.9	162.4	258.3	122.7	362.8	485.5	100.9	83.8	184.7	181.9	310.1	492.0	498.1	854.6	1352.7
> 5.0 - 10.0	116.8	62.0	178.8	102.8	287.0	389.8	31.1	34.7	65.8	210.5	180.3	390.8	464.1	709.7	1173.8
> 10.0 - 15.0		11.0	11.0	35.4	24.6	60.0				99.0	57.8	156.8	134.4	142.5	276.9
> 15.0 - 20.0										16.9	16.8	33.7	16.9	16.8	33.7
> 20.0 - 50.0															
> 50.0															
Total [Pers.-mSv]	334.5	368.0	702.5	343.7	921.8	1265.5	234.6	334.9	569.5	590.1	820.9	1411.0	1502.0	2444.0	3946.0
Höchste Einzeldosis [mSv]	8.2	11.0	11.0	14.2	13.4	14.2	6.7	13.0	13.0	16.9	16.8	16.9	16.9	16.8	16.9

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, Forschung und NAGRA

Dosisverteilung [mSv]	PSI			Universitäten	NAGRA	Total Forschung	ZZL			Total KKW EP + FP	Total Kernanlagen und Forschung
	EP	FP	EP+FP				EP	FP	EP+FP		
0.0 - 1.0	50.2	12.6	62.8	0.0	0.0	62.8	3.7	6.2	9.9	533.6	599.9
> 1.0 - 2.0	38.8	1.4	40.2			40.2	1.2	3.9	5.1	575.3	623.2
> 2.0 - 5.0	45.2	3	48.2			48.2				1352.7	1404.6
> 5.0 - 10.0	26.5		26.5			26.5				1173.8	1197.4
> 10.0 - 15.0										276.9	277.0
> 15.0 - 20.0										33.7	33.7
> 20.0 - 50.0											
> 50.0											
Total [Pers.-mSv]	160.7	17.0	177.7	0.0	0.0	177.7	4.9	10.1	15.0	3946.0	4135.8
Höchste Einzeldosis [mSv]	7.1	3.0	7.1	0.0	0.0	7.1	1.2	1.4	1.4	16.9	16.9

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.

Verteilung der Lebensaltersdosen des Eigenpersonals 2005

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

Tabelle A.4a: Kernanlagen und Forschung (PSI)

Dosisverteilung [mSv]	KKB 1 + 2	KKG	KKL	KKM	KKW Total	PSI	ZZL	Kernanlagen und PSI Total
> 100 - 150	30	13	12	19	74	10		84
> 150 - 200	22	11	6	18	57	3		60
> 200 - 250	13	4	2	10	29	3		32
> 250 - 300	7	4		9	20	1		21
> 300 - 350	10			2	12	1		13
> 350 - 400	3	1		4	8			8
> 400 - 450	1			1	2			2
> 450 - 500	3			3	6			6
> 500 - 550				5	5			5
> 550 - 600	1			1	2			2
> 600	1				1*			1
Total Personen	91	33	20	72	232	18	0	234

inklusive Personal, das 2005 ausgetreten ist. * diese Person hatte Ende 2005 eine Lebensaltersdosis von 614 mSv

Tabelle A.4b: Kernanlagen und Forschung (PSI)

Dosisverteilung [mSv]	PSI			Universitäten	NAGRA	Total Forschung	ZZL			Total KKW EP + FP	Total Kernanlagen und Forschung
	EP	FP	EP+FP				EP	FP	EP+FP		
0.0 - 1.0	50.2	12.6	62.8	0.0	0.0	62.8	3.7	6.2	9.9	533.6	599.9
> 1.0 - 2.0	38.8	1.4	40.2			40.2	1.2	3.9	5.1	575.3	623.2
> 2.0 - 5.0	45.2	3	48.2			48.2				1352.7	1404.6
> 5.0 - 10.0	26.5		26.5			26.5				1173.8	1197.4
> 10.0 - 15.0										276.9	277.0
> 15.0 - 20.0										33.7	33.7
> 20.0 - 50.0											
> 50.0											
Total [Pers.-mSv]	160.7	17.0	177.7	0.0	0.0	177.7	4.9	10.1	15.0	3946.0	4135.8
Höchste Einzeldosis [mSv]	7.1	3.0	7.1	0.0	0.0	7.1	1.2	1.4	1.4	16.9	16.9

inklusive Personal, das 2005 ausgetreten ist.

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2005. Dosismittelwerte, Kollektivdosen und Anzahl Personen nach Alter und Geschlecht.

Tabelle A.5a: Kernanlagen, Forschung und NAGRA, 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	27	5	52		563	66	880	86	1105	62	984	34	302	7	4173
> 1.0 - 2.0			3		54	2	108	1	140	1	94	1	15		419
> 2.0 - 5.0			2		55		103		158		100	1	15		434
> 5.0 - 10.0			5		21		56		55		38		5		180
> 10.0 - 15.0			1		2		6		5		8		1		23
> 15.0 - 20.0											2				2
> 20.0 - 50.0															
> 50.0															
Total Personen	27	5	63		695	68	1153	87	1463	63	1226	36	338	7	5231
Mittel pro Person [mSv]	0.15	0.00	1.08		0.74	0.05	0.91	0.06	0.90	0.10	0.81	0.21	0.47	0.01	0.79
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	4.1	0.0	67.9		514.4	3.6	1051.0	4.8	1321.5	6.1	996.1	7.4	158.8	0.1	4135.8

Tabelle A.5b: Forschung (PSI, EPFL, UNI Basel) und NAGRA, 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	10	4	9		172	61	302	64	265	39	234	22	103	3	1288
> 1.0 - 2.0					2	2	9		7		7	1			28
> 2.0 - 5.0							4		6		4				14
> 5.0 - 10.0							2				1		1		4
> 10.0 - 15.0															
> 15.0 - 20.0															
> 20.0 - 50.0															
> 50.0															
Total Personen	10	4	9		174	63	317	64	278	39	246	23	104	3	1334
Mittel pro Person [mSv]	0.00	0.00	0.01		0.06	0.05	0.18	0.03	0.15	0.06	0.19	0.12	0.11	0.03	0.13
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0	0.0	0.1		10.3	3.4	57.2	1.6	41.6	2.5	46.4	2.8	11.7	0.1	177.7

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2005, 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	M	F	
	0.0 - 1.0	2		10		12	1	64	3	80	2	99	3	26		302
	> 1.0 - 2.0			1		2		11		17		11				42
	> 2.0 - 5.0					2		7		11		8		1		29
	> 5.0 - 10.0							6		9		3				18
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	2		11		16	1	88	3	117	2	121	3	27		391
	Mittel pro Person [mSv]	0.10		0.23		0.65	0.10	1.10	0.37	1.16	0.05	0.65	0.13	0.28		0.86
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.2		2.5		10.4	0.1	96.8	1.1	136.2	0.1	79.1	0.4	7.6		334.5
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	3	1	4		70	1	93	4	116	1	85	3	21		402
	> 1.0 - 2.0					9		9		16		6		1		41
	> 2.0 - 5.0			1		14		16		14		9		1		55
	> 5.0 - 10.0					3		6				1				10
	> 10.0 - 15.0											1				1
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	3	1	5		96	1	124	4	146	1	102	3	23		509
	Mittel pro Person [mSv]	0.33	0.00	0.48		0.94	0.00	0.94	0.05	0.60	0.70	0.61	0.03	0.30		0.72
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.0	0.0	2.4		90.2	0.0	116.7	0.2	88.0	0.7	61.8	0.1	6.9		368.0
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	5	1	14		82	2	157	7	196	3	184	6	47		704
	> 1.0 - 2.0			1		11		20		33		17		1		83
	> 2.0 - 5.0			1		16		23		25		17		2		84
	> 5.0 - 10.0					3		12		9		4				28
	> 10.0 - 15.0											1				1
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	5	1	16		112	2	212	7	263	3	223	6	50		900
	Mittel pro Person [mSv]	0.24	0.00	0.31		0.90	0.05	1.01	0.19	0.85	0.27	0.63	0.08	0.29		0.78
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.2	0.0	4.9		100.6	0.1	213.5	1.3	224.2	0.8	140.9	0.5	14.5		702.5

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2005, 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				15		50	2	63	5	84		28		248
	> 1.0 - 2.0					2		4		4		7		7		24
	> 2.0 - 5.0							8		4		20		3		35
	> 5.0 - 10.0							6		4		4		1		15
	> 10.0 - 15.0							1				1		1		3
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	1				17		69	2	75	5	116		40		325
	Mittel pro Person [mSv]	0.00				0.58		1.45	0.20	0.79	0.06	1.10		1.15		1.06
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0				9.9		99.8	0.4	59.3	0.3	128.1		45.9		343.7
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	1		3		57	1	91	3	196	1	129	3	34		519
	> 1.0 - 2.0					14		28		29		23		3		97
	> 2.0 - 5.0			2		13		25		48		22		2		112
	> 5.0 - 10.0			2		11		10		12		9				44
	> 10.0 - 15.0					1						1				2
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	1		7		96	1	154	3	285	1	184	3	39		774
	Mittel pro Person [mSv]	0.00		2.50		1.73	0.00	1.30	0.00	1.11	0.00	1.14	0.00	0.34		1.19
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		17.5		165.8	0.0	199.9	0.0	315.3	0.0	210.0	0.0	13.3		921.8
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	2		3		72	1	141	5	259	6	213	3	62		767
	> 1.0 - 2.0					16		32		33		30		10		121
	> 2.0 - 5.0			2		13		33		52		42		5		147
	> 5.0 - 10.0			2		11		16		16		13		1		59
	> 10.0 - 15.0					1		1				2		1		5
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	2		7		113	1	223	5	360	6	300	3	79		1099
	Mittel pro Person [mSv]	0.00		2.50		1.55	0.00	1.34	0.08	1.04	0.05	1.13	0.00	0.75		1.15
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		17.5		175.7	0.0	299.7	0.4	374.6	0.3	338.1	0.0	59.2		1265.5

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2005, 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		
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	Total
	0.0 - 1.0	1		4		10		40	5	114	10	113	2	18	3	320
	> 1.0 - 2.0			1		2		7		12		8				30
	> 2.0 - 5.0					2		3		13		13		2		33
	> 5.0 - 10.0							1		3				1		5
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	1		5		14		51	5	142	10	134	2	21	3	388	
Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.48		0.69		0.71	0.00	0.65	0.04	0.57	0.00	0.79	0.00	0.60	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		2.4		9.7		36.1	0.0	92.5	0.4	76.9	0.0	16.6	0.0	234.6	
Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	Total
	0.0 - 1.0	4		15		187	3	191	3	214	4	156	2	41		820
	> 1.0 - 2.0			1		9		14		21	1	8				54
	> 2.0 - 5.0					6		8		13		3		1		31
	> 5.0 - 10.0							2		2						4
	> 10.0 - 15.0							2		1						3
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	4		16		202	3	217	3	251	5	167	2	42		912	
Mittel pro Person [mSv]	0.23		0.26		0.26	0.00	0.50	0.00	0.48	0.40	0.24	0.00	0.18		0.37	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.9		4.1		53.0	0.0	108.3	0.0	119.5	2.0	39.7	0.0	7.4		334.9	
Eigen- und Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	Total
	0.0 - 1.0	5		19		197	3	231	8	328	14	269	4	59	3	1140
	> 1.0 - 2.0			2		11		21		33	1	16				84
	> 2.0 - 5.0					8		11		26		16		3		64
	> 5.0 - 10.0							3		5				1		9
	> 10.0 - 15.0							2		1						3
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	5		21		216	3	268	8	393	15	301	4	63	3	1300	
Mittel pro Person [mSv]	0.18		0.31		0.29	0.00	0.54	0.00	0.54	0.16	0.39	0.00	0.38	0.00	0.44	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.9		6.5		62.7	0.0	144.4	0.0	212.0	2.4	116.6	0.0	24.0	0.0	569.5	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2005, 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					5	1	29	2	47	1	43	1	22		151
	> 1.0 - 2.0					1		5		11		16		3		36
	> 2.0 - 5.0							13		24		15	1	2		55
	> 5.0 - 10.0							6		12		12				30
	> 10.0 - 15.0							2		2		4				8
	> 15.0 - 20.0											1				1
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen					6	1	55	2	96	1	91	2	27		281
	Mittel pro Person [mSv]					0.60	0.10	2.07	0.05	2.30	0.10	2.55	2.00	0.59		2.10
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]					3.6	0.1	113.9	0.1	220.7	0.1	231.6	4.0	16.0		590.1
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	6		8		98	1	127	5	154	2	135	6	43	1	586
	> 1.0 - 2.0					13		27	1	35		14		2		92
	> 2.0 - 5.0			2		20		29		32		8		3		94
	> 5.0 - 10.0			2		5		9		5		4		2		27
	> 10.0 - 15.0			1		1				2		1				5
	> 15.0 - 20.0											1				1
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	6		13		137	1	192	6	228	2	163	6	50	1	805
	Mittel pro Person [mSv]	0.33		2.99		1.18	0.00	1.13	0.23	1.08	0.00	0.74	0.02	0.67	0.00	1.02
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	2.0		38.9		161.0	0.0	216.5	1.4	246.3	0.0	121.3	0.1	33.4	0.0	820.9
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	6		8		103	2	156	7	201	3	178	7	65	1	737
	> 1.0 - 2.0					14		32	1	46		30		5		128
	> 2.0 - 5.0			2		20		42		56		23	1	5		149
	> 5.0 - 10.0			2		5		15		17		16		2		57
	> 10.0 - 15.0			1		1		2		4		5				13
	> 15.0 - 20.0											2				2
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	6		13		143	2	247	8	324	3	254	8	77	1	1086
	Mittel pro Person [mSv]	0.33		2.99		1.15	0.05	1.34	0.19	1.44	0.03	1.39	0.51	0.64	0.00	1.30
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	2.0		38.9		164.6	0.1	330.4	1.5	467.0	0.1	352.9	4.1	49.4	0.0	1411.0

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2005, 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		
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	Total
	0.0 - 1.0	4		14		42	2	183	12	304	18	338	6	94	3	1020
	> 1.0 - 2.0			2		7		27		44		42		10		132
	> 2.0 - 5.0					4		31		51		56	1	8		151
	> 5.0 - 10.0							19		28		19		2		68
	> 10.0 - 15.0							3		2		5		1		11
	> 15.0 - 20.0											1				1
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	4		16		53	2	263	12	429	18	461	7	115	3	1383	
Mittel pro Person [mSv]	0.05		0.31		0.63	0.10	1.32	0.13	1.19	0.05	1.12	0.63	0.75	0.00	1.09	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.2		4.9		33.6	0.2	346.6	1.6	508.6	0.9	514.9	4.4	86.1	0.0	1502.0	
Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	Total
	0.0 - 1.0	13	1	29		368	6	399	9	530	5	412	7	108	1	1888
	> 1.0 - 2.0			1		44		70	1	87	1	44		5		253
	> 2.0 - 5.0			2		51		68		100		40		7		268
	> 5.0 - 10.0			5		21		35		27		18		2		108
	> 10.0 - 15.0			1		2		3		3		3				12
	> 15.0 - 20.0											1				1
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	13	1	38		486	6	575	10	747	6	518	7	122	1	2530	
Mittel pro Person [mSv]	0.30	0.00	1.66		0.97	0.00	1.12	0.16	1.02	0.45	0.84	0.03	0.50	0.00	0.97	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	3.9	0.0	62.9		470.0	0.0	645.5	1.6	763.4	2.7	432.8	0.2	61.0	0.0	2444.0	
Eigen- und Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	Total
	0.0 - 1.0	17	1	43		410	8	582	21	834	23	750	13	202	4	2908
	> 1.0 - 2.0			3		51		97	1	131	1	86		15		385
	> 2.0 - 5.0			2		55		99		151		96	1	15		419
	> 5.0 - 10.0			5		21		54		55		37		4		176
	> 10.0 - 15.0			1		2		6		5		8		1		23
	> 15.0 - 20.0											2				2
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	17	1	54		539	8	838	22	1176	24	979	14	237	4	3913	
Mittel pro Person [mSv]	0.24	0.00	1.26		0.93	0.03	1.18	0.15	1.08	0.15	0.97	0.33	0.62	0.00	1.01	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	4.1	0.0	67.8		503.6	0.2	992.1	3.2	1272.0	3.6	947.7	4.6	147.1	0.0	3946.0	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2005, 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		
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	Total
	0.0 - 1.0							6	1	12	1	7		1		28
	> 1.0 - 2.0								1							1
	> 2.0 - 5.0															
	> 5.0 - 10.0															
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
> 50.0																
Total Personen							6	1	13	1	7		1		29	
Mittel pro Person [mSv]							0.15	0.00	0.28	0.00	0.04		0.00		0.17	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]							0.9	0.0	3.7	0.0	0.3		0.0		4.9	
Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	Total
	0.0 - 1.0			1		6		20		28		20		1		76
	> 1.0 - 2.0					1		1		1						3
	> 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		7		21		29		20		1		79	
Mittel pro Person [mSv]			0.00		0.21		0.08		0.16		0.11		0.00		0.13	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]			0.0		1.5		1.7		4.7		2.2		0.0		10.1	
Eigen- und Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	Total
	0.0 - 1.0			1		6		26	1	40	1	27		2		104
	> 1.0 - 2.0					1		1		2						4
	> 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		7		27	1	42	1	27		2		108	
Mittel pro Person [mSv]			0.00		0.21		0.10	0.00	0.20	0.00	0.09		0.00		0.14	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]			0.0		1.5		2.6	0.0	8.4	0.0	2.5		0.0		15.0	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2005, 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	4		14		42	2	189	13	316	19	345	6	95	3	1048
	> 1.0 - 2.0			2		7		27		45		42		10		133
	> 2.0 - 5.0					4		31		52		56	1	8		152
	> 5.0 - 10.0							19		28		19		2		68
	> 10.0 - 15.0							3		2		5		1		11
	> 15.0 - 20.0											1				1
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	4		16		53	2	269	13	443	19	468	7	116	3	1413
	Mittel pro Person [mSv]	0.05		0.31		0.63	0.10	1.29	0.12	1.16	0.05	1.10	0.63	0.74	0.00	1.07
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.2		4.9		33.6	0.2	347.5	1.6	512.3	0.9	515.2	4.4	86.1	0.0	1506.9
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	13	1	30		372	6	402	9	536	5	413	7	108	1	1903
	> 1.0 - 2.0			1		45		71	1	88	1	45		5		257
	> 2.0 - 5.0			2		51		68		100		40		7		268
	> 5.0 - 10.0			5		21		35		27		18		2		108
	> 10.0 - 15.0			1		2		3		3		3				12
	> 15.0 - 20.0											1				1
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	13	1	39		491	6	579	10	754	6	520	7	122	1	2549
	Mittel pro Person [mSv]	0.30	0.00	1.61		0.96	0.00	1.12	0.16	1.02	0.45	0.84	0.03	0.50	0.00	0.96
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	3.9	0.0	62.9		471.5	0.0	647.0	1.6	768.1	2.7	434.5	0.2	61.0	0.0	2453.4
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	17	1	44		414	8	591	22	852	24	758	13	203	4	2951
	> 1.0 - 2.0			3		52		98	1	133	1	87		15		390
	> 2.0 - 5.0			2		55		99		152		96	1	15		420
	> 5.0 - 10.0			5		21		54		55		37		4		176
	> 10.0 - 15.0			1		2		6		5		8		1		23
	> 15.0 - 20.0											2				2
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	17	1	55		544	8	848	23	1197	25	988	14	238	4	3962
	Mittel pro Person [mSv]	0.24	0.00	1.23		0.93	0.03	1.17	0.14	1.07	0.14	0.96	0.33	0.62	0.00	1.00
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	4.1	0.0	67.8		505.1	0.2	994.5	3.2	1280.4	3.6	949.7	4.6	147.1	0.0	3960.3

Verteilung der Extremitätendosen 2005

Tabelle A.13: Kernanlagen und Forschung (PSI)

Dosisverteilung	KKB 1 + 2			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	8	3	11	3	1	4	4	5	9	7	6	13	22	15	37	103	6	109	0	0	0	146
> 25 - 50										1		1	1		1		1					2
> 50 - 75										1		1	1		1		1					2
> 75 - 100																						
> 100 - 125															1		1					1
> 125 - 150																						
> 150 - 175																						
> 175 - 200																						
> 200 - 300															1		1					1
> 300 - 400																						
> 400 - 500																						
> 500																						
Total Personen	8	3	11	3	1	4	4	5	9	9	6	15	24	15	39	107	6	113	0	0	0	152

Folgedosis E₅₀ durch Inkorporationen des beruflich strahlenexponierten Personals, 2005

Tabelle A.14: Kernanlagen und Forschung (PSI)

Folgedosis E ₅₀ Dosisverteilung	KKB 1 + 2			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	351	477	828	303	678	981	392	943	1335	281	805	1086	1327	2903	4230	238	19	257	25	14	39	4526
> 1.0 - 2.0																1		1				1
> 2.0 - 5.0																						
> 5.0 - 10.0																						
> 10.0 - 15.0																						
> 15.0 - 20.0																						
> 20.0 - 50.0																						
> 50.0																						
Total Personen	351	477	828	303	678	981	392	943	1335	281	805	1086	1327	2903	4230	239	19	258	25	14	39	4527

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 2005

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 β, γ, x n	TLD DIS Cr-39	1313 44 1008	β, γ, x β, γ, x	TLD DIS	1313 44	β, γ, x	TLD	113	γ	GE	243	γ, x	Nal	21	a, b, g, x	LSC/ Nal GE	29
KKB 1 + 2	γ	TLD/ DIS	900	β, γ, x	TLD/ DIS	900	γ	TLD	11	γ	Nal	828	γ	Nal	828			
KKG	γ	TLD	1099	g	TLD	1099				γ	PSC	981	γ	PSC	981			
KKL	β, γ	TLD	1390	β, γ	TLD	1390	β, γ	TLD	9	γ	Nal	1335	γ	Nal	1335	β, γ	GE	0
KKM	γ	TLD	1086	β/γ	TLD	1086	γ	TLD	15	γ	Nal	2834	γ	Nal	2834			
ZZL ⁴⁾	γ	TLD/ DIS	108	β, γ, x	TLD/ DIS	108	γ	TLD		γ	Nal	151	γ	Nal	151			

- 1) r = Strahlungsart: α = Alpha
 β = Beta
 γ = Gamma
 n = Neutronen
 x = Röntgen
- 2) m = Messmethode: TLD = Thermoluminiszenzdosimeter
 Cr-39 = Spaltspurdosimeter
 LSC = Flüssigkeitsszintillator
 PSC = Plastikszintillator
 GE = Reinstgermanium – Detektor
 Nal = NaI(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 1980–2005 in Prozent

Jahr	Relative Aufteilung der Jahreskollektivdosen [%]									
	KKB 1 + 2		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%
2005	14%	86%	9%	91%	30%	70%	38%	62%	24%	76%

Tabelle A.17: Aufteilung der Kollektivdosen auf Betrieb und Revisionsstillstand 1980–2005 in Pers.-Sv

Jahr	Aufteilung der Jahreskollektivdosen [Pers.-Sv]									
	KKB 1 + 2		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
2005	0.101	0.603	0.120	1.146	0.171	0.399	0.540	0.871	0.932	3.018

Tabelle A.18: Kollektivdosen der Kernkraftwerke 2005

Anlage	KKB 1 + 2	KKG	KKL	KKM	Total
Pers.-mSv	702.5	1265.5	569.5	1411.0	3946.0

Jahreskollektivdosen

Anlage	KKB 1 + 2	KKG	KKL	KKM	Total
Pers.-mSv	603.0	1145.5	398.7	871.2	3018.4

Kollektivdosen der Revisionsstillstände

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
2005	1313	177.7	0.1

PSI-Gesamtpersonal (Aufsichtsbereiche 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
2005	29	4.9	0.2	79	10.1	0.1	108	15.0	0.1

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 Verantwortungsbe-

reich 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 aufgrund der Möglichkeiten ihrer Systeme vorgenommen. Daher ist es möglich, dass bestimmte Kernkraftwerke zu einzelnen Kategorien oder Aufteilungen keine Informationen liefern. Die HSK wird im Rahmen der Neugestaltung des Regelwerks verstärkt auf eine angemessene Berichterstattung hinwirken.

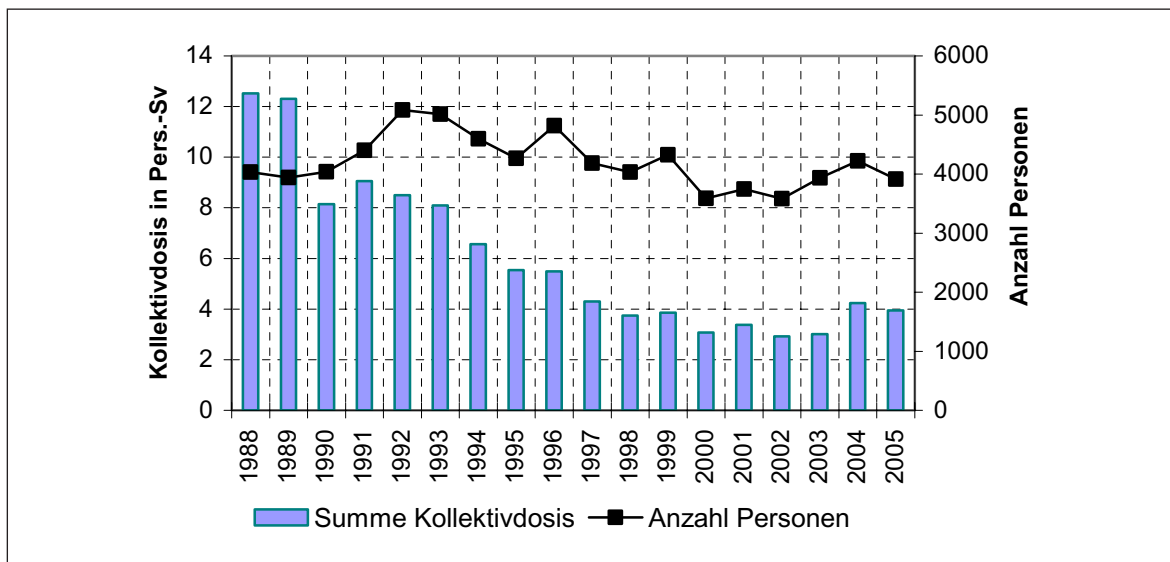
Die Kernkraftwerke in der Schweiz sind aufgrund ihrer Konstruktion (Siede- oder Druckwasseranlage) sowie ihres Alters nicht oder nur bedingt miteinander vergleichbar. Zudem werden die Jobdosen unterschiedlich ermittelt, und der Arbeitsaufwand in jeder Anlage variiert von Jahr zu Jahr. Aussagen über den 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 Dampferzeugaustausch 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 Kollektivdosen [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
2005	3.946	3913

Die Anzahl der Personen in dieser Tabelle ist die Summe der Meldungen der einzelnen Kernkraftwerke. Sie enthält demnach Mehrfachzählungen wegen der 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.

Verhältnis zwischen Dosisaufwand und Energieerzeugung (QSE)

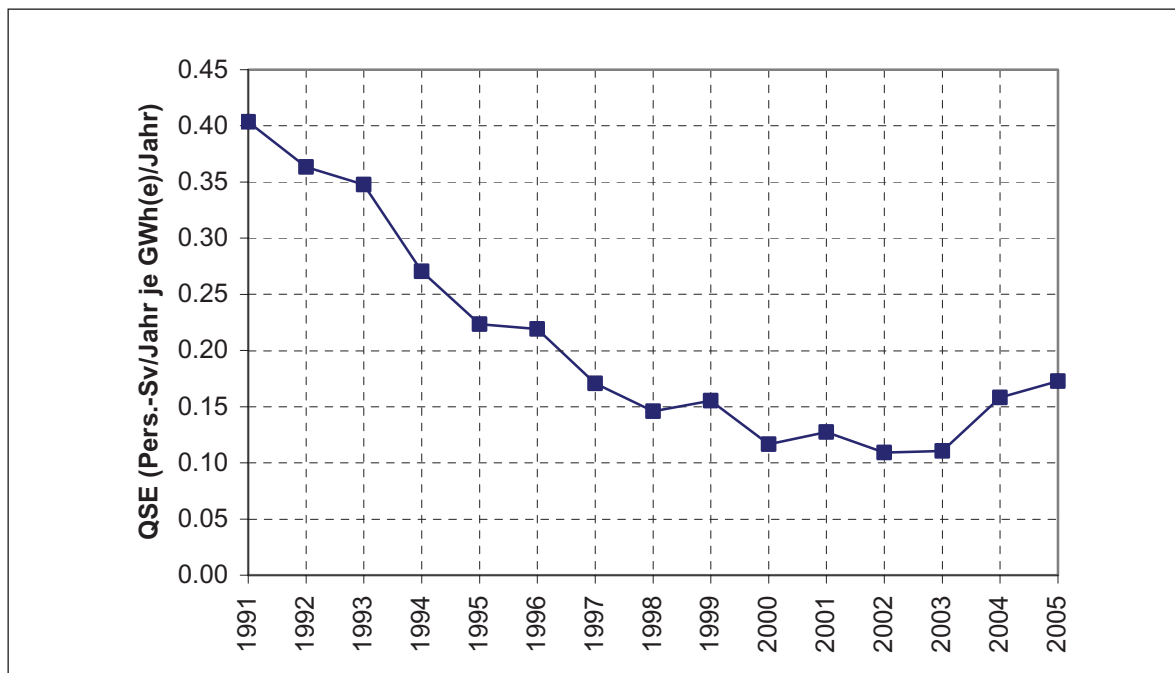
Tabelle A.22: Entwicklung des Verhältnisses Kollektivdosis zur erzeugten elektrischen Bruttoenergie (QSE) über alle Kraftwerke

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
2005	3'946	22'851.6	0.173

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 Bruttoenergie haben gegenüber kleineren Anlagen bei der Berechnung dieses Wertes einen Vorteil. Der Anstieg in den Jahren 2004 und 2005 wird durch Revisionsarbeiten im KKL und im KKG sowie durch den Ausfall der Anlage KKL im Jahr 2005 verursacht.

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 0.3344	EP -	EP -
	FP 0.3696	FP -	FP -
	EP+FP 0.7040	EP+FP -	EP+FP -
KKM	EP 0.5900	EP 0.6433	EP 1.09
	FP 0.8209	FP 0.9451	FP 1.15
	EP+FP 1.4109	EP+FP 1.5884	EP+FP 1.13
KKG**	EP 0.3437	EP -	EP -
	FP 0.9218	FP -	FP -
	EP+FP 1.2655	EP+FP -	EP+FP -
KKL	EP 0.2346	EP 0.2875	EP 1.23
	FP 0.3350	FP 0.3795	FP 1.13
	EP+FP 0.5696	EP+FP 0.6670	EP+FP 1.17

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 werksintern für die Ermittlung der Werte EPD-Daten hinzugezogen werden.

Kollektivdosen in den einzelnen Betriebsphasen (Pers.-Sv; 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	0.101	0.532	0.120	0.174
Geplanter Stillstand	0.603	0.879	1.146	0.395
Ungeplante Stillstände	-	-	-	-
Summe	0.704	1.411	1.266	0.570

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

Personengruppe	KKB(I+II)	KKM	KKG	KKL
Strahlenschutz/Chemie	0.041	0.108	0.085	0.060
Brennstoff	0.078	0.001	0.013	0.040
Reinig./Dekontamination	0.060	0.174	0.106	0.033
Gerüstbau	0.022	0.038	-	0.018
Mechanik	0.057	0.640	0.150	0.254
Isoleure	0.014	0.062	-	0.021
Elektrotechnik	0.009	0.061	0.031	0.051
Betrieb (Schicht)	-	0.199	0.040	0.071
Behörden (SVTI, HSK)	-	0.010	0.015	0.003
Übrige	0.423	0.118	0.826	0.018
Summe	0.704	1.411	1.266	0.570

Figur A.4: Kollektivdosisanteile von Personengruppen [%]

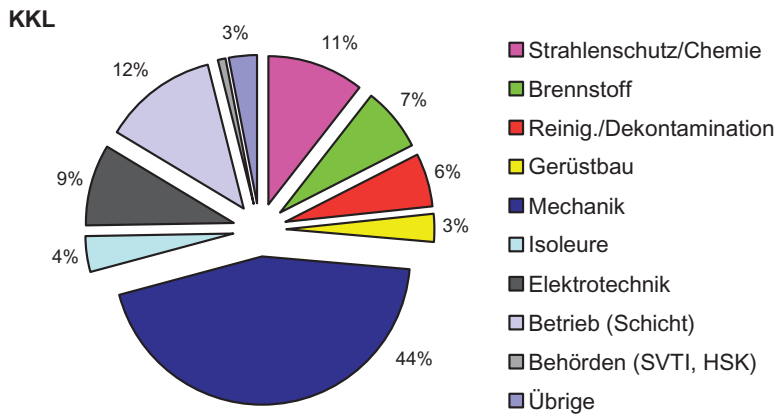
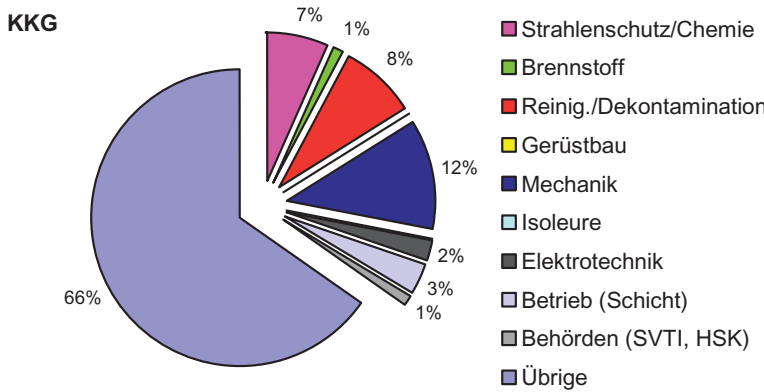
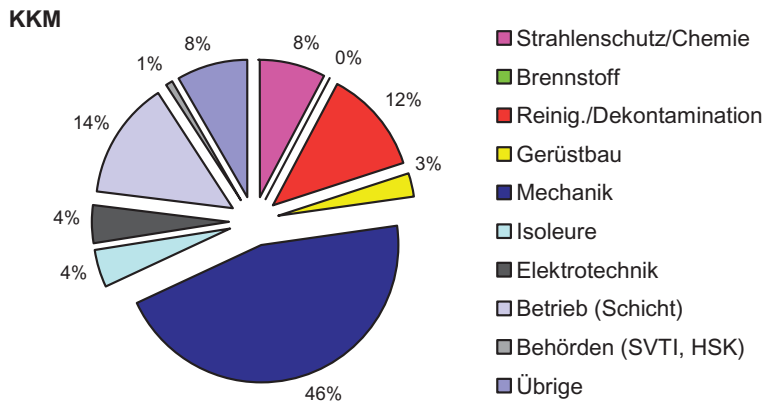
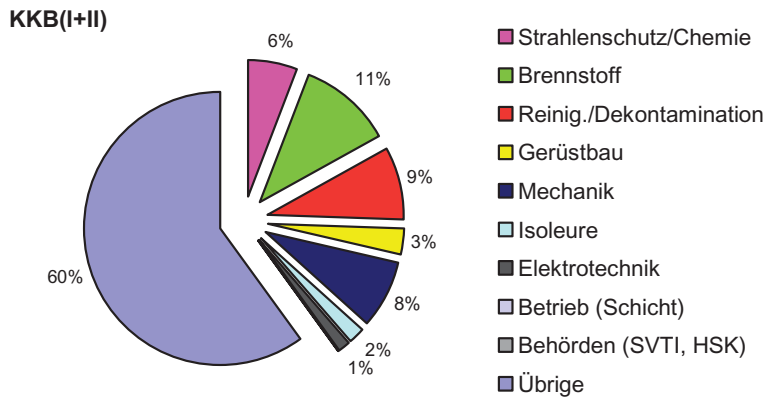


Tabelle A.26: Kollektivdosisanteile von Personen in verschiedenen Arbeitsbereichen im Leistungsbetrieb
(Pers.-Sv pro KKW im Berichtsjahr)

Personengruppen	KKB	KKM	KKG	KKL
Strahlenschutz	-	0.054	0.022	0.021
Brennstoff	-	-	0.003	0.011
Reinigung / Dekontamination	-	0.106	0.020	0.012
Gerüstbau	-	-	-	0.003
Mechanik	-	0.161	0.010	0.062
Isoleure	-	-	-	0.002
Elektrotechnik	-	0.021	0.001	0.011
Betrieb (Schicht)	-	0.151	0.019	0.045
Behörden (SVTI / HSK)	-	0.001	0.000	0.001
Übrige Personengruppen	0.101	0.034	0.045	0.007

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

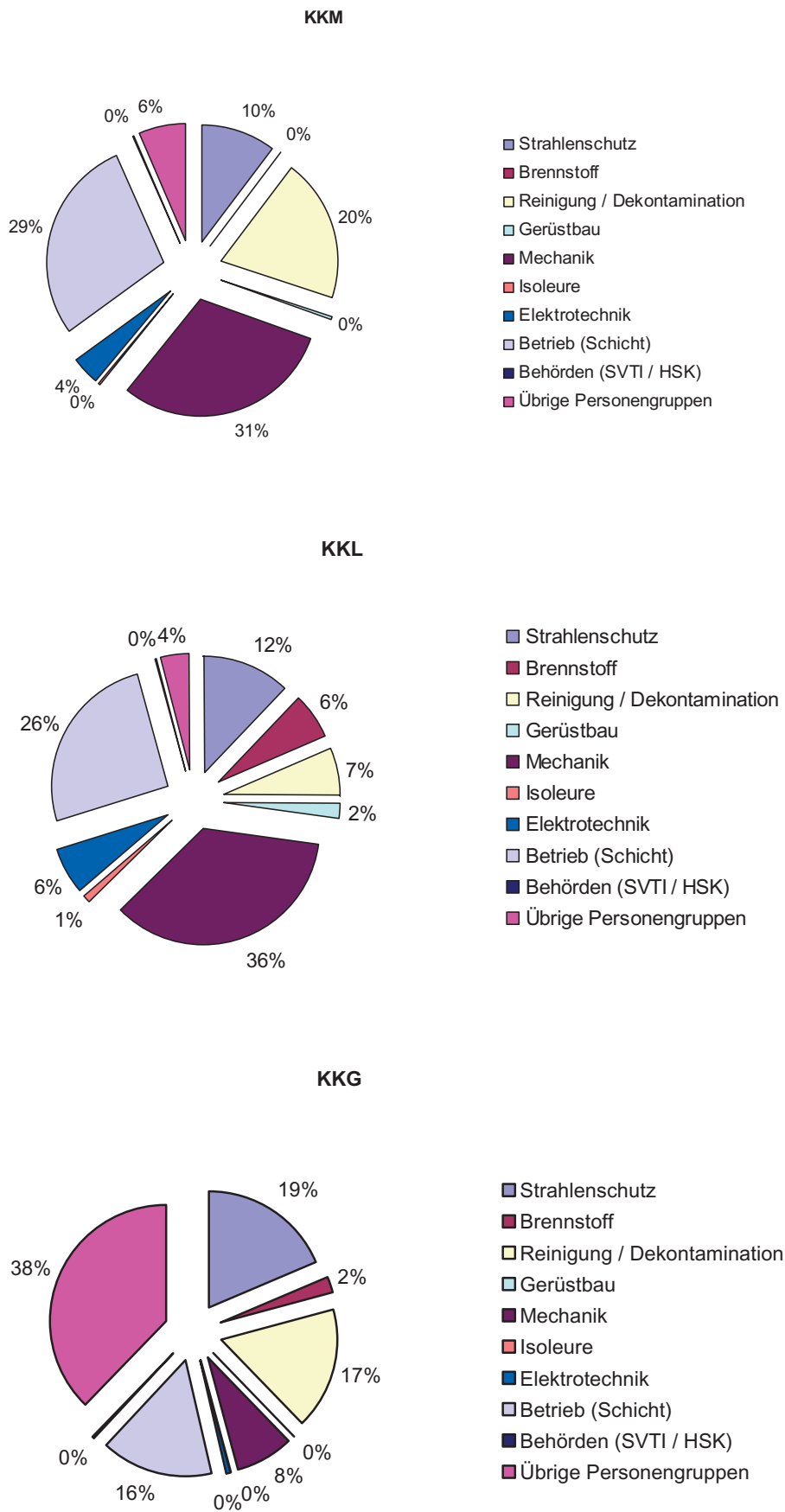
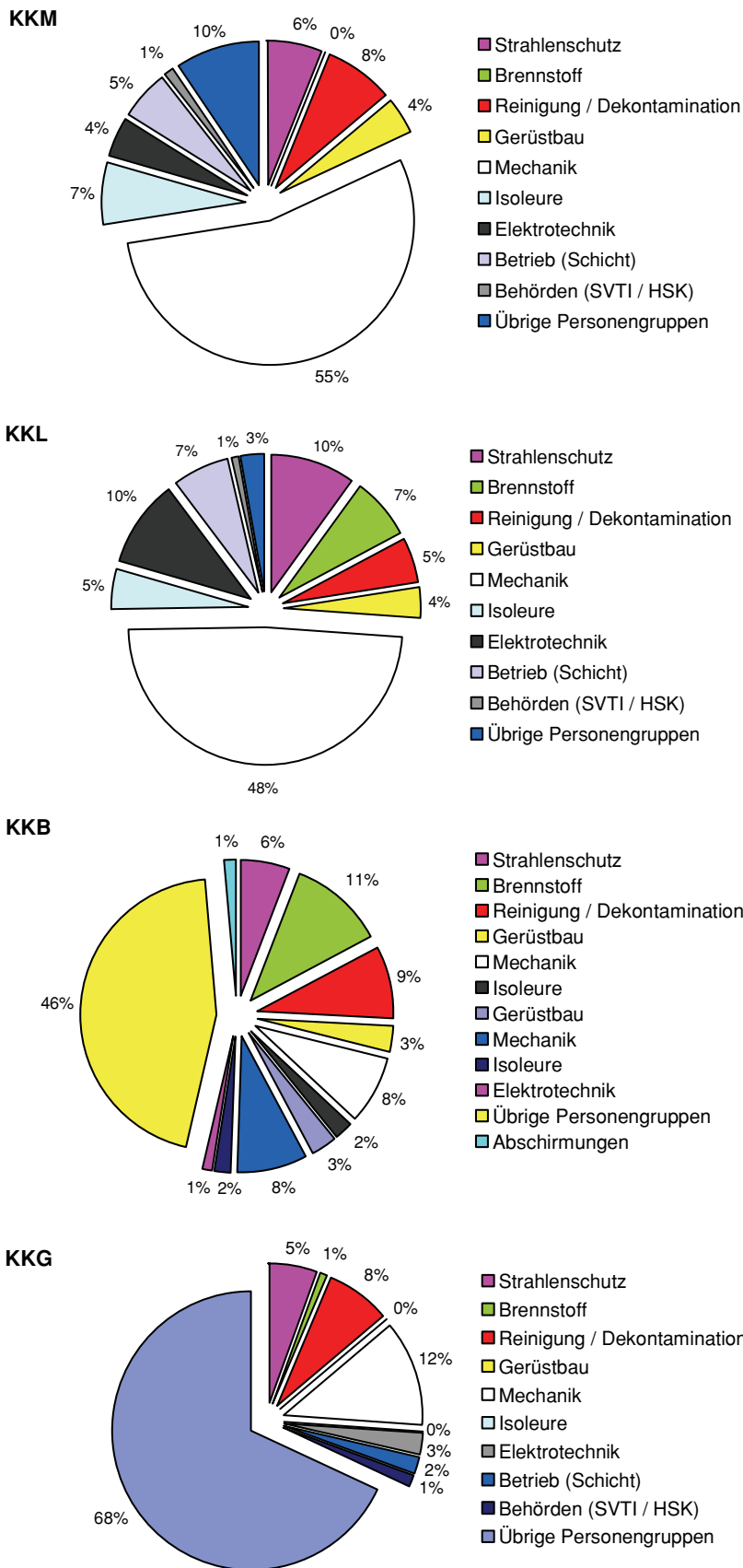


Tabelle A.27: Kollektivdosisanteile von Personen in verschiedenen Arbeitsbereichen; geplanter Stillstand
(Pers.-Sv pro KKW im Berichtsjahr)

Personengruppe	KKM	KKL	KKB	KKG
Strahlenschutz	0.054	0.039	0.041	0.063
Brennstoff	0.000	0.029	0.078	0.010
Reinigung / Dekontamination	0.068	0.021	0.060	0.086
Gerüstbau	0.036	0.014	0.022	-
Mechanik	0.479	0.192	0.057	0.140
Isoleure	0.061	0.019	0.014	-
Elektrotechnik	0.039	0.041	0.009	0.030
Betrieb (Schicht)	0.048	0.026	-	0.021
Behörden (SVTI / HSK)	0.009	0.002	-	0.014
Übrige Personengruppen	0.084	0.012	0.312	0.781
Abschirmungen	-	-	0.010	-

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 2005, wie in den Vorjahren seit Inkrafttreten der Strahlenschutzverordnung 1994, im Aufsichtsbereich der HSK nicht überschritten.

Die *Kollektivdosis* in den schweizerischen Kernkraftwerken konnte in den vergangenen Jahren auf die Hälfte reduziert werden. 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 zu berücksichtigen sind. Dabei kann festgehalten werden, dass die älteren Anlagen im Durchschnitt ihre Kollektivdosis stärker reduzieren konnten als die neueren. Wegen umfangreicher Systemänderungen in einer Jahresrevision können neuere Anlagen inzwischen eine höhere Jahreskollektivdosis aufweisen als ältere Anlagen. Ein Beispiel dafür war im Jahr 2005 das KKG. Für die Änderung der primärseitigen Druckentlastung (Projekt PISA) wurde eine Jobdosis von 594 Pers.-mSv und insgesamt eine kollektive Jahresdosis von 1265 Pers.-mSv akkumuliert.

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. Der durch den Generatorschaden bedingte lange Stillstand des KKL verursachte einen leichten Anstieg des QSE.

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, wobei die Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen ungefähr gleich geblieben ist. 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. Die Entscheidung, bei einzelnen

Spezialisten eine höhere Individualdosis zuzulassen oder mehrere Mitarbeiter einzusetzen, die dann eine höhere Kollektivdosis erhalten, ist manchmal schwierig zu treffen. Im Fall eines Dekontaminations-Mitarbeiters hatte sich das KKM im Jahr 2005 für eine höhere Individualdosis von 16,9 mSv entschieden.

Aus Sicht der zuständigen Aufsichtsbehörde kann dem Strahlenschutz in den schweizerischen Kernkraftwerken 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. Verbesserungspotenzial sieht die HSK in einzelnen Fällen bei der Verringerung der maximalen Individualdosis.

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 werden alterungsbedingte Aufwendungen für die Werkstoffprüfung im Strahlenfeld und die damit verbundene Expositionen des Personals zu beobachten sein.

Änderungen in der *Wasserchemie der verschiedenen Anlagen* könnten in der Zukunft, je nach angewandeter 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 ⁶⁴Zn vorher angereichert wurde, die Dosisleistungen an Komponenten des Primärkreislaufes halbiert werden. Die Einspeisung von Wasserstoff bei SWR verursacht hingegen beim Betrieb der Anlagen einen signifikanten Anstieg der durch ¹⁶N verursachten Dosisleistung in der nahen Umgebung.

Mit der Einführung von modernen Strahlenschutzplannungen und laufender Jobdosimetrie wurde bereits eine bemerkenswerte Reduktion der Dosis erzielt. Durch stetige Verbesserungen und Optimierungen gilt es nun, eine Steigerung der Effektivität dieser Mittel zur Routine werden zu lassen.

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 dann eine besonders lange Revisionsabstellung zur Durchführung umfangreicher periodischer Prüfungen und Massnahmen statt. Im Jahr 2005 hatte KKG eine relativ lange geplante Abstellung.

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. Bei den maximalen Individualdosen ist ein Trend zu Werten der Hälfte des Jahresgrenzwertes zu beobachten.

B: ÜBERWACHUNG DER UMWELTRADIO-AKTIVITÄT IM BEREICH DER KERNANLAGEN

1. Überwachung der Emissionen und Immissionen

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser und der Abluft lagen im Jahr 2005 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 Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr.

Die externe Strahlung wird mit dem Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) ständig überwacht. In der Umgebung des KKB und des PSI sind 17, beim KKG 16 und beim KKL und KKM je 12 Ortsdosisleistungs-Messsonden in einem Abstand von bis zu ca. 5 km um die Anlagen in Betrieb. Die Messwerte dieser MADUK-Sonden werden alle 10 Minuten in die HSK-Zentrale übertragen und automatisch analysiert. Gegebenenfalls werden Abweichungen vom natürlichen Schwankungsbereich der natürlichen Strahlung signalisiert und automatisch dem HSK-Pikettingenieur gemeldet. Die im Berichtsjahr registrierten, nicht meteorologisch bedingten Abweichungen oder Ausfälle liessen sich mit in der Nähe der MADUK-Sonden durchgeführten Kalibrierungsarbeiten an NADAM-Sonden, mit Defekten der Sonderelektronik oder mit Umbauten an MADUK-Sonden erklären. Für detailliertere Angaben sei auf das Kapitel 2 verwiesen.

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

Die im Boden gemessenen künstlichen Radionuklide können im Allgemeinen mit den Atomwaffentests (^{90}Sr) oder mit dem Reaktorunfall in Tschernobyl (^{137}Cs) in Ver-

bindung gebracht werden. Die langjährige Messreihe 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. Für das insbesondere in Sedimentproben ebenfalls gemessene ^{137}Cs ist keine eindeutige Zuordnung in Anteile aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl und den Abgaben der Kernkraftwerke möglich. Der Verlauf der Aktivitätskonzentration in den Sedimentproben korreliert allerdings schlecht mit den gemessenen Abgaben der Kernkraftwerke, so dass insbesondere bei der in der Aare unterhalb des KKM im Monat Oktober feststellbaren, signifikanten Erhöhung der Messwerte von einer Wiederaufwirbelung früher abgelagerter Sedimente ausgegangen werden muss. 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 2005. 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 Ta-

bellens 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 0,003 mSv, beim KKG 0,001 mSv, beim KKL 0,003 mSv und beim KKM 0,005 mSv. Die Dosiswerte betragen somit im Jahr 2005 nur einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung. Die errechneten Dosiswerte liegen wie in den Vorjahren auch im Jahr 2005 alle unter 0,01 mSv. Dosiswerte in dieser Grössenordnung gelten gemäss Artikel 5 und Artikel 6 der Strahlenschutzverordnung als gerechtfertigt und optimiert. Im internationalen Vergleich ist jedoch zu erkennen, dass die flüssigen Abgaben der älteren Anlagen der Schweiz deutlich über dem Medianwert der westeuropäischen Siede- und Druckwasserreaktoren liegen und zu den höchsten Radioaktivitätsabgaben im europäischen Vergleich zählen. Die HSK erachtet daher eine Verbesserung dieser Situation als notwendig und stellte im Rahmen der Aufhebung der Befristung der Betriebsbewilligung für den Block 2 des KKB die Auflage, dass das KKB bis im Jahr 2007 seine flüssigen radioaktiven Abgaben auf den Medianwert der europäischen Druckwasserreaktoren senken soll. Zur Erfüllung dieser Auflage hat das KKB im Berichtsjahr eine neue Nanofiltrationsanlage installiert und Ende 2005 den Versuchsbetrieb aufgenommen. Die endgültige Inbetriebnahme soll zu Beginn des Jahres 2007 erfolgen.

Die HSK berücksichtigt bei den Dosisberechnungen die ^{14}C -Abgaben, da diese seit einigen Jahren aufgrund der geringen übrigen Abgaben die Dosis dominieren. Das radioaktive Kohlenstoffisotop ^{14}C entsteht im Reaktor durch Kernreaktionen von Neutronen mit Stickstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff. Die ^{14}C -Abgaben der Kernkraftwerke sind systembedingt begrenzt, weil die Abgaberate primär von der Reaktorleistung abhängig ist. Die Kernkraftwerke haben in den letzten Jahren die ^{14}C -Abgaben gemessen und nachgewiesen, dass die ermittelten ^{14}C -Abgaben mit den Erfahrungswerten aus einer

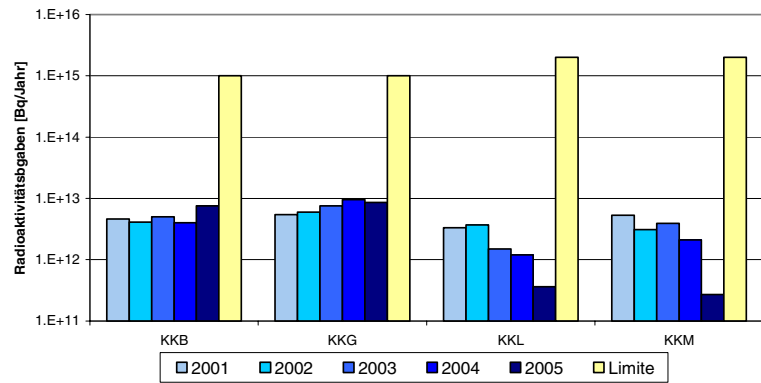
Messkampagne vor etwa zwanzig Jahren und den in der einschlägigen Literatur angegebenen ^{14}C -Abgabewerten für ähnliche Anlagen korrespondieren. Das KKL führt seit längerer Zeit aus eigener Initiative ^{14}C -Messungen durch. Mitte 1998 wurde das System zur Messung von ^{14}C aufgrund der Resultate einer internationalen Vergleichsmessung neu kalibriert, was dazu führte, dass die für Einzelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis seit 1998 etwas höher ist. Das KKG führt seit Ende 2001 Messungen der ^{14}C -Abgaben mit der Abluft durch. Die für Einzelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis der Jahre 2001 bis 2003 wird beim KKG im Nachhinein als um den Faktor 3 zu hoch eingeschätzt, dies aufgrund der Ergebnisse der neuen Kalibrierung der Messapparatur mit zwei diversitären Standards zu Beginn des Jahres 2004. Bei den beiden anderen schweizerischen Kernanlagen konnten die von der HSK ebenfalls verlangten Messkampagnen im Jahr 2005 so weit abgeschlossen werden, dass sich daraus die Jahresabgabewerte hochrechnen lassen. Sie wurden daher ebenfalls für die Ermittlung des jeweiligen Dosisbeitrags von ^{14}C herangezogen.

Das PSI ist aufgrund der Bewilligung für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung verpflichtet, sowohl für die einzelnen Anlagen als auch für die Gesamtanlage des PSI die aus den Abgaben resultierende Dosis in der Umgebung zu berechnen. Beim PSI errechnet die HSK eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von weniger als 0,004 mSv. 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 für das PSI bewilligten Anteils am quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0,15 mSv pro Jahr für den gemeinsamen Standort des PSI und des ZZL liegt.

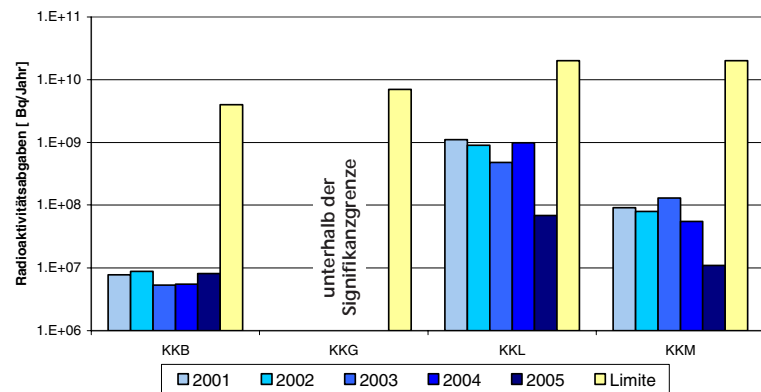
Im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) erfolgten im Berichtsjahr weitere Einlagerungen in die Lagergebäude für hoch- und mittelaktive Abfälle und im Hochregallager der Konditionieranlage. In der Verbrennungsanlage fand im 4. Quartal 2005 eine Verbrennungskampagne statt. Die für das Jahr 2005 bilanzierten Abgaben des ZZL sind in den Tabellen B.1 und B.3a–c zusammengestellt. Die daraus für die Umgebungsbevölkerung resultierenden Dosiswerte lagen weit unter 0,001 mSv und waren daher unbedeutend.

Figur B.1a: Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre in den letzten fünf Jahren (2001–2005) im Vergleich zu den Jahres-Abgabelimiten

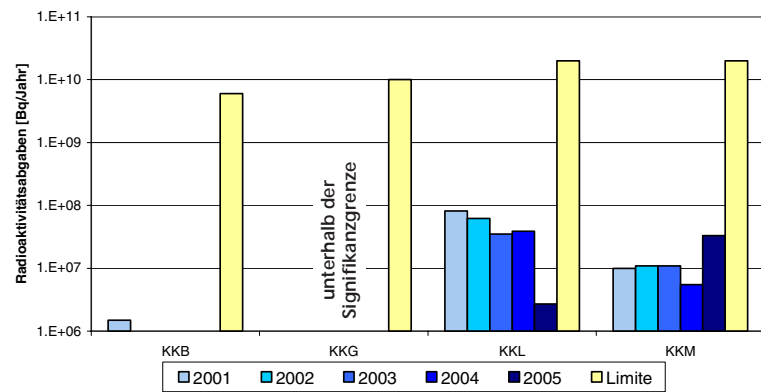
1. Edelgasabgaben mit der Abluft



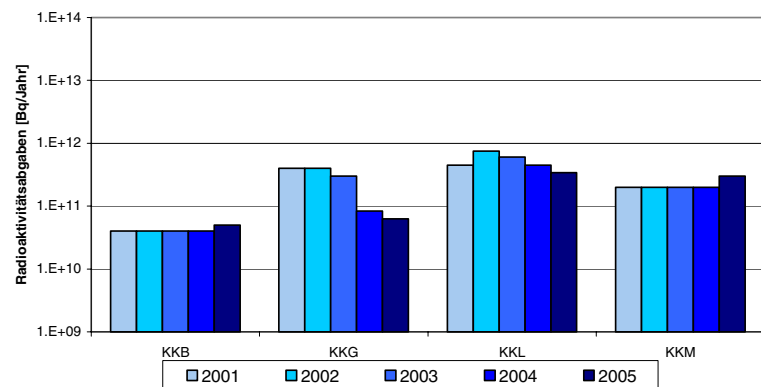
2. Iodabgaben mit der Abluft



3. Aerosolabgaben mit der Abluft

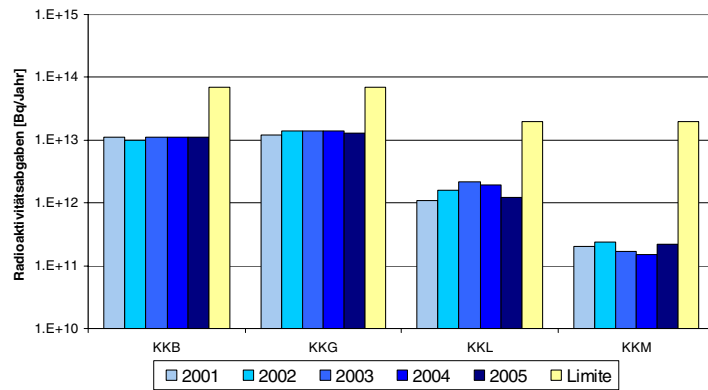


4. Abgabe von Kohlenstoff ¹⁴C mit der Abluft



Figur B.1b: Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke in den letzten fünf Jahren (2001–2005) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten

1. Tritiumabgaben mit dem Abwasser



2. Aktivitätsabgabe mit dem Abwasser (ohne Tritium)

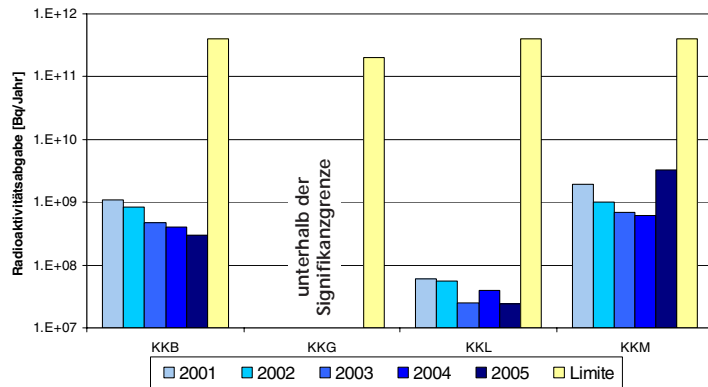


Tabelle B.1: Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2005 für die Kernkraftwerke und das Zentrale Zwischenlager Würenlingen und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung

Ort	Medium	Art der Abgaben ⁴	Limiten ¹ Bq pro Jahr	Tatsächliche Abgaben ^{2,4}			Berechnete Jahresdosis ³	
				Aequivalentabgaben		Bq pro Jahr	Erwachsene mSv/Jahr	Kleinkind mSv/Jahr
Bq pro Jahr	Prozent der Limite	Bq pro Jahr						
KKB1 + KKB2	Abwasser 3'700 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	4·10 ¹¹	-	<0.1%	8.7·10 ⁹	<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	7.5·10 ¹²	0.8%	7.3·10 ¹²	<0.001	<0.001
		Aerosole	6·10 ⁹	-	<0.1%	3.8·10 ⁵	<0.001	<0.001
		lod: ¹³¹ I	4·10 ⁹	8.1·10 ⁶	0.2%	8.1·10 ⁶	<0.001	<0.001
	Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	-	-	-	5.0·10 ¹⁰	0.0015	0.0025	
Dosis total						0.0017	0.0027	
KKM	Abwasser 5'415 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	4·10 ¹¹	3.3·10 ⁹	0.8%	2.6·10 ¹⁰	<0.001	<0.001
		Tritium	2·10 ¹³	2.2·10 ¹¹	1.1%	2.2·10 ¹¹	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	2·10 ¹⁵	-	<0.1%	1.8·10 ¹¹	<0.001	<0.001
		Aerosole	2·10 ¹⁰	3.3·10 ⁷	<0.2%	3.3·10 ⁷	0.0042	0.0036
		lod: ¹³¹ I	2·10 ¹⁰	-	<0.1%	1.1·10 ⁷	<0.001	<0.001
	Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	-	-	-	3·10 ¹¹	0.0011	0.0018	
Dosis total						0.0054	0.0054	
KKG	Abwasser 7'297 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	2·10 ¹¹	-	<0.1%	2.1·10 ⁶	<0.001	<0.001
		Tritium	7·10 ¹³	1.3·10 ¹³	17%	1.3·10 ¹³	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	1·10 ¹⁵	<9·10 ¹²	<0.9%	<7.8·10 ¹²	<0.001	<0.001
		Aerosole	1·10 ¹⁰	-	<0.1%	-	<0.001	<0.001
		lod: ¹³¹ I	7·10 ⁹	-	<0.1%	1.8·10 ⁵	<0.001	<0.001
	Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	-	-	-	6.3·10 ¹⁰	<0.001	<0.001	
Dosis total						<0.001	<0.001	
KKL	Abwasser 13'525 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	4·10 ¹¹	-	<0.1%	1.3·10 ⁸	<0.001	<0.001
		Tritium	2·10 ¹³	1.2·10 ¹²	6%	1.2·10 ¹²	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	2·10 ¹⁵	-	<0.1%	5.9·10 ¹¹	<0.001	<0.001
		Aerosole	2·10 ¹⁰	-	<0.1%	2.7·10 ⁶	<0.001	<0.001
		lod: ¹³¹ I	2·10 ¹⁰	6.8·10 ⁷	0.3%	6.8·10 ⁷	<0.001	<0.001
	Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	-	-	-	3.4·10 ¹¹	0.0018	0.0031	
Dosis total						0.0018	0.0031	
ZZL	Abwasser 276 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	2·10 ¹¹	-	<0.1%	1.7·10 ⁸	<0.001	<0.001
		Tritium	-	-	-	1.2·10 ¹⁰	<0.001	<0.001
	Abluft	β-/γ-Aerosole	1·10 ⁹	-	<0.1%	1.9·10 ⁵	<0.001	<0.001
		α-Aerosole	3·10 ⁷	-	<0.1%	1.6·10 ⁴	<0.001	<0.001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	1·10 ¹²	-	<0.1%	5.2·10 ⁷	<0.001	<0.001
	Tritium	1·10 ¹⁴	-	<0.1%	3.8·10 ⁸	<0.001	<0.001	
Dosis total						<0.001	<0.001	

Tabelle B.2:

Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2005 und der daraus berechneten Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung

	PSI Ost				PSI West			Gesamtanlage des PSI ^{2,4}			
	Hochkamin	SAPHIR, PROTEUS	Forschungs- labor	Betriebs- Gebäude radioaktive Abfälle	Bundes- zwischen- lager	Zentrale Fortluftan- lagen	Injektor II	C-Labor	Abwasser 2975 m ³	Abluft	Äquivalent- abgaben
Abgaben im Abwasser^{2,4} [Bq/a] Nuklidgemisch ohne Tritium Tritium	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	3.6·10 ⁷ 1.1·10 ¹⁰	- -	1.2·10 ⁷ -
Abgaben über die Abluft^{2,4} [Bq/a] Edelgase und andere Gase β/γ-Aerosole ⁴ , ohne Iod α-Aerosole Iod Tritium in H ₂ O Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	2.5·10 ⁹ 5.7·10 ⁵ - 2.3·10 ⁸ 6.2·10 ¹⁰ -	- - - - 8.3·10 ⁸ -	- - - 9.7·10 ⁴ - -	- - - - 6.0·10 ⁸ -	- - - - 3.1·10 ⁹ -	9.2·10 ¹³ 2.8·10 ¹⁰ - 7.9·10 ⁷ 6.1·10 ¹¹ -	5.9·10 ¹⁰ 3.1·10 ⁶ - 2.3·10 ⁴ - -	- - - - - -	- -	9.2·10 ¹³ 2.8·10 ¹⁰ - 3.1·10 ⁸ 6.8·10 ¹¹ -	2.0·10 ¹⁴ - - 2.4·10 ⁸ - -
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für: Erwachsene Kleinkinder	<0.00015 <0.00015	<0.00015 <0.00015	<0.00015 <0.00015	<0.00015 <0.00015	<0.00015 <0.00015	0.0030 0.0031	<0.00015 <0.00015	<0.00015 <0.00015	<0.00015 <0.00015	<0.00015 <0.00015	<0.004 mSv/Jahr <0.004 mSv/Jahr
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert¹	<0.1%	<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, 2005:
Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben

Nuklid β/γ -Strahler	Abgaben ² [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
³ H	1.1·10 ¹³	1.3·10 ¹³	1.2·10 ¹²	2.2·10 ¹¹	1.1·10 ¹⁰	1.2·10 ¹⁰
⁷ Be					2.3·10 ⁴	
²² Na					5.3·10 ⁶	9.8·10 ⁵
²⁴ Na	9.3·10 ⁶					
³⁵ S						
⁵¹ Cr	1.0·10 ⁶			8.1·10 ⁸		
⁵⁴ Mn	2.5·10 ⁷		7.7·10 ⁶	7.8·10 ⁹	2.8·10 ⁶	1.2·10 ⁶
⁵⁶ Mn						
⁵⁹ Fe				1.3·10 ⁷		
⁵⁶ Co						
⁵⁷ Co	3.9·10 ⁷				1.2·10 ⁴	
⁵⁸ Co	7.6·10 ⁹	5.8·10 ⁵	2.3·10 ⁶	2.2·10 ⁹	1.4·10 ⁴	
⁶⁰ Co	4.4·10 ⁸	1.1·10 ⁶	7.9·10 ⁷	1.2·10 ¹⁰	1.5·10 ⁶	1.2·10 ⁷
⁶⁵ Zn	2.6·10 ⁵			9.0·10 ⁸		1.7·10 ⁵
⁸⁵ Sr					9.3·10 ⁴	
⁸⁹ Sr	3.1·10 ⁷			2.7·10 ⁷		
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	7.9·10 ⁶			5.2·10 ⁶	1.9·10 ⁶	9.9·10 ⁵
⁹⁵ Zr	6.4·10 ⁴					
⁹⁷ Zr						
⁹⁵ Nb	3.8·10 ⁶	9.4·10 ⁴				
⁹⁹ Mo						
^{99m} Tc	2.4·10 ⁵			3.9·10 ⁶		
¹⁰³ Ru	3.4·10 ⁴					
^{115m} Cd						
^{110m} Ag	1.3·10 ⁷					9.0·10 ⁴
¹²² Sb	3.9·10 ⁷					
¹²⁴ Sb	1.7·10 ⁸	1.5·10 ⁵		7.7·10 ⁶		1.9·10 ⁴
¹²⁵ Sb	9.9·10 ⁷			2.7·10 ⁷		4.0·10 ⁷
^{123m} Te	1.0·10 ⁶	2.2·10 ⁵				
¹³² Te	1.1·10 ⁶					
¹²⁵ I					3.1·10 ⁶	
¹²⁶ I						
¹³¹ I	1.2·10 ⁷				1.5·10 ⁶	
¹³³ I	3.8·10 ⁶					
¹³⁴ Cs	3.0·10 ⁶		1.0·10 ⁷	9.9·10 ⁶	2.5·10 ⁶	
¹³⁶ Cs						
¹³⁷ Cs	1.5·10 ⁸		1.4·10 ⁷	2.4·10 ⁹	1.5·10 ⁷	1.2·10 ⁸
¹³³ Ba						
¹⁴⁰ Ba						
¹⁴⁰ La						
¹⁴¹ Ce						
¹⁴³ Ce						
¹⁴⁴ Ce						
¹⁵² Eu					2.1·10 ⁴	
¹⁷⁷ Lu					1.3·10 ⁶	
¹⁹² Ir						
²³⁹ Np						
α-Strahler		1.3·10 ⁵	2.8·10 ⁵	2.0·10 ⁵		1.5·10 ⁴
²¹⁰ Po						
^{239/240} Pu	4.7·10 ⁴				5.6·10 ⁵	
²³⁸ Pu/ ²⁴¹ Am	1.0·10 ⁵				2.2·10 ⁵	
²⁴² Cm	3.6·10 ⁴					
^{243/244} Cm	3.9·10 ⁴					

Tabelle B.3b: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, 2005:

Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben, Edelgase und Iod

Nuklid β/γ-Strahler	Abgaben ² [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
Gase, Edelgase						
Tritium ¹¹ C			6.0·10 ¹¹		6.8·10 ¹¹ 1.4·10 ¹³	3.8·10 ⁸
¹⁴ C (CO ₂)	5.0·10 ¹⁰	6.3·10 ¹⁰	3.4·10 ¹¹	3.0·10 ¹¹		5.2·10 ⁷
¹³ N					1.4·10 ¹³	
¹⁵ O					5.8·10 ¹³	
¹⁸ F					4.5·10 ¹¹	
²⁴ Ne					2.9·10 ¹²	
⁴¹ Ar				5.5·10 ⁹	3.2·10 ¹²	
⁷⁵ Kr					7.3·10 ⁹	
⁸⁵ Kr			3.9·10 ⁶			
^{85m} Kr	2.8·10 ¹¹			3.5·10 ¹⁰	9.0·10 ⁹	
⁸⁷ Kr					2.8·10 ¹⁰	
⁸⁸ Kr				1.4·10 ¹⁰	3.7·10 ⁷	
¹²³ Xe					1.6·10 ⁸	
¹²⁷ Xe					5.9·10 ⁷	
^{131m} Xe						
¹³³ Xe	3.3·10 ¹²		4.3·10 ¹⁰	2.5·10 ¹⁰		
^{133m} Xe						
¹³⁵ Xe	3.2·10 ¹²		3.1·10 ¹¹	1.3·10 ¹⁰		
^{135m} Xe			2.4·10 ¹¹	9.4·10 ⁰⁸		
¹³⁷ Xe						
¹³⁸ Xe				7.7·10 ⁰⁹		
EG-Aequiv. ⁴⁾				7.5·10 ¹⁰		
EG: β-total		<7.8·10 ¹²				
Andere	4.9·10 ¹¹					
Iod						
¹²³ I					5.9·10 ⁷	
¹²⁴ I					2.3·10 ⁶	
¹²⁵ I					5.1·10 ⁷	
¹²⁶ I					7.3·10 ⁵	
¹³¹ I	8.1·10 ⁶	1.8·10 ⁵	6.8·10 ⁷	1.1·10 ⁷	2.0·10 ⁸	
¹³³ I	3.5·10 ⁷			2.1·10 ⁷		

Tabelle B.3c: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, 2005:

Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben, Aerosole

Nuklid β/γ -Aerosole	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
⁷ Be						
²² Na					8.5·10 ³	
²⁴ Na					2.5·10 ⁵	
³⁸ S					2.2·10 ⁹	
³⁸ Cl						
³⁹ Cl					5.1·10 ⁹	
⁵¹ Cr						
⁵⁴ Mn				2.1·10 ⁶		
⁵⁷ Co						
⁵⁸ Co	2.3·10 ⁵					
⁶⁰ Co	3.0·10 ³			2.8·10 ⁷	1.6·10 ⁶	1.0·10 ²
⁶⁵ Zn				1.8·10 ⁶		
⁶⁹ Ge					3.4·10 ⁶	
⁷⁵ Se					2.8·10 ⁵	
⁷⁶ Br						
⁷⁷ Br					9.2·10 ⁶	
⁸² Br					6.1·10 ⁸	
⁸⁹ Sr				3.0·10 ⁵		
⁹⁰ Sr				1.4·10 ⁴		
^{99m} Tc					1.0·10 ⁷	
⁹⁵ Zr						
⁹⁵ Nb	4.5·10 ³					
¹⁰⁶ Ru/Rh						
^{108m} Ag						
^{110m} Ag						
¹²³ Te	8.5·10 ²					
^{125m} Te						
¹²⁴ Sb						
¹²⁵ Sb						
¹³¹ I			2.7·10 ⁶	1.7·10 ⁴		
¹³⁴ Cs						
¹³⁷ Cs			3.9·10 ⁴	2.2·10 ⁵	2.2·10 ³	
¹⁴⁰ Ba				5.6·10 ⁵		
¹⁴⁰ La						
¹⁸¹ Re					3.8·10 ⁷	
¹⁸² Re					1.3·10 ⁸	
¹⁸⁸ Re					7.4·10 ⁵	
¹⁸² Os					3.8·10 ⁵	
¹⁸³ Os					1.8·10 ⁸	
^{183m} Os					3.8·10 ⁸	
¹⁸⁵ Os					8.2·10 ⁶	
¹⁹² Au					1.2·10 ¹⁰	
¹⁹³ Au					3.7·10 ⁸	
¹⁹² Hg					2.2·10 ⁹	
^{193m} Hg					3.2·10 ⁸	
¹⁹⁴ Hg						
¹⁹⁵ Hg					1.1·10 ¹⁰	
^{195m} Hg					1.3·10 ⁸	
^{197m} Hg					1.7·10 ⁸	
²⁰³ Hg					7.7·10 ⁶	
Nicht spezifizierte	1.5·10 ⁵					
α-Aerosole	2.1·10 ⁴	4.7·10 ⁴	5.6·10 ⁴	1.0·10 ⁵		1.6·10 ⁴
²¹⁰ Po						

Fussnoten zu den Tabellen B.1 bis B.3

¹ **Abgabelimiten** gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die Abgabelimiten wurden so festgelegt, dass die Jahresdosis für Personen in der Umgebung (vgl. Fussnote 3) für die Kernkraftwerke unter 0,2 mSv/Jahr respektive das Zentrale Zwischenlager in Würenlingen (ZZL) unter 0,05 mSv/Jahr bleibt. Für das Paul Scherrer Institut (PSI) sind die Abgaben gemäss Bewilligung 6/2003 direkt über den quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0,15 mSv/Jahr limitiert.

² Die **Messung der Abgaben** erfolgt nach den Erfordernissen der Reglemente «für die Abgaben radioaktiver Stoffe und die Überwachung von Radioaktivität und Direktstrahlung in der Umgebung des...» jeweiligen Kernkraftwerkes resp. des ZZL oder PSI. Die Messgenauigkeit beträgt ca. $\pm 50\%$. Abgaben unterhalb 0,1% der Jahresabgabelimite werden 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 zirka zehn Stunden akkumuliert wird – werden in der Regel nicht angegeben. Beim PSI wird die Jahresdosis der Gesamtanlage als Summe über die Abgabestellen gebildet.

⁴ Bei der **Art der Abgaben** resp. den **Tatsächlichen Abgaben** ist Folgendes zu präzisieren:

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

Edelgase: Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-CA-Wert von $2 \cdot 10^5$ Bq/m³ angegeben. Die CA-Werte für die Edelgasnuklide sind dem Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Ein CA-Wert von $2 \cdot 10^5$ Bq/m³ entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Immersions-Dosisfaktor 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 dem gegenüber 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 bei allen Werken auf aktuellen Messungen.

1.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen

Die Ortsdosis, respektive die Ortsdosisleistung durch externe Strahlung werden in der Umgebung der Kernanlagen und des PSI mit dem MADUK-Messnetz (siehe Kapitel B.2), und mit Thermolumineszenzdosimetern (TLD) in der Umgebung (siehe Kapitel B.4) sowie am Arealzaun überwacht. Zusätzlich dazu führt die HSK vierteljährlich stichprobenweise Dosisleistungsmessungen am Arealzaun sowie bei Bedarf spezielle Messkampagnen durch. Die Ortsdosisleistung ist im Nahbereich der Siedewasserreaktoren in Mühleberg und in Leibstadt durch Direkt- und Streustrahlung aus dem Maschinenhaus erhöht. Diese Strahlung resultiert aus Zerfällen des kurzlebigen, im Reaktor produzierten Stickstoffnuklids ^{16}N , welches mit dem Dampf aus dem Reaktor in die Turbine im Maschinenhaus getragen wird. Des Weiteren können Abfalllager zu einer erhöhten Ortsdosis am Zaun beitragen. Am Zaun des KKM wurden bei stichprobenweise, vierteljährlich von der HSK durchgeführten Messungen Dosisleistungen zwischen $0,07 \mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und $0,35 \mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Damit ergibt sich unter Berücksichtigung der Betriebszeit am meist exponierten Ort eine Dosiserhöhung von ca. $2,3 \text{ mSv}$ (ohne natürlichen Untergrund). Die vom KKM ausgewerteten Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun ergeben für das Berichtsjahr eine Dosiserhöhung von $1,2 \text{ mSv}$ (ohne natürlichen Untergrund von ca. $0,5 \text{ mSv}$). Am Zaun des KKL wurden bei vierteljährlichen Stichproben der HSK während des Leistungsbetriebes Ortsdosisleistungen zwischen $0,06 \mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und $0,27 \mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes und unter Berücksichtigung der Betriebszeit am meist exponierten Ort einer Dosiser-

höhung von ca. $0,78 \text{ mSv}$ pro Jahr. Der vom KKL im Berichtsjahr ermittelte höchste Nettowert eines Thermolumineszenz-Dosimeters (TLD) am Zaun betrug $0,63 \text{ mSv}$ (ohne natürlichem Untergrund von ca. $0,6 \text{ mSv}$). Die deutliche Abnahme im Vergleich zu den Vorjahren ist einerseits mit dem Stillstand von etwa 5 Monaten im Sommer durch den im April aufgetretenen Generatorschaden, andererseits mit der Zubetonierung der Maschinenhausfenster und der daraus resultierenden, verbesserten Abschirmung zu begründen.

Im Jahr 2005 betrug der höchste, mit Thermolumineszenz-Dosimetern (TLD) am Zaun des Paul Scherrer Instituts (PSI) gemessene Wert $0,74 \text{ mSv}$ (ohne natürlichem Untergrund von ca. $0,6 \text{ mSv}$). Der zugehörige Messpunkt liegt bei der Aktivlagerhalle am PSI-Ost. Dieser Wert korrespondiert recht gut mit dem auf Grund der stichprobenweisen Ortsdosisleistungsmessung der HSK am Zaun des PSI zu erwartenden Dosiswert von $0,7 \text{ mSv}$ (ohne natürlichen Untergrund).

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

Die Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Betriebsareals von 1 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 Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)

2.1 Übersicht

Das MADUK-System (Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke) inklusive der Einrichtungen zur Übernahme von Anlageparametern (ANPA) und Kaminemissionswerten aus den Kernkraftwerken wurde im Laufe des Jahres 1993 aufgebaut und ab Frühling 1994 in den operationellen Betrieb überführt. Da das System die Dosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke ganzjährig rund um die Uhr misst und überwacht, dient es der Beweissicherung für die Behörden und gegenüber der Öffentlichkeit. Ebenso ermöglicht es das Erkennen von Betriebsstörungen und Unfällen, da Erhöhungen gegenüber den natürlichen Dosiswerten in der HSK automatisch angezeigt werden. Bei einem Störfall unterstützt MADUK die HSK Notfallorganisation bei der Bestimmung des betroffenen Gebietes und der Einschätzung der möglichen Massnahmen anhand des integrierten Ausbreitungsprogramms TIS/ADP und durch den schnellen Datenaustausch mit Behörden.

Das MADUK-Netz zur Messung der Dosisleistungen besteht aus insgesamt 57 Immissionsmessstationen in der Umgebung der vier Kernkraftwerke. Die Geiger-Müller-Zählrohre in den Sonden ermitteln die Gamma-Dosisleistung im Messbereich von 10 nSv/h (Niederdosiszählrohr/e) bis 10 Sv/h (Hochdosiszählrohr). Zur Übernahme der Kaminemissionswerte der Kernkraftwerke und deren ANPA-Daten (die wichtigsten Anlagenparameter der Primär- sowie Sekundäranlage) und zur Datenzwischenspeicherung vor Ort werden so genannte Frontendrechner innerhalb der Kernkraftwerke Beznau, Leibstadt und Mühleberg sowie in Olten für das Werk Gösgen eingesetzt. Alle diese Daten werden auf dem Weg zur MADUK-Zentrale über die Messringknoten geleitet. Neben den notwendigen Netzwerkeinrichtungen befinden sich in der MADUK-Zentrale der HSK ein UNIX Servercluster für das Verarbeiten und Archivieren von Daten, ein Alarmerungssystem und ein Backupsystem. Des Weiteren sorgen verschiedene Subsysteme für den Datenaustausch mit den externen Partnern: Nationale Alarmzentrale (NAZ) in Zürich, Kernreaktorfernüberwachung Baden-Württemberg sowie MeteoSchweiz in Zürich. Die Subsysteme beliefern auch die Systeme ADAM und AD-

PIC in der HSK (siehe Figur B.2). Die Darstellung auf der nächsten Seite zeigt die Standorte der Messsonden in der Umgebung der Kernkraftwerke.

Die Daten von MADUK können mittels einer speziellen Software auf bestimmten Windows-Arbeitsplatzrechnern in der HSK, in den Kernkraftwerken und bei der SUeR (Sektion Überwachung Radioaktivität des Bundesamts für Gesundheit) visualisiert werden. Auf der Internetseite www.hsk.ch unter der Rubrik Messen/Messwerte Radioaktivität sind die Stunden- und Tagesmittelwerte aller MADUK-Stationen abrufbar.

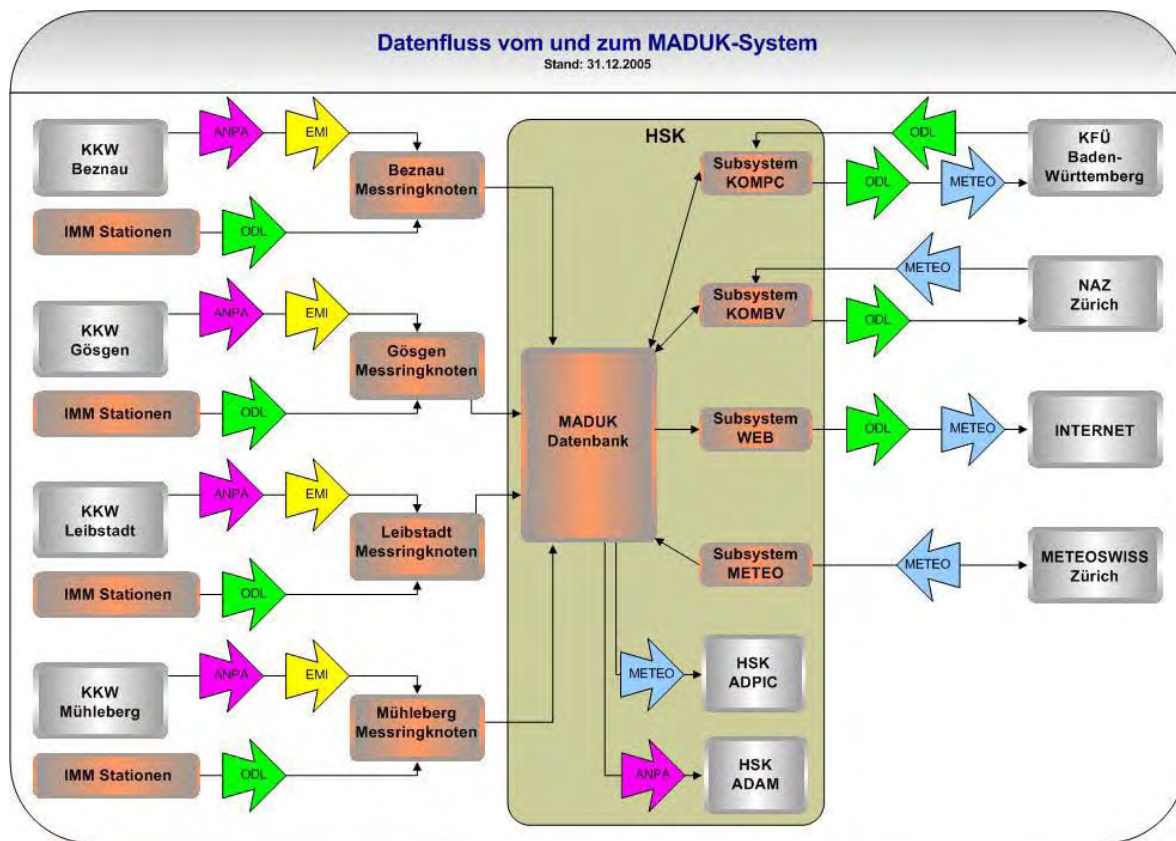
2.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung

In den Jahren 1999–2001 musste das System erstmals an den aktuellen technischen Stand angepasst werden. Weitere Erneuerungen und Ertüchtigungen werden nun seit 2002 jährlich umgesetzt.

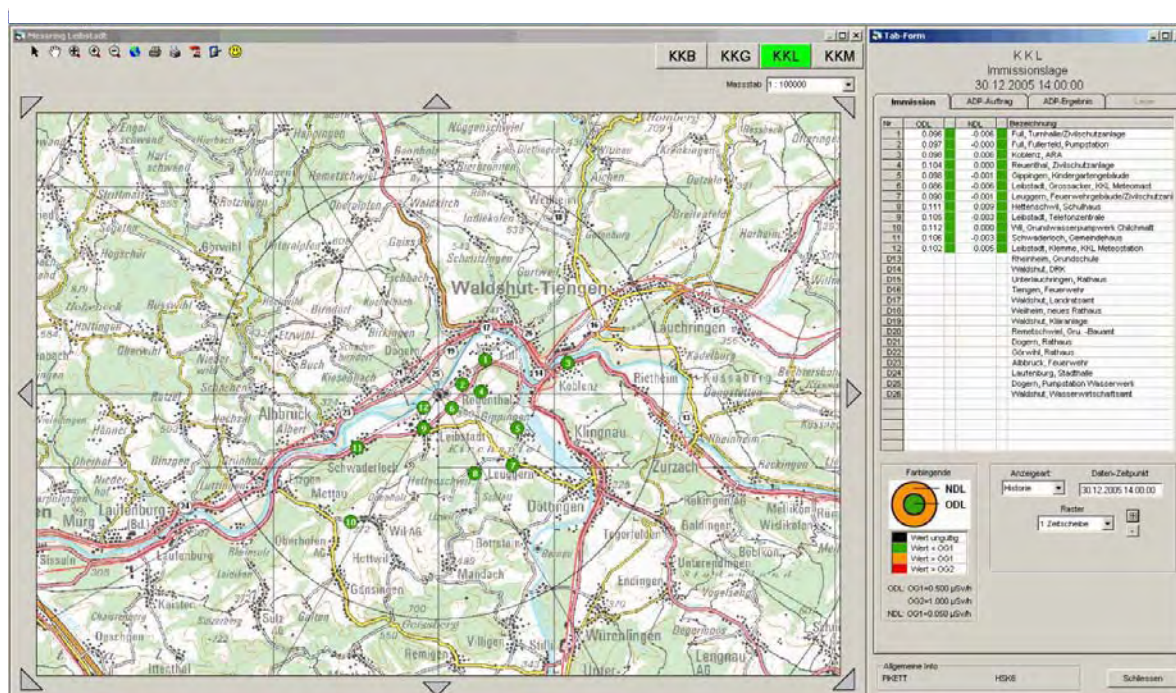
Die Schwerpunkte der Investitionsmassnahmen im Jahr 2005 lagen im Austausch der Messsonden in der Umgebung von KKG mit einem Folgemodell (siehe Kapitel 2.4), in der Entwicklung neuer interaktiver Kartengrafiken als zentrales Arbeitsinstrument für die HSK-Pikett-Ingenieure sowie in der Einbringung nützlicher Werkzeuge für die Systemüberwachung und Administration. Die neuen Kartengrafiken auf Basis einer GIS-Software ermöglichen eine intuitive, Windows-konforme Arbeitsweise (Figur B.3). Neben den gemessenen Dosisleistungen können Ausbreitungsrechnungen mit Standardeingaben durchgeführt und deren Ergebnisse auf den Karten direkt visualisiert werden. Im Bereich Administration des MADUK-Systems wurde ein Software-Modul implementiert, das neue Softwareversionen auf allen oder ausgewählten Arbeitsplatzrechnern nach Knopfdruck automatisch installiert. Die Systemüberwachung wurde ergänzt, so dass in einer Übersicht der Status aller wichtigen Daten, Softwareteile sowie Alarme dargestellt wird. Die Analyse der vorhandenen Störungen kann aus dieser Übersicht direkt abgeleitet werden.

Im Jahr 2005 wurde zusätzlich eine Studie in Auftrag gegeben, die Varianten zur Erneuerung der Kommunikati-

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



Figur B.3: Die neuen Kartengrafiken der MADUK-Software zeigen die Immissionslage im 10-Minuten-Takt: rechts die tabellarischen Angaben zu den Dosisleistungen der Sonden, links die Sondenpositionen auf der Karte. Die Farbgebung erlaubt eine sofortige Erkennung von erhöhten Werten.



onseinrichtungen von MADUK aufzeigen sollte. Die heute benutzten analogen Mietleitungen entsprechen dem Stand der Technik während der Erstinstallation von MADUK in den Jahren 1994 bis 1995. Die Studie bildet die Grundlage zur Entscheidung für eine allfällige Modernisierung des Kommunikationskonzepts.

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: Systemstörungen, die zu wesentlichen Nutzungseinschränkungen des Systems geführt haben, werden als Ausfallzeit in Stunden erfasst.

Im Berichtsjahr lag die Systemverfügbarkeit bei rund 99%. Über die wichtigen Systemstörungen und Betriebsvorkommnisse wird im Folgenden kurz berichtet. Im Bereich allgemeine Hardware mussten je ein Arbeitsplatzrechner in Beznau und in der HSK ausgetauscht werden. Die Messdaten der Stationen 6 und 10 bei Leibstadt, 5 und 7 bei Gösigen sowie die ANPA- und Emissionsdaten aus Gösigen waren während einiger Stunden wegen mehreren, durch Gewitter bedingte Störungen an den Modems nicht verfügbar. Eine Störung des bei MeteoSchweiz stationierten MADUK-Routers produzierte einen Ausfall von einigen Stunden in der Meteodatenlieferung. Ausgefallene Sicherungen führten zu Unterbrechungen in der Datenerfassung der Sonde 4 bei Leibstadt und der Sonde 1 bei Mühleberg. Infolge geplanter Holzschlagarbeiten am Standort wurde die Station 10 bei Beznau für anderthalb Tage ausser Betrieb genommen. Im Bereich zentrale Software litt der Erfassungstreiber für die neuen Messsonden in den Umgebungen von Gösigen und Mühleberg anfänglich unter verschiedenen Störungen, die teilweise zu mehrstündigen Ausfällen führten. Durch Softwareänderungen konnte wieder ein stabiler Betrieb etabliert werden. Die Datenbank verzeichnete zwei Abstürze. Das Problem lag im schlechten Zusammenspiel der Speicherverwaltung der Ingres-Datenbank und der vom UNIX Kernel zur Verfügung gestellten, zu knappen Ressourcen. Unstimmigkeiten in der Software für die Übernahme von ANPA- und Emissionsdaten verursachten Ausfälle von einigen Stunden und wurden durch Anpassungen behoben.

2.4 Erneuerung der IMM-Stationen im Messring Gösigen

Nachdem die Messsonden um Mühleberg während des Jahres 2004 ausgetauscht wurden, sah das Erneuerungsprogramm als zweiten Schritt vor, die Stationen bei Gösigen im Jahr 2005 zu erneuern. Der neue Sondentyp weist im Vergleich zum alten Modell aus Redundanzgründen zwei Niederdosiszählrohre auf. Solange beide Geiger-Müller-Zählrohre funktionstüchtig sind, führt dies auch zu einem geringeren Schwankungsbereich der Messwerte.

Nach der Eichung erfolgten im Zeitraum vom 1. Juni bis zum 4. Juli 2005 die geplanten Umbauarbeiten. Sie umfassten den kompletten Ersatz der Elektronik wie Mutterplatine, Prozessorkarte und Speisegerät in der Messstation sowie den Austausch der Messsonde selbst. Aufgrund der grösseren Dimension der neuen Sonde wurde auch das Standrohr ersetzt, um den Messpunkt auf der Höhe von 1 m über Grund halten zu können. Die bestehenden Modems wurden in die neuen Messstationen übernommen. Die Hardwareumbauten an den Messstationen liefen ohne Probleme, sodass die Arbeiten wie geplant durchgeführt und abgeschlossen werden konnten.

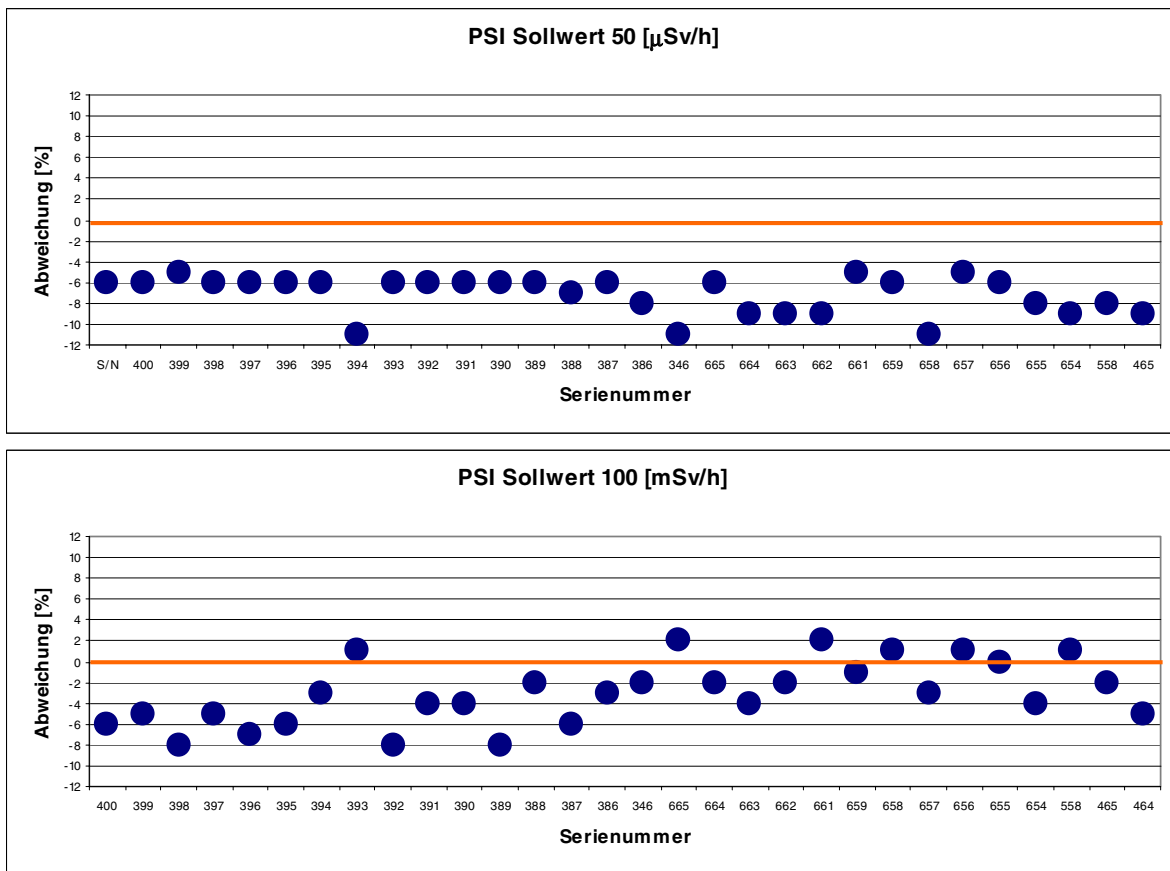
Im Bereich der ortsspezifischen Parameter (siehe Kapitel 4) bestand bei den neuen Sonden kein Änderungsbedarf. Diese Parameter vermitteln standortspezifisch die natürliche Untergrundaktivität für jeden Messort. Aus der Analyse der Messwerte vor und nach dem Austausch konnte geschlossen werden, dass die gemessenen Ortsdosisleistungen gut innerhalb eines Schwankungsbereichs von $\pm 10\%$ liegen.

2.5 Qualitätssicherung

Die Aufgaben im Bereich der Qualitätssicherung basieren auf dem Qualitätsmanagementsystem der HSK und dem darauf gestützten Betriebshandbuch MADUK. Dadurch ist gewährleistet, dass alle Aufgaben im Zusammenhang mit dem Betrieb, der Wartung und der Instandhaltung/Erneuerung qualitätsgestützt und nachvollziehbar bearbeitet werden. Die wesentlichen qualitätssichernden Massnahmen werden im Folgenden beschrieben.

In Anlehnung an die «Empfehlungen zur Sicherstellung der Messdatenqualität von Umgebungsdosimetriesystemen» der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität vom 24.

Figur B.4: Die Grafik zeigt die Abweichungen der einzelnen Sonden bei der Eichung mit Sollwerten von 50 $\mu\text{Sv/h}$ (oben) und 100 mSv/h (unten). Die Abweichungen liegen alle unter der von der METAS für eine Eichung vorgeschriebenen Maximalabweichung von $\pm 20\%$.



November 2004 wurde entschieden, die MADUK-Sonden vor der Installation im Labor zu eichen. Die Sonden in der Umgebung von Mühleberg, die sich seit Mai 2004 im Feld befanden, wurden demontiert und im akkreditierten Labor des PSI geeicht. Ebenfalls wurden die neuen Sonden bei Gösgen vor der Installation einer Eichung unterzogen (Figur B.4). Die Eichung hat eine dreijährige Gültigkeit. Das Messverhalten der Sonden wird weiter mittels der halbjährlichen Genauigkeitstests verfolgt. Bei den Genauigkeitstests werden mittels einer Prüfquelle die Resultate des Niederdosis- und des Hochdosis-Zählrohres überprüft. Mit einer 460 kBq ^{137}Cs -Quelle werden erhöhte Werte bei jeder Sonde während etwa einer Stunde produziert und in einer späteren Analyse mit Referenzwerten verglichen. Gleichzeitig wird diese Sondenfunktionskontrolle auch für die Überprüfung der Datenübermittlung, der korrekten Archivierung im MADUK-Datenarchiv sowie der Alarmauslösung gemäss den festgelegten Schwellwerten benutzt. Im Jahr 2005 wurden zwei solcher Funktionskontrollen durchgeführt. Im ersten Semester wurden nur die Son-

den bei Beznau und Leibstadt geprüft, weil der Austausch der Sonden bei Gösgen bereits für Juni geplant war und die im Jahr 2004 erneuerten Sonden bei Mühleberg im März 2005 geeicht worden waren. Bei den Funktionskontrollen im Herbst deuteten die Resultate der Sonde 4 bei Mühleberg und der Sonde 11 bei Gösgen auf ein Fehlverhalten hin. Beide Sonden werden intensiv beobachtet und speziell für die nächste Kontrollkampagne vorgemerkt. Da die Alarmierungskette des Systems nicht immer korrekt funktionierte, wurde der Archivierungstreiber, der automatisch die Verletzung von Schwellwerten prüft, angepasst. Weitere qualitätssichernde Massnahmen sind In-situ-Messungen mittels Gammaskopmetrie im Feld. Mit Hilfe eines Germanium-Detektors wird die emittierte Gammastrahlung von natürlichen und künstlichen Nukliden gemessen, welche in einem begrenzten Radius um den Detektor auf und im Boden abgelagert wurden oder im Boden natürlicherweise vorkommen. Der Abstand Detektor – Boden beträgt 1 m. Gemäss Planung wird pro Jahr abwechslungsweise in der Umgebung

zweier Kernkraftwerke gemessen. Im September 2005 wurde eine Messkampagne mit 24 In-situ-Messungen an den MADUK Stationen bei Gösgen und Leibstadt durchgeführt. Dabei lag das Messergebnis bei der Station 8 des Messrings Leibstadt (Hettenschwil, Schulhaus) ausserhalb der festgelegten Bandbreiten für ^{137}Cs , die aus Messungen der Vorjahre abgeleitet werden. Die Cäsium-Aktivität hat an diesem Standort stärker abgenommen als erwartet, wobei der tiefere Wert nicht schlüssig begründet werden konnte.

Die Daten der Meteotürme an den Kernkraftwerkstandorten erreichen das MADUK-System redundant auf zwei getrennten Wegen: Einerseits kommen die Werte direkt von der MeteoSchweiz in Zürich und werden von MADUK plausibilisiert, andererseits werden bereits plausibilisierte Werte von der NAZ übermittelt. Die wiederkehrende Prüfung auf Übereinstimmung zeigte keine Abweichungen.

Die Kernkraftwerke übermitteln nur im Anforderungsfall bzw. bei einem Störfall Daten aus ihren Anlagen. Mit jedem Kernkraftwerk wurden die vorgesehenen Echt-

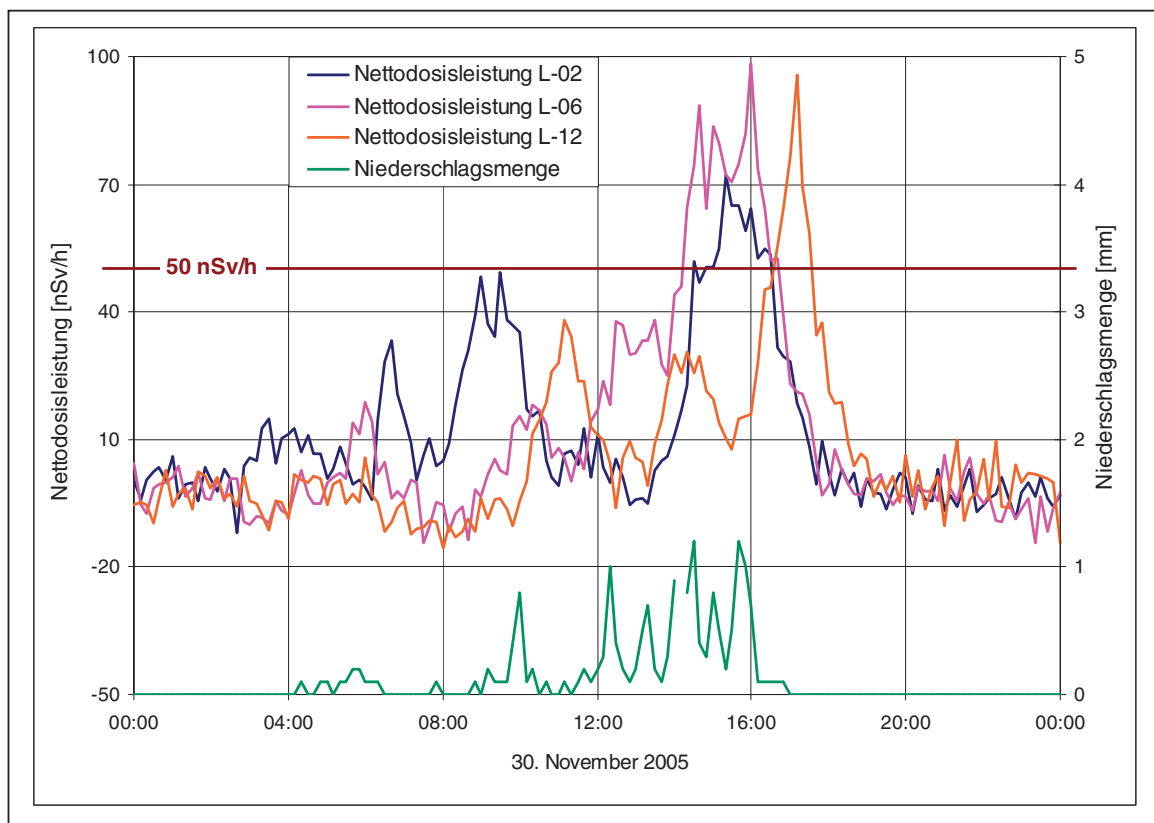
datenzuschaltungen der ANPA-Daten zwecks Überprüfung der Datenübermittlung und korrekter Archivierung im MADUK-Archiv vorgenommen. Ausserdem erfolgten weitere Testzuschaltungen mit Leibstadt, das neu während Notfallübungen Daten aus dem werkeigenen Simulator an MADUK übermitteln kann. Die Datenübernahmen verliefen zufriedenstellend.

2.6 Messergebnisse

Erhöhte Ortsdosisleistungswerte, die auf Abgaben der Kernkraftwerke zurückzuführen waren, wurden keine festgestellt. In Rahmen der jährlichen Überprüfungskampagne bei den NADAM-Sonden wurden bei den Meteotürmen und beim Personalrestaurant des PSI durch die dort positionierten MADUK-Stationen jeweils für eine halbe Stunde erhöhte Werte registriert:

- Bei der IMM-Station 11 des Messrings Beznau betrug der Maximalwert 3679 nSv/h,
- bei der IMM-Station 7 des Messrings Gösgen 1306 nSv/h,

Figur B.5: Erhöhte Dosisleistung bei den IMM-Stationen 2, 6 und 12 in der Umgebung von Leibstadt infolge eines starken Washout. Bei den im 10-Minuten-Takt erfassten Messwerten ist, je nach Art und Intensität des Niederschlages sowie weiteren Einflüssen, eine Korrelation zwischen Niederschlag und erhöhter Ortsdosisleistung meist gut erkennbar.



- bei der IMM-Station 6 des Messrings Leibstadt 488 nSv/h,
- bei der IMM-Station 3 des Messrings Mühleberg 300 nSv/h.

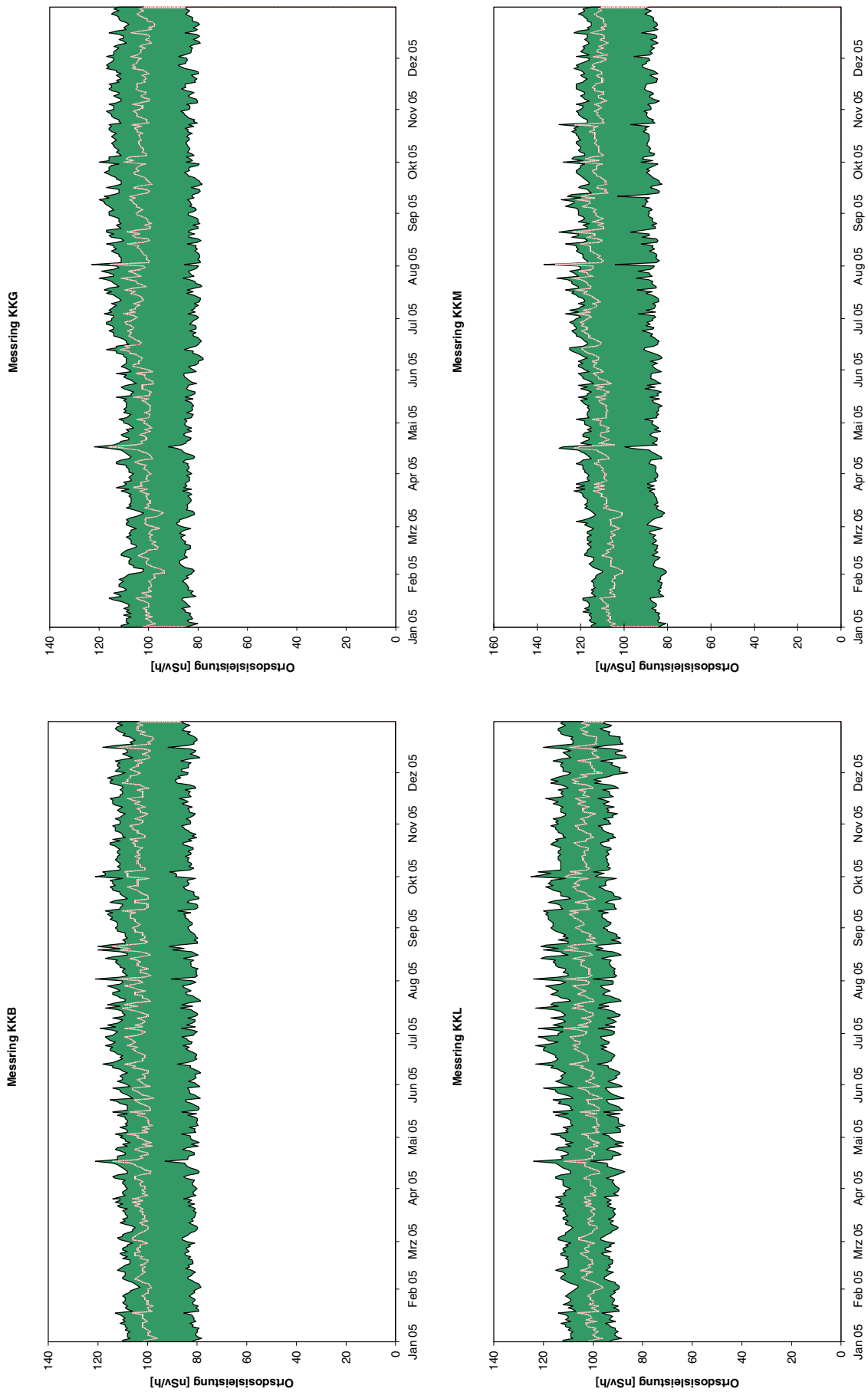
Ein hoher lokaler Washout führte am 24. Juni 2005 bei der Station 10 des Messrings Leibstadt (Wil, Pumpwerk Chilchmatt) zu einer 20-minütigen Überschreitung des auf 50 nSv/h gesetzten Schwellwertes für die Nettodosisleistung mit einer maximalen Nettodosisleistung von 54 nSv/h. Bei derselben Messstation wurde am 6. September 2005 um 2:30 Uhr der Schwellwert mit 54 nSv/h erneut überschritten. Die Regenmesser bei den Meteomasten von KKB und KKL zeigten keinen Niederschlag. Der Signalverlauf der Sonde 10 war jedoch typisch für einen hohen lokalen Washout-Effekt. Zur Zeit der Erhöhung befand sich die Sonde weder im meteorologischen Ausbreitungsgebiet vom Werk Leibstadt noch in dem von Beznau. Am 30. November ab 14:00 Uhr wurde eine fast zweistündige Überschreitung des auf 50 nSv/h gesetzten Schwellwertes für die Nettodosisleistung bei den Messstationen 2 (Full, KKL-Messstation), 6 (Leibstadt, Meteomast KKL) und 12 (Leibstadt, Klemme KKL-Meteostation) aufgezeichnet (Figur B.5). Als maximale Werte der Nettodosisleistung wurden

72 nSv/h bei der Sonde 2, 98 nSv/h bei der Sonde 6 und 96 nSv/h bei der Sonde 12 gemessen. Rückfragen beim KKL ergaben, dass keine Abgabe erfolgte und dass es zu dieser Zeit heftig schneite. Zudem lagen nicht alle Sonden in dem vom Wind überstrichenen Gebiet. Dies lässt vermuten, dass die Erhöhungen auf Washout-Effekte von natürlichen Radioisotopen in der Atmosphäre zurückzuführen sind. Das schnelle Abklingen deutet auf sehr kurzlebige Radioisotope hin, die z.B. auch in der Radonzerfallsreihe zu finden sind.

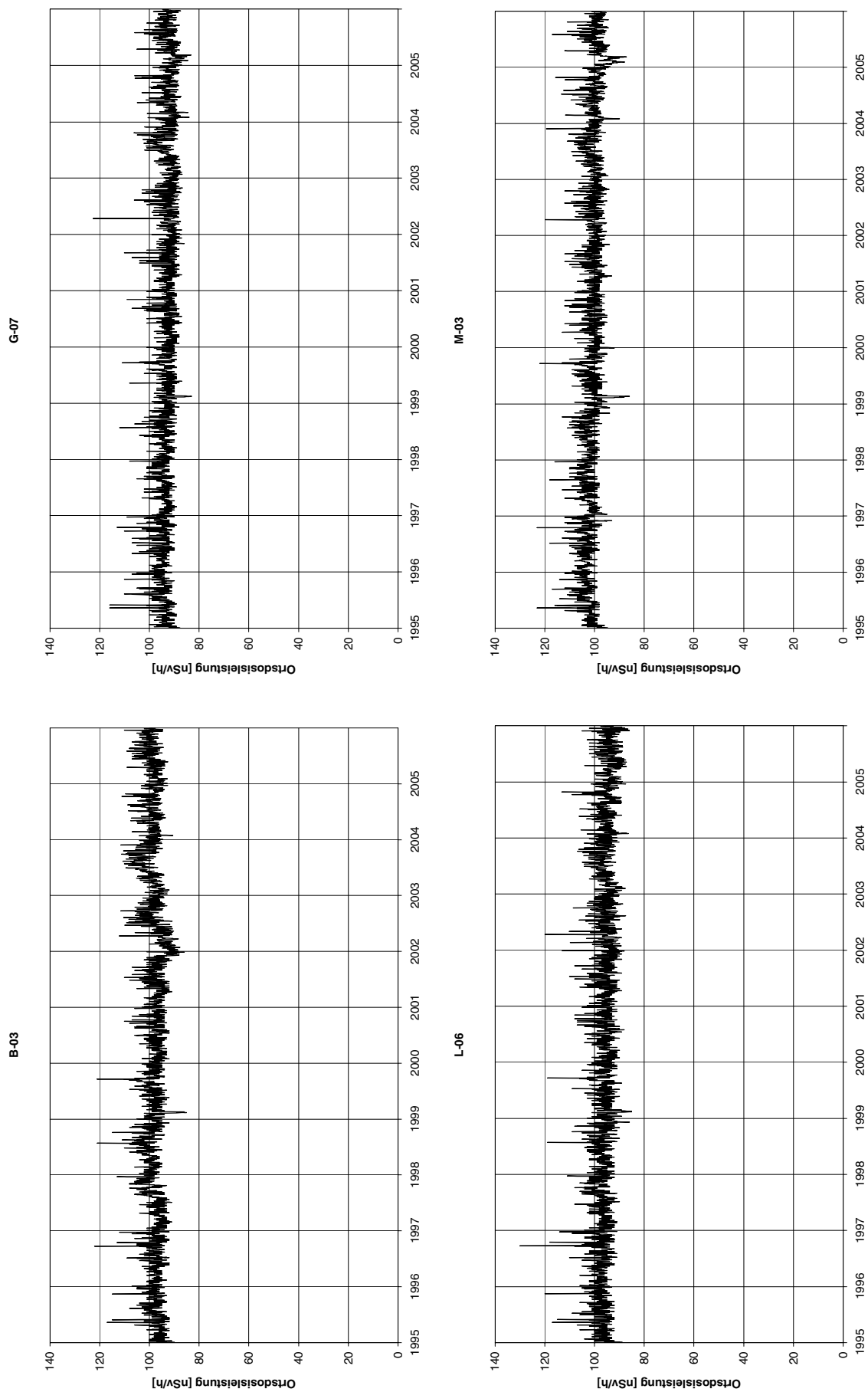
Erhöhte Ortsdosisleistungswerte, die auf Abgaben der Kernkraftwerke zurückzuführen wären, wurden keine festgestellt. Die Figur B.6 zeigt die maximalen, minimalen und gemittelten Tagesmittelwerte in den Umgebungen der Kernkraftwerke für das Berichtsjahr. Die Werte liegen im normalen Schwankungsbereich. Ein mehrjähriger Zeitverlauf bei ausgewählten Sonden ist in Figur B.7 dargestellt.

Aus den Grafiken B.8 bis B.11 sind die Verteilung von Windrichtung und Geschwindigkeit für jeden Kernkraftwerkstandort ersichtlich. Die Werte beziehen sich auf die Erfassungshöhe von 110 m bzw. auf 70 m für Beznau.

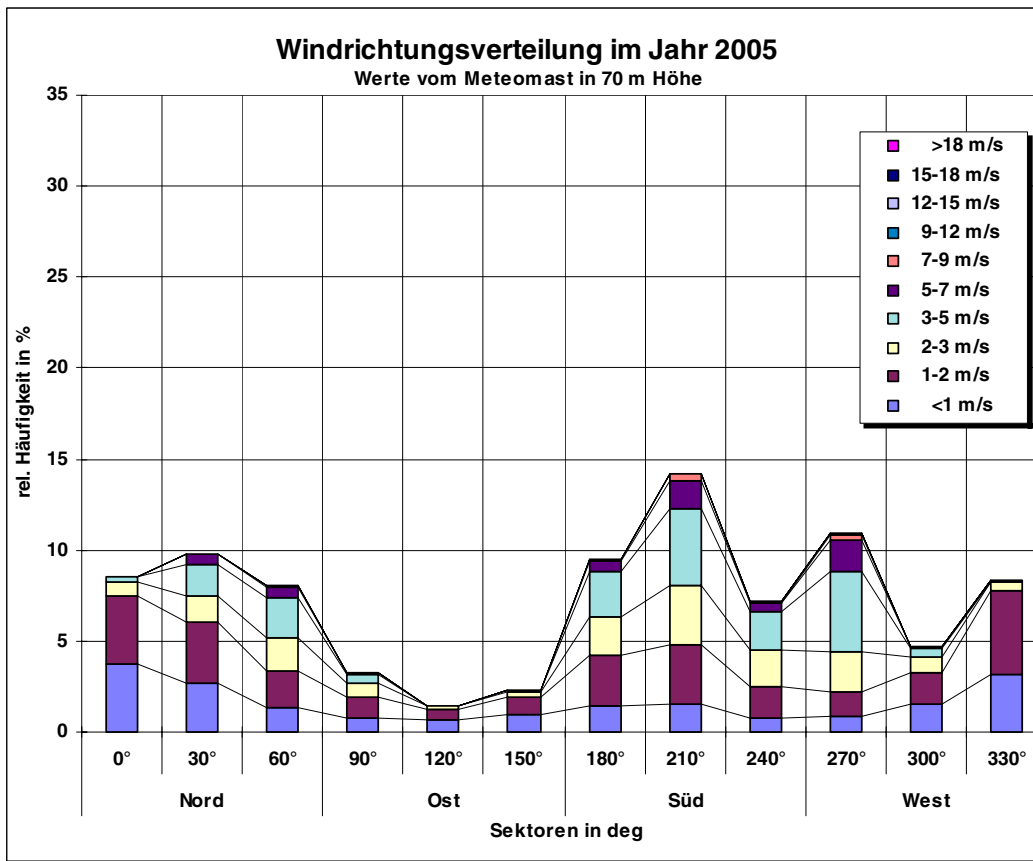
Figur B.6: Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKB, KKG, KKL, KKM



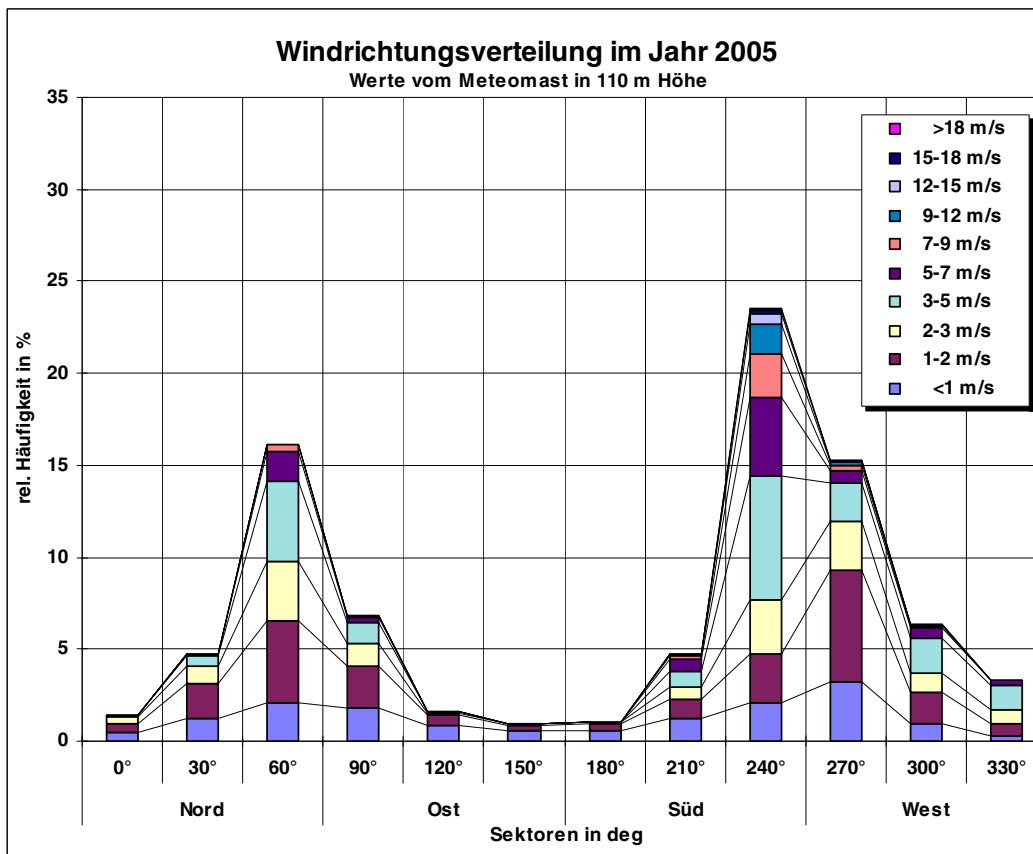
Figur B.7: Tagesmittelwerte für ausgewählte Sonden (an den Meteotürmen) für die Jahre 1995–2005



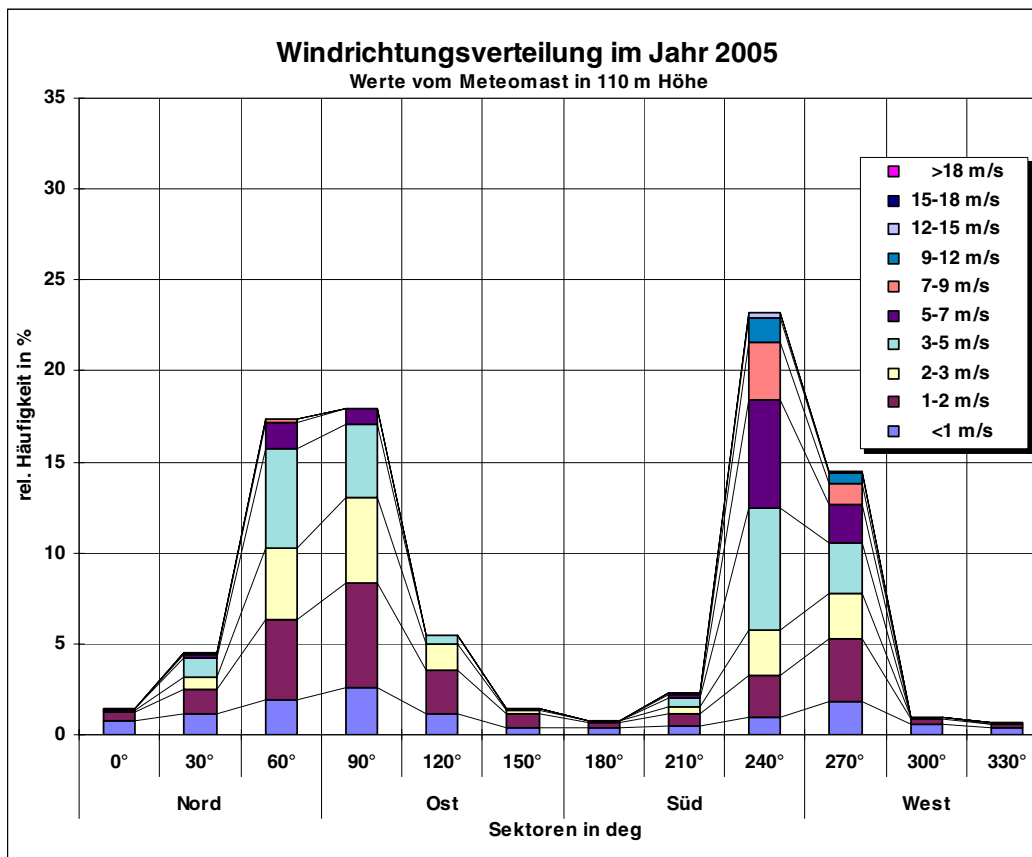
Figur B.8: Ausbreitungsklassen- und Windverteilung am Standort Beznau



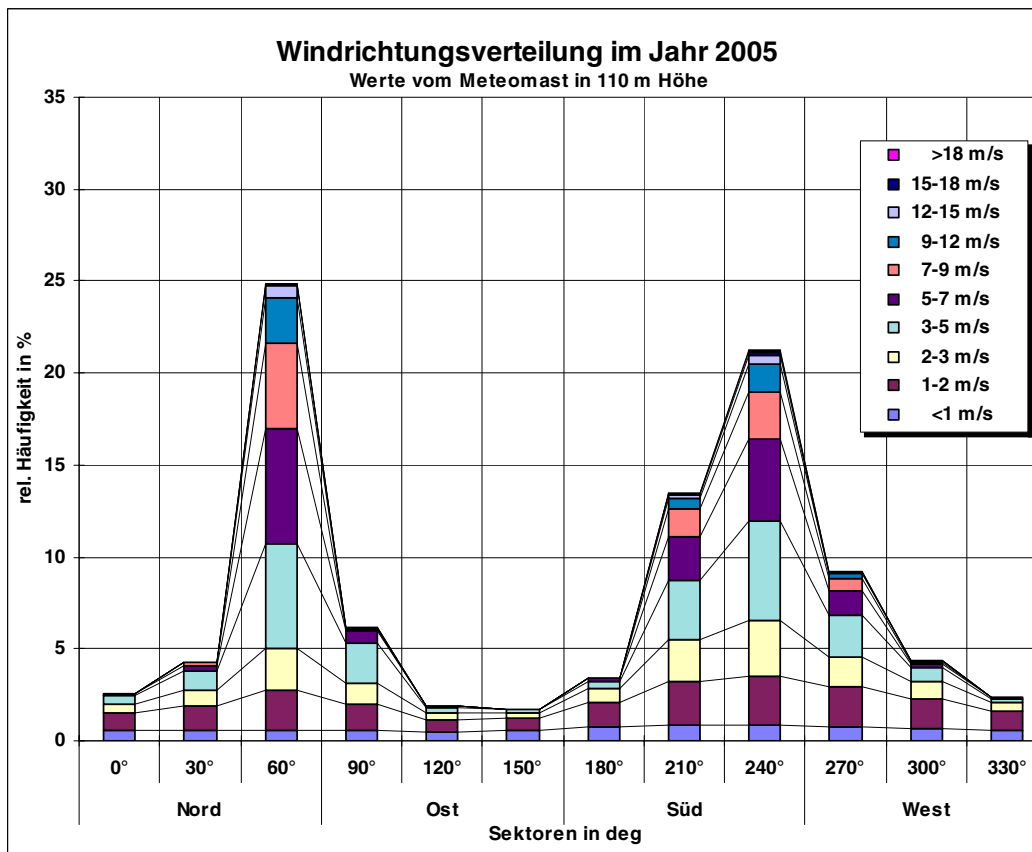
Figur B.9: Ausbreitungsklassen- und Windverteilung am Standort Gösgen



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



Figur B.11: Ausbreitungsklassen- und Windverteilung am Standort Mühleberg



3. Atmosphärische Ausbreitung

3.1 Kompetenzzentrum Ausbreitung

Die HSK führt im Rahmen ihrer gesetzlichen Aufgaben Berechnungen zur Ausbreitung von Radioaktivität in der Umgebung durch. Es handelt sich dabei um

- Berechnungen für die Auslegung,
- Berechnungen für den Normalbetrieb,
- Berechnungen im Ereignisfall.

Im Rahmen der internationalen Vernehmlassung zu den «supporting documents» für eine Revision der ICRP-Empfehlung 60 wurde eine Stellungnahme zum Dokument «Assessing Dose of the representative Individual for the Purpose of Radiation Protection of the Public» zuhanden der ICRP verfasst.

Gemäss der Strategieplanung der HSK zur Überarbeitung des Regelwerkes steht innerhalb der nächsten beiden Jahre auch eine Revision der HSK-Richtlinie R-41 (neu G-14) «Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen» an. Das Kompetenzzentrum hat hier Vorstudien zum Umfang dieser Revision durchgeführt und ein diesbezügliches Projekt in die Wege geleitet.

3.2 Modellberechnungen im Ereignisfall

Die Organisation, die Zuständigkeiten und der Einsatz der Organe des Bundes bei einem Ereignis in einer Kernanlage mit bevorstehender oder bereits erfolgter Freisetzung von radioaktiven Stoffen sind in der Verordnung über die Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität (VEOR) [1] geregelt. 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 (Zonen 1 und 2) verantwortlich.

Die Aufgaben der HSK betreffend die Erstellung von Modellrechnungen im Ereignisfall sind in der VEOR Art. 18 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 für die Abschätzung von deren radiologischen Konsequenzen zuständig. Die HSK berät zudem

die NAZ über die Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung.

Die Eidgenössische Kommission für ABC-Schutz (KomABC), als verantwortliche Stelle für die Vorbereitungen auf einen Einsatzfall, hat in ihrem Konzept hinsichtlich atmosphärischer Ausbreitungsrechnungen bei Unfällen in Kernanlagen [2] die heute vorhandenen Mittel beurteilt und die Anforderungen an die Resultate der Berechnungen sowie die Verfügbarkeit und den Einsatz der benötigten Modelle festgelegt. Da die Anforderungen der Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität nicht durch ein einziges Ausbreitungsmodell erfüllt werden können, sind spezifische Modelle für den lokalen (Zonen 1 und 2), den regionalen (Zone 3 und grenznahe Ausland) und den grossräumigen (fernes Ausland) Bereich notwendig. Die Zuständigkeiten für die benötigten Modelle sind auf die HSK, die NAZ und die Meteo-Schweiz aufgeteilt.

Die Beurteilung der radiologischen Gefährdung bildet die Grundlage für die Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung. 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 mögliche Gefährdung muss vielmehr mittels Modellrechnungen aufgrund der aktuellen Situation in der Anlage und der vorherrschenden Wetterbedingungen in der Umgebung abgeschätzt werden. Modellrechnungen dienen insbesondere dazu, das potenziell gefährdete Gebiet abzugrenzen, die notwendigen Schutzmassnahmen festzulegen und die Messstrategie zu optimieren.

3.3 Projekt CN-MET

Die dreidimensionale Darstellung der Atmosphäre und ihrer Entwicklung (Dynamik) ist ein wichtiges Element, um den Transport und die Diffusion einer kontaminierten Luftmasse zu berechnen. Dazu integrieren numerische Wettervorhersagemodelle die vorhandenen Messungen und liefern meteorologische Informationen auf lokaler Ebene. Mit modernsten Methoden («Remote Sensing») können heute die Wind- und Temperaturprofile bis ca. 4 km über Boden genau erfasst werden. Diese Messungen verbessern die zeitliche Verfolgung

des Zustandes der Atmosphäre bei einem radiologischen Störfall und sind damit eine optimale Informationsquelle für numerische Modelle.

Im Rahmen des Projektes SwissMetNet erneuert die MeteoSchweiz in den nächsten Jahren ihre meteorologischen Bodenmessnetze. Gegenwärtig ist jede Kernanlage mit einem Messturm ausgerüstet, der mit verschiedenen Gebern die bei einem Störfall für Ausbreitungsrechnungen benötigten Informationen liefert. Anlässlich der Erneuerung der meteorologischen Messstationen an den Standorten der Kernanlagen wurde evaluiert, ob und unter welchen Bedingungen die bis zu 110 m hohen Messtürme durch so genannte Profiler für Wind und Temperatur ersetzt werden können. Mit Hilfe der Profiler können atmosphärische Daten auf Distanz (z.B. durch Radar) von einer einzelnen Bodenstation erfasst werden.

Das von MeteoSchweiz vorgeschlagene Projekt CN-MET (Centrales Nucléaires et Météorologie) integriert die Entwicklung eines feinmaschigen Modells mit einer Maschenweite von 2 Kilometern. Es basiert auf dem aktuellen Prognosemodell mit 7 Kilometern Maschenweite und einem darauf angepassten meteorologischen Messnetz, das Messungen am Boden mit Messungen in der planetaren Grenzschicht kombiniert. Das Projekt zielt mit der Erneuerung der Messnetze und der Prognosemodelle auf die Erstellung von qualitativ hochwertigen meteorologischen Informationen, um auch den Schutz der Bevölkerung bei einem radiologischen Störfall in einer Kernanlage zu verbessern.

Aktueller Stand

Die HSK strebt zusammen mit der MeteoSchweiz die Ablösung der bestehenden meteorologischen Messungen bei den Kernanlagen durch das Projekt CN-MET an. Eine entsprechende Vereinbarung zwischen der HSK und der MeteoSchweiz wurde Ende 2005 unterzeichnet [3].

Als Ersatz für die Messtürme an den Standorten der Kernanlagen ist folgendes Messnetz vorgesehen:

- Drei Installationen zur Messung von Wind- und Temperaturprofilen in der planetaren Grenzschicht, positioniert am windzugewandten und am windabgewandten Rand des Schweizer Mittellands (Payerne und Schaffhausen) sowie im Zentrum des Schweizer Mittellands (Wynau) und ergänzt durch eine vierte Installation für die Windmessung der untersten hundert Meter über dem Boden am Standort Leibstadt.
- Vier Grundsichtstationen SwissMetNet zur Ergän-

zung der Messungen von Wind und Temperatur in der planetaren Grenzschicht durch punktuelle Informationen und integriert ins Messnetz von MeteoSchweiz (Stockeren, Bantiger, Chrischona, Uetliberg).

- Eine meteorologische Bodenmessstation des Typs SwissMetNet bei jeder Kernanlage, zusätzlich ausgerüstet mit Sonic Anemometern zur Ermittlung der Turbulenzparameter in Bodennähe.

Zudem ist die Entwicklung des feinmaschigen numerischen Modells aLMO/2 mit folgenden Vorgaben vorgesehen:

- Die direkte Assimilation der Messungen des neuen Messnetzes als Initialwerte für ein komplettes und konsistentes Bild des Zustandes der Atmosphäre und deren Entwicklung.
- Alle drei Stunden wird eine Vorhersage für die nächsten 18 Stunden durchgeführt, die eine zeitliche Auflösung von 30 Minuten aufweist. Die räumliche Auflösung beträgt ca. 2 km.
- Im Ereignisfall ist eine spezielle «Emergency-On-Demand»-Option vorgesehen, mit der spätestens 30 Minuten nach Anforderung bei der MeteoSchweiz die Prognoserechnungen mit einer Vorhersagezeit von 6 Stunden in einem 1-Stunden-Takt durchgeführt werden.
- Berechnung der für die Ausbreitungsrechnungen der HSK benötigten meteorologischen Parameter.

Die Qualitätssicherung des feinmaschigen numerischen Modells aLMO/2 ist eng gekoppelt mit der Echtzeit-Assimilation der im Rahmen von CN-MET vorgesehenen Messdaten der Bodenstationen und der «Remote Sensing»-Systeme. Nur so können die Entwicklung der Atmosphäre bis in ausreichende Höhen (planetare Grenzschicht) sowie die Wind- und Temperaturfelder über dem schweizerischen Plateau kohärent beschrieben werden.

3.4 Atmosphärisches Ausbreitungsmodell ADPIC/WINDBANK

Im Ereignisfall ist vorgesehen, dass eine erste rasche Abschätzung der radiologischen Auswirkungen durch das in MADUK integrierte Ausbreitungs- und Dosisprogramm TIS/ADP erfolgt. Als Ergänzung dazu wird das wesentlich komplexere atmosphärische Ausbreitungsmodell ADPIC (Atmospheric Diffusion Particle-In-Cell Model), welches Topographie 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 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 aufgrund von Tracer-Experimenten im Raum Gösigen. Für einen operationellen Einsatz des Modells in der Schweiz waren umfangreiche Anpassungen notwendig, insbesondere bezüglich On-line-Meteorodaten-Erfassung, dreidimensionale Windfelddaten und Visualisierung der Ergebnisse.

Die aus den bisherigen WINDBANK-Projekten [4–7] 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 aufgrund von gemessenen Meteorodaten bzw. aufgrund von Prognose-Meteorodaten der Meteo-Schweiz.

Aktueller Stand

Im Berichtsjahr wurde ein zusammenfassender WINDBANK-Schlussbericht [7] erstellt. Die im Rahmen einer Aktualisierung erarbeiteten Methoden und Windfeldklassen wurden schrittweise in das operationelle ADPIC/WINDBANK-System der HSK implementiert. Weiter wurden routinemässige Unterhaltsarbeiten sowie Anpassungen und Verbesserungen am Modul für die Übernahme der meteorologischen Daten durchgeführt.

Das ADPIC/WINDBANK-System ist heute hinsichtlich Meteorologie für diagnostische und prognostische Berechnungen für alle Kernanlagen operationell:

- Routinemässige Berechnungen mit einer Einheitsquelle (1 Bq/s Cs-137) werden automatisch rund um die Uhr im Stundentakt und für drei verschiedene Freisetzungshöhen durchgeführt.
- Im Ereignisfall (und bei Übungen) sind störfallspezifische Berechnungen spätestens innerhalb einer Stunde nach der Einsatzbereitschaft der HSK-Notfallorganisation zu erwarten.

Der Hauptzweck der *Routineberechnungen* ist die Sicherstellung der dauernden Verfügbarkeit des Systems und die Überwachung der aktuellen Ausbreitungssituation (Diagnose und kurzfristige Prognose). Zudem kön-

nen 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 durchzuführende Messungen oder zu ergreifende Massnahmen entscheiden zu können. Nach dem Wolkendurchzug ist die Beurteilung der tatsächlichen Gefährdung der Bevölkerung aufgrund der während der Wolkenphase erhaltenen Dosen und der noch zu erwartenden Dosen infolge Deposition wichtig. Zudem unterstützen die Modellberechnungen die 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.

Beispiele von WINDBANK-Ergebnissen

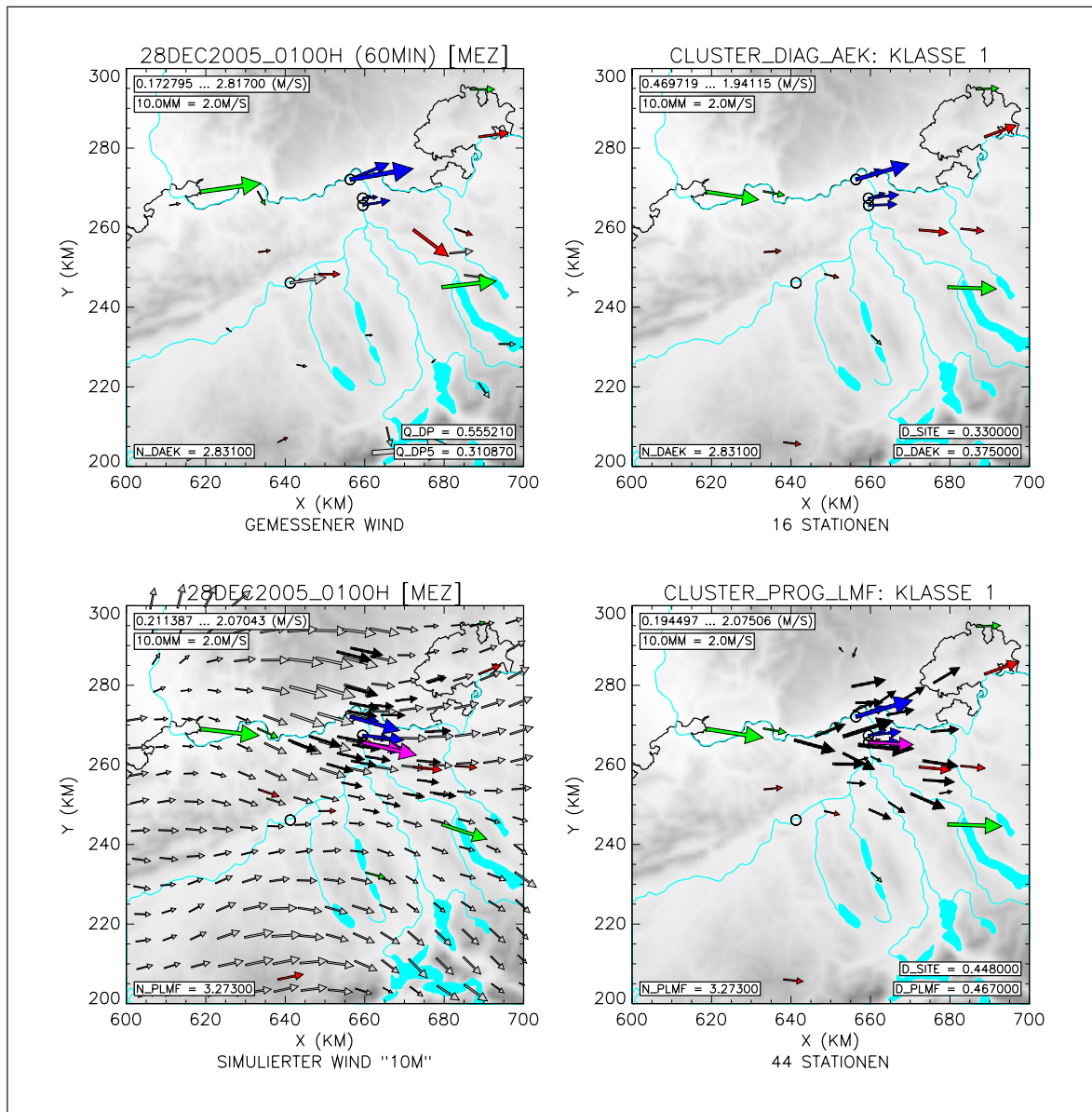
Im letztjährigen Beitrag (Strahlenschutzbericht 2004) wurde – bei einer fiktiven Freisetzung von radioaktiven Stoffen – die zeitliche Entwicklung der Ausbreitung bzw. Deposition dargestellt. In Ergänzung dazu werden an dieser Stelle einige typische Beispiele für Ergebnisse aus der WINDBANK-Analyse (Diagnose/Prognose) dargestellt (vgl. Abb. B.1 bis B.4). Die Beispiele stammen aus den routinemässig durchgeführten Berechnungen und beruhen auf echten Wettersituationen.

Die Qualität der WINDBANK-Prognosen und damit auch der Ausbreitungsprognosen hängt stark von der Qualität des aktuellen Prognosemodells mit 7 km Maschenweite ab. Im Rahmen von CN-MET kann erwartet werden, dass sich zukünftige durch das Prognosemodell mit 2 km Maschenweite eine deutliche Verbesserung ergeben wird. In Abb. B.2 wurde ein Fall ausgewählt, wo hinsichtlich Klassenauswahl Diagnose und Prognose nicht übereinstimmen. Trotzdem kann die Prognose für diesen Fall als gut bezeichnet werden, weil die beiden ausgewählten Klassen sehr ähnlich sind.

3.5 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] Dienstleistungsvereinbarung zwischen der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) und dem Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz) betreffend CN-MET: Bereitstellung vom meteorologischen Mess- und Prognosedaten für die Berechnung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe vom 10. Dezember 2005
- [4] Projekt WINDBANK unteres Aaretal, Klassifikation von Windfeldern als Grundlage zur Diagnose der aktuellen Ausbreitungssituation, W.K. Graber und D. Bürki, PSI Bericht Nr. 9611 (Juni 1996)
- [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. 9909 (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 WINDBANK Schlussbericht (Homogenisierung), F. Gassmann, H. Isaak, M. Tinguely, PSI Bericht Nr. 05-08 (Juli 2005)

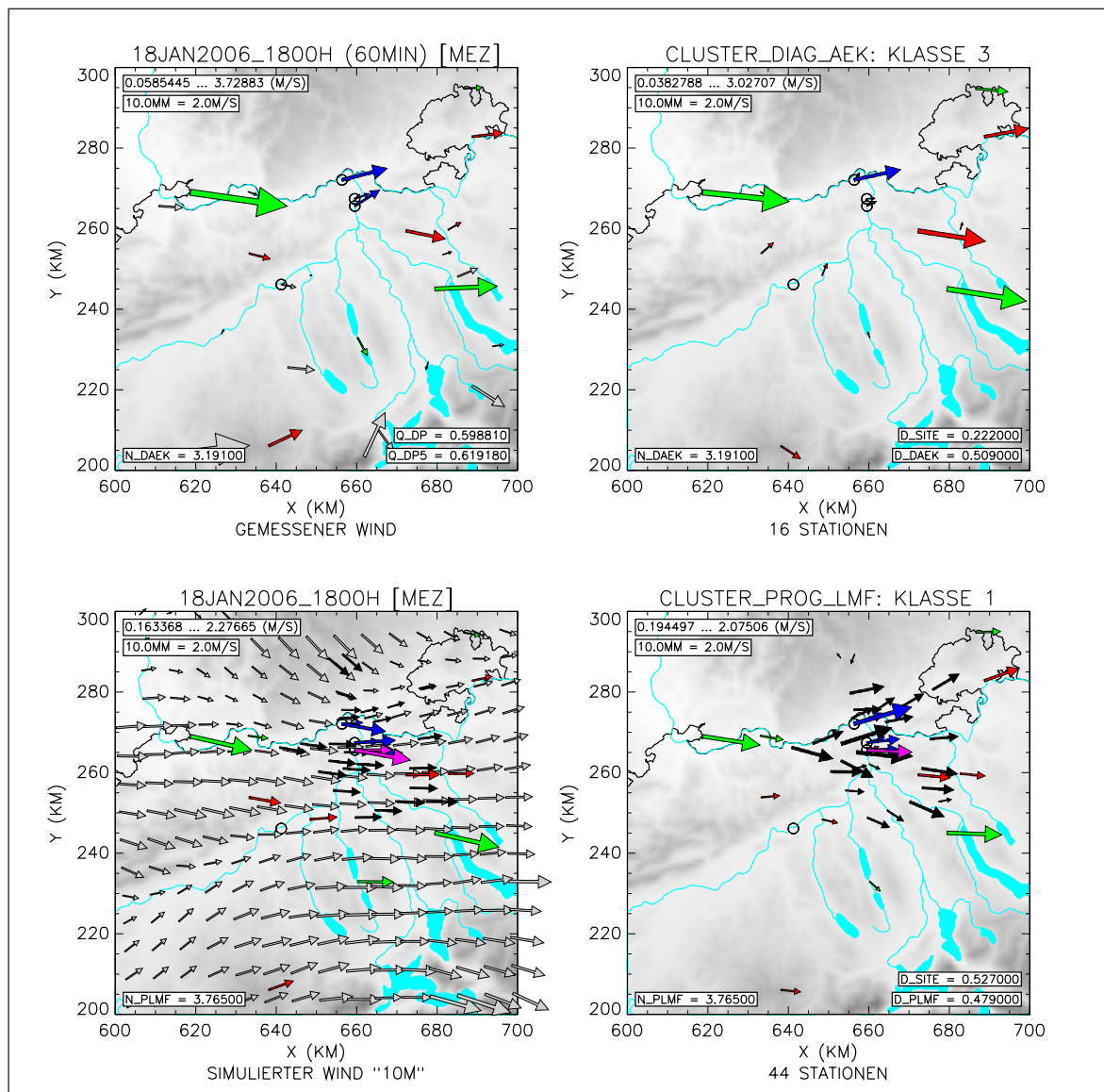
Abb. B.1: Beispiel für gemessene und prognostizierte Winddaten in der Umgebung von KKB
(Vergleich WINDBANK-Diagnose/Prognose)



Situation am 28. Dezember 2005 um 01:00 Uhr Lokalzeit

- Links oben: **Messdaten:** Dargestellt werden die tatsächlich gemessenen Winde an den operationellen Stationen der MeteoSchweiz (stündlich gemittelt).
- Rechts oben: **WINDBANK-Diagnose:** Aus den aktuellen Messungen wird für KKB als Optimum die Windfeldklasse 1 diagnostiziert. Dargestellt werden die zu dieser Klasse gehörigen Winde an den operationellen Stationen der MeteoSchweiz.
- Links unten: **Prognosedaten:** Dargestellt werden die im Voraus prognostizierten Winde aus dem aktuellen Prognosemodell der MeteoSchweiz (Modellwerte in 10 m Höhe über Boden und interpolierte Werte für die operationellen Stationen der MeteoSchweiz und für die temporären Stationen der damaligen WINDBANK-Messkampagne).
- Rechts unten: **WINDBANK-Prognose:** Aus den Prognosedaten wird die gleiche Windfeldklasse prognostiziert wie bei der Diagnose (die Prognosen waren zutreffend). Dargestellt werden die dazugehörigen Winde an den operationellen Stationen der MeteoSchweiz und an den Stationen der WINDBANK-Messkampagne.

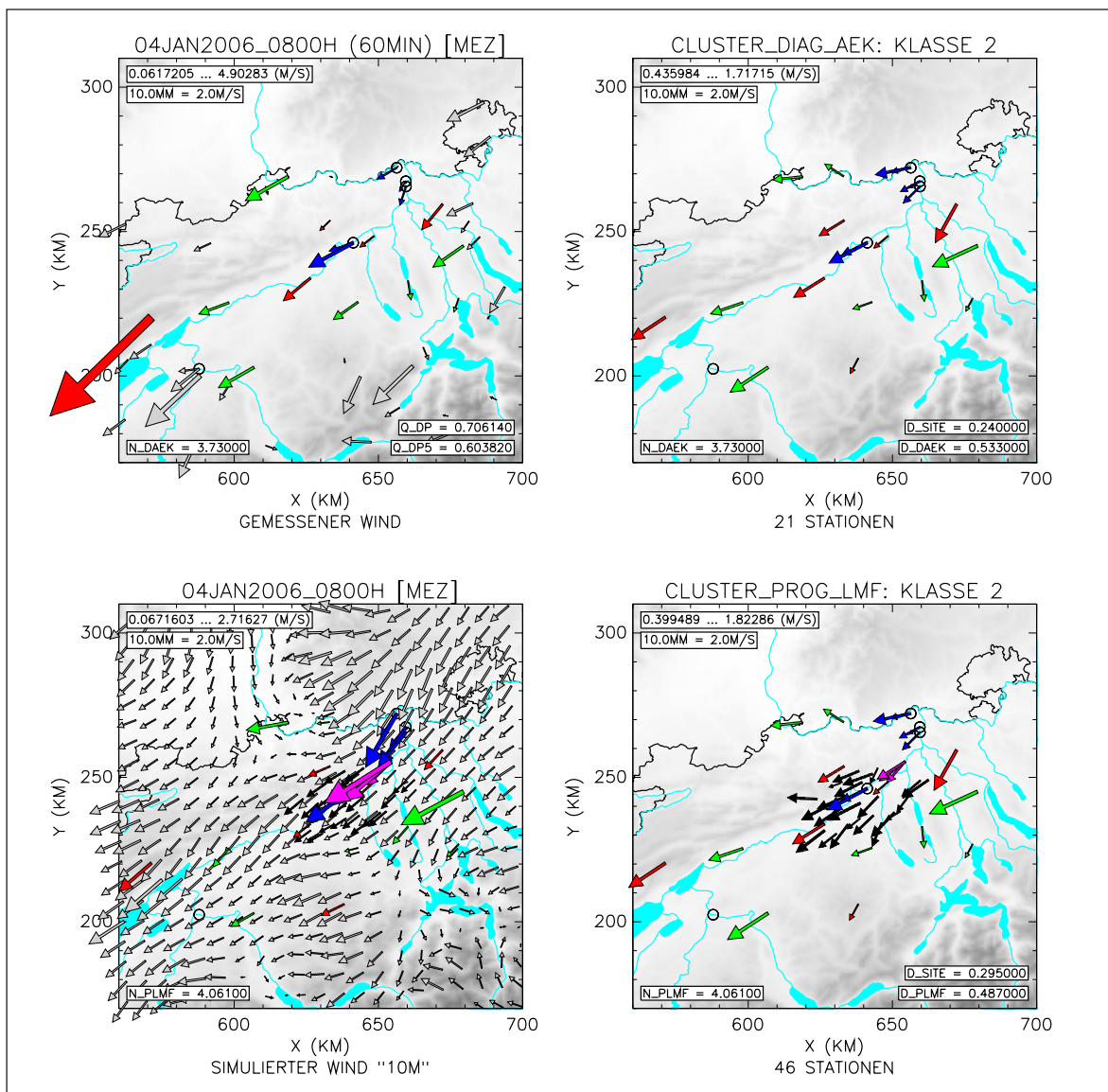
Abb. B.2: Beispiel für gemessene und prognostizierte Winddaten in der Umgebung von KKL
(Vergleich WINDBANK-Diagnose/Prognose)



Situation am 18. Januar 2006 um 18:00 Uhr Lokalzeit

- Links oben: **Messdaten:** Dargestellt werden die tatsächlich gemessenen Winde an den operationellen Stationen der MeteoSchweiz (stündlich gemittelt).
- Rechts oben: **WINDBANK-Diagnose:** Aus den aktuellen Messungen wird für KKL als Optimum die Windfeldklasse 3 diagnostiziert. Dargestellt werden die zu dieser Klasse gehörigen Winde an den operationellen Stationen der MeteoSchweiz.
- Links unten: **Prognosedaten:** Dargestellt werden die im Voraus prognostizierten Winde aus dem aktuellen Prognosemodell der MeteoSchweiz (Modellwerte in 10 m Höhe über Boden und interpolierte Werte für die operationellen Stationen der MeteoSchweiz und für die temporären Stationen der damaligen WINDBANK-Messkampagne).
- Rechts unten: **WINDBANK-Prognose:** Aus den Prognosedaten wird die Windfeldklasse 1 ausgewählt (die Klassen 1 und 3 sind sehr ähnlich, so dass die Prognosen im Rahmen der zu erwartenden Genauigkeit trotzdem als zutreffend bezeichnet werden können). Dargestellt werden die dazugehörigen Winde an den operationellen Stationen der MeteoSchweiz und an den Stationen der WINDBANK-Messkampagne.

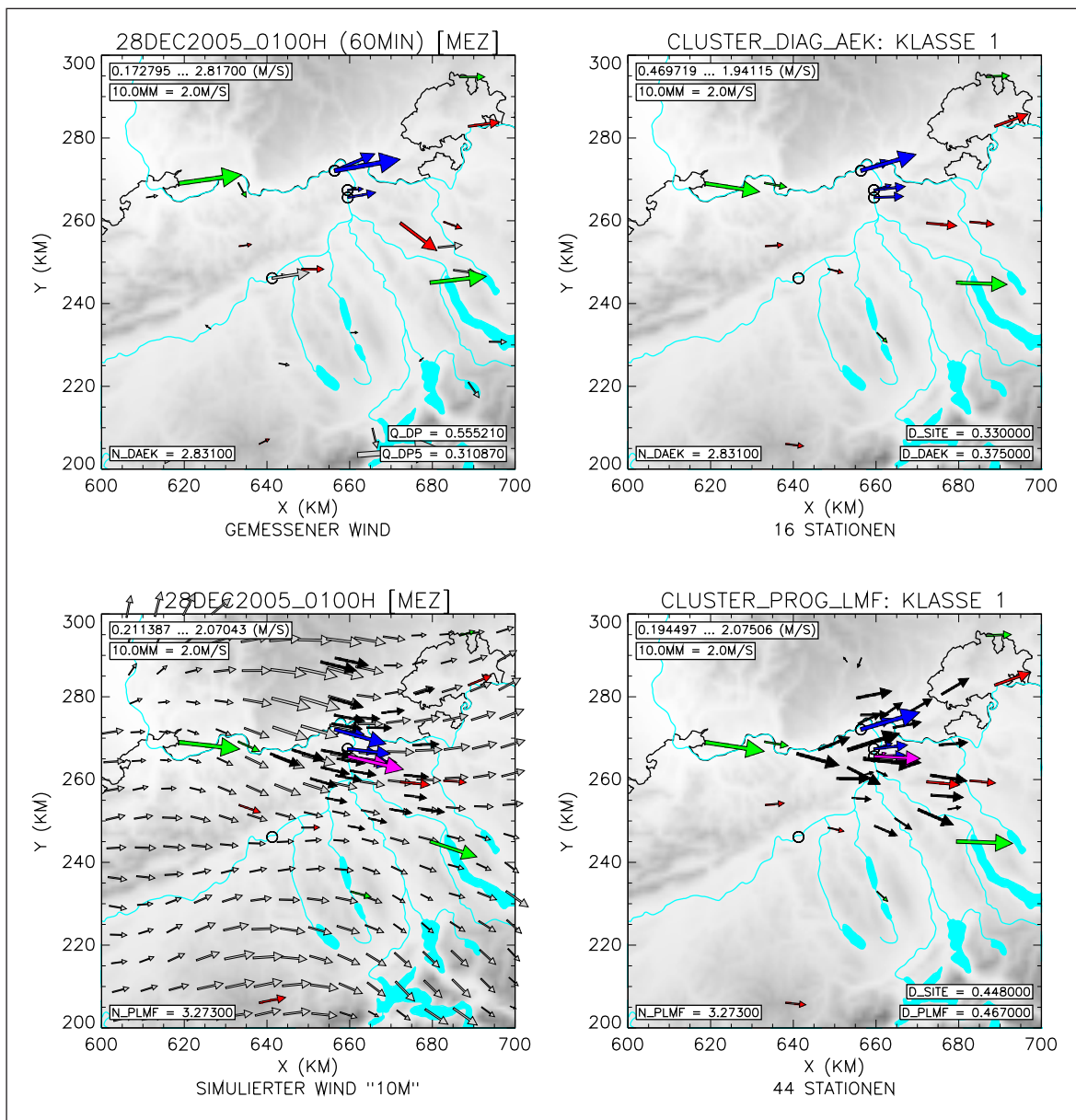
Abb. B.3: Beispiel für gemessene und prognostizierte Winddaten in der Umgebung von KKG
(Vergleich WINDBANK-Diagnose/Prognose)



Situation am 4. Januar 2006 um 08:00 Uhr Lokalzeit

- Links oben: **Messdaten:** Dargestellt werden die tatsächlich gemessenen Winde an den operationellen Stationen der MeteoSchweiz (stündlich gemittelt).
- Rechts oben: **WINDBANK-Diagnose:** Aus den aktuellen Messungen wird für KKG als Optimum die Windfeldklasse 2 diagnostiziert. Dargestellt werden die zu dieser Klasse gehörigen Winde an den operationellen Stationen der MeteoSchweiz.
- Links unten: **Prognosedaten:** Dargestellt werden die im Voraus prognostizierten Winde aus dem aktuellen Prognosemodell der MeteoSchweiz (Modellwerte in 10 m Höhe über Boden und interpolierte Werte für die operationellen Stationen der MeteoSchweiz und für die temporären Stationen der damaligen WINDBANK-Messkampagne).
- Rechts unten: **WINDBANK-Prognose:** Aus den Prognosedaten wird die gleiche Windfeldklasse prognostiziert wie bei der Diagnose (die Prognosen waren zutreffend). Dargestellt werden die dazugehörigen Winde an den operationellen Stationen der MeteoSchweiz und an den Stationen der WINDBANK-Messkampagne.

Abb. B.4: Beispiel für gemessene und prognostizierte Winddaten in der Umgebung von KKM
(Vergleich WINDBANK-Diagnose/Prognose)



Situation am 16. Dezember 2005 um 07:00 Uhr Lokalzeit

- Links oben: **Messdaten:** Dargestellt werden die tatsächlich gemessenen Winde an den operationellen Stationen der MeteoSchweiz (stündlich gemittelt).
- Rechts oben: **WINDBANK-Diagnose:** Aus den aktuellen Messungen wird für KKM als Optimum die Windfeldklasse 12 diagnostiziert. Dargestellt werden die zu dieser Klasse gehörigen Winde an den operationellen Stationen der MeteoSchweiz.
- Links unten: **Prognosedaten:** Dargestellt werden die im Voraus prognostizierten Winde aus dem aktuellen Prognosemodell der MeteoSchweiz (Modellwerte in 10 m Höhe über Boden und interpolierte Werte für die operationellen Stationen der MeteoSchweiz und für die temporären Stationen der damaligen WINDBANK-Messkampagne).
- Rechts unten: **WINDBANK-Prognose:** Aus den Prognosedaten wird die gleiche Windfeldklasse prognostiziert wie bei der Diagnose (die Prognosen waren zutreffend). Dargestellt werden die dazugehörigen Winde an den operationellen Stationen der MeteoSchweiz und an den Stationen der WINDBANK-Messkampagne.

4. Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) in der Umgebung der Kernanlagen

4.1 Einleitung

Als Teil der Umgebungsüberwachung der schweizerischen Kernanlagen werden laufend Messungen mit Thermolumineszenz-Dosimetern (TLD) durchgeführt, die zu diesem Zweck in der Umgebung um die Kernanlagen positioniert werden. Die Dosimeter sind vor Witterungseinflüssen geschützt an Bäumen, Masten oder Gebäuden einige Meter über Boden so angebracht, dass sie ohne Hilfsmittel nicht erreichbar sind. In der Umgebung des Kernkraftwerks Gösgen befinden sich die Dosimeter an 24 Standorten, beim Kernkraftwerk Leibstadt an 21 und beim Kernkraftwerk Mühleberg an 17 Standorten. Im Bereich des Kernkraftwerkes Beznau, der ZWILAG sowie des Paul Scherrer Instituts hat es an 33 Standorten Dosimeter, die alle vom PSI gewartet werden. In der Abb. B.5 sind die Standorte kartographisch dargestellt.

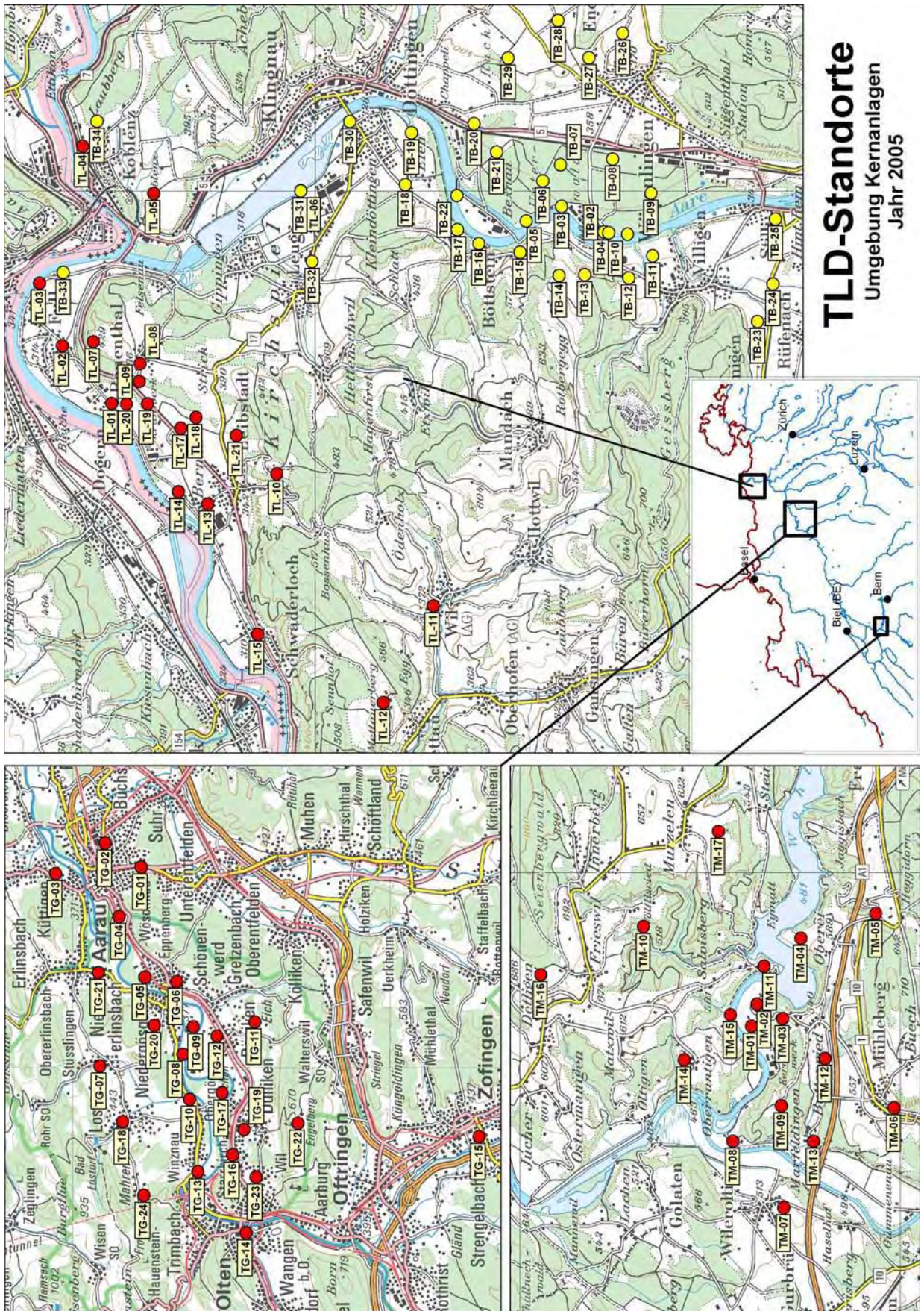
Für die Messungen kommen verschiedene passive Umgebungsdosimeter zum Einsatz. Das PSI und das KKM setzen TLD mit Al_2O_3 ein. Das KKG verwendet TLD-200 mit $\text{CaF}_2\text{:Dy}$. Denselben Dosimetertyp hatte KKL bis Mitte des Jahres 2004. Seither verwendet KKL GR200-Dosimeter mit LiF:Mg;Cu;P .

Das Auslegen, Einsammeln und Auswerten der Dosimeter obliegt den Betreibern. Die TLD werden vierteljährlich durch die anerkannten Personendosimetriestellen des PSI und der Kernkraftwerke Mühleberg, Leibstadt und Gösgen ausgewertet. Die Messwerte in der Einheit Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ gemäss Strahlenschutzverordnung Anhang 5 werden ohne Abzug der natürlichen Untergrundstrahlung im Rahmen der periodischen Berichterstattung den Behörden gemeldet. Die HSK überprüft die Resultate, um Veränderungen zu erkennen und nötigenfalls darauf zu reagieren, indem vor Ort Messungen mit dem In-Situ-Gammaspektrometer oder mit einem Dosisleistungsmessgerät durchgeführt werden.

4.2 Analysemethode

Grundsätzlich erfolgt die Analyse der TLD-Daten nach dem Verfahren, das im Loseblatt FS-78-15-AKU des Arbeitskreises Umweltüberwachung des Fachverbandes für Strahlenschutz beschrieben wird. Um unterschiedliche Quartalslängen auszugleichen, werden die Messwerte auf eine Quartalslänge von 91 Tagen normiert. In der Regel wurden mit Hilfe von Beweissicherungsdaten aus der Zeit vor dem Betrieb der Kernanlage ortsspezifische Parameter (OSP) bestimmt, indem die zeitliche, insbesondere wetterbedingte Variation der Dosiswerte rechnerisch eliminiert wird. Der ortsspezifische Parameter ist die über die Beweissicherungsperiode gemittelte Differenz zwischen den Messwerten eines Dosimeterstandortes und dem jeweiligen Quartalsmittelwert über alle Standorte in der Umgebung einer Kernanlage. Die so ermittelten Differenzen entsprechen der örtlichen Variation der natürlichen Strahlung in der Umgebung einer Kernanlage. Bei der Analyse neu anfallender Quartalsdaten wird die so genannte Nettodosis berechnet, indem vom Messwert der aktuelle Quartalsmittelwert und der ortsspezifische Parameter subtrahiert werden. Die Nettodosis ist ein Mass für die Änderungen, die nicht durch die Einflüsse des Wetters oder der ortsspezifischen natürlichen Strahlung erklärt werden können. Bei einer Verschiebung oder sonstigen Änderung eines Standortes ändert sich häufig auch der OSP. Deshalb wird dieser falls nötig für den neuen Standort aus den Messwerten mehrerer Quartale neu bestimmt.

Unter der Annahme, dass die Nettodosis nicht durch künstliche Radioaktivität erhöht ist (siehe nächsten Abschnitt), lässt sich die Nachweisgrenze für die mit dieser Methode ermittelten Nettodosen bestimmen. Sie liegt bei einem Vertrauensbereich von 99% im Bereich von 30 bis 60 μSv pro Quartal oder bei zirka 20% bis 30% der natürlichen Untergrundstrahlung. Bei den Dosisdaten des KKG beträgt die Nachweisgrenze ca. 50 μSv , bei KKL ca. 32 μSv , bei KKM ca. 56 μSv und im Bereich von KKB/PSI/ZWILAG ca. 33 μSv .



TLD-Standorte Umgebung Kernanlagen Jahr 2005

Abb. B.5: Standorte der TLD in der Umgebung der Kernanlagen. Kartendaten PK100 und PK200 © (DV316.2) Swisstopo.

4.3 Ergebnisse

In den Figuren B.12 bis B.16 sind die Nettodosen für die Umgebungen von KKG, KKB/PSI/ZWILAG, KKL und KKM grafisch dargestellt. In dieser Übersicht zeigt sich, dass die Nettodosis eine charakteristische Streuung hat, die durch die Unsicherheiten der Mess- und Analyse-methode bestimmt ist. Im Folgenden werden die erkannten Ausnahmen diskutiert:

In den Nettodosen für KKG ist deutlich ein Anstieg für die TLD-Station TG-23 zu erkennen. Dieser Anstieg ist auf eine Verschiebung des TLD-Standortes zurückzuführen. Die Nettodosen der übrigen Standorte bewegen sich innerhalb eines Bandes von ca. 25 μSv und liegen alle unterhalb der Nachweisgrenze von 50 μSv .

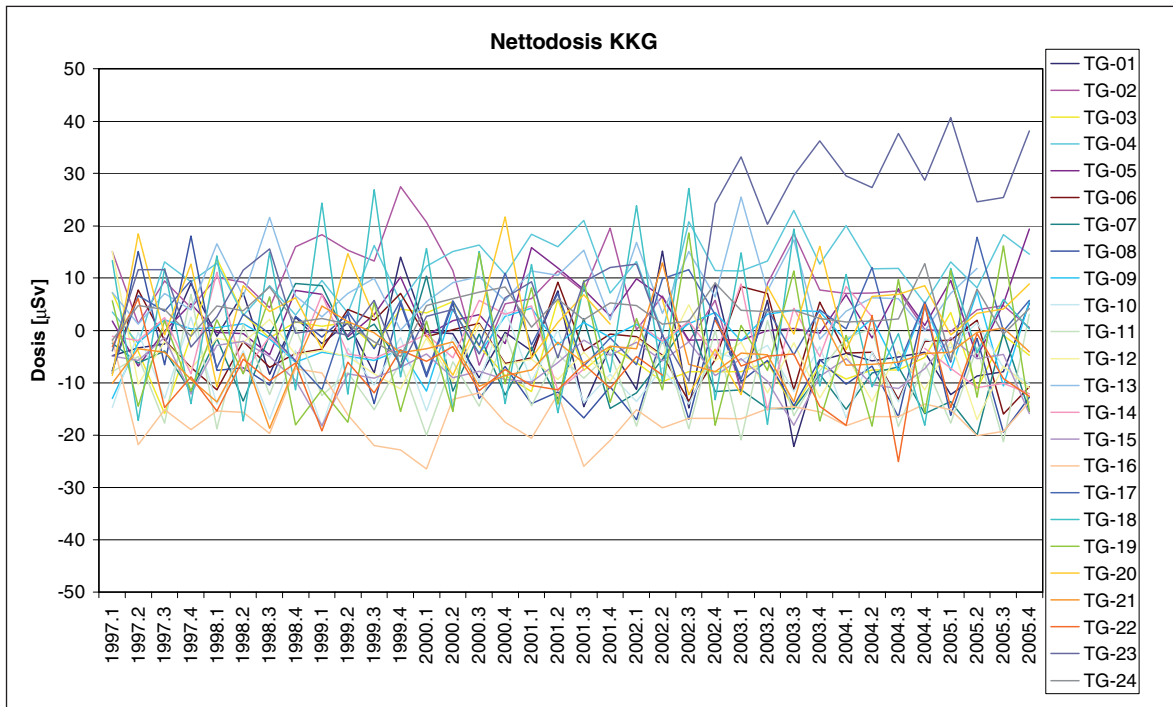
Bei KKB/PSI/ZWILAG ist im ersten Quartal 2004 ein Anstieg beim Standort TB-09 zu erkennen, der mit nachfolgenden Direktmessungen mit einem Dosisleistungsmessgerät nicht bestätigt werden konnte (siehe dazu auch HSK Strahlenschutzbericht 2004). Die übrigen Werte liegen alle unter der Nachweisgrenze von ca. 33 μSv .

Bei KKL liegen mit Ausnahme der TLD-Station TL-15 alle Nettodosen unterhalb der Nachweisgrenze von rund 32 μSv . Die höheren Nettodosen bei TL-15 sind auf eine

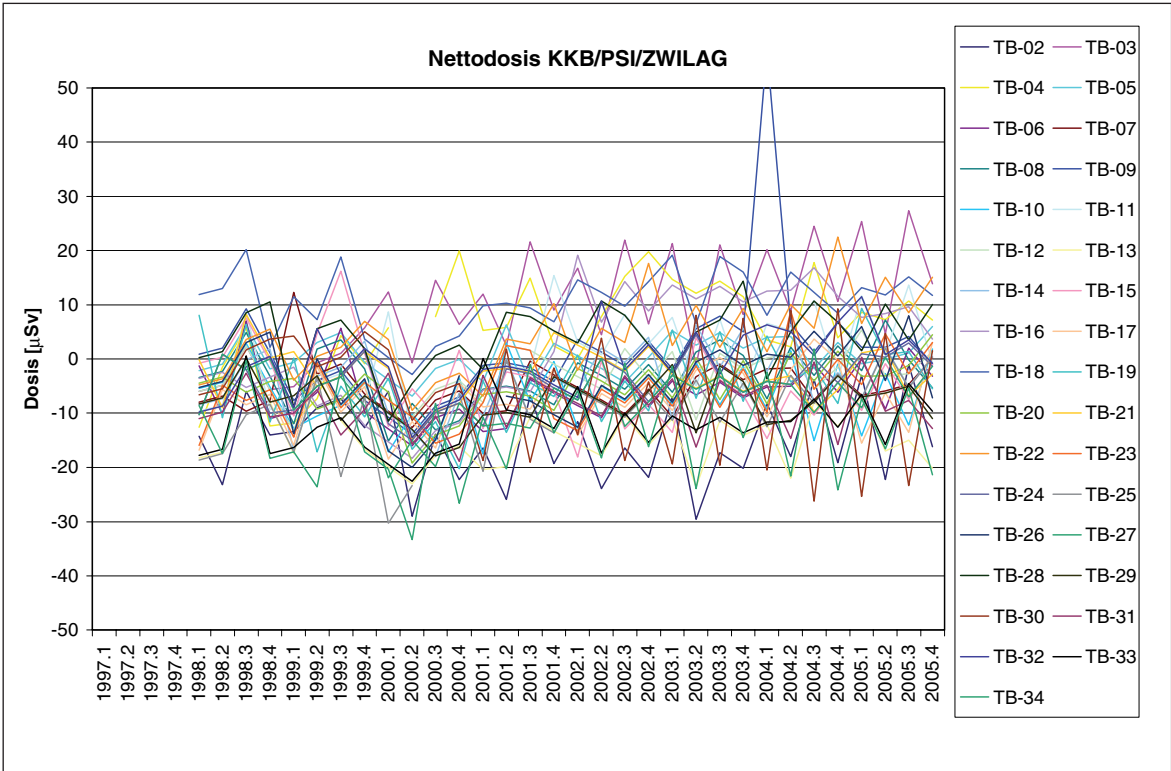
Verschiebung des Standortes zurückzuführen, die bei der Berechnung der Nettodosen nicht berücksichtigt wurde. Mit dem Wechsel des Dosimetertyps Mitte 2004 und der gleichzeitigen Versetzung bzw. Änderung der Behälter bei den Stationen TL-02, TL-03, TL-06, TL-07, TL-15, TL-16, TL-19, TL-20 und TL-21 änderte sich das Bild wesentlich. Die Entwicklung der Dosen wird verfolgt und gegebenenfalls werden die OSP neu bestimmt.

Bei KKM liegen alle Nettodosen unterhalb der Nachweisgrenze von ca. 56 μSv . Der Schwankungsbereich ist jedoch eher etwas grösser als bei den Umgebungsdaten der andern Kernanlagen. Bei allen untersuchten Standorten ist kein Einfluss durch künstliche Radioaktivität festzustellen.

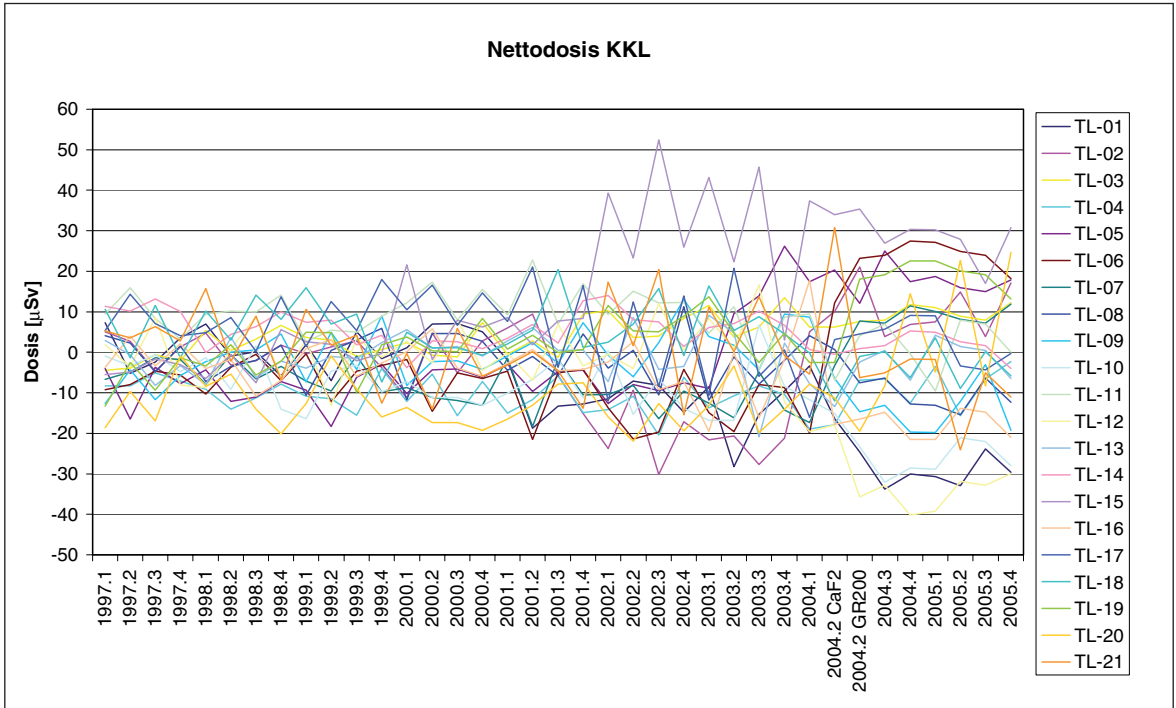
In der Figur B.16 sind die Quartalsmittelwerte der vier Umgebungsüberwachungen über die letzten 7 bzw. 8 Jahre dargestellt. Die Mittelwerte entsprechen der natürlichen Dosis durch terrestrische und kosmische Strahlung. Es ist zu erkennen, dass sich die mit denselben Dosimetertypen erhobenen Messdaten ähnlich verhalten. So weisen die Quartalsmittelwerte von KKG und KKL, die $\text{CaF}_2\text{:Dy}$ -Dosimeter verwenden (KKL bis Mitte 2004), kleinere Schwankungen auf als die von KKB/PSI/ZWILAG und KKM, die Al_2O_3 -Dosimeter verwenden. Mit dem Wechsel des Dosimetertyps bei KKL



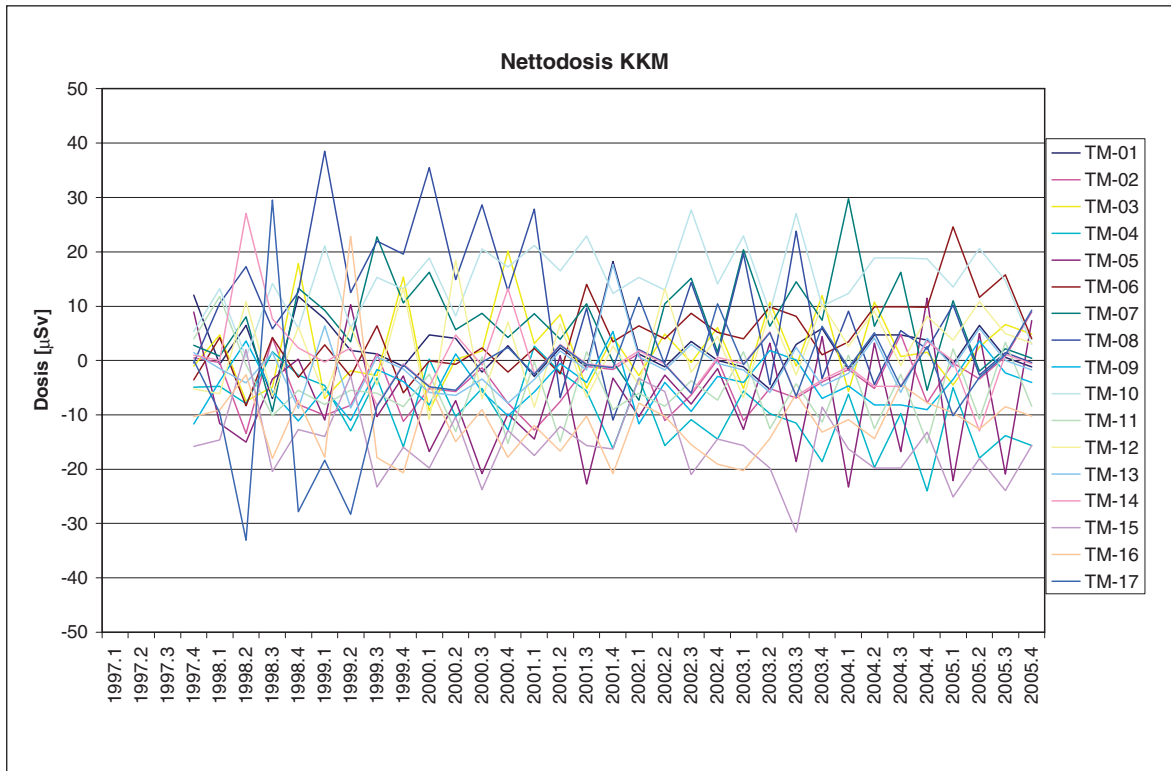
Figur B.12: TLD-Nettodosen in der Umgebung des KKG. Dabei wurden als ortsspezifische Parameter diejenigen verwendet, die mit Hilfe der Beweissicherungsdaten bestimmt wurden.



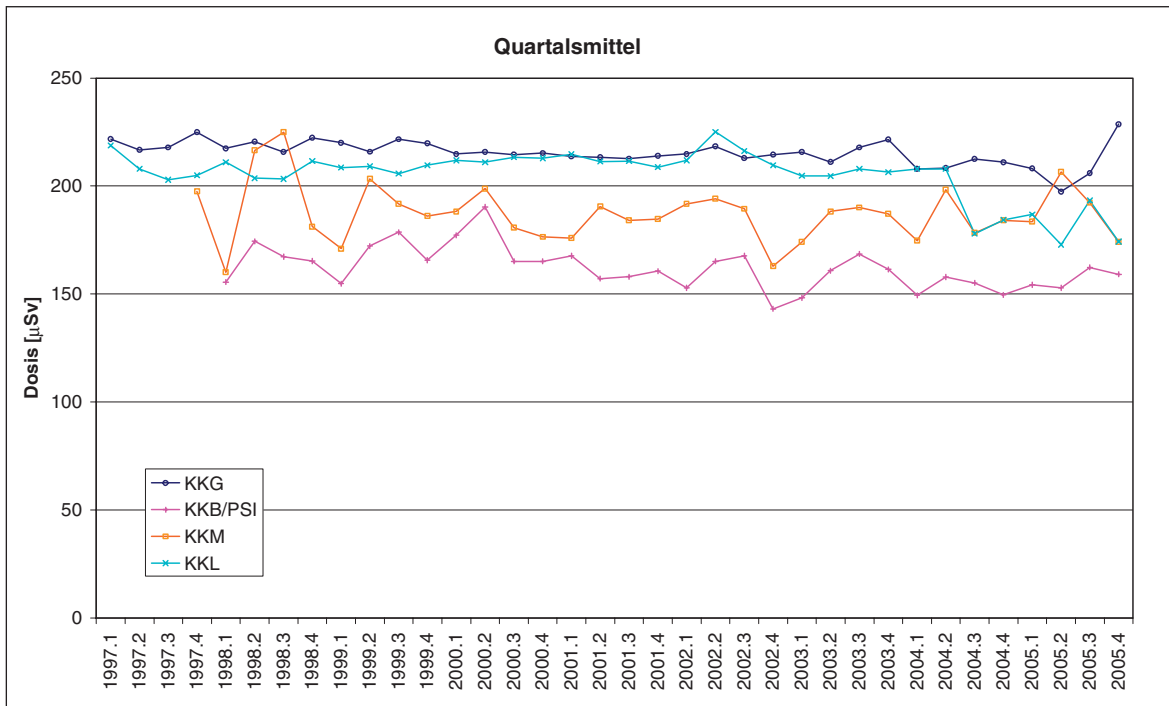
Figur B.13: TLD-Nettodosen im Bereich von KKB/PSI/ZWILAG. Dabei wurden als ortsspezifische Parameter diejenigen verwendet, die mit Hilfe der Beweissicherungsdaten bestimmt wurden.



Figur B.14: TLD-Nettodosen in der Umgebung des KKL. Dabei wurden als ortsspezifische Parameter diejenigen verwendet, die mit Hilfe der Beweissicherungsdaten bestimmt wurden.



Figur B.15: TLD-Nettodosen in der Umgebung des KKM. Dabei wurden als ortsspezifische Parameter diejenigen verwendet, die mit Hilfe der Beweissicherungsdaten bestimmt wurden.



Figur B.16: Quartalsmittel für die vier Umgebungsüberwachungen normiert auf eine Expositionszeit von 91 Tagen.

Mitte 2004 sank, infolge der neuen Kalibrierung der GR200-Dosimeter, der Quartalsmittelwert etwas ab. Grundsätzlich sind aufgrund der praktisch horizontal verlaufenden Kurven der Quartalsmittelwerte keine Tendenzen zu erkennen, die auf einen allgemeinen Anstieg der Dosis in der Umgebung der Kernanlagen hinweisen würden.

4.4 Fazit

Mit der zur Verfügung stehenden Auswertungs- und Analyseverfahren werden bereits kleine Änderungen in den mit TLD bestimmten Dosen in der Umgebung der Kernanlagen erkannt. Die langjährigen Messreihen lassen frühzeitig Tendenzen an einzelnen Messorten erkennen.

Aus den oben dargestellten Daten sind keine Nettodosen über den Nachweisgrenzen zu erkennen, die nicht auf Verschiebungen von TLD-Standorten zurückzuführen sind. In der Fig. B.14 ist bei KKL deutlich der Einfluss des Dosimetertyps, der damit zusammenhängenden neuen Kalibrierung und der Änderungen an den Stationsstandorten auf die Nettodosen zu erkennen.

Die dargestellten Nettodosen und die erreichten Nachweisgrenzen belegen die gute Qualität der TLD-Messungen. Messtechnische Probleme mit den Dosimetern würden sich rasch in den Nettodosen manifestieren.

Die Quartalsmittelwerte blieben über die letzten 7 bzw. 8 Jahre konstant und weisen keinen verbreiteten Anstieg der Dosis in der Umgebung der Kernanlagen aus.

5. Aeroradiometrische Messungen

5.1 Einleitung

Aeroradiometrische Messungen in der Schweiz begannen 1986. Dabei werden Helikopter mit Geräten zur Messung der Radioaktivität aus der Luft eingesetzt. 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 der schweizerischen Kernanlagen (jeweils rund 50 km²) jährlich aeroradiometrisch vermessen. Im Jahre 1994 ging man zu einem Zweijahresrhythmus über, wobei abwechslungsweise zwei bzw. drei Gebiete mit Kernanlagen erfasst 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 Vordergrund. Der Einsatz erfolgt unter der Regie der Nationalen Alarmzentrale (NAZ). Unterhalt und Bereitstellung des Messsystems erfolgen seit 2004 durch das Paul Scherrer Institut (PSI).

Während der Jahre 2004 und 2005 wurden die Messsysteme erneuert und dabei die Online-Datenauswertungs- und -kartierungssoftware im System integriert.

5.2 Messungen und Messresultate 2005

Bei den Messflügen im Juni 2005 kam erstmals das erneuerte Messsystem mit integrierter Online-Datenauswertung und -kartierung zum Einsatz. Zudem wurde zum ersten Mal das Flugraster per Autopilot geflogen. Dies bringt eine bedeutende Entlastung für die Piloten und dient auch der Flugsicherheit.

Das Messprogramm 2005 beinhaltete Folgendes: Mit Bellinzona erneut ein Stadtgebiet; ein weiteres Profil durch die Schweiz von der Ajoie bis zum Mattmark-

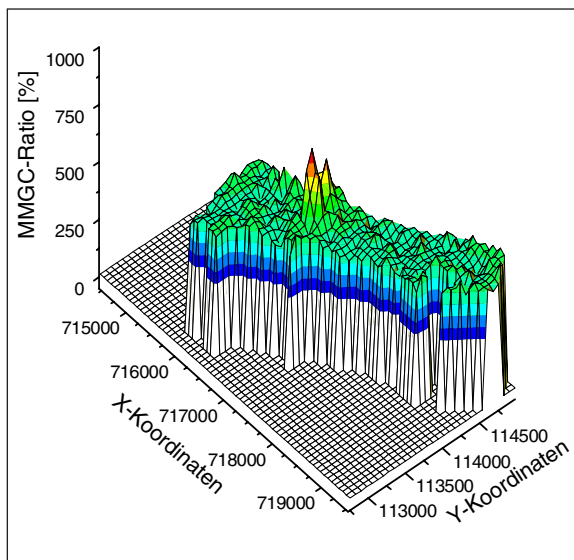
Stausee; kleinere Messgebiete bei Monte Laura TI und Coglio TI, die auf ¹³⁷Cs-Anomalien untersucht wurden; zwei Deponien in der Magadinoebene und bei Bodio. Durchgeführt wurden auch eine Quellensuchübung in Zusammenarbeit mit den Tessiner Einsatzkräften von Polizei, Feuerwehr und Zivilschutz sowie ein Vergleich mit In-situ-Gammaspektrometrie und Dosisleistungsmessungen am Boden. Im Auftrag der HSK erfolgte die Vermessung in der Umgebung der Kernkraftwerke Gösigen und Mühleberg. Schliesslich wurde im Hinblick auf die Gesamtnotfallübung KRONOS II ein grösseres Gebiet östlich des Kernkraftwerkes Beznau aeroradiometrisch vermessen.

Die Messungen bei Bellinzona zeigten entlang der Hänge weit höhere ¹³⁷Cs-Aktivitäten als im Talgrund. Über der Stadt selbst lagen die Aktivitäten in ähnlichen Wertebereichen wie in der Nordschweiz. Bei den kleineren Messgebieten Monte Laura und Coglio konnten ebenfalls einige Lokalitäten mit erhöhten ¹³⁷Cs-Aktivitäten detektiert werden, die auf Depositionen des Tschernobyl-Fallouts zurückzuführen sind. Bei den zwei untersuchten Deponien in der Magadinoebene bzw. bei Bodio konnte keine künstliche Radioaktivität nachgewiesen werden, die nicht durch den Tschernobyl-Fallout erklärt werden kann.

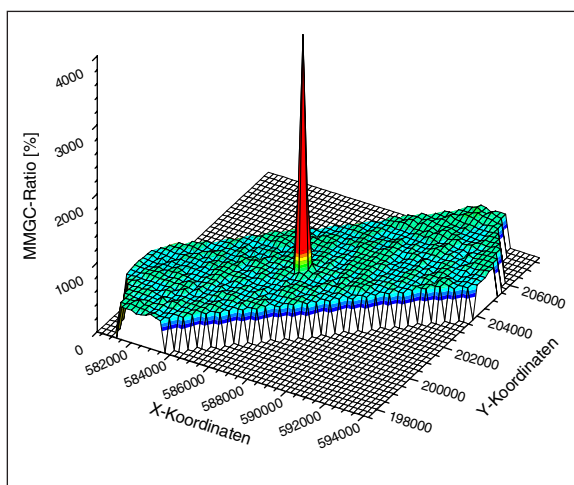
Bei einem Vergleich in der Nähe des Flugplatzes Locarno stimmten die aeroradiometrischen Resultate innerhalb der Unsicherheiten gut mit denjenigen überein, die aus In-situ-Gammaspektrometrie und Dosisleistungsmessungen am Boden erzielt worden waren. Die Bodenmessungen erfolgten durch Equipen des Institut universitaire de radiophysique appliquée (IRA), des Labors Spiez, der Sektion Überwachung der Radioaktivität (SUeR) des Bundesamtes für Gesundheit und der HSK.

Bei der Quellensuchübung, die in Zusammenarbeit mit den lokalen Einsatzkräften von Polizei und Feuerwehr erfolgte, konnten die zwei von der IRA ausgelegten ¹³⁷Cs-Quellen mit Aktivitäten von je 2 GBq problemlos aus der Luft anhand des erhöhten MMGC-Ratio (Verhältnis zwischen tiefenergetischer [400–1400 keV] und hochenergetischer Strahlung [1400–3000 keV]) lokalisiert werden (Fig. B.17).

Das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM), das während der aeroradiometrischen Messungen in Betrieb war, konnte anhand der ¹⁶N-Strahlung gut detektiert werden. Diese Strahlung wird bei Siedewasserreaktoren durch das

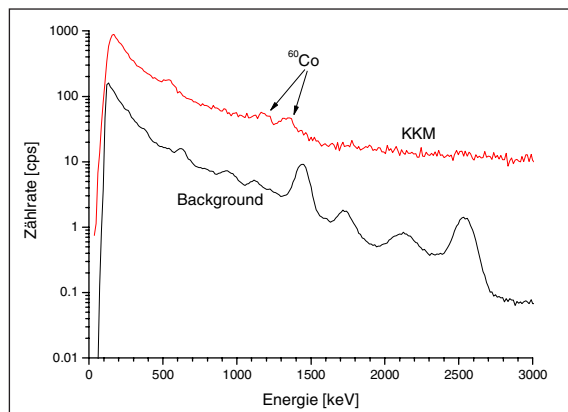


Figur B.17: MMGC-Ratio im Messgebiet der Quellensuche. Deutlich sind die beiden sehr nahe beieinander liegenden Peaks zu erkennen, die mit den Quellenstandorten übereinstimmen.

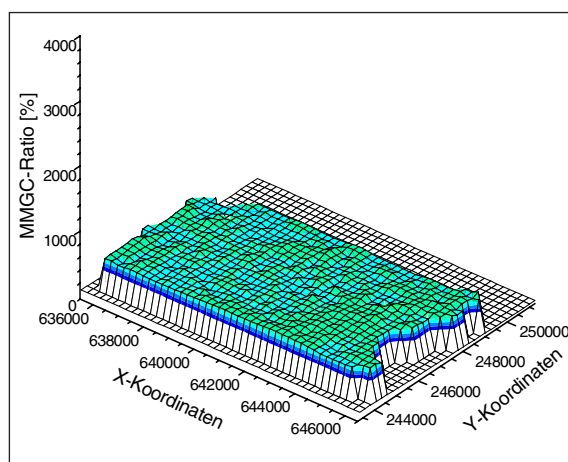


Figur B.18: MMGC-Ratio im Messgebiet KKM.

kurzlebige Aktivierungsprodukt ^{16}N (Halbwertszeit $t_{1/2} = 7,3 \text{ s}$) erzeugt, welches im Betrieb durch die Frischdampfleitungen in die Turbinen im Maschinenhaus gelangt. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise wenig abgeschirmt ist, können die hochenergetische Gammastrahlung des ^{16}N und die zugehörige Streustrahlung aus der Luft gut detektiert werden. In Fig. B.18 ist die nach Schwarz et al. (1991) modifizierte MMGC-Ratio im Gebiet des KKM dargestellt. Deutlich sind die erhöhten Werte über KKM zu erkennen.



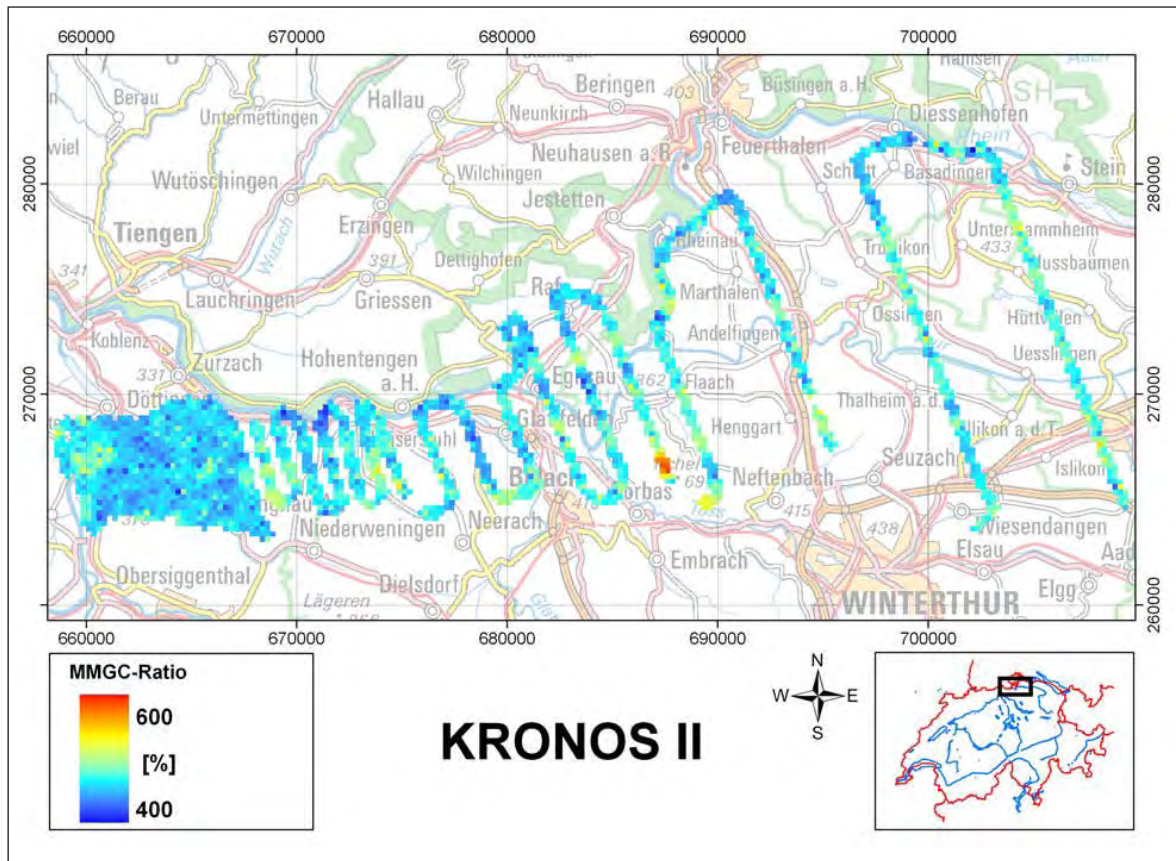
Figur B.19: Gemittelttes Spektrum in unmittelbarer Umgebung des Maschinenhauses von KKM und im übrigen Messgebiet (Background).



Figur B.20: MMGC-Ratio im Messgebiet KKG.

Bei der Analyse der Spektren in unmittelbarer Nähe des KKM ist in Fig. B.19 neben der gestreuten Strahlung von ^{16}N auch der Doppelpeak von ^{60}Co im eingelagerten radioaktiven Abfall zu sehen. Zum Vergleich ist in Fig. B.19 auch ein gemittelttes Spektrum aus dem übrigen Messgebiet dargestellt.

Ausserhalb des Betriebsareals von KKM konnte keine erhöhte, durch Menschen verursachte Radioaktivität festgestellt werden, die nicht auf den Bombentests- bzw. Tschernobyl-Fallout zurückgeführt werden kann.



Figur B.21: MMGC-Ratio im Messgebiet, das im Zusammenhang mit der Übung KRONOS II vermessen wurde. Kartendaten PK500 © (DV316.2) swisstopo.

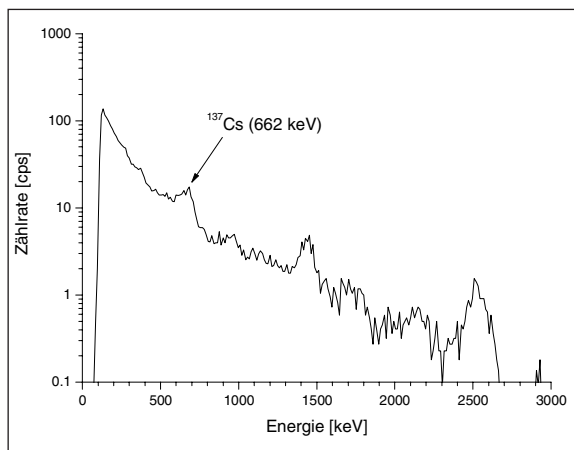
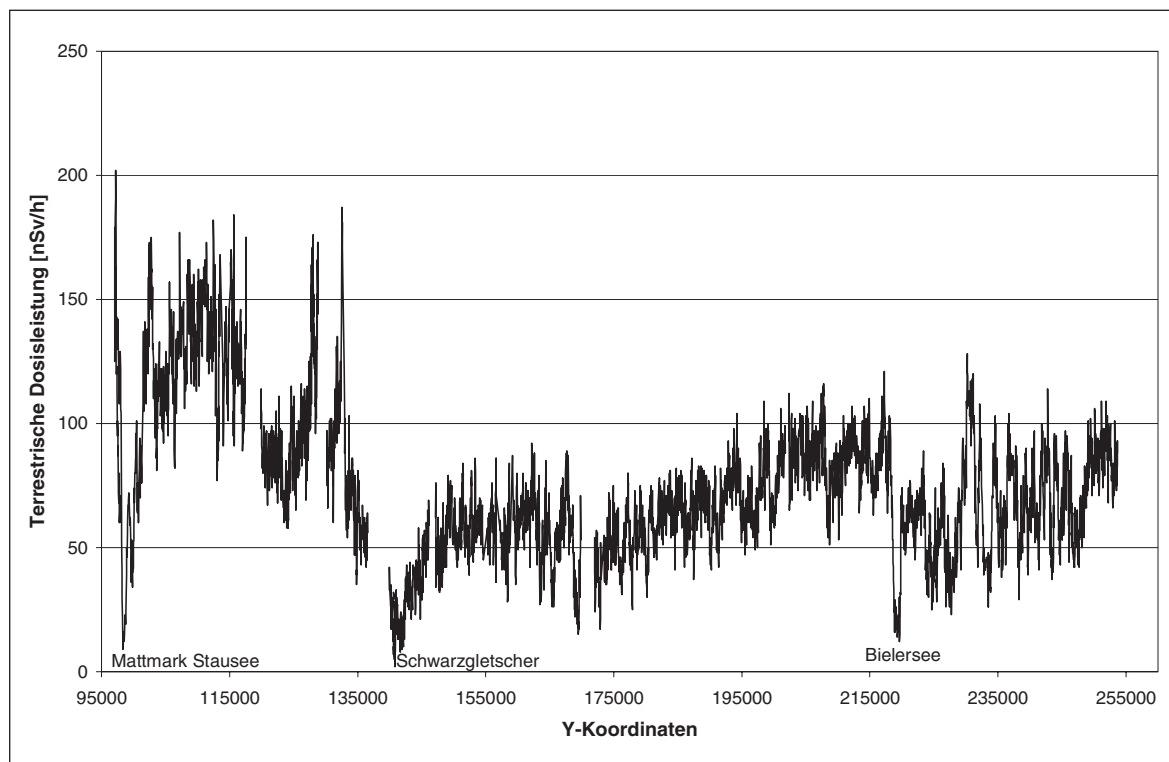


Fig. B.22: Gemitteltetes Spektrum im Bereich des Ortes mit erhöhten ^{137}Cs -Aktivitäten zwischen Freienstein-Teufen ZH und Buch am Irchel ZH.

Wie in früheren Jahren konnten mit den aeroradiometrischen Messungen 2005 keine Auswirkungen des Kernkraftwerks Gösgen (KKG) auf die Radioaktivität in der Umgebung erkannt werden (Fig. B.20). Auch das Werk selbst war aeroradiometrisch nicht zu detektieren. Im Zusammenhang mit der Gesamtnotfallübung KRONOS II wurde östlich des Kernkraftwerkes Beznau (KKB) ein grösseres Messgebiet abgedeckt (Fig. B.21), indem mit grösserer Distanz zum Werk auch die Linienabstände kontinuierlich von 250 m auf 5 km vergrössert wurden. Damit könnte bei einer radioaktiven Abgabe in der Bodenphase relativ schnell das betroffene Gebiet grob abgegrenzt werden. Für das in Fig. B.21 dargestellte Messgebiet benötigte man nämlich nur einen Messflug von rund 2 Stunden Dauer. Zufälligerweise wurden dabei nordwestlich von Winterthur zwischen Freienstein-Teufen und Buch am Irchel erhöhte ^{137}Cs -Aktivitäten entdeckt, welche sich deutlich in den entsprechenden Spektren zeigen. Vermutlich handelt es sich um eine lokale Anomalie des Tschernobyl-Fallouts. Weitere Abklärungen sind im Gang.

Das gemessene Profil von der Ajoie bis zum Mattmark-Stausee zeigt die aufgrund der Geologie zu erwartenden natürlichen Aktivitäten. Entlang des ganzen Profils wurden keine Hot Spots von künstlichen Radionukliden entdeckt. Aufgrund der Abschirmung der terrestrischen

Strahlung durch Wasser bzw. durch Eis wurden die tiefsten terrestrischen Beiträge zur Dosisleistung über dem Bielersee, dem Schwarzgletscher beim Balmhorn sowie über dem Mattmark-Stausee registriert (Fig. B.23).



Figur B.23: Terrestrische Dosisleistung entlang des Profils von der Ajoie zum Mattmark-Stausee.

5.3 Referenzen

Bucher, B., 2001: Methodische Weiterentwicklungen in der Aeroradiometrie. Dissertation Nr. 13973, ETH Zürich.

Schwarz, G.F., 1991: Methodische Entwicklungen zur Aerogammaspektrometrie. 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 2005

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-5803

ISSN 1661-2914

© HSK, Juni 2006