



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 2007

**Strahlenschutzbericht 2007**

**Rapport sur la radioprotection 2007**

**Radiological Protection Report 2007**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>4</b>
<b>Préface</b>	<b>5</b>
<b>Preface</b>	<b>6</b>
<b>A: STRAHLENSCHUTZ IN DEN KERNANLAGEN</b>	
<b>1. Kernkraftwerke</b>	<b>7</b>
1.1 Kernkraftwerk Beznau (KKB)	7
1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)	9
1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)	10
1.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)	12
<b>2. Weitere Kernanlagen</b>	<b>14</b>
2.1 Paul Scherrer Institut (PSI)	14
2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)	14
2.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)	15
2.4 Universität Basel	15
<b>3. Grafische Darstellungen</b>	<b>16</b>
<b>4. Dosimetrie</b>	<b>19</b>
4.1 Einleitung	19
4.2 Personendosimetrie: akkumulierte Dosen 2007	19
4.3 Job-Dosimetrie	38
4.4 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen der Schweiz	48
4.5 Erwartete Entwicklung der Exposition	48
4.6 Dosisleistungsreduktion durch optimierte Wasserchemie	49

## B: UMWELTRADIOAKTIVITÄT BEI KERNANLAGEN, ÜBERWACHUNG

<b>1. Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen</b>	<b>52</b>
1.1 Emissionen aus den Kernanlagen	53
1.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen	63
<b>2. Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)</b>	<b>64</b>
2.1 Übersicht	64
2.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung	66
2.3 Systemverfügbarkeit und Störungen	66
2.4 Qualitätssicherung	66
2.5 Messergebnisse	67
<b>3. Atmosphärische Ausbreitung</b>	<b>72</b>
3.1 Kompetenzzentrum Ausbreitung	72
3.2 Modellberechnungen im Ereignisfall	72
3.3 Projekt CN-MET	72
3.4 Atmosphärisches Ausbreitungsmodell ADPIC/WINDBANK	74
<b>4. Aeroradiometrische Messungen</b>	<b>78</b>
4.1 Einleitung	78
4.2 Messungen und Messresultate 2007	78
4.3 Literatur	83



Die vier jährlich erscheinenden Berichte der HSK.

# Vorwort



*Von Dr. rer. nat. Georges Piller, Chef der Abteilung Strahlenschutz, Notfallplanung und Organisation)*

Die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) ist zuständig für den Personen- und Umgebungs-schutz von Kernanlagen. Sie überwacht die ionisierende Strahlung und die Radioaktivität in der Umgebung der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts. Sie sorgt für die Erstellung von Prognosen betreffend Entwicklung eines Störfalls, mögliche Ausbreitung der Radioaktivität in der

Umgebung und deren Konsequenzen. Sie beurteilt die Zweckmässigkeit der vom Betreiber der Kernanlage getroffenen Massnahmen.

Der vorliegende Bericht ist der vierte zusammenfassende Jahresbericht über den Strahlenschutz im Aufsichts-bereich der HSK. Er behandelt im Detail die Strahlendosen des Personals und die Jobdosen und zeigt anhand von Zeitreihen den Rückgang der Kollektivdosen und der mittleren Strahlendosen beruflich strahlenexponierter Personen. Der Mittelwert der Strahlendosen liegt mit 0,53 mSv deutlich unterhalb der mittleren Strahlendosis der Bevölkerung in der Schweiz durch Radon (1,6 mSv/Jahr). Der Grenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 milli-Sievert (mSv) pro Jahr wurde in allen Anlagen signifikant unterschritten.

Die HSK kommt zum Schluss, dass in den schweizerischen Kernanlagen ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz betrieben wird. Optimierungsmassnahmen haben zu einer deutlichen Reduktion der Strahlendosen geführt. Dazu beigetragen hat auch, dass in den letzten Jahren die Wasserchemie in den Anlagen konsequent dem Stand von Wissenschaft

und Technik angepasst wurde. Als Folge davon nahmen die Dosisleistungen an Komponenten und Systemen im Primärteil aller Anlagen ab. Die akkumulierten Jobdosen für Arbeiten in diesen Bereichen der Anlagen konnten somit in den letzten Jahren sukzessiv gesenkt werden. Die Betreiber schweizerischer Kernanlagen stehen vor der Herausforderung, den hohen Stand des Strahlenschutzes zu wahren und die vergleichsweise hohen Individualdosen einzelner Spezialisten (maximal registrierte Individualdosis: 11,3 mSv) weiter zu reduzieren.

Für die Überwachung der Umweltradioaktivität in der Umgebung der Kernanlagen hat die HSK «MADUK», das Messnetz zur Automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke aufgestellt und betreibt es routinemässig. Die ermittelten Dosisleistungswerte sind auf der Internet-Homepage der HSK unter [www.hsk.ch](http://www.hsk.ch) (Rubrik «Messen» > «Messwerte Radioaktivität») öffentlich zugänglich. Einzelheiten zu diesem System sind im Teil B dieses Berichtes zu finden. Dort gibt es auch Informationen zu den Emissionen und Immissionen der Kernanlagen.

Im Bereich der atmosphärischen Ausbreitung radioaktiver Partikel verfolgt die HSK den Stand von Wissenschaft und Technik und führt die jeweils erforderlichen Erneuerungen ein. In diesem Zusammenhang ist auch die neue Richtlinie HSK-G14 «Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung auf Grund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen» zu erwähnen.

Gegen Ende des Berichtsjahres hat die internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) ihre neuen Empfehlungen herausgegeben. Gegenüber den Empfehlungen aus dem Jahre 1990 hat kein Paradigmenwechsel stattgefunden. «Rechtfertigung», «Optimierung» und «Limitierung» bleiben weiterhin die Grundprinzipien des Strahlenschutzes.

# Préface

*Dr. rer. nat. Georges Piller, chef de la division Radioprotection, plans d'urgence et organisation*

La Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN) est chargée de la protection des personnes et de l'environnement en relation avec les installations nucléaires. Elle surveille le rayonnement ionisant et la radioactivité au voisinage des installations nucléaires et de l'Institut Paul Scherrer. Elle s'occupe de l'élaboration de pronostics concernant l'évolution d'un dysfonctionnement, la propagation potentielle de la radioactivité dans l'environnement et ses conséquences. Elle apprécie l'opportunité des mesures prises par l'exploitant de l'installation nucléaire.

Voici le quatrième rapport annuel, relatif à la protection contre les radiations dans le domaine de surveillance de la DSN. Il traite en détail des doses de rayonnement du personnel et des doses au travail, et montre au moyen de séries chronologiques la baisse des doses collectives et des doses moyennes des personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession. La valeur moyenne des doses de rayonnement de 0,53 mSv se situe nettement au-dessous de la dose de rayonnement moyenne de la population en Suisse par le radon (1,6 mSv/an). La valeur limite pour les personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession de 20 millisievert (mSv) par an n'est de loin pas atteinte et cela dans aucune des installations.

La DSN en conclut que les installations nucléaires suisses assurent une radioprotection conséquente et conforme à la loi. Des mesures d'optimisation ont conduit à une nette réduction des doses de rayonnement. L'adaptation systématique, ces dernières années, de la chimie de l'eau dans les installations à l'état de la science et de la technique y a également contribué. Suite à

cela, les débits de dose aux composants et aux systèmes ont baissé dans la partie primaire de toutes les installations. Les doses au travail accumulées pour des travaux dans ces zones ont ainsi pu être progressivement baissées ces dernières années. Les exploitants des installations nucléaires suisses sont confrontés au double défi de conserver le niveau élevé de la radioprotection et de continuer à réduire les doses individuelles relativement élevées de quelques spécialistes (dose individuelle maximale enregistrée: 11,3 mSv).

Concernant la surveillance de la radioactivité de l'environnement au voisinage des installations nucléaires, la DSN a mis en place et exploite régulièrement le réseau «MADUK», réseau automatique de mesure et de surveillance du débit de dose au voisinage des centrales nucléaires. Les valeurs de débit de dose ainsi fournies peuvent être consultées sur le site Internet de la DSN [www.hsk.ch](http://www.hsk.ch). Des détails sur ce système se trouvent dans la partie B de ce rapport. On y trouve aussi des informations sur les émissions et les immissions des installations nucléaires.

Dans le domaine de la propagation atmosphérique de particules radioactives, la DSN suit l'état de la science et de la technique et introduit les nouveautés requises. Dans ce contexte, on mentionnera aussi la nouvelle directive HSK-G14 concernant le calcul de l'exposition aux radiations dans l'environnement suite à des émissions de substances radioactives venant d'installations nucléaires.

Vers la fin de l'exercice sous revue, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) a publié ses nouvelles recommandations. Il n'y a pas eu de changement de paradigme par rapport aux recommandations de 1990. «Justification», «optimisation» et «limitation» restent les principes de base de la radioprotection.

# Preface

*Dr. rer. nat. Georges Pillier, Head of Radiation Protection, Emergency Preparedness and Organisation*

The Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate (HSK) is responsible for the protection of people and the environment in the vicinity of nuclear facilities. It monitors ionising radiation and radioactivity around nuclear facilities and the Paul Scherrer Institute. It prepares forecasts on the potential course of any nuclear incident, including the dispersion of radioactivity into the environment and its consequences. It judges whether the measures adopted by the operators of nuclear facilities are appropriate.

This is the fourth annual summary report on the radiological protection issues regulated by the Inspectorate. It provides comprehensive data on doses for the staff and individual jobs. It also includes year-on-year comparisons, which demonstrate the continuing decline in collective and average doses for persons exposed to radiation in the course of their work. The average radiation dose of 0,53 mSv is significantly lower than the average radon exposure for the Swiss population as a whole of 1,6 mSv per year. The exposure levels in all Swiss nuclear installations were significantly below the annual limit for persons occupationally exposed to radiation of 20 mSv.

The Inspectorate concludes that radiological protection in Swiss nuclear facilities is carried out consistently and in compliance with existing legislation. Measures of optimisation introduced by facilities have led to a significant reduction in radiation exposure. In addition, operators have consistently incorporated new scientific and technological developments in the field of water-chemistry. This has further reduced the dose rates at

components and systems of the primary coolant circuit, which in turn has reduced the accumulated doses resulting from working on these parts of a facility. The challenge that operators of nuclear facilities in Switzerland are facing now is to maintain the high level of radiological protection and reduce further the comparatively high individual doses to which individual specialists are exposed (maximum recorded individual dose: 11,3 mSv).

In order to monitor environmental radioactivity close to nuclear facilities, the Inspectorate has established a network which automatically monitors dose rates in the vicinity of nuclear power plants (MADUK). This network is operated on a routine basis. The dose rates recorded by MADUK are publicly available on the Inspectorate's website at [www.hsk.ch](http://www.hsk.ch). Part B of this Report includes further details on this system. Additionally, there are also data on emission and immission from nuclear facilities.

The Inspectorate follows scientific and technological developments concerning the atmospheric dispersal of radioactive particles and introduces updating as appropriate. In this context, reference should also be made of the new G14 guideline published by the Inspectorate («Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung auf Grund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen»).

Towards the end of 2007, the International Commission on Radiological Protection (ICRP) revised its own recommendations. There is no paradigm shift compared with the 1990 recommendations and the basic principles of radiological protection remain «justification» «optimisation» and «limitation».

# A: STRAHLENSCHUTZ IN DEN KERNANLAGEN

Bei der Auswertung der Daten richtet sich die HSK nach der «Empfehlung zur Rundung der Dosiswerte der anerkannten Personendosimetriestellen für die Meldung an die Kunden und an das Zentrale Dosisregister», die von der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität (KSR) im Jahr 2004 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. Fallweise können einzelne nicht dosisrelevante Abweichungen zwischen den Auswertungen der Personendosimetriestellen und der HSK entstehen. Die von der Dosimetriestelle des PSI ermittelten Neutronendosen werden bei der Bestimmung der Ganzkörperdosen berücksichtigt.

In den nachstehenden Kapiteln werden die Resultate der Auswertungen der HSK dargestellt.

## 1. Kernkraftwerke

### 1.1 Kernkraftwerk Beznau (KKB)

#### Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2007 wurden im KKB folgende Kollektivdosen ermittelt. Da in den beiden Blöcken jeweils alternierend ein kurzer Brennelementwechsel oder ein länger dauernder Revisionsstillstand durchgeführt wird, sind als Vergleich die Werte der beiden letzten Jahre angeführt:

KKB 1			
Aktionen	Kollektivdosis in Pers.-mSv		
	2007	2006	2005
Revisionsstillstand		355	
Brennelementwechsel	100		152
Leistungsbetrieb	56	47	51
Gesamte Jahreskollektivdosis	156	402	203

KKB 2			
Aktionen	Kollektivdosis in Pers.-mSv		
	2007	2006	2005
Revisionsstillstand	357		451
Brennelementwechsel		75	
Leistungsbetrieb	52	47	51
Gesamte Jahreskollektivdosis	409	122	502

KKB 1 und 2			
Aktionen	Kollektivdosis in Pers.-mSv		
	2007	2006	2005
Revisionsstillstand und BE-Wechsel	457	430	603
Leistungsbetrieb	108	94	102
Gesamte Jahreskollektivdosis	565	524	705

Im Kalenderjahr 2007 wurde in den beiden Blöcken des KKB eine Kollektivdosis von 565 Pers.-mSv verzeichnet. Die höchste im KKB registrierte Individualdosis betrug



8,2 mSv (2006: 8,7 mSv) und lag somit wieder deutlich unterhalb des Dosisgrenzwerts nach Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr sowie unterhalb des entsprechenden betriebseigenen Planungsziels von 10 mSv pro Jahr. Es traten keine Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, und auch keine Inkorporationen auf.

Im Block 1 der Anlage Beznau wurde im Berichtsjahr zwischen dem 26. Juni und 8. Juli 2007 der 35. Brennelementwechsel durchgeführt. Das Abfahren verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Strahlenschutztechnisch relevante Arbeiten während des Stillstands waren neben dem Brennelementwechsel die Abdichtmassnahmen an einer Schweissnaht beim Transferrohrflansch im Reaktorbecken sowie ein im Vorfeld nicht eingeplanter Austausch der Restwärmepumpe B. Die Arbeiten im Stillstand verursachten insgesamt eine Kollektivdosis von 100 Pers.-mSv. Die Planungs-dosis von 81 Pers.-mSv wurde auf Grund des erwähnten Austauschs der Restwärmepumpe B um 19 Pers.-mSv oder 23 % überschritten.

Im Block 2 der Anlage Beznau wurde im Berichtsjahr eine geplante Revisionsabstellung vom 10. August bis 9. September 2007 durchgeführt. Das Abfahren verlief ebenfalls ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Die für die Arbeiten beim Revisionsstillstand im Block 2 registrierte Kollektivdosis betrug 357 Pers.-mSv, geplant waren 412 Pers.-mSv. Erreicht wurde diese niedrigere Kollektivdosis durch strahlenschutzgerechtes Verhalten aller Mitarbeitenden, ein effizientes Abschirm- und Absperrungskonzept und niedrige Ortsdosisleistungen in den kontrollierten Zonen. Der radiologische Zustand war in den aktiven Systemen und damit auch in der kontrollierten Zone wegen des schadensfreien Brennstoffs sehr gut.

Ein Grossteil der Arbeiten während der Revisionsabstellung entfiel auf umfangreiche Wiederholungsprüfungen wie z. B. zerstörungsfreie Prüfungen von Durchführungen und Rundnähten am Deckel des Reaktordruckbehälters (RDB) sowie auf die Wirbelstromprüfung aller Heizrohre beider Dampferzeuger. Die für alle Wiederholungsprüfungen prognostizierte Kollektivdosis von 92 Pers.-mSv konnte um 14 Pers.-mSv unterschritten werden. Der Grund dafür lag vor allem in der günstigen radiologischen Situation. So lag zum Beispiel die Ortsdosisleistung am Mannloch des Dampferzeugers B auf der heissen Seite im Berichtsjahr bei 14 mSv/h, im Jahr 2001 belief sie sich noch auf 33 mSv/h.

Weitere dosisintensive Tätigkeiten während der Revisionsabstellung waren unter anderem der Brennelementwechsel mit 27 Pers.-mSv, diverse Arbeiten der Maschinenteknik mit 46 Pers.-mSv, die Reinigung der Anlage, des Reaktorbeckens und des Transferkanals mit 36 Pers.-mSv und der Austausch von 10 Incore-Thermoelementen mit 14 Pers.-mSv. Die Jobdosis für den Brennelementwechsel wurde um 32 %, die für die Abschirmarbeiten um 34 % und die für den Austausch des Innenblocks der Reaktorhauptpumpe A um 44 % unterschritten.

In den meisten Fällen konnte die Jobdosis deshalb unterschritten werden, weil die Dosisleistungen an Komponenten im Primärkreis niedriger waren als in der Vergangenheit und weil das Reaktorwasser eine aussergewöhnlich niedrige Aktivitätskonzentration aufwies.

Der Personalbestand des Ressorts Strahlenschutz war während dem Leistungsbetrieb und dem Revisionsstillstand sowie beim Brennelementwechsel ausreichend, um die administrativen und technischen Schutz- und Überwachungsaufgaben korrekt auszuüben und sicherzustellen.

Die HSK stellte bei mehreren Inspektionen fest, dass in den beiden Anlagen des KKB ein konsequenter und gesetzeskonformer operationeller Strahlenschutz betrieben 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.

Das KKB hat die Dokumentation des Post Accident Sampling Systems (PASS) auf Grund der Erfahrungen bei Funktionsprüfungen, Schulungen und einer Inspektion nachgeführt. Darin wird die Dosis für das Personal sowohl beim Erheben einer flüssigen als auch einer gasförmigen Probe neu abgeschätzt und bewertet. Die Grössenordnungen der Dosiswerte sind im Einklang mit den Anforderungen.

Im Rahmen des Ausbaus des Behälterlagers ZWIBEZ hat das KKB zusätzliche Dosisleistungsmonitore für Neutronen und Gammastrahlung im Empfangsbereich für Abfallgebinde installiert und in Betrieb genommen.

Das KKB hat die im Rahmen der Anerkennungsverfügung erteilten Auflagen zum Betrieb der Elektronischen Personendosimeter mit Berichten über die Qualität und Rückführbarkeit der Erstkalibrierung und über die Erfahrungen mit dem Dosimetriesystem DIS-1 erfüllt.

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

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen der HSK und die halbjährlich gemeinsam mit dem Bundesamt für Gesundheit (BAG) durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Jodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKB.
- Das KKB beteiligte sich im Berichtsjahr mit dem DIS-System (Direct Ion Storage-System) an der von BAG und HSK gemeinsam organisierten und in der Anerkennungsverfügung geforderten Vergleichsmessung für Personendosimeter. Dabei erreichte das Messsystem am Referenzpunkt die erforderliche Messgenauigkeit von  $\pm 10\%$ .

## 1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)

### Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2007 wurden im KKG folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Werte aus dem Jahr 2006):

Aktionen	Kollektivdosis in Pers.-mSv	
	2007	2006
Revisionsstillstand	452	445
Leistungsbetrieb	97	96
Gesamte Jahreskollektivdosis	549	541

Im Kalenderjahr 2007 belief sich die Kollektivdosis im KKG auf 549 Pers.-mSv (2006: 541 Pers.-mSv). Die höchste im KKG registrierte Individualdosis betrug 11,3 mSv (2006: 10,5 mSv). Der Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr wurde somit deutlich unterschritten. In einem Fall wurde eine Personenkontamination festgestellt, die sich mit einfachen Mitteln nicht entfernen liess. Nach einem Tag konnte die betroffene Person die Monitore aber wieder problemlos passieren.

Zwischen dem 2. und dem 20. Juni 2007 war die Anlage für den Revisionsstillstand abgestellt. Bei den Arbeiten während des Revisionsstillstands wurden 452 Pers.-mSv akkumuliert, geplant waren 510 Pers.-mSv. Es wurden dabei keine Personenkontaminationen festgestellt, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten. Insgesamt gab es knapp 30 leichte Kontaminationsfälle bei 5547 Austritten aus der kontrollierten Zone. Es traten keine Inkorporationen auf.

Aus den Kontrollen der Luft und der Oberflächen in der Anlage ergaben sich keine Hinweise auf unzulässige Kontaminationen. An einigen allgemein zugänglichen Komponenten wurden im Vergleich zu den Vorjahren geringere Gamma-Ortsdosisleistungen gemessen. Beispielsweise wurden auf der Innenseite des RDB-Deckels im Vergleich zu den letzten Jahren noch 50 % der Ortsdosisleistung gemessen. Für die Abschirmungen in der Anlage wurden insgesamt 11 Tonnen Blei verwendet. Bis zum Beginn der Arbeiten an geöffneten Primärkomponenten konnte die Anlage als Zone II begangen werden, da sie sich nach dem Abfahren als radiologisch sehr sauber erwies. Der Kontaminationsgrad der Räume in Bezug auf Luft oder Oberflächen blieb während der gesamten Revision sehr niedrig. Nach dem Öffnen von Primärkomponenten wurden Zonen III oder in besonderen Fällen Zonen IV eingerichtet. Im Beckenbereich stieg die Alpha-Kontamination nicht über die Nachweisgrenze von 0,1 Bq/m<sup>3</sup>. Das KKG plante im Berichtsjahr zwei Arbeiten mit Kollektivdosen über 50 Pers.-mSv. Die Planung wurde mit der HSK im Vorfeld besprochen. Eine Arbeit betraf Schweissnahtprüfungen an einer Dampferzeuger-Primärkalotte, für die 65 Pers.-mSv geplant wurden. Tatsächlich wurden auf Grund des reibungslosen Arbeitsablaufes und des niedriger als erwarteten Strahlenpegels 35 Pers.-mSv akkumuliert. Für die zweite Arbeit wurden Prüfungen an den Hauptkühlmittelleitungen mit 85 Pers.-mSv geplant. Tatsächlich wurden 151 Pers.-mSv akkumuliert, weil der Arbeitsaufwand für den Auf- und Abbau der Isolationen zu optimistisch eingeschätzt wurde. Ausserdem mussten die Arbeiten ohne den Prüfkörper begonnen werden, der zu Beginn der Arbeiten nach dem Einschleusen einige Zeit un auffindbar blieb. Wegen der aus diesem Grund verlängerten Prüfdauer erhöhte sich die Arbeitsdosis um 30 %. Kurz nach dem Wiederanfahren liessen die Analyse-daten des Primärwassers auf einen Brennelementschaden schliessen. Der Verlauf der Neptunium-Konzentration im Reaktorwasser deutete im Weiteren auf einen Sekundärschaden hin. Bis Ende 2007 ergaben sich daraus aber keine radiologischen Konsequenzen.

Die HSK stellte bei mehreren Inspektionen fest, dass im KKG ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz betrieben wird.

## 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 Kontrollen der Messgeräte durch das Kraftwerkspersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Im Berichtsjahr hat das KKG bei zwölf Kreislaufaktivitätsmessstellen die Szintillationszähler ersetzt, um die Ersatzteilhaltung weiterhin zu gewährleisten.

Neben den HSK-Inspektionen wurden 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 KKG.
- An der vom BAG und der HSK gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für Personendosimetriestellen hat die Dosimetriestelle des KKG teilgenommen und den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeit von  $\pm 10\%$  am Referenzpunkt erbracht.

## 1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)

### Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2007 wurden im KKL folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Werte aus dem Jahr 2006):

Aktionen	Kollektivdosis in Pers.-mSv	
	2007	2006
Revisionsstillstand	420	633
Leistungsbetrieb	192	252
Gesamte Jahreskollektivdosis	612	885

Im Kalenderjahr 2007 belief sich die im KKL verzeichnete Kollektivdosis auf 612 Pers.-mSv (2006: 885 Pers.-mSv). Die höchste akkumulierte Individualdosis betrug 7,5 mSv (2006: 10,4 mSv). Sowohl der Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr als auch das KKL-interne Ziel für die maximale Individualdosis von 10 mSv wurden damit unterschritten. Personenkontaminationen, die nicht mit den üblichen Mitteln entfernt werden konnten, sowie Inkorporationen sind weder im Leistungsbetrieb noch im Revisionsstillstand aufgetreten.

Die Anlage wurde vom 4. bis 22. August 2007 für den Revisionsstillstand abgestellt. Die radiologische Situation war dank des schadenfreien Brennstoffs günstig. Die Konzentration der Iod-Isotope im Reaktorwasser sank nach dem Abfahren der Anlage unter den Wert der Vorjahre. Aus den Oberflächendosisleistungs-Messwerten an den Komponenten des Primärkreislaufs, die ungefähr denjenigen aus dem Vorjahr entsprachen, ergaben sich keine Hinweise darauf, dass Korrosionsprodukte durch den Scram 124 abgelöst und an andere Stellen verfrachtet wurden. Detailliertere Informationen zu diesem Vorkommnis sind im Aufsichtsbericht 2007 der HSK enthalten.

Bei der Planung der Revision wurde eine Kollektivdosis von 580 Pers.-mSv abgeschätzt. Tatsächlich belief sich die Kollektivdosis auf 420 Pers.-mSv. Grund für die Abweichung waren einerseits zu konservative Annahmen bezüglich der Arbeitszeiten in der Planung und ein im Vergleich zu den Vorjahren störungsarmer Revisionsverlauf.

Die Kollektivdosisverteilung in der Primäranlage zeigte, dass während der Revision im Drywell insgesamt 250 Pers.-mSv akkumuliert wurden, was 42 % der gesamten Kollektivdosis entspricht. Die Jobdosis für die Wiederholungsprüfungen am RDB-Zylinder war mit 59 Pers.-mSv um ca. 25 % höher als die 45 Pers.-mSv der Prognose. Die Gründe für die höhere Jobdosis liegen in den zu wenig optimierten Aufenthaltszeiten im Strahlenfeld des RDB, die von der HSK während ihrer Inspektionen beobachtet wurden, sowie in Betriebsstörungen des Manipulators. Weitere dosisintensive Tätigkeiten während des Stillstands waren unter anderem weitere Wiederholungsprüfungen (82 Pers.-mSv), Instandhaltungen auf der Primärseite (142 Pers.-mSv) und Reinigungsarbeiten (36 Pers.-mSv).

Das KKL hatte für die diesjährige Revision insgesamt 34 Fremd-Strahlenschützer zur Verfügung gestellt bekommen, 6 weniger als ursprünglich eingeplant. Die

Einsatzstrategie wurde dahingehend angepasst, dass Arbeitsplätze mit niedrigem radiologischem Gefährdungspotenzial weniger intensiv durch Strahlenschutzpersonal begleitet wurden. An anderen Stellen (z. B. Zoneneingang ins Drywell) mussten Wartezeiten in Kauf genommen werden. Die HSK prüfte gezielt bei den Inspektionen zum operationellen Strahlenschutz die Auswirkungen dieses Personalmangels. Die Qualität der radiologischen Überwachung wurde laut KKL nicht vermindert. Die HSK hat jedoch Mängel festgestellt, die u. a. auf den zu geringen Bestand an Strahlenschutzpersonal zurückzuführen sind. Beispielsweise fand sie zu wenig Orientierungshilfen, zu geringe Betreuung des Revisionspersonals bezüglich Strahlenschutz, mangelnde Dokumentation sowie verminderte Möglichkeiten, situationsgerechte Optimierungsmassnahmen zu planen und durchzuführen. Die Anzahl der beobachteten Wasser- und Öllachen deutete auf zu wenig Kontrollgänge und Reinigungen hin.

Die durch die DAK-Wasser-Leckage (Druckabbau-Kammer) verursachte Kontamination im SEHR-Gebäude (Special Emergency and Heat Removal, Notstandssystem) wurde im begehbaren Bereich vom KKL fachgerecht gesäubert, kontrolliert und auf Zone Typ I zurückgestuft. Es konnten jedoch nicht alle Oberflächen, z.B. in den Kabelpritschen, vollständig dekontaminiert werden, weshalb die Zugänge zu den betroffenen Räumen auf Verlangen der HSK mit dem Hinweis versehen wurden, dass der Zutritt nur mit Strahlenschutz-Begleitung erlaubt ist.

Die HSK hat sich vor Ort überzeugt, dass bei dieser Leckage keine Radioaktivität in benachbarte Räume verfrachtet wurde. In den Räumlichkeiten in der Nähe der Rohrleitung zur Grundwasserpumpe wurden von der HSK Oberflächenkontaminationskontrollen durchgeführt. Die Messergebnisse gaben keinen Hinweis darauf, dass eine Kontamination dieser Räume durch das radioaktive DAK-Wasser erfolgte. Da der Brunnen-schacht dicht abgedeckt ist, kann ausserdem ausgeschlossen werden, dass radioaktive Stoffe ins Grundwasser gelangt sind.

Um Kontaminationsverschleppungen in inaktive Systeme und eine unkontrollierte Abgabe an die Umwelt auszuschliessen, hatte die HSK das KKL 2004 aufgefordert, das gesamte radiologische Zonenkonzept der Anlage systematisch zu analysieren. Diese umfassende und aufwändige Überprüfung des radiologischen Zonenkonzepts wurde im Berichtsjahr weitergeführt. Die Arbeit hat zum Ziel, potenzielle Schwachstellen aufzuspüren, zu dokumentieren, geeignete Massnahmen

zur Behebung vorzuschlagen und diese entsprechend umzusetzen.

Zudem wurde ein Konzept zur Verhinderung ungeplanter Strahlenexpositionen erstellt. Begehbare Bereiche, in denen die KKL-interne Schwelle von 20 mSv/h überschritten werden kann, müssen mindestens mit einer administrativen und einer physischen Barriere (z.B. Schloss oder Betonriegel) gesichert werden. Die Dringlichkeit dieses Konzepts wurde durch eine unvorhergesehene Erhöhung der Dosisleistung an einem Absperrventil im Kühl- und Reinigungssystem des Brennelementlagerbeckens deutlich. Diese wurde durch einen wandernden Hotspot verursacht. Dabei haben drei Betriebsmitarbeiter eine ungewöhnliche Tagesdosis im Bereich zwischen 0,2 und 1,0 mSv akkumuliert.

Die HSK stellte bei mehreren Inspektionen fest, dass im KKL, trotz Verbesserungspotenzials, ein konsequenter und gesetzeskonformer operationeller Strahlenschutz praktiziert wird.

## 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.

Das KKL hat im Berichtsjahr den Ersatz der Aerosolmonitore und des Jodmonitors der Kaminfortluftüberwachung abgeschlossen. Durch diesen Ersatz ist die Ersatzteilhaltung weiterhin gewährleistet.

Die Personendosimetriestelle des KKL erneuerte die Fingerringdosimeter, da die Vergleichsmessung am Ende des Vorjahres eine Unterempfindlichkeit von 16 % statt höchstens minus 10 % ergab. Die neuen Fingerringdosimeter wurden im Eichlabor des PSI kalibriert, so dass die Anforderungen der Dosimetrierverordnung wieder erfüllt sind.

Zusätzlich zu den HSK-Inspektionen wurden 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 Jod-

filtern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKL.

- An der vom BAG und der HSK gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für Personendosimetriestellen hat die Dosimetriestelle des KKL den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeit von  $\pm 10\%$  am Referenzpunkt erbracht.

## 1.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)

### Schutz des Personals

Im Kalenderjahr wurden im KKM folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Werte aus dem Jahr 2006):

Aktionen	Kollektivdosis in Pers.-mSv	
	2007	2006
Revisionsstillstand	901	709
Leistungsbetrieb	401	354
Gesamte Jahreskollektivdosis	1302	1063

Im Kalenderjahr 2007 belief sich die Kollektivdosis im KKM auf 1301,8 Pers.-mSv (2006: 1063 Pers.-mSv). Die höchste im KKM registrierte Individualdosis betrug 11,6 mSv (2006: 10,7 mSv). Die in der Strahlenschutzverordnung festgelegte Limite für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr wurde deutlich unterschritten. Der KKM-interne Richtwert von 10 mSv pro Jahr wurde jedoch in drei Fällen überschritten. Im Berichtszeitraum traten keine Personenkontaminationen auf, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten. Es wurden keine Inkorporationen festgestellt.

Vom 5. August bis 2. September 2007 wurde die Anlage für die Jahresrevision abgestellt. Die Arbeiten während des Revisionsstillstandes führten zu einer Kollektivdosis von 900,5 Pers.-mSv, die unter dem geplanten Wert von 1131 Pers.-mSv liegt. Der Beitrag der Arbeiten im Drywell betrug mit 470 Pers.-mSv annähernd 50 %.

Der Revisionsstillstand war von den umfangreichen Arbeiten auf der B-Seite im Maschinenhaus mit dem Austausch von vier Schaufelreihen im Hochdruckteil und dem Ersatz der beiden Niederdruckturbinenläufer geprägt. Die ausgebauten Komponenten der Niederdruckturbinen wurden dicht in Folien eingeschweisst und in einem speziellen Zelt ausserhalb der kontrollierten Zone temporär gelagert. Nach dem Stillstand

wurden die Komponenten wieder in die kontrollierte Zone verschoben, dort dekontaminiert und zerlegt. Gewisse Teile werden im Ausland eingeschmolzen und anschliessend wieder in die Schweiz zurück transportiert. Als weitere wichtige dosis- und arbeitsintensive Arbeiten während des Stillstands wurden mehrere wiederkehrende Prüfungen an Rohrleitungsschweißnähten der Umwälzschleifen im Drywell durchgeführt. In zwei Fällen führten diese Arbeiten zu Kollektivdosen, die signifikant höher waren als die geplanten. Der KKM-Strahlenschutz konnte aber in beiden Fällen die überschrittenen Planungsdosen mit den erschwerten Arbeitsbedingungen vor Ort erklären. Erwähnenswert ist auch die Reinigung des Torus, die zum letzten Mal 2002 erfolgte. Die Reinigungsarbeiten, die auf den früheren Erfahrungen aufgebaut waren, erfolgten im Dreischichtbetrieb und konnten innerhalb des vorgegebenen Zeitraums und unter Einhaltung der Dosis-schätzung erfolgreich abgeschlossen werden. Im Aufenthaltsbereich ausserhalb des Torus auf -11 m lagen die Ortsdosisleistungen um etwa einen Faktor 4 tiefer als vor der Reinigung.

Im Betriebsjahr traten keine Brennelementschäden auf. Die Ausgangslage für die Revision war aus Sicht des Strahlenschutzes deshalb gut. Die mittlere Dosisleistung an den Umwälzschleifen lag im Vergleich zum Vorjahr um etwa 22 % tiefer und betrug gemäss dem standardisierten Messprogramm 2,1 mSv/h (2006: 2,7 mSv/h). Der seit 2004 abnehmende Trend setzt sich weiter fort. Trotz tiefer Dosisleistungen mussten im Drywell die am stärksten strahlenden Komponenten in den oft begangenen Bereichen mit etwa 75 Tonnen Blei abgeschirmt werden. Die umfangreichen und dokumentierten Messungen der Oberflächenkontaminationen in den kontrollierten Zonen zeigten keine dauernden Erhöhungen der Kontaminationspegel an, die nicht mit geeigneten Massnahmen entfernt werden konnten. Die Messungen der Luftkontaminationen zeigten ebenfalls keine unzulässigen Werte.

Die vielen personalintensiven Arbeiten in der kontrollierten Zone führten dazu, dass im KKM vor dem Jahresstillstand eine zusätzliche Garderobe für 180 Personen in Betrieb genommen wurde. Der Zu- und Austritt aus dieser temporären Garderobe erfolgte direkt auf 0 m im Maschinenhaus und wurde überwiegend von dem in diesem Anlageteil arbeitenden Personal benutzt. Für die radiologische Überwachung des entsprechenden Zonenübergangs wurde eine ähnliche Infrastruktur wie auf dem normalen Übergang im Maschinenhaus auf +8 m installiert. Dank dieser temporären Garderobe,

die auch in der nächsten Revision eingesetzt werden soll, entstanden keine längeren Wartezeiten an den äusseren Zonenübergängen.

Die HSK stellte bei mehreren Inspektionen fest, dass im KKM ein konsequenter und gesetzeskonformer operationeller Strahlenschutz praktiziert wird.

## 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. Das KKM hat sich entschieden, auf die Anerkennung

der Messstelle zur Überwachung interner Bestrahlung vorläufig zu verzichten, weil ihr Ganzkörperzähler auf Grund geplanter Umbauarbeiten und Verbesserungen der Messstabilität temporär nicht zur Verfügung steht. Zusätzlich zu den HSK-Inspektionen wurden 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 BAG und der HSK gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für Personendosimetriestellen hat die Dosimetriestelle des KKM den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeit von  $\pm 10\%$  am Referenzpunkt 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 2007 akkumulierten die 1375 beruflich strahlenexponierten Personen (Aufsichtsbereiche des BAG und der HSK) eine Kollektivdosis von 154,4 Pers.-mSv (2006: 183,4 Pers.-mSv). Die Kollektivdosis im Aufsichtsbereich der HSK betrug 20,6 Pers.-mSv (2006: 19,0 Pers.-mSv). Die höchste Individualdosis lag bei 4,4 mSv (2006: 6,6 mSv).

Die im Kalenderjahr von der HSK in den Kernanlagen des PSI durchgeführten Inspektionen zeigten einen fachgerechten operationellen Strahlenschutz.

Die HSK hat festgestellt, dass in den PSI-Anlagen im HSK-Aufsichtsbereich ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz praktiziert wird.

### Strahlenschutzinstrumentierung

Die Dosimetriestelle des PSI hat den in der Anerkennungsverfügung geforderten Langzeitversuch mit den Neutronendosimetern mit CR-39-Detektoren abgeschlossen und in einem Bericht gezeigt, dass keine eigentlichen Fading-Effekte auftreten, dass aber die Empfindlichkeit der Detektoren mit der Dauer der Zeitspanne zwischen Produktion und Einsatz abnimmt. Dieser Effekt wird bei der Auswertung berücksichtigt.

### 2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)

In der Berichtsperiode wurde im ZZL eine Kollektivdosis von 22,3 Pers.-mSv akkumuliert. Der geschätzte Wert von 34,2 Pers.-mSv wurde deutlich unterschritten, weil die Arbeiten, auch aus Sicht des Strahlenschutzes, diszipliniert durchgeführt wurden. Ausserdem musste die Ausmauerung des Drehherdbodens in der Plasma-Anlage nur ein statt wie geplant zwei Mal ausgewechselt werden.

Die höchste registrierte Einzeldosis betrug 4,5 mSv. Im Berichtsjahr wurden keine Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, und keine Inkorporationen festgestellt. Die durch den Strahlenschutz regelmässig durchgeführten Probenahmen zeigten weder auf den Oberflächen noch in der Atemluft Hinweise auf unzulässige Kontaminationen.

Zu Beginn des Berichtsjahres fand mit dem Ersatz der Ausmauerung des Drehherdbodens in der Plasma-Anlage eine dosisintensive Arbeit statt. Weitere für den Strahlenschutz relevante Tätigkeiten waren u.a. die radiologische Überwachung der beiden Verbrennungskampagnen, die Anlieferung und Einlagerung von Behältern mit abgebrannten Brennelementen, die Anlieferung von Beton-Containern mit radioaktiven Abfällen sowie die Umladung von Brennelementen aus dem KKM in der Heissen Zelle.

Sämtliche Tätigkeiten wurden erfolgreich unter Einhaltung der gesetzlichen und internen Strahlenschutzvorgaben durchgeführt. Die Ergebnisse mehrerer HSK-Inspektionen bestätigen, dass im ZZL ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz angewendet wird.

## 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 LRS (Laboratoire de physique des réacteurs et de comportement des systèmes) zugeteilt, das dem Institut de physique de l'énergie et des particules (IPEP) angehört. Im Jahr 2007 stand der CROCUS-Reaktor Ingenieur- und Physikstudenten der EPFL, Kursteilnehmern der Reaktorschule des PSI sowie Studenten der Ingenieurschule Genf und neu auch Studenten des Departements für Maschinenbau und Verfahrenstechnik der ETHZ während 137 Stunden bei kleiner Leistung (unter 100 W) für Ausbildungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 145 Wh thermische Energie erzeugt. Am Experiment CARROUSEL wurden Praktika zur Wirkung von Wasser als Moderator auf den Neutronenfluss durchgeführt. Die Neutronenquelle LOTUS war nicht in Betrieb.

Im Berichtsjahr, wie schon im Jahr 2006, lagen die Dosen des Personals unterhalb der Nachweisgrenze. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwas-

serpfad war unbedeutend. Anlässlich einer Inspektion im November 2007 stellte die HSK fest, dass sich die Anlagen in einem ordentlichen, sauberen sowie 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 vorwiegend der Ausbildung von Operateuranwärtern, Schülern und Studenten. Die Nutzung des AGN-211-P-Reaktors hat sich gegenüber den Vorjahren verdoppelt. Im Jahr 2007 stieg die produzierte Energie von 36,6 kWh im Jahr 2006 auf 36,9 kWh. Es konnten keine Kontaminationen im Reaktorwasser oder in der Reaktorhalle nachgewiesen werden. Die Individualdosen sowie die Kollektivdosen lagen unterhalb der Nachweisgrenze der eingesetzten Dosimeter. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend.

Die HSK stellte fest, dass am Forschungsreaktor der Universität Basel ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz praktiziert wird.

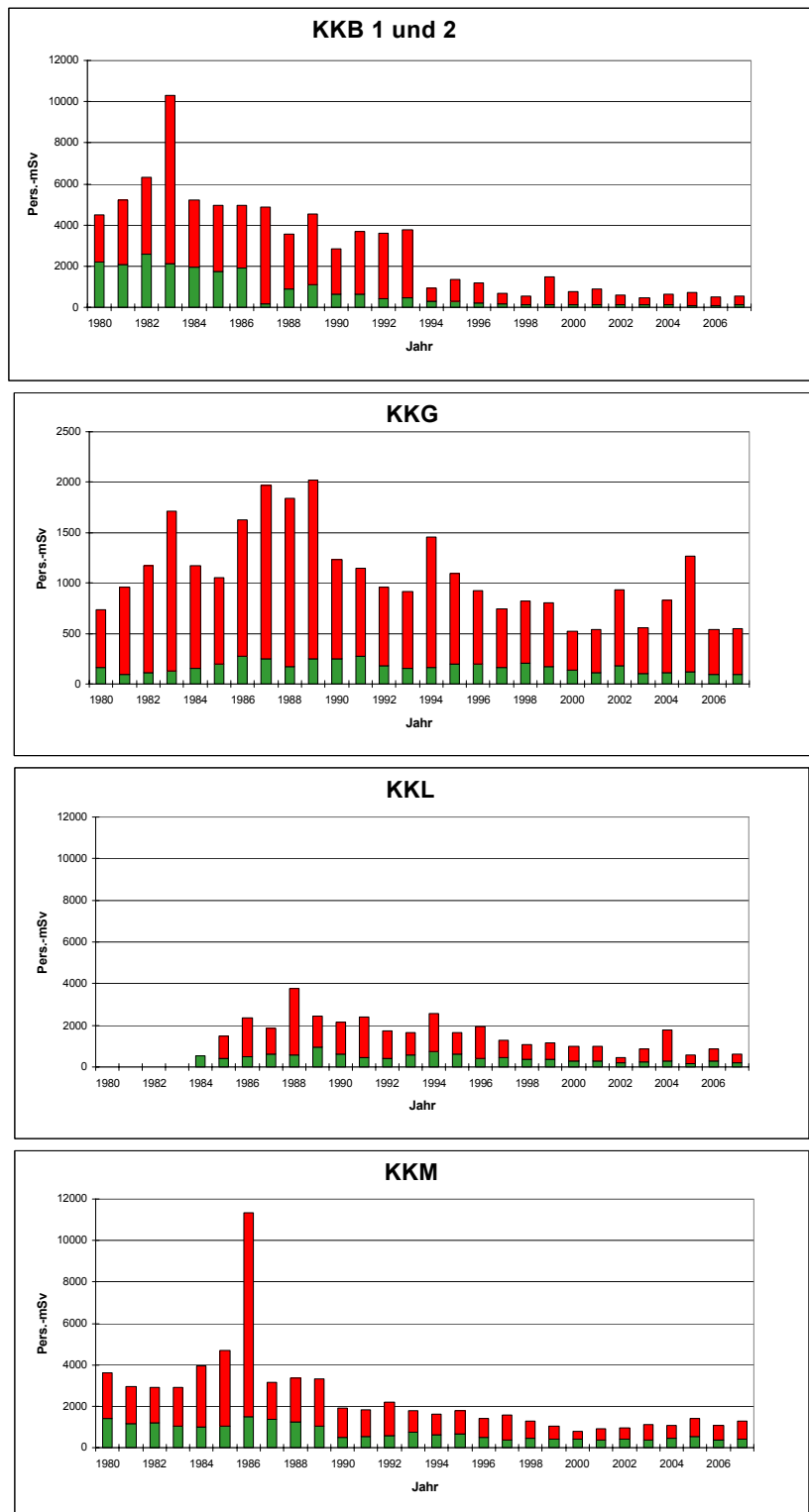


# 3. Grafische Darstellungen

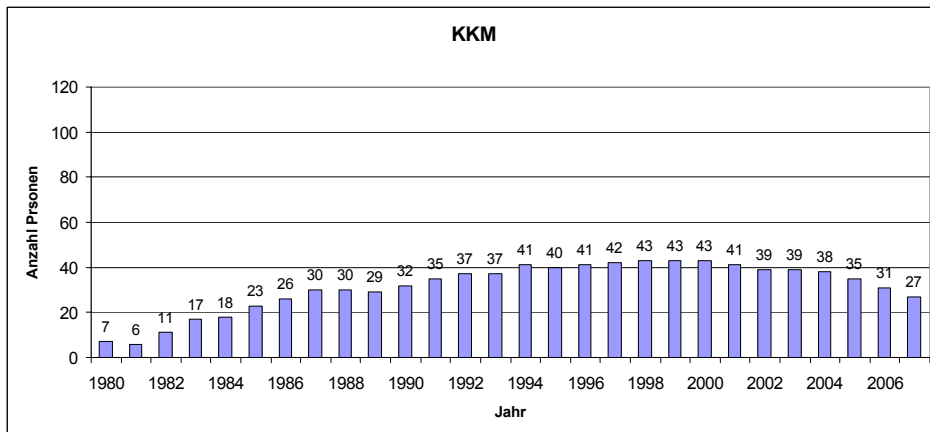
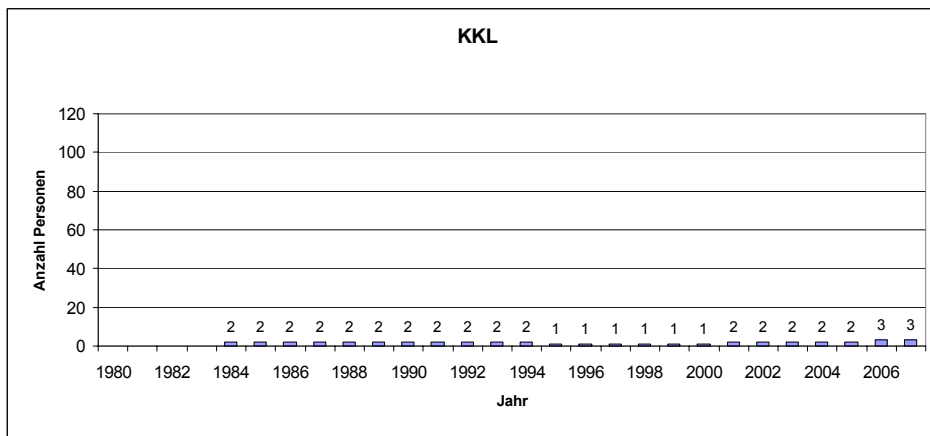
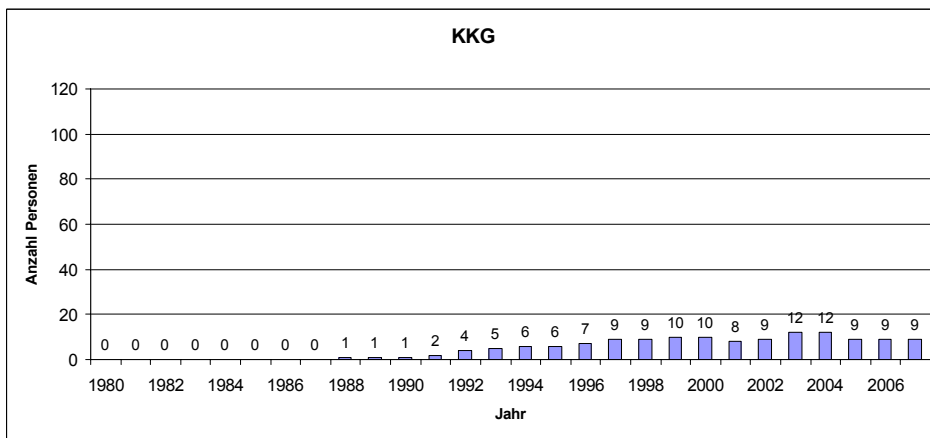
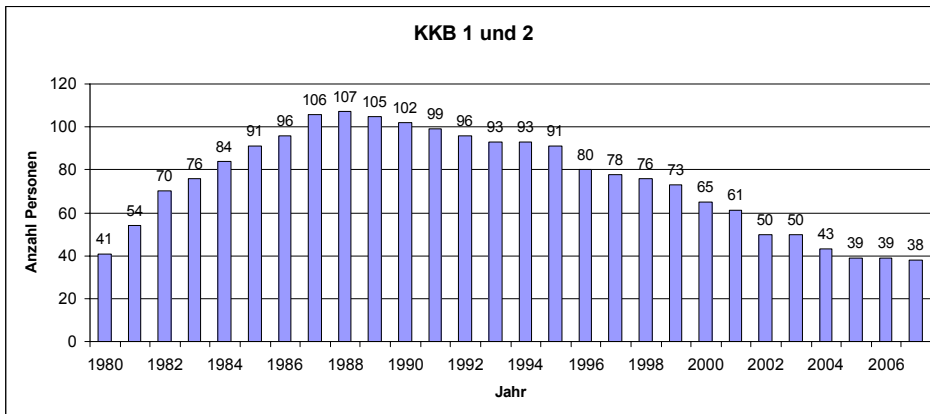
In den Darstellungen A.1 und A.2 sind die Jahreskollektivdosen der Kernkraftwerke sowie die Anzahl der Personen mit einer beruflichen Lebensdosis über 200 mSv

als Übersicht grafisch dargestellt. Darstellung A.3 zeigt den Verlauf der Kollektivdosen der Kernkraftwerke, des ZZL und des PSI seit Inbetriebnahme der Anlagen.

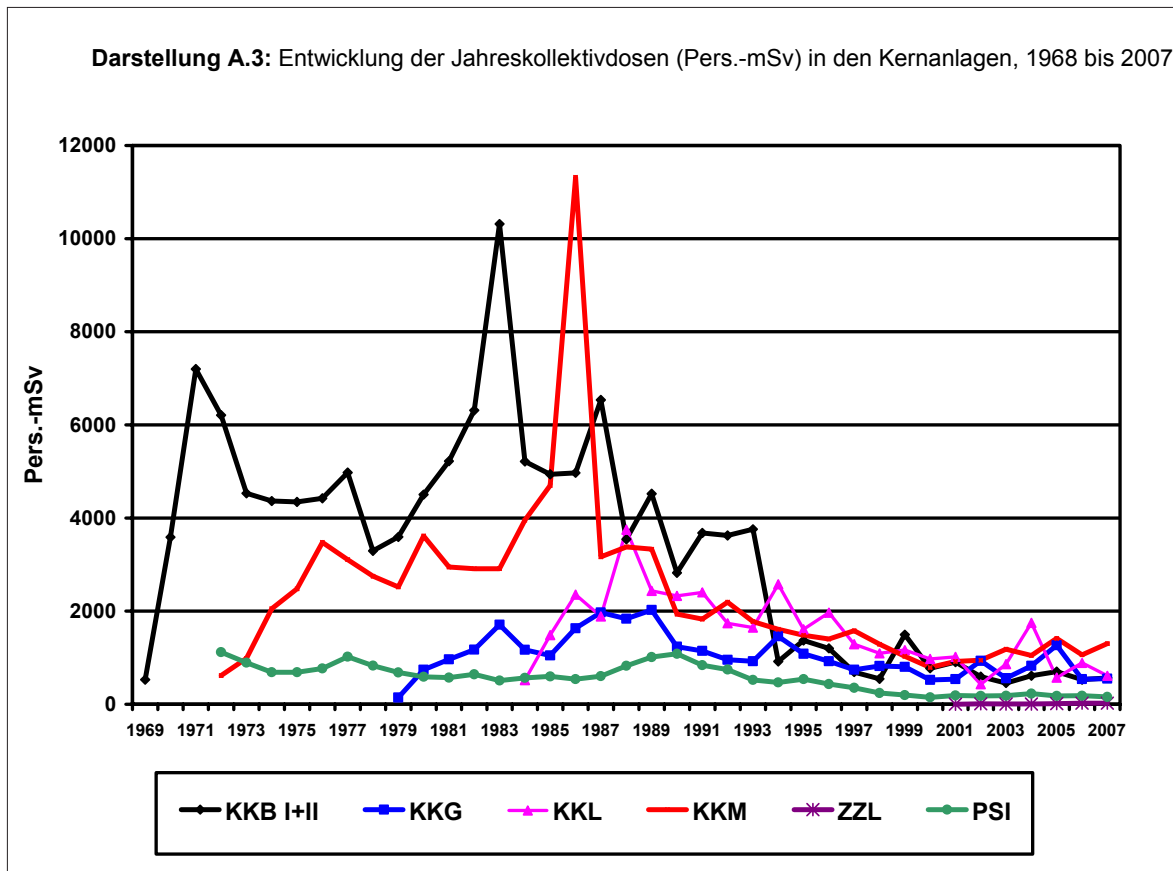
**Darstellung A.1:**  
 Jahreskollektivdosen (Pers.-mSv) der Kernkraftwerke, 1980 bis 2007. Rot bezeichnet die Daten aus den Revisionsstillständen, grün diejenigen aus dem Leistungsbetrieb



**Darstellung A.2:** Anzahl Personen mit einer beruflichen Lebensdosis über 200 mSv, Kernkraftwerke, 1980 bis 2007



Darstellung A.3: Entwicklung der Jahreskollektivdosen (Pers.-mSv) in den Kernanlagen, 1968 bis 2007



# 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 und des nichtberuflich strahlenexponierten Personals in der Schweiz. Die Richtlinie HSK R-12, «Erfassung und Meldung der Dosen des strahlenexponierten Personals der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts» in der Fassung von Oktober 1997 regelt technische Details über die Form und den Umgang mit den 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, auszuwerten und entsprechend den Vorgaben der Strahlenschutzverordnung an das BAG weiter zu leiten.

Die Strahlenschutzverordnung schreibt vor, dass die maximale Exposition jeder einzelnen beruflich strahlenexponierten Person 20 mSv pro Jahr nicht überschreiten darf.

In der HSK-Richtlinie R-15 wird festgelegt, dass für geplante Stillstände oder Arbeiten mit einer erwarteten Jobdosis von über 50 Pers.-mSv die ausgearbeiteten Planungen rechtzeitig der Aufsichtsbehörde vorgelegt werden müssen. Die HSK prüft die eingereichten Strahlenschutzplanungen. Somit wird auch der in der Strahlenschutzverordnung verlangte Optimierung der radiologischen Schutzmassnahmen Folge geleistet.

In der HSK-Richtlinie R-11, «Strahlenschutzziele im Normalbetrieb von Kernanlagen», ist für die jährliche Kollektivdosis einer Anlageneinheit (Block) ein Wert von maximal 1500 Pers.-mSv festgelegt. Bei einer Überschreitung dieses Werts prüft die HSK die Optimierungsmassnahmen des Betreibers im Detail.

Zur Ermittlung der Dosen und zum Nachweis der Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben betreibt jedes Kernkraftwerk eine von der HSK anerkannte Dosimetriestelle, die die Dosimeter des Eigen- und des Fremdpersonals auswertet und die akkumulierten Dosen registriert. Für das ZZL übernimmt das Kernkraft-

werk Beznau diese Aufgabe. Die Neutronendosimetrie wird für alle Anlagen von der Dosimetriestelle des PSI durchgeführt.

## 4.2 Personendosimetrie: akkumulierte Dosen 2007

Das dosimetrierte Personal in den Kernanlagen wird in zwei Kategorien eingeteilt: Es sind dies Eigenpersonal («EP») und Fremdpersonal («FP»). 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 Kernanlagen 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 nicht relevante Ungenauigkeiten durch Rundungen.

Für das Jahr 2007 haben die fünf anerkannten Dosimetriestellen (KKB, KKG, KKL, KKM und PSI) im Aufsichtsbereich der HSK insgesamt 5511 beruflich strahlenexponierte Personen mit einer Kollektivdosis von 3190,1 Pers.-mSv gemeldet (Mehrfachbuchungen bereinigt). Die an den Universitäten verwendeten Dosimeter (12 Personen) werden entweder vom Institut Universitaire de Radiophysique Appliquée (IRA) oder von der SUVA ausgewertet. Die Meldungen der Dosimetriestelle des PSI umfassen Dosen, die sowohl in Anlagen aus dem Aufsichtsbereich des BAG als auch in Anlagen aus dem Aufsichtsbereich der HSK akkumuliert wurden.

Im Berichtsjahr traten keine Überschreitungen des Grenzwertes für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr auf. Die höchste Individualdosis betrug 11,6 mSv und wurde im KKM ermittelt (siehe dazu auch Kapitel 1.4).

**Tabelle A.1:** Zusammenfassung der Kollektivdosen in den schweizerischen Kernanlagen 2007. Eigen- und Fremdpersonal

Bereich	Anzahl überwachte Personen	Kollektivdosis (Pers.-mSv)
KKB 1 und 2	1080	564.6
KKG	1037	549.3
KKL	1368	612.4
KKM	1150	1301.6
ZZL	125	22.3
PSI	1375	154.4
Universitäten	12	0.0
Aufsichtsbereich der HSK	5511	3190.1

Die mittlere Personendosis (Tiefendosis  $H_p(10)$ ) liegt in den Druckwasser-Reaktoren bei 0,53 mSv (2006: 0,57 mSv), in den Siedewasser-Reaktoren bei 0,76 mSv (2006: 0,80 mSv) pro Person und Jahr.

In einzelnen Anlagen werden auch nicht beruflich strahlenexponierte Personen mit Dosimetern überwacht. Diese Dosen werden ebenfalls der HSK gemeldet. Im Jahr 2007 haben insgesamt 314 Personen

aus diesem Personenkreis eine Kollektivdosis von 1,8 Pers.-mSv akkumuliert. Der Jahresgrenzwert von 1 mSv pro Person gemäss Artikel 37 der StSV wurde eingehalten.

In den folgenden Tabellen wird die Auswertung der Personendosimetrie der Kernanlagen im Aufsichtsbereich der HSK zusammengefasst. Es bedeutet: M = Männer, F = Frauen.

## Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2007. Anzahl Personen.

Tabelle A.2a: Kernkraftwerke

Dosisverteilung [mSv]	KKB 1 + 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW <sup>1)</sup>		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	FP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
0.0 - 1.0	328	565	893	290	604	894	369	815	1184	169	592	761	1154	2089	3243
> 1.0 - 2.0	53	62	115	19	41	60	30	64	94	52	124	176	154	263	417
> 2.0 - 5.0	28	34	62	25	31	56	25	59	84	49	110	159	127	237	364
> 5.0 - 10.0	7	3	10	5	20	25	1	5	6	24	27	51	37	61	98
> 10.0 - 15.0				1	1	2				1	2	3	2	3	5
> 15.0 - 20.0															
> 20.0 - 50.0															
> 50.0															
Total Personen	416	664	1080	340	697	1037	425	943	1368	295	855	1150	1474	2653	4127
Mittel pro Person [mSv]	0.7	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	1.5	1.0	1.1	0.7	0.7	0.7

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

Tabelle A.2b: Kernanlagen und Forschung

Dosisverteilung [mSv]	PSI			Universitäten <sup>2)</sup>	Total Forschung	ZZL			Total KKW EP + FP	Total Kernanlagen und Forschung <sup>1)</sup>
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP		
0.0 - 1.0	1001	334	1335	12	1347	38	82	120	3243	4587
> 1.0 - 2.0	23	6	29		29	1	1	2	417	442
> 2.0 - 5.0	11		11		11	1	2	3	364	379
> 5.0 - 10.0									98	98
> 10.0 - 15.0									5	5
> 15.0 - 20.0										
> 20.0 - 50.0										
> 50.0										
Total Personen	1035	340	1375	12	1387	40	85	125	4127	5511
Mittel pro Person [mSv]	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.7	0.6

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.

2) EPF Lausanne und Universität Basel

## Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2007.

Tabelle A.3a: Kernkraftwerke. Kollektivdosen in Pers.-mSv.

Dosisverteilung [mSv]	KKB 1 + 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW <sup>1)</sup>		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
0.0 - 1.0	61.7	81.8	143.5	34.1	58.6	92.7	58.5	106.7	165.2	28.1	123.4	151.5	181.7	336.9	518.6
> 1.0 - 2.0	75.6	91.9	167.5	28.8	60.5	89.3	43.4	99.2	142.6	82.2	185.6	267.8	230.0	401.6	631.6
> 2.0 - 5.0	93.2	95.8	189.0	81.4	100.0	181.4	71.3	197.6	268.9	171.0	343.6	514.6	416.9	750.5	1167.4
> 5.0 - 10.0	47.1	17.5	64.6	31.3	132.4	163.7	6.4	29.3	35.7	164.3	170.6	334.9	249.1	395.9	645.0
> 10.0 - 15.0				11.3	10.9	22.2				10.5	22.3	32.8	21.8	33.2	55.0
> 15.0 - 20.0															
> 20.0 - 50.0															
> 50.0															
Total [Pers.-mSv]	277.6	287.0	564.6	186.9	362.4	549.3	179.6	432.8	612.4	456.1	845.5	1301.6	1099.5	1918.1	3017.6
Höchste Einzeldosis [mSv]	8.2	6.8	8.2	11.3	10.9	11.3	6.4	7.5	7.5	10.5	11.6	11.6	11.3	11.6	11.6

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

Tabelle A.3b: Kernanlagen und Forschung

Dosisverteilung [mSv]	PSI			Universitäten <sup>2)</sup>	Total Forschung	ZZL			Total KKW EP + FP	Total Kernanlagen und Forschung <sup>1)</sup>
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP		
0.0 - 1.0	68.5	13.7	82.2	0.0	82.2	3.6	5.0	8.6	518.6	606.0
> 1.0 - 2.0	32	8.1	40.1		40.1	1.1	1.9	3.0	631.6	666.9
> 2.0 - 5.0	32.1		32.1		32.1	2.4	8.3	10.7	1167.4	1214.4
> 5.0 - 10.0									645.0	647.8
> 10.0 - 15.0									55.0	55.0
> 15.0 - 20.0										
> 20.0 - 50.0										
> 50.0										
Total [Pers.-mSv]	132.6	21.8	154.4	0.0	154.4	7.1	15.2	22.3	3017.6	3190.1
Höchste Einzeldosis [mSv]	4.4	1.7	4.4	0.0	4.4	2.4	4.5	4.5	11.6	11.6

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.

2) EPF Lausanne und Universität Basel

## Verteilung der Lebensalterdosen des Eigenpersonals 2007.

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

**Tabelle A.4a:** Kernanlagen und Paul Scherrer Institut (PSI)

Dosisverteilung [mSv]	KKB 1 + 2	KKG	KKL	KKM	KKW Total	PSI	ZZL	Kernanlagen und PSI Total
> 100 - 150	29	8	15	20	72	7	0	79
> 150 - 200	22	9	5	17	53	2		55
> 200 - 250	12	5	3	10	30	2		32
> 250 - 300	8	3		7	18	2		20
> 300 - 350	10			1	11	1		12
> 350 - 400	3	1		2	6			6
> 400 - 450	1			1	2			2
> 450 - 500	2			1	3			3
> 500 - 550				4	4			4
> 550 - 600	1			1	2			2
> 600	1				1			1
Total Personen	89	26	23	64	202	14	0	216

**Tabelle A.4b:** Kernanlagen und Paul Scherrer Institut (PSI). Einteilung in Altersklassen

Dosisverteilung [mSv]	21 - 30 Jahre	31 - 40 Jahre	41 - 50 Jahre	51 - 60 Jahre	> 60 Jahre	Kernanlagen und PSI Total
> 100 - 150			25	39	15	79
> 150 - 200		1	8	31	15	55
> 200 - 250			3	19	10	32
> 250 - 300			4	8	8	20
> 300 - 350				9	3	12
> 350 - 400				4	2	6
> 400 - 450				1	1	2
> 450 - 500					3	3
> 500 - 550				3	1	4
> 550 - 600				1	1	2
> 600				1		1
Total Personen	0	1	40	116	59	216



## Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2007. Dosismittelwerte, Kollektivdosen und Anzahl Personen nach Alter und Geschlecht.

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

Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
[mSv]															
0.0 - 1.0	23	2	80	5	698	64	899	82	1246	82	1013	50	338	5	4587
> 1.0 - 2.0			6		81		100	1	140	1	98		15		442
> 2.0 - 5.0	1		4		69		88		112		87		17	1	379
> 5.0 - 10.0					16		18		41		20		3		98
> 10.0 - 15.0									2		2		1		5
> 15.0 - 20.0															
> 20.0 - 50.0															
> 50.0															
Total Personen	24	2	90	5	864	64	1105	83	1541	83	1220	50	374	6	5511
Mittel pro Person [mSv]	0.16	0.00	0.45	0.06	0.63	0.03	0.62	0.06	0.67	0.05	0.59	0.07	0.37	0.52	0.58
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	3.9	0.0	40.4	0.3	543.5	2.0	685.5	4.9	1037.4	4.3	723.0	3.4	138.4	3.1	3190.1

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

Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
[mSv]															
0.0 - 1.0	5	2	11	4	190	53	298	60	313	47	227	30	103	4	1347
> 1.0 - 2.0					2		9		8		8		2		29
> 2.0 - 5.0							3		3		4		1		11
> 5.0 - 10.0															
> 10.0 - 15.0															
> 15.0 - 20.0															
> 20.0 - 50.0															
> 50.0															
Total Personen	5	2	11	4	192	53	310	60	324	47	239	30	106	4	1387
Mittel pro Person [mSv]	0.04	0.00	0.00	0.08	0.08	0.03	0.14	0.02	0.11	0.03	0.17	0.09	0.11	0.03	0.11
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.2	0.0	0.0	0.3	14.6	1.6	42.4	1.3	35.8	1.5	41.7	2.8	12.1	0.1	154.4

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2007, 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	1		7	1	14	1	57	3	105	3	87	3	46		328
	> 1.0 - 2.0			1		6		15		18		13				53
	> 2.0 - 5.0							6		14		6		2		28
	> 5.0 - 10.0					1		1		4		1				7
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	1		8	1	21	1	79	3	141	3	107	3	48		416
	Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.29	0.00	0.89	0.10	0.76	0.43	0.90	0.10	0.55	0.17	0.18		0.67
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		2.3	0.0	18.6	0.1	59.7	1.3	127.2	0.3	59.2	0.5	8.4		277.6
Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	5		13		91	2	116	4	169	4	121	3	37		565
	> 1.0 - 2.0					16		21		16		5		4		62
	> 2.0 - 5.0	1				9		9		8		5		2		34
	> 5.0 - 10.0					2		1								3
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	6		13		118	2	147	4	193	4	131	3	43		664
	Mittel pro Person [mSv]	0.42		0.28		0.66	0.00	0.52	0.05	0.36	0.03	0.30	0.03	0.38		0.43
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	2.5		3.6		77.6	0.0	77.0	0.2	69.9	0.1	39.8	0.1	16.2		287.0
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	6		20	1	105	3	173	7	274	7	208	6	83		893
	> 1.0 - 2.0			1		22		36		34		18		4		115
	> 2.0 - 5.0	1				9		15		22		11		4		62
	> 5.0 - 10.0					3		2		4		1				10
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	7		21	1	139	3	226	7	334	7	238	6	91		1080
	Mittel pro Person [mSv]	0.36		0.28	0.00	0.69	0.03	0.60	0.21	0.59	0.06	0.42	0.10	0.27		0.52
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	2.5		5.9		96.2	0.1	136.7	1.5	197.1	0.4	99.0	0.6	24.6		564.6

## Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2007, 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		3		20	1	50	5	74	9	92	1	34		290
	> 1.0 - 2.0							6		2		8		3		19
	> 2.0 - 5.0					2		8		3		9		3		25
	> 5.0 - 10.0							1		2		1		1		5
	> 10.0 - 15.0											1		1		1
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	1		3		22	1	65	5	81	9	110	1	42		340
	Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.13		0.45	0.00	0.80	0.14	0.41	0.00	0.51	0.00	0.82		0.55
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.4		9.9	0.0	52.1	0.7	33.1	0.0	56.4	0.0	34.3		186.9
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			4		96	3	108	4	195	3	166	3	22		604
	> 1.0 - 2.0			2		10		11		9		7		2		41
	> 2.0 - 5.0					6		7		12		4		2		31
	> 5.0 - 10.0					3		6		5		6				20
	> 10.0 - 15.0											1				1
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen			6		115	3	132	4	221	3	184	3	26		697
	Mittel pro Person [mSv]			0.58		0.54	0.00	0.65	0.15	0.48	0.03	0.50	0.00	0.48		0.52
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]			3.5		62.3	0.0	86.3	0.6	105.5	0.1	91.5	0.0	12.6		362.4
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	1		7		116	4	158	9	269	12	258	4	56		894
	> 1.0 - 2.0			2		10		17		11		15		5		60
	> 2.0 - 5.0					8		15		15		13		5		56
	> 5.0 - 10.0					3		7		7		7		1		25
	> 10.0 - 15.0											1		1		2
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	1		9		137	4	197	9	302	12	294	4	68		1037
	Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.43		0.53	0.00	0.70	0.14	0.46	0.01	0.50	0.00	0.69		0.53
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		3.9		72.2	0.0	138.4	1.3	138.6	0.1	147.9	0.0	46.9		549.3

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2007, Fortsetzung.

Tabelle A.8: Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)

Eigenpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	3		5		14	1	70	3	100	13	133	6	20	1	369
	> 1.0 - 2.0							5		9		15		1		30
	> 2.0 - 5.0					2		1		7		13		2		25
	> 5.0 - 10.0									1						1
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	3		5		16	1	76	3	117	13	161	6	23	1	425
	Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.12		0.54	0.00	0.35	0.00	0.47	0.03	0.49	0.00	0.37	0.00	0.42
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.6		8.7	0.0	26.8	0.0	55.5	0.4	79.1	0.0	8.5	0.0	179.6
Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	4		26		213	5	155	3	233	6	126	3	41		815
	> 1.0 - 2.0			2		20		13		19	1	9				64
	> 2.0 - 5.0					16		15		15		12		1		59
	> 5.0 - 10.0					1		2		2						5
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	4		28		250	5	185	3	269	7	147	3	42		943
	Mittel pro Person [mSv]	0.30		0.28		0.48	0.00	0.54	0.10	0.47	0.27	0.48	0.00	0.17		0.46
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.2		7.9		119.3	0.0	100.0	0.3	125.1	1.9	70.1	0.0	7.0		432.8
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	7		31		227	6	225	6	333	19	259	9	61	1	1184
	> 1.0 - 2.0			2		20		18		28	1	24		1		94
	> 2.0 - 5.0					18		16		22		25		3		84
	> 5.0 - 10.0					1		2		3						6
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	7		33		266	6	261	6	386	20	308	9	65	1	1368
	Mittel pro Person [mSv]	0.17		0.26		0.48	0.00	0.49	0.05	0.47	0.12	0.48	0.00	0.24	0.00	0.45
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.2		8.5		128.0	0.0	126.8	0.3	180.6	2.3	149.2	0.0	15.5	0.0	612.4

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2007, 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	26	3	58	1	54	1	20		169
	> 1.0 - 2.0					4		12		18		16		2		52
	> 2.0 - 5.0							13		17		15		3	1	49
	> 5.0 - 10.0							3		13		7		1		24
	> 10.0 - 15.0									1						1
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen					9	1	54	3	107	1	92	1	26	1	295
	Mittel pro Person [mSv]					0.76	0.00	1.73	0.13	1.78	0.00	1.51		0.90	3.00	1.55
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]					6.8	0.0	93.2	0.4	190.9	0.0	138.5	0.0	23.3	3.0	456.1
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	2		13		112	3	123	6	163	3	123	8	36		592
	> 1.0 - 2.0			1		33		21		44		21		4		124
	> 2.0 - 5.0			4		34		20		33		17		2		110
	> 5.0 - 10.0					7		4		12		4				27
	> 10.0 - 15.0									1		1				2
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	2		18		186	3	168	6	253	3	166	8	42		855
	Mittel pro Person [mSv]	0.00		1.23		1.22	0.10	0.89	0.02	1.12	0.00	0.88	0.00	0.37		0.99
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		22.1		226.8	0.3	149.7	0.1	284.2	0.0	146.8	0.0	15.5		845.5
Eigen- und Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	2		13		117	4	149	9	221	4	177	9	56		761
	> 1.0 - 2.0			1		37		33		62		37		6		176
	> 2.0 - 5.0			4		34		33		50		32		5	1	159
	> 5.0 - 10.0					7		7		25		11		1		51
	> 10.0 - 15.0									2		1				3
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	2		18		195	4	222	9	360	4	258	9	68	1	1150
	Mittel pro Person [mSv]	0.00		1.23		1.20	0.08	1.09	0.06	1.32	0.00	1.11	0.00	0.57	3.00	1.13
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		22.1		233.6	0.3	242.9	0.5	475.1	0.0	285.3	0.0	38.8	3.0	1301.6

## Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2007, Fortsetzung.

Tabelle A.10: Kernkraftwerke gesamt

Eigenpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total	
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F		
	0.0 - 1.0	5		15 1		53 4		202 14		336 26		366 11		120 1			1154
	> 1.0 - 2.0			1		10		38		47		52		6			154
	> 2.0 - 5.0					4		28		41		43		10 1			127
	> 5.0 - 10.0					1		5		20		9		2			37
	> 10.0 - 15.0									1				1			2
	> 15.0 - 20.0																
	> 20.0 - 50.0																
	> 50.0																
Total Personen	5		16 1		68 4		273 14		445 26		470 11		139 2		1474		
Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.21 0.00		0.65 0.03		0.85 0.17		0.91 0.03		0.71 0.05		0.54 1.50		0.75		
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		3.3 0.0		44.0 0.1		231.1 2.4		406.7 0.7		333.2 0.5		74.5 3.0		1099.5		
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	11		54		455 8		399 7		603 10		419 10		113			2089
	> 1.0 - 2.0			5		70		56 1		85 1		38		7			263
	> 2.0 - 5.0	1		4		65		54		67		40		6			237
	> 5.0 - 10.0					15		13		21		11		1			61
	> 10.0 - 15.0									1		2					3
	> 15.0 - 20.0																
	> 20.0 - 50.0																
	> 50.0																
Total Personen	12		63		605 8		522 8		777 11		510 10		127		2653		
Mittel pro Person [mSv]	0.31		0.59		0.80 0.04		0.78 0.15		0.75 0.19		0.68 0.01		0.40		0.72		
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	3.7		37.1		486.0 0.3		405.0 1.2		584.7 2.1		346.6 0.1		51.3		1918.1		
Eigen- und Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total	
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F		
	0.0 - 1.0	16		69 1		508 12		601 21		939 36		785 21		233 1			3243
	> 1.0 - 2.0			6		80		94 1		132 1		90		13			417
	> 2.0 - 5.0	1		4		69		82		108		83		16 1			364
	> 5.0 - 10.0					16		18		41		20		3			98
	> 10.0 - 15.0									2		2		1			5
	> 15.0 - 20.0																
	> 20.0 - 50.0																
	> 50.0																
Total Personen	17		79 1		673 12		795 22		1222 37		980 21		266 2		4127		
Mittel pro Person [mSv]	0.22		0.51 0.00		0.79 0.03		0.80 0.16		0.81 0.08		0.69 0.03		0.47 1.50		0.73		
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	3.7		40.4 0.0		530.0 0.4		636.1 3.6		991.4 2.8		679.8 0.6		125.8 3.0		3017.6		

## Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2007, Fortsetzung.

Tabelle A.11: Zentrales Zwischenlager (ZZL)

<b>Eigenpersonal</b>	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		12	1	16		7		1		38
	> 1.0 - 2.0								1							1
	> 2.0 - 5.0								1							1
	> 5.0 - 10.0															
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen					1		12	1	18		7		1		40	
Mittel pro Person [mSv]					0.00		0.18	0.00	0.27		0.01		0.00		0.18	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]					0.0		2.2	0.0	4.8		0.1		0.0		7.1	
<b>Fremdpersonal</b>	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	2		1		17		18	1	23		15	2	4		82
	> 1.0 - 2.0							1								1
	> 2.0 - 5.0							1	1							2
	> 5.0 - 10.0															
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	2		1		17		20		24		15	2	4		85	
Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.00		0.00		0.32		0.28		0.11	0.00	0.13		0.18	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.0		0.0		6.3		6.8	0.0	1.6	0.0	0.5		15.2	
<b>Eigen- und Fremdpersonal</b>	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	2		1		18		30	1	39		22	2	5		120
	> 1.0 - 2.0							1		1						2
	> 2.0 - 5.0							1		2						3
	> 5.0 - 10.0															
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	2		1		18		32	1	42		22	2	5		125	
Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.00		0.00		0.27	0.00	0.28		0.08	0.00	0.10		0.18	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.0		0.0		8.5	0.0	11.6		1.7	0.0	0.5		22.3	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2007, 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	5		15	1	54	4	214	15	352	26	373	11	121	1	1192
	> 1.0 - 2.0			1		10		38		48		52		6		155
	> 2.0 - 5.0					4		28		42		43		10	1	128
	> 5.0 - 10.0					1		5		20		9		2		37
	> 10.0 - 15.0									1				1		2
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	5		16	1	69	4	285	15	463	26	477	11	140	2	1514
	Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.21	0.00	0.64	0.03	0.82	0.16	0.89	0.03	0.70	0.05	0.53	1.50	0.73
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		3.3	0.0	44.0	0.1	233.3	2.4	411.5	0.7	333.3	0.5	74.5	3.0	1106.6
Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	13		55		465	8	409	7	605	10	424	10	115		2121
	> 1.0 - 2.0			5		70		56	1	85	1	38		7		263
	> 2.0 - 5.0	1		4		65		55		68		40		6		239
	> 5.0 - 10.0					15		13		21		11		1		61
	> 10.0 - 15.0									1		2				3
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	14		64		615	8	533	8	780	11	515	10	129		2687
	Mittel pro Person [mSv]	0.26		0.58		0.79	0.04	0.77	0.15	0.76	0.19	0.68	0.01	0.40		0.72
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	3.7		37.1		486.0	0.3	410.9	1.2	591.4	2.1	348.1	0.1	51.8		1932.7
Eigen- und Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	18		70	1	519	12	623	22	957	36	797	21	236	1	3313
	> 1.0 - 2.0			6		80		94	1	133	1	90		13		418
	> 2.0 - 5.0	1		4		69		83		110		83		16	1	367
	> 5.0 - 10.0					16		18		41		20		3		98
	> 10.0 - 15.0									2		2		1		5
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	19		80	1	684	12	818	23	1243	37	992	21	269	2	4201
	Mittel pro Person [mSv]	0.19		0.51	0.00	0.77	0.03	0.79	0.16	0.81	0.08	0.69	0.03	0.47	1.50	0.72
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	3.7		40.4	0.0	530.0	0.4	644.2	3.6	1002.9	2.8	681.4	0.6	126.3	3.0	3039.3



## Verteilung der Extremitätendosen 2007.

**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	
[mSv]																						
0 - 25	7	7	14	4	0	4		6	6	7	6	13	18	19	37	87	4	91	0	0	0	128
> 25 - 50							1		1				1		1	1		1				2
> 50 - 75																						
> 75 - 100										1		1	1		1							1
> 100 - 125																						
> 125 - 150																						
> 150 - 175																						
> 175 - 200																						
> 200 - 300																						
> 300 - 400																						
> 400 - 500																						
> 500																						
Total Personen	7	7	14	4	0	4	1	6	7	8	6	14	20	19	39	88	4	92	0	0	0	131

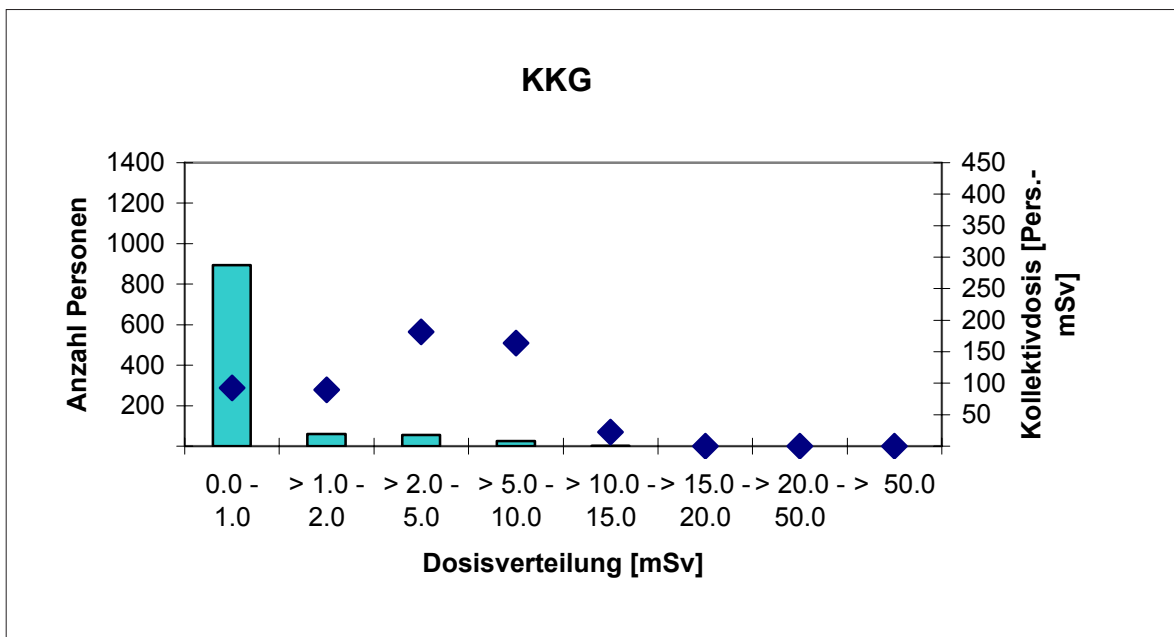
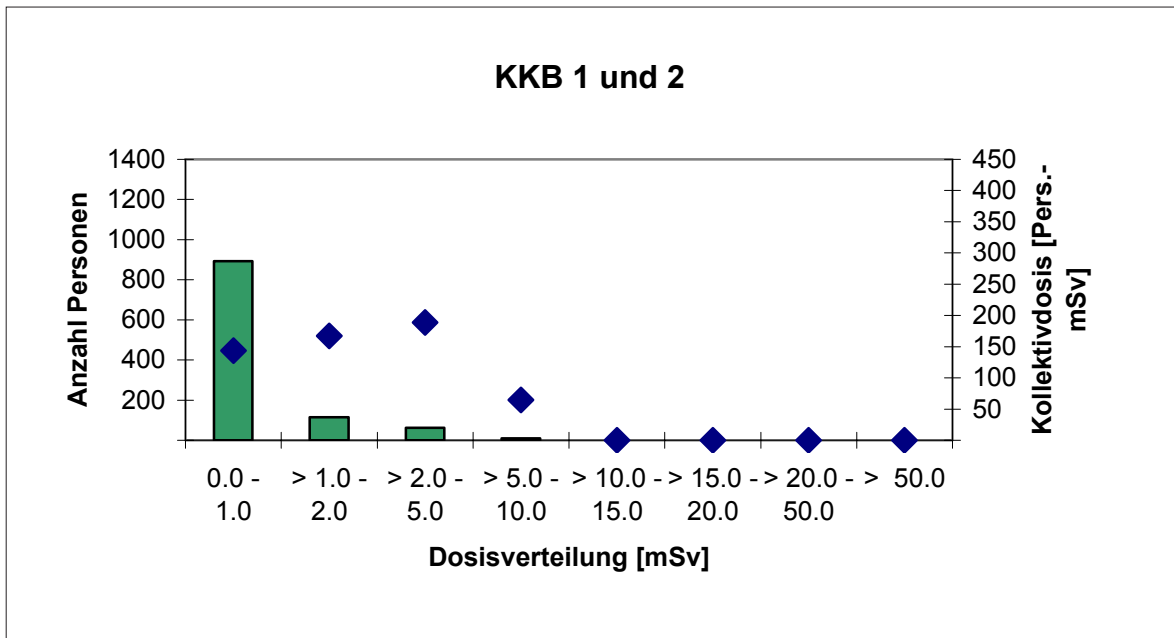
## Folgedosis E50 durch Inkorporationen des beruflich strahlenexponierten Personals.

**Tabelle A.14:** Kernanlagen und Forschung (PSI)

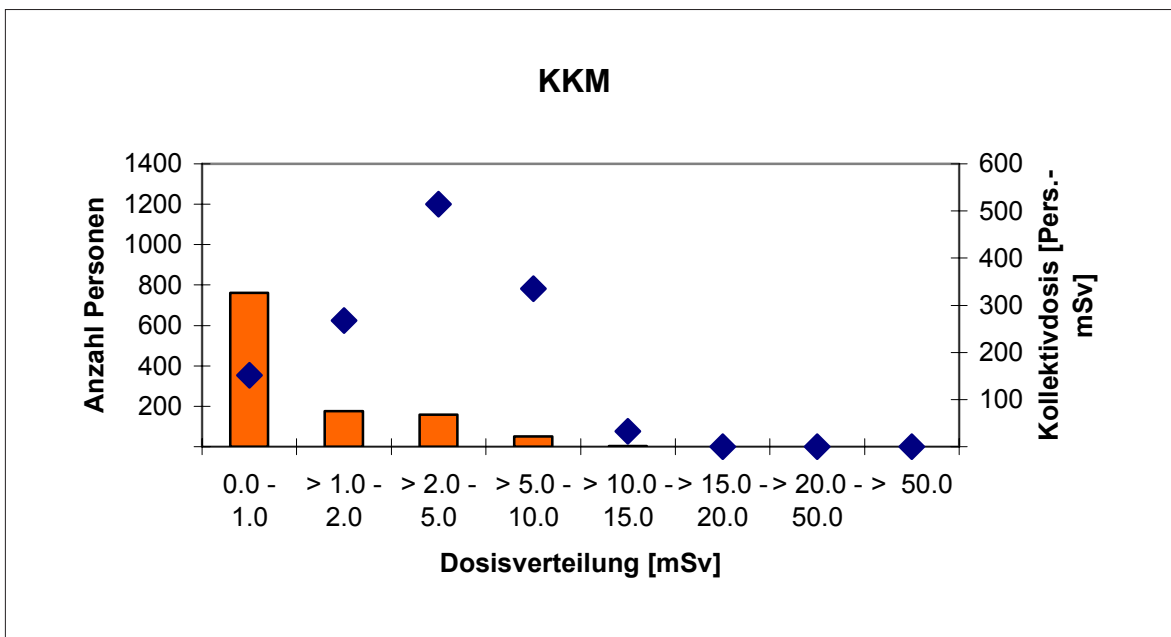
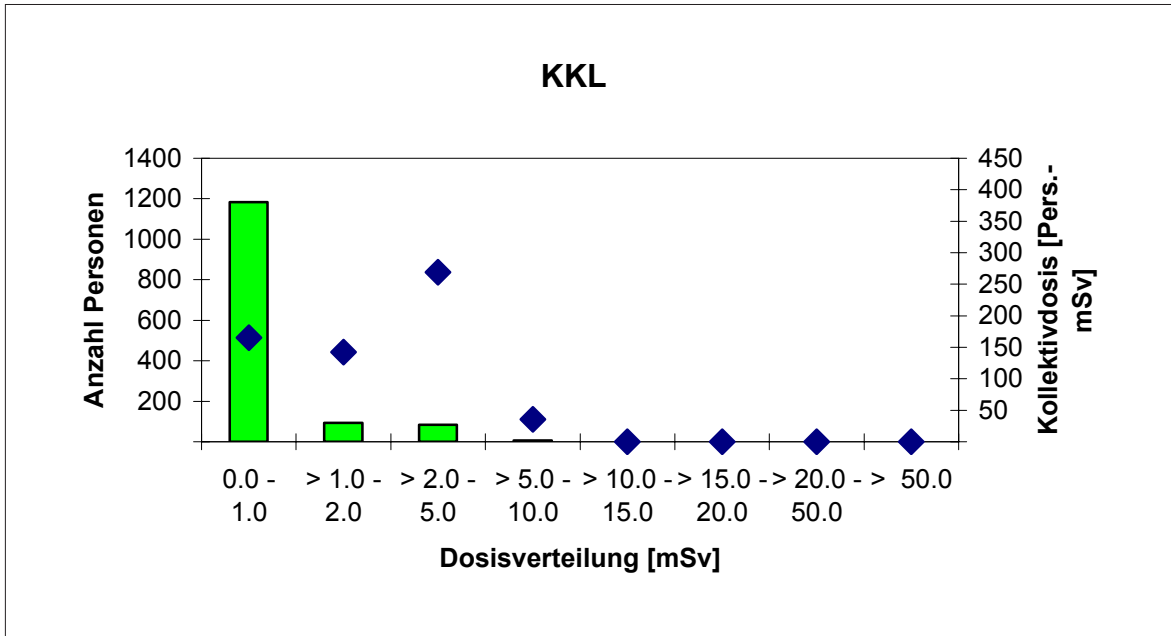
Folgedosis E <sub>50</sub> Dosisverteilung	KKB 1 + 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW			PSI			ZZL			Summe Kernanlagen und PSI
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	
[mSv]																						
<= 1.0	366	672	1038	329	638	967	431	958	1389	295	855	1150	1421	3123	4544	244	10	254	42	100	142	4940
> 1.0 - 2.0																						
> 2.0 - 5.0																						
> 5.0 - 10.0																						
> 10.0 - 15.0																						
> 15.0 - 20.0																						
> 20.0 - 50.0																						
> 50.0																						
Total Personen	366	672	1038	329	638	967	431	958	1389	295	855	1150	1421	3123	4544	244	10	254	42	100	142	4940

Kollektivdosen und Anzahl dosimetrierter Personen 2007.

Darstellung A.4: Anzahl Personen (Säulen) im Vergleich mit den Kollektivdosen (Punkte)



Kollektivdosen und Anzahl dosimetrierter Personen 2007.



## Messungen der Personendosimetriestellen im Aufsichtsbereich der HSK 2007.

Tabelle A.15: Dosimetriestellen

Messstelle	Überwachung der äusseren Bestrahlung									Überwachung der Inkorporationen								
	Ganzkörper			Haut			Extremitäten			Ganzkörperzähler			Schilddrüse			Urin		
	r <sup>1)</sup>	m <sup>2)</sup>	a <sup>3)</sup>	r <sup>1)</sup>	m <sup>2)</sup>	a <sup>3)</sup>	r <sup>1)</sup>	m <sup>2)</sup>	a <sup>3)</sup>	r <sup>1)</sup>	m <sup>2)</sup>	a <sup>3)</sup>	r <sup>1)</sup>	m <sup>2)</sup>	a <sup>3)</sup>	r <sup>1)</sup>	m <sup>2)</sup>	a <sup>3)</sup>
PSI	β, γ, x β, γ, x n	TLD / DIS Cr-39	1375  1043	β, γ, x β, γ, x	TLD / DIS	1375	β, γ, x	TLD	92	γ	Ge	236	γ, x	Nal	16	α, β γ, x	LSC / Nal Ge	44
KKB 1 und 2	γ	TLD / DIS	1187	β, γ, x	TLD / DIS	1187	γ	TLD	14	γ	Nal	1038	γ	Nal	1038			
KKG	γ	TLD	1037	γ	TLD	1037				γ	PSC	967	γ	PSC	967			
KKL	β, γ	TLD	1424	β, γ	TLD	1424	β, γ	TLD	7	γ	Nal	1389	γ	Nal	1389	β, γ	Ge	0
KKM	γ	TLD	1150	β, γ	TLD	1150	γ	TLD	14	γ	Nal	3108	γ	Nal	3108			
ZZL <sup>4)</sup>	γ	TLD / DIS	173	β, γ, x	TLD / DIS	173	γ	TLD		γ	Nal	142	γ	Nal	142			

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

2) m = Messmethode:  
 TLD = Thermolumineszenzdosimeter  
 Cr-39 = Spaltspurdosimeter  
 LSC = Flüssigkeitsszintillator  
 PSC = Plastiksintillator  
 Ge = Reinstgermanium – Detektor  
 Nal = Nal(Tl) – Szintillator

3) A = Anzahl der überwachten Personen

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

## Zusammenstellung der Kollektivdosen.

Tabelle A.16: Relative Aufteilung der Kollektivdosen auf Betrieb und Revisionsstillstand 1980 bis 2007 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%
2006	18%	82%	18%	82%	30%	70%	33%	67%	27%	73%
2007	19%	81%	18%	82%	31%	69%	31%	69%	26%	74%

Tabelle A.17: Aufteilung der Kollektivdosen auf Betrieb und Revisionsstillstand 1980 bis 2007 in Pers.-mSv

Jahr	Aufteilung der Jahreskollektivdosen [Pers.-mSv]									
	KKB 1 + 2		KKG		KKL		KKM		Total	
	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand
1980	2217	2283	160	580			1430	2180	3807	5043
1981	2077	3144	90	870			1147	1800	3314	5814
1982	2605	3708	110	1060			1199	1710	3914	6478
1983	2126	8189	130	1580			1042	1870	3298	11639
1984	1946	3269	150	1020	520	0	990	2960	3606	7249
1985	1719	3222	200	850	414	1070	1050	3650	3383	8792
1986	1913	3058	270	1360	480	1870	1490	9830	4153	16118
1987	182	4707	250	1720	620	1260	1390	1770	2442	9457
1988	911	2635	170	1670	570	3180	1250	2120	2901	9605
1989	1106	3415	250	1770	940	1500	1030	2300	3326	8985
1990	651	2172	250	980	630	1530	490	1440	2021	6122
1991	630	3048	270	880	470	1930	540	1290	1910	7148
1992	429	3194	180	780	430	1310	590	1600	1629	6884
1993	484	3276	150	770	561	1084	736	1037	1931	6167
1994	310	607	160	1296	745	1832	630	979	1845	4714
1995	279	1090	193	900	639	1019	671	1121	1782	4130
1996	228	973	201	720	434	1524	510	886	1373	4103
1997	151	538	162	580	458	832	394	1182	1165	3132
1998	139	407	209	612	367	723	456	831	1171	2573
1999	119	1381	174	630	372	793	420	611	1085	3415
2000	124	651	140	382	288	691	432	360	984	2084
2001	141	766	111	429	300	710	380	542	932	2447
2002	135	462	184	750	225	218	432	517	976	1947
2003	116	340	107	450	268	605	368	760	859	2155
2004	107	511	113	721	269	1522	458	634	947	3388
2005	101	603	120	1146	171	398	540	871	932	3018
2006	94	430	96	445	269	616	354	709	813	2200
2007	108	457	97	452	192	420	401	900	798	2229

## Zusammenstellung der Kollektivdosen.

**Tabelle A.18:** Kollektivdosen der Kernkraftwerke 2007

Anlage	KKB 1 + 2	KKG	KKL	KKM	Total
Pers.-mSv	564.6	549.3	612.4	1301.6	3017.6

*Jahreskollektivdosen*

Anlage	KKB 1 + 2	KKG	KKL	KKM	Total
Pers.-mSv	457.4	451.8	420.0	900.5	2229.7

*Kollektivdosen der Revisionsstillstände*

**Tabelle A.19:**

Paul Scherrer Institut (PSI):

Kollektivdosis des dosimetrierten Personals

Kalender- Jahr	PSI-Gesamtpersonal		
	Anzahl Personen	Kollek- tivdosis [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
2006	1342	183.4	0.1
2007	1375	154.4	0.1

**Tabelle A.20:** Zentrales Zwischenlager (ZZL), Kollektivdosis des dosimetrierten Personals 2007

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
2006	31	2.7	0.1	70	18	0.3	101	20.7	0.2
2007	40	7.1	0.2	85	15.2	0.2	125	22.3	0.2

### 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, die hauptsächlich für eine Anlage relevant sind. 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 4.

Die Systeme, mit denen 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 Instituts» regelt unter anderem 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 abgelesen werden können. Die Richtlinie äussert sich aber bewusst nicht darüber, wie im Detail die Jobdosimetrie erfolgen soll, da diese Aufgabe im Verantwortungsbereich der Kernanlage liegt und die Freiheit zur

Entwicklung eines für die spezifischen Gegebenheiten optimalen Systems offen bleiben soll. Computerbasierte, vernetzte Systeme haben sich bewährt und werden nun mehrheitlich auch eingesetzt.

In den folgenden Tabellen werden Kategorien von Arbeiten, Personengruppen und Tätigkeiten vorgegeben. Die Aufteilung der Dosen auf diese Kategorien wird von den Betreibern auf Grund der Möglichkeiten ihrer Systeme vorgenommen. Daher ist es möglich, dass bestimmte Kernkraftwerke zu einzelnen Kategorien oder Aufteilungen keine Informationen liefern.

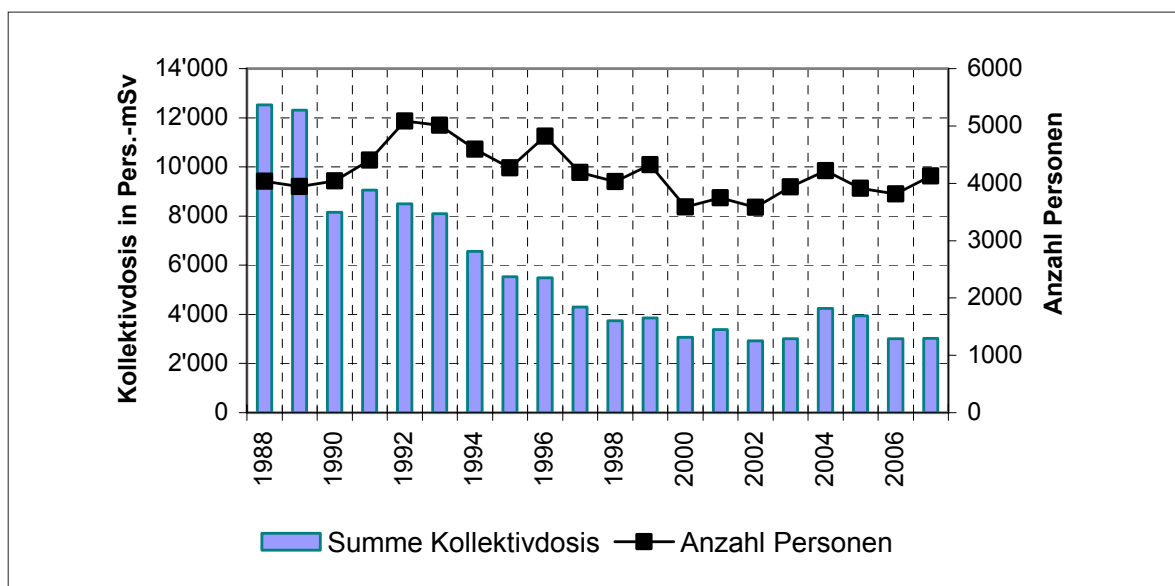
Die Kernkraftwerke in der Schweiz sind auf Grund ihrer Konstruktion (Siede- oder Druckwasseranlage) sowie ihres Alters nur bedingt miteinander vergleichbar. Zudem werden die Jobdosen unterschiedlich ermittelt und der Aufwand für Arbeiten im Strahlenfeld variiert in jeder Anlage von Jahr zu Jahr. Aussagen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

## Jahreskollektivdosen der Kernkraftwerke in der Schweiz.

**Tabelle A.21:** Summe der Kollektivdosen in Pers.-mSv 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
2006	3 009	3815
2007	3 018	4127

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



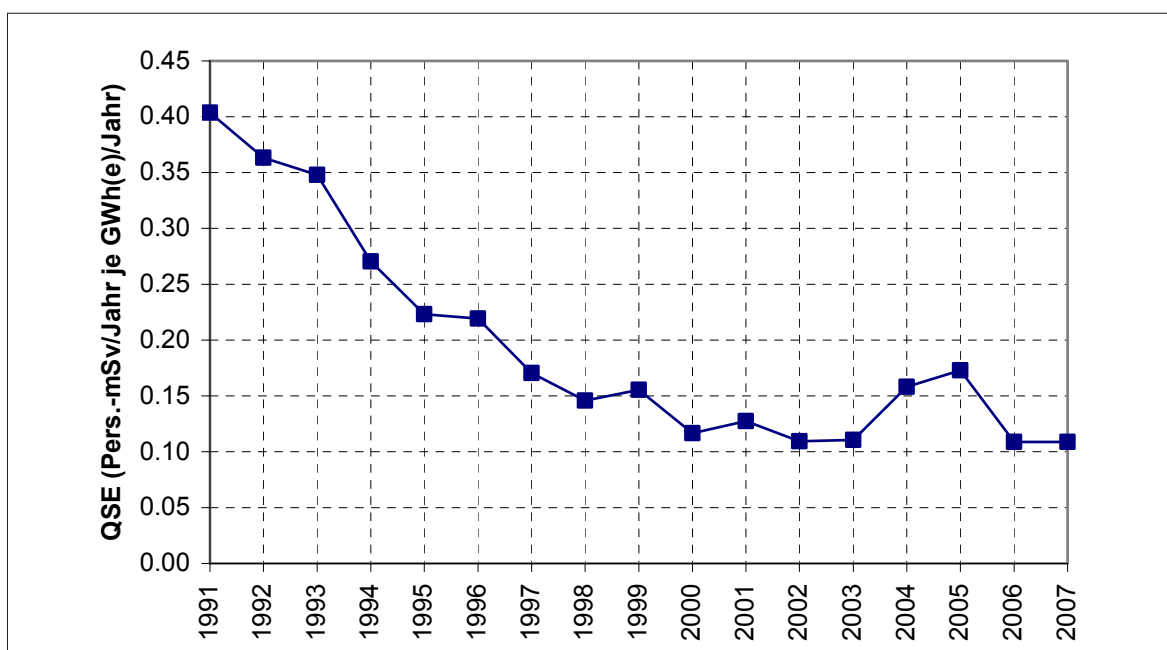


## Verhältnis zwischen Dosisaufwand und Energieerzeugung (QSE).

**Tabelle A.22:** Entwicklung des Verhältnisses Kollektivdosis in Pers.-mSv zur erzeugten elektrischen Bruttoenergie (QSE) über alle Kraftwerke

Jahr	Dosis	Energie	QSE
1991	9056	22438.1	0.404
1992	8500	23394.0	0.363
1993	8100	23290.8	0.348
1994	6559	24250.1	0.270
1995	5535	24783.6	0.223
1996	5487	25026.6	0.219
1997	4297	25190.8	0.171
1998	3744	25683.1	0.146
1999	3859	24835.0	0.155
2000	3068	26310.0	0.117
2001	3380	26556.1	0.127
2002	2922	26738.9	0.109
2003	3013	27233.8	0.111
2004	4236	26769.1	0.158
2005	3954	22851.6	0.173
2006	3009	27649.2	0.109
2007	3017	27751.9	0.109

Dosis: Jahreskollektivdosis aller Kernkraftwerke in Pers.-mSv  
 Energie: erzeugte elektrische Bruttoenergie aller Kernkraftwerke in GWh(e)/Jahr  
 QSE: Quotient in Pers.-mSv/Jahr pro GWh(e)/Jahr



Grafische Darstellung der Werte aus Tabelle A.22. Der Anstieg in den Jahren 2004 und 2005 wurde durch umfangreiche und dosisintensive Revisionsarbeiten im KKL und im KKG sowie durch den Ausfall der Anlage KKL im Jahr 2005 verursacht.

## Vergleich der TLD-Messwerte mit den Messungen der EPD.

Die elektronischen Personendosimeter (EPD) liefern Messwerte, die von den behördlich anerkannten Thermolumineszenz-Dosimetern (TLD) abweichen. Diese Unterschiede sind nicht identisch für die einzelnen Anlagen, weil sie vom EPD-Typ der Kernanlage sowie von den Eigenschaften des Strahlenfelds abhängig sind. Da die EPDs die erhaltene Dosis überbewerten, bewegt man sich strahlenschutztechnisch auf der sicheren Seite.

**Tabelle A.23:** Zusammenstellung der mit EPD und TLD ermittelten Kollektivdosen für das gesamte Betriebsjahr (Pers.-mSv; pro KKW)

Werk	TLD* (Pers.-mSv)	EPD* (Pers.-mSv)	Verhältnis EPD/TLD*
KKB I + II**	EP 278		
	FP 287		
	Summe 565		
KKG**	EP 187		
	FP 362		
	Summe 549		
KKL***	EP 179	EP 241	EP 1.35
	FP 433	FP 473	FP 1.09
	Summe 612	Summe 714	EP und FP 1.17
KKM	EP 456	EP 481	EP 1.05
	FP 845	FP 1010	FP 1.20
	Summe 1301	Summe 1491	EP und FP 1.15

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 den EPDs basieren. Im Berichtsteil zu den Jobdosen erscheinen, wenn nicht anders vermerkt, auf TLD-Werte umgerechnete EPD-Dosen.
- \*\* KKB und KKG meldeten sämtliche Dosen als TLD-Dosen, wobei werksintern für die Ermittlung der Werte EPD-Daten herangezogen werden.
- \*\*\* KKL hat festgestellt, dass der Quotient EPD/TLD signifikant von der Betriebsart (Leistungsbetrieb oder Revisionsstillstand) abhängt. Begründet wird dies durch eine im Leistungsbetrieb aus <sup>16</sup>N entstehende hochenergetische Gammastrahlenkomponente, die von den EPDs überhöht angezeigt wird. Die einzelnen Quotienten für die Revision und den Leistungsbetrieb liegen bei 1,08 und 1,36.

## Kollektivdosen in den einzelnen Betriebsphasen.

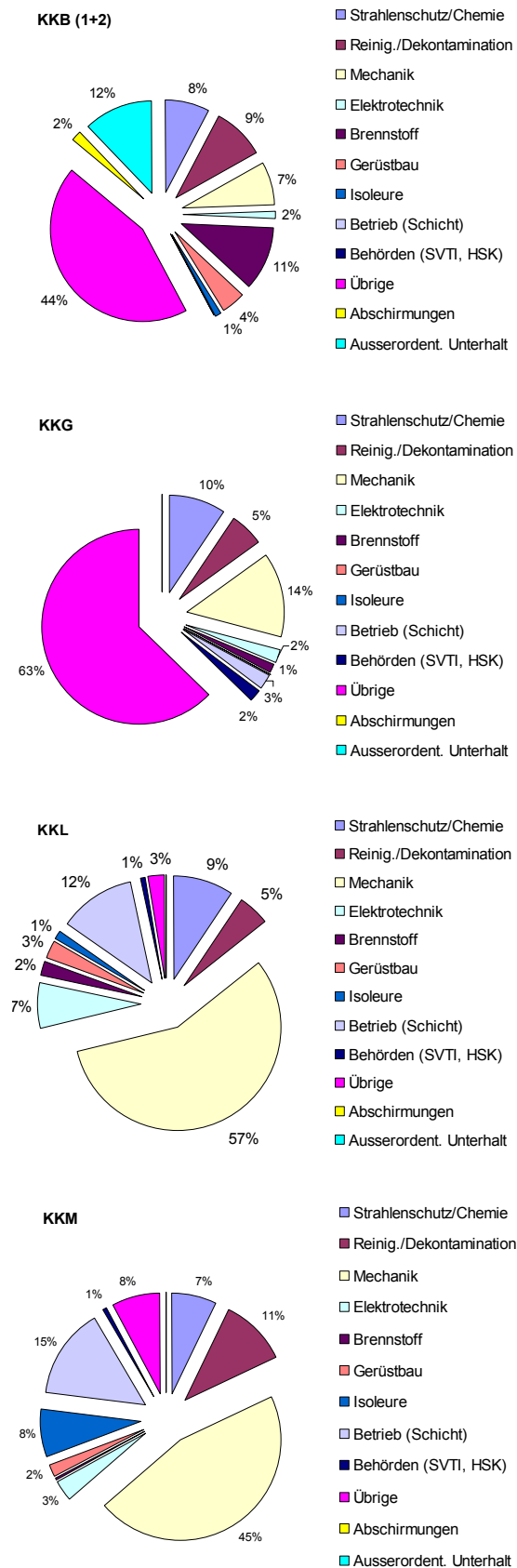
Tabelle A.24: Kollektivdosen in den einzelnen Betriebsphasen (Pers.-mSv; pro KKW im Berichtsjahr)

Betriebsphasen	KKB (1+2)	KKG	KKL	KKM
Leistungsbetrieb	108	97	193	401
Geplanter Stillstand	457	452	419	900
Ungeplante Stillstände	-	-	-	-
Summe	565	549	611	1302

Tabelle A.25: Kollektivdosisanteile verschiedener Arbeitsbereiche (Pers.-mSv; pro KKW im Berichtsjahr)

Personengruppe	KKB (1+2)	KKG	KKL	KKM
Strahlenschutz/Chemie	44	52	58	94
Reinig./Dekontamination	52	29	30	140
Mechanik	42	79	348	595
Elektrotechnik	9	11	44	44
Brennstoff	62	8	13	2
Gerüstbau	23	0	17	27
Isoleure	8	0	9	99
Betrieb (Schicht)	0	14	73	193
Behörden (SVTI, HSK)	0	11	4	7
Übrige	248	344	16	101
Abschirmungen	9	0	0	0
Ausserordent. Unterhalt	69	0	0	0
Summe	566	549	612	1302

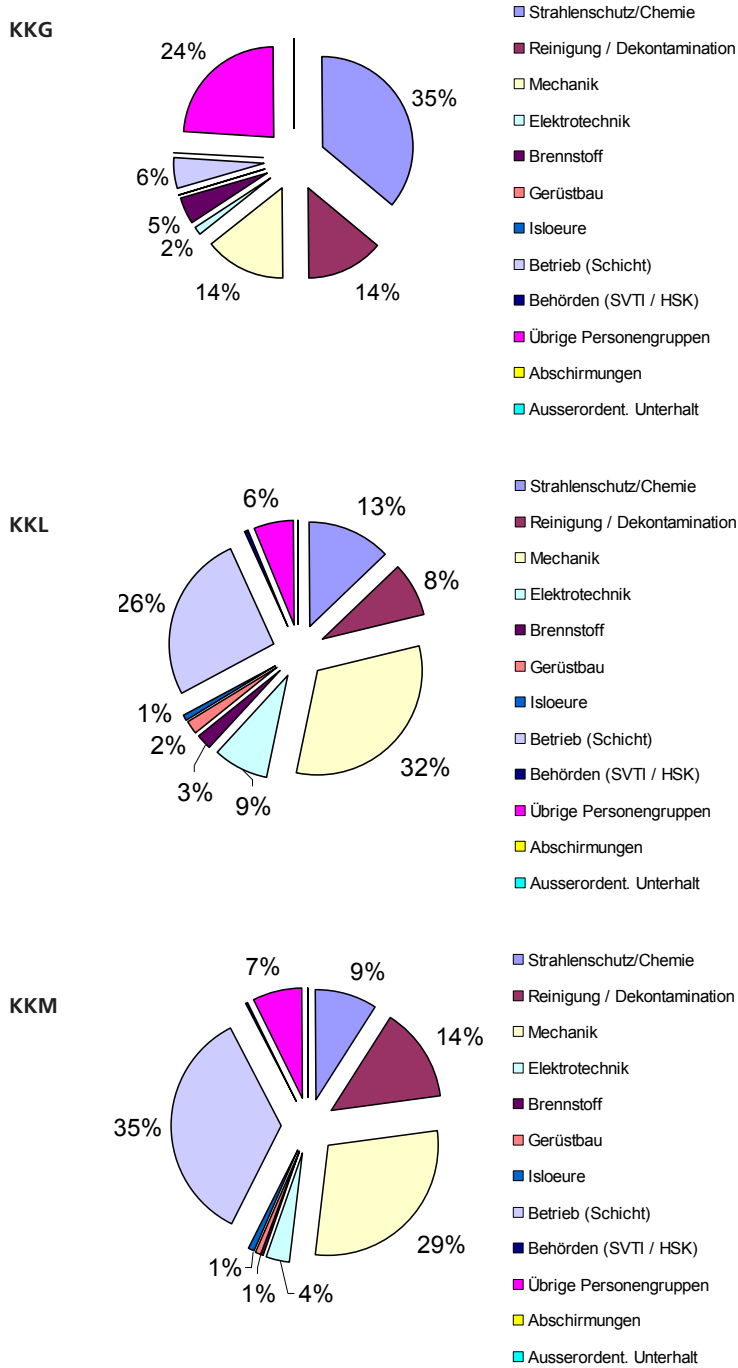
Darstellung A.5: Kollektivdosisanteile in Prozent. Sektoren mit 0 % sind nicht beschriftet.



**Tabelle A.26:** Kollektivdosisanteile verschiedener Arbeitsbereiche im Leitungsbetrieb (Pers.-mSv pro KKW im Berichtsjahr)

<b>Personengruppen</b>	<b>KKB (1+2)</b>	<b>KKG</b>	<b>KKL</b>	<b>KKM</b>
Strahlenschutz/Chemie	0	35	25	36
Reinigung / Dekontamination	0	13	16	56
Mechanik	0	14	61	115
Elektrotechnik	0	2	16	14
Brennstoff	0	5	5	2
Gerüstbau	0	0	4	3
Isloeuere	0	0	1	3
Betrieb (Schicht)	0	5	51	141
Behörden (SVTI / HSK)	0	0	1	1
Übrige Personengruppen	108	23	12	29
Abschirmungen	0	0	0	0
Ausserordent. Unterhalt	0	0	0	0
<b>Summe</b>	<b>108</b>	<b>97</b>	<b>193</b>	<b>401</b>

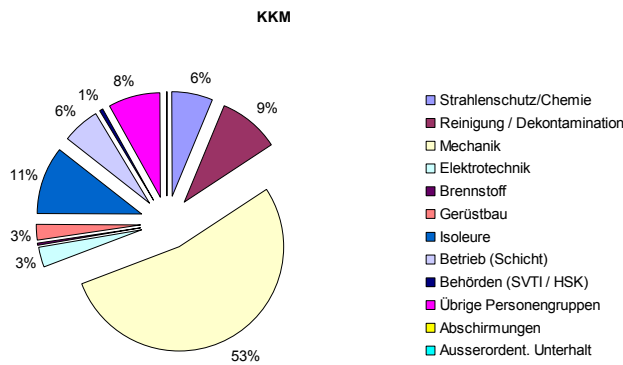
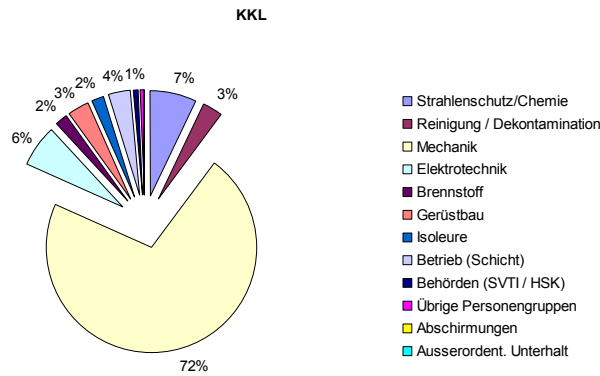
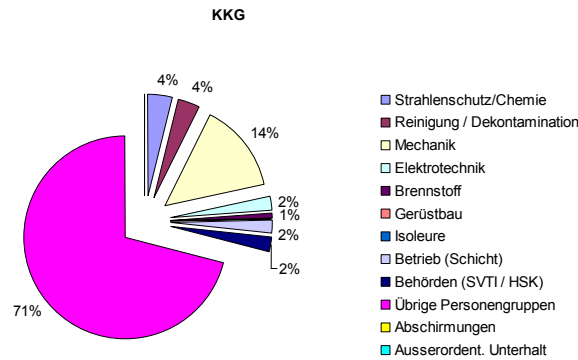
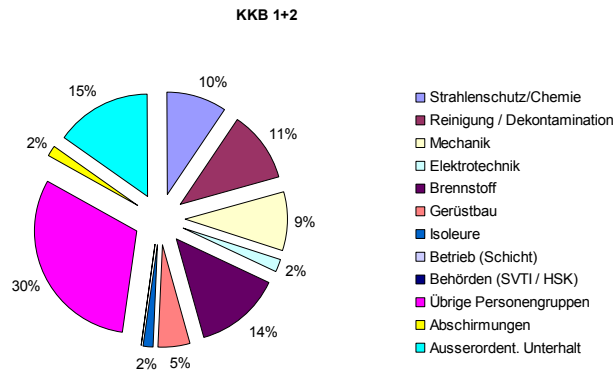
**Darstellung A6:** Kollektivdosisanteile im Leistungsbetrieb in Prozent. Sektoren mit 0 % sind nicht beschriftet.



**Tabelle A.27:** Kollektivdosisanteile verschiedener Arbeitsbereiche; geplanter Stillstand (Pers.-mSv pro KKW im Berichtsjahr)

<b>Personengruppe</b>	<b>KKB I+II</b>	<b>KKG</b>	<b>KKL</b>	<b>KKM</b>
Strahlenschutz/Chemie	44	17	30	58
Reinigung / Dekontamination	52	16	13	84
Mechanik	42	65	299	480
Elektrotechnik	9	10	27	30
Brennstoff	62	3	7	0
Gerüstbau	23	0	14	23
Isoleure	8	0	8	96
Betrieb (Schicht)	0	9	15	51
Behörden (SVTI / HSK)	0	11	3	6
Übrige Personengruppen	140	320	2	72
Abschirmungen	9	0	0	0
Ausserordent. Unterhalt	69	0	0	0
<b>Summe</b>	<b>458</b>	<b>452</b>	<b>419</b>	<b>900</b>

Darstellung A.7: Kollektivdosisanteile; geplanter Stillstand. Sektoren mit 0 % sind nicht beschriftet.





## 4.4 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen der Schweiz

Der Jahresgrenzwert für die Individualdosis des beruflich strahlenexponierten Personals wurde im Jahr 2007, wie in den Vorjahren seit Inkrafttreten der Strahlenschutzverordnung 1994, im Aufsichtsbereich der HSK eingehalten.

Die *Kollektivdosis* in den schweizerischen Kernkraftwerken konnte in den vergangenen Jahren auf die Hälfte reduziert werden. Weiter fällt auf, dass sich die Jahreskollektivdosiswerte älterer Anlagen im Laufe der Zeit immer mehr denen von später erbauten angenähert haben. 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.

Als Folge von Dosisreduktion, Verkürzung der Stillstände und Leistungserhöhungen hat der QSE, der Quotient aus Dosis pro erzeugte elektrische Energie, in der Vergangenheit abgenommen. Die hohe Verfügbarkeit der Schweizer Kernkraftwerke in den Jahren 2006 und 2007 führte zu einem QSE von 0,1 Pers.-mSv pro GWh(e).

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.

Neben der mittleren Individualdosis sind die *maximalen Individualdosen* einiger Spezialisten, die bei ihren Arbeiten an Komponenten mit hoher Ortsdosisleistung nicht durch andere Personen ersetzt werden können, eine Herausforderung für den Strahlenschutz. Hier wurde ein grosser Aufwand für die Optimierung der Arbeiten und ihre Überwachung notwendig. Die Entscheidung zur Optimierung oder der Zulassung einer höheren Individualdosis bei einzelnen Spezialisten ist manchmal schwierig zu treffen.

Aus Sicht der zuständigen Aufsichtsbehörde kann dem Strahlenschutz in den schweizerischen Kernanlagen ein gutes Zeugnis ausgestellt werden: Die Optimierungs-

anstrengungen, die seit den 90er-Jahren zur Reduktion der Dosis führten, hatten Erfolg. Es ist nun die Aufgabe, diesen guten Zustand zu halten.

## 4.5 Erwartete Entwicklung der Exposition

Aussagen über die Zukunft sind schwierig, insbesondere in einem komplexen Gebiet wie dem Strahlenschutz in Kernanlagen. 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 Blei-Abschirmungen, 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 davon 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* können zu einer Dosisreduktion beitragen. Genaueres dazu wird im nächsten Kapitel beschrieben.

Mit der Einführung moderner Hybridzyklen kann 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. Das KKB und das KKL haben dieses Betriebsregime bereits realisiert. Alle zehn Jahre findet dann eine besonders lange Revisionsabstellung zur Durchführung umfangreicher periodischer Prüfungen und Massnahmen statt. Zusammenfassend erwartet die HSK für den operativen 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. Bei

den maximalen Individualdosen ist ein Trend zu Werten im Bereich der Hälfte des Jahresgrenzwertes von 20 mSv zu beobachten.

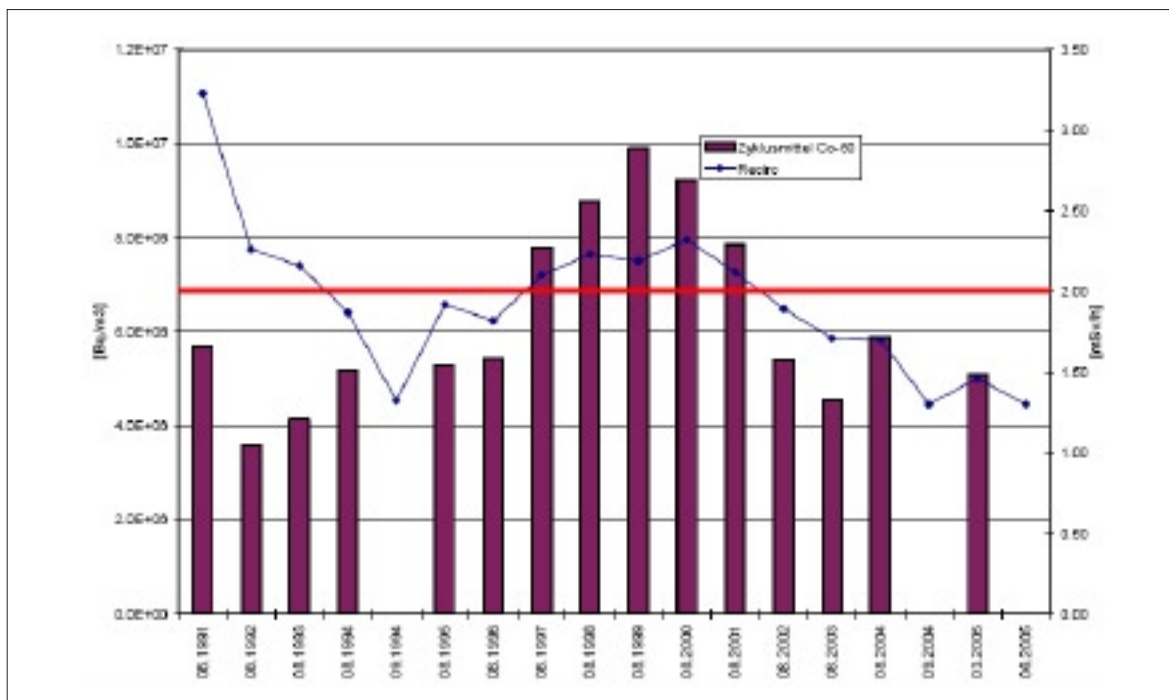
## 4.6 Dosisleistungsreduktion durch optimierte Wasserchemie

Radioaktive Ablagerungen im Primärkreislauf tragen massgeblich zur akkumulierten Dosis des Personals bei, weshalb eine Reduzierung der Dosisleistungen anzustreben ist. Änderungen in der *Wasserchemie der Schweizer Kernkraftwerke* haben in den letzten Jahren zu Dosisleistungsreduktionen an Systemen und Komponenten beigetragen. Im Folgenden werden diese für die einzelnen Schweizer Kraftwerke vorgestellt.

In beiden Siedewasseranlagen der Schweiz, KKM und KKL, wird seit mehreren Jahren kontinuierlich Zink (Zn) ins Speisewasser eingespeist. Zn wird bevorzugt gegenüber Kobalt (Co) in die Oxidschichten auf den Stahloberflächen eingelagert, was eine Dosisleistungsreduktion zur Folge hat. Die Isotope  $^{60}\text{Co}$  und  $^{58}\text{Co}$  werden über die Reaktorwasserreinigung aus dem Primärwasser entfernt. Zn wird in Form von Zinkoxid eingesetzt, bei dem das Isotop  $^{64}\text{Zn}$  von 48,6 % des natürlichen Gehalts auf weniger als 1 % abgereichert vorliegt (DZO = depleted zinc oxide). Die Aktivierung des  $^{64}\text{Zn}$  zu  $^{65}\text{Zn}$  (hochener-

getischer Gammastrahler) ist somit massiv reduziert. Nachdem 1990 die Zinkdosierung im KKL eingeführt wurde, kam es bis Mitte der Neunzigerjahre zu einer markanten Reduktion der mittleren Dosisleistungen an den Umwälzschleifen (siehe Darstellung A.8). Systemdekontaminationen in den Jahren 1994 und 2004 führten an diesen Komponenten zu temporären Reduktionen der mittleren Dosisleistungen an den beiden Umwälzschleifen. Parallel zu steigenden  $^{60}\text{Co}$ -Konzentrationen im Reaktorwasser stieg ab 1997 die Ortsdosisleistung wieder bis zu einem Maximalwert von 2,3 mSv/h an. Seit 2002 ist erneut ein Abwärtstrend zu verzeichnen. Die Eisenkonzentration im Speisewasser und die Zinkdosierung scheinen einen massgebenden Einfluss auf die Dosisleistung der Umwälzleitung zu haben. Bei einem steigenden molaren Verhältnis von Eisen zu Zink stieg auch das  $^{60}\text{Co}/\text{Zn}$ -Verhältnis. Gleichzeitig wurde eine Erhöhung der Dosisleistung an den Umwälzleitungen beobachtet. Das Gegenteil scheint bei einer Reduktion des Verhältnisses der Fall zu sein. Dabei dürfte auch die Crudstruktur auf den Brennelementen, die massgeblich durch das Eisen-Zink-Verhältnis beeinflusst wird, eine wichtige Funktion für die Mobilisierung und Aktivierung von Kobalt im Primärkreislauf haben. Die Entwicklung der  $^{60}\text{Co}$ -Zyklusmittelwerte sowie die ermittelten Dosisleistungen an der Umwälzschleife gegenüber der Zeit sind in Darstellung A.8 grafisch abgebildet.

Darstellung A.8:  $^{60}\text{Co}$  im Reaktorwasser und mittlere Dosisleistung an den Umwälzschleifen des KKL.

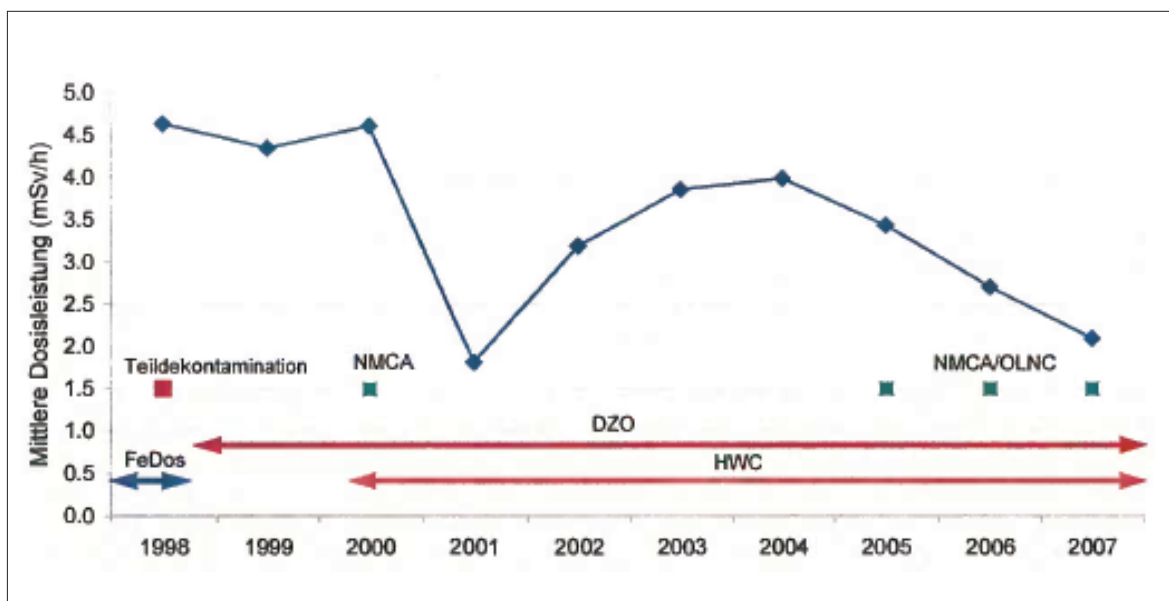


Das KKM hat mit der Zinkzudosierung im Jahr 1998 begonnen. Ein signifikanter Einfluss der Dosierung auf die Ortsdosisleistungen war bis zum Jahr 2000 nicht erkennbar (siehe Darstellung A.9). Kurz vor der Jahresrevision 2000 erfolgte während 36 Stunden eine Edelmetalleinspeisung (Noble Metal Chem Addition = NMCA) ins Primärwasser. Zudem wird seit November 2000 kontinuierlich Wasserstoff dem Speisewasser zudosiert. Mit dieser so genannten Wasserstofffahrweise wird das elektrochemische Potenzial herabgesetzt und man erhofft sich von dieser Massnahme, die Kerneinbauten vor Spannungsriss-Korrosion zu schützen. Als positiver Nebeneffekt hat die geänderte chemische Fahrweise zu einer deutlichen Reduzierung der mittleren Dosisleistungen der Umwälzschleifen von 4,5 mSv/h auf 1,6 mSv/h geführt. In den Folgejahren stiegen die Dosisleistungen erneut an. Im Jahr 2005 wurde erstmalig während des Leistungsbetriebs eine lösliche Platinverbindung online eingespeist (Online Noble Chem = OLNC). Vor der Jahresrevision 2005 wurden dem Speisewasser insgesamt 37 g Pt zugegeben. Dies führte zu einer Dosisreduktion von 14 %. Die aus 30 Messpunkten ermittelte mittlere Dosisleistung betrug 3,44 mSv/h. Im Januar 2006 wurde im Rahmen des Projektes OLNC eine grössere Menge der wasserlöslichen Platinverbindung (99 g) in das Primärwasser des KKM eingespeist. In der Jahresrevision 2006 wurde eine Verringerung der Dosisleistung um 21 % an den Umwälzschleifen festgestellt.

Der Durchschnitt der Messwerte betrug 2,70 mSv/h. Ein ähnlicher Effekt wurde auch im Jahr 2007 nach der Zugabe von insgesamt 198 g Pt beobachtet. Die Zugabe des Platins bewirkt während des Leistungsbetriebs eine so genannte Softdekontamination der inneren Oberflächen des Primärkreislaufs. Vermutlich werden die Oxidschichten auf den Stahloberflächen auf Grund der geänderten chemischen Bedingungen umstrukturiert und dabei wird unter anderem auch  $^{60}\text{Co}$  freigesetzt. Während und kurz nach der Zugabe des Platins steigen die Aktivitätskonzentrationen der Korrosionsprodukte im Primärwasser deutlich an und werden mithilfe der Primärwasser-Reinigung aus dem System entfernt. Die Planung des KKM sieht vor, in den nächsten Jahren die OLNC-Fahrweise einmal pro Jahr über einen bestimmten Zeitraum anzuwenden. Es wird sich zeigen, ob die Ortsdosisleistungen auf Grund dieser geänderten Chemie noch weiter reduziert werden können. In Darstellung A.9 ist die mittlere Dosisleistung an den Umwälzschleifen über die letzten 10 Jahre aufgetragen. Zusätzlich sind die signifikanten chemischen Veränderungen wie z. B. Zinkzudosierung, NMCA, OLNC und HWC-Fahrweise in die Grafik mit aufgenommen.

Das KKL plant für die nächsten Jahre ebenfalls die Einspeisung einer Platinverbindung und die kontinuierliche Zugabe von Wasserstoff. Der Einfluss der geänderten Fahrweise auf die Dosisleistungen an den Umwälzschleifen wird mit Interesse verfolgt werden.

**Darstellung A.9:** Mittlere Dosisleistung an den Umwälzschleifen des KKM über die letzten 10 Jahre



In einigen ausländischen Druckwasserreaktor-Anlagen wurden durch die Einspeisung von Zink, dessen Isotop  $^{64}\text{Zn}$  ebenfalls vorher abgereichert wurde, die Dosisleistungen an Komponenten des Primärkreislaufes halbiert. In der Schweiz wird das Verfahren vom KKG seit Ende 2004 angewendet. Erwartungsgemäss zeigte sich in der Jahresrevision 2006 eine leichte Reduzierung der Ortsdosisleistungen an Primärkreislaufkomponenten. Dieser positive Trend setzte sich auch im Jahr 2007 fort, und an definierten Orten in der Primäranlage konnte eine im Durchschnitt um circa 20 % geringere Dosisleistung registriert werden.

Im KKB 1 und KKB 2 wird seit Anfang der Achtzigerjahre eine spezielle Abfahrreinigung bei der jährlichen Ausserbetriebnahme zur Revisionsabstellung (RA) bzw. zum Brennelementwechsel (BW) durchgeführt. Ziel ist es, alle freigesetzten Korrosionsprodukte zu mobilisieren und unter möglichst definierten Bedingungen im Primärwasser zu lösen, um sie anschliessend mittels Ionenaustauschern aus dem Primärsystem zu entfernen. Ein Aktivitätsaufbau in den Primärsystemen kann somit begrenzt und minimiert werden. Die Abfahrreinigung der KKB-Anlagen wurde in den letzten 25 Jahren immer weiterentwickelt.

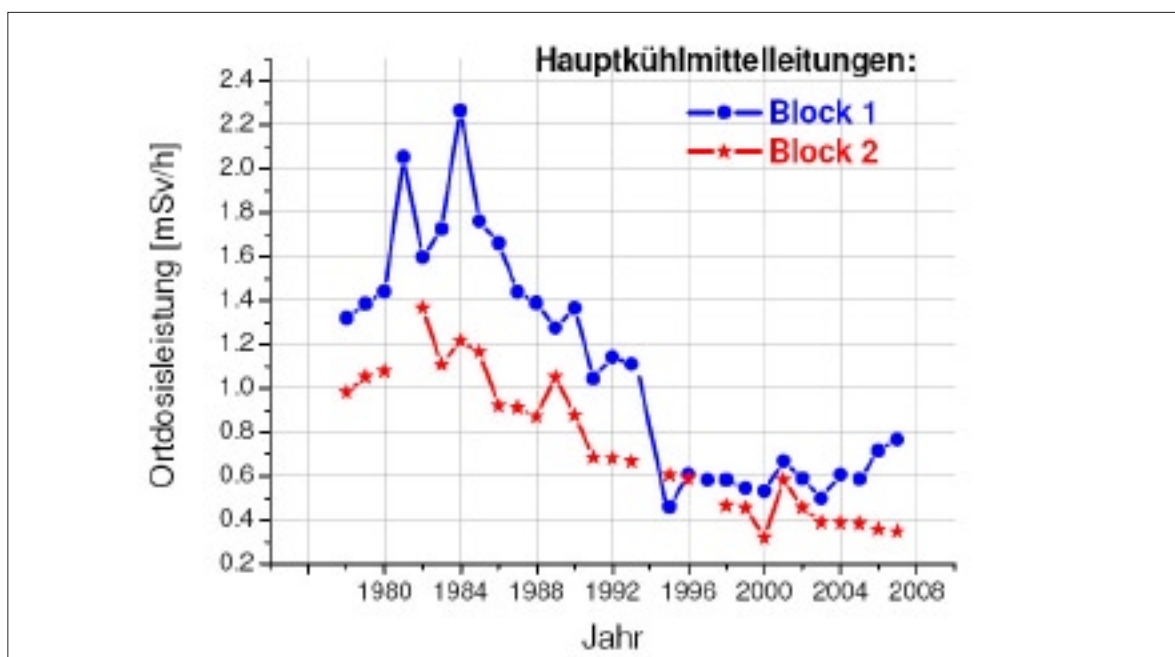
Die beiden Kobaltnuklide  $^{58}\text{Co}$  und  $^{60}\text{Co}$  bestimmen zusammen mit bis zu 98 % die Dosisleistung an den Primärkreislaufkomponenten des KKB. Die Prozessoptimierungen konzentrieren sich daher auf diese Nuklide.

Während der Reinigungsphase wird auf eine saubere Trennung der beiden Phasen (sauer-reduzierend und sauer-oxidierend) geachtet. Die beiden Kobaltnuklide ( $^{60}\text{Co}$  und  $^{58}\text{Co}$ ) können dadurch effizient aus dem Primärkreislauf entfernt werden. Im KKB konnte vor allem die Aktivität des  $^{58}\text{Co}$  reduziert werden, was zum Rückgang der Dosisleistung auf der heissen Seite führte.

Während des Leistungsbetriebs wird darauf geachtet, dass so schnell und so konstant wie möglich ein pH-Wert von 7,2 gefahren wird. Dieser pH-Wert scheint für KKB optimal zu sein, wie die Untersuchungen des Crudmaterials im Primärwasser zeigten. Bei Fortführung dieser Fahrweisen sollten die Dosisleistungen im Primärteil beider Anlagen weiterhin niedrig bleiben. In Darstellung A.10 ist der zeitliche Verlauf der mittleren Ortsdosisleistung der Hauptkühlmittelleitungen von Block 1 und Block 2 des KKB aufgezeigt. In Block 2 ist die Dosisleistung in den letzten Jahren nahezu konstant geblieben, in Block 1 hingegen ist ein leichter Anstieg zu verzeichnen.

Die Schweizer Kernanlagenbetreiber haben in den letzten Jahren konsequent die Wasserchemie in den Anlagen dem neuesten Stand von Wissenschaft und Technik angepasst. Als Folge davon nahmen die Dosisleistungen an Komponenten und Systemen im Primärteil aller Anlagen ab. Die akkumulierten Jobdosen für Arbeiten in diesen Bereichen der Anlagen konnten somit in den letzten Jahren sukzessiv gesenkt werden.

**Darstellung A.10:** Verlauf der mittleren Ortsdosisleistung der Hauptkühlmittelleitungen von Block 1 und Block 2 des KKW Beznau



# B: UMWELTRADIOAKTIVITÄT BEI KERNANLAGEN, ÜBERWACHUNG

## 1. Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser und der Abluft lagen im Jahr 2007 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-Abgabelimiten. Die aus den tatsächlichen Abgaben und der Direktstrahlung aus der jeweiligen Anlage errechnete Strahlenexposition liegt selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren für Erwachsene und Kleinkinder weit unterhalb des für Standorte von Kernanlagen festgelegten quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr.

Die externe Strahlung wird mit dem Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) ständig überwacht. In der Umgebung des KKB und des PSI sind 17, beim KKG 16 und beim KKL und KKM je 12 Ortsdosisleistungsmesssonden in einem Abstand von bis zu ca. 5 km um die Anlagen in Betrieb. Die Messwerte dieser MADUK-Sonden werden alle 10 Minuten in die HSK-Zentrale übertragen und automatisch analysiert. Allfällige Abweichungen vom Schwankungsbereich der natürlichen Strahlung werden 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 detaillierte 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 ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) können im Allgemeinen mit den Atom-

waffentests oder mit dem Reaktorunfall in Tschernobyl in Verbindung gebracht werden. Die langjährige Messreihe der Universität Bern von  $^{14}\text{C}$  in Baumblättern in der Umgebung der Kernkraftwerke wurde fortgesetzt. Im aquatischen Milieu zeigten Wasser- und Sedimentproben Spuren von künstlichen Radionukliden, wie  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$  und  $^{65}\text{Zn}$ , welche aus den Abgaben der Kernanlagen stammen. Die grössten Abgaben radioaktiver Stoffe (ausser Tritium) erfolgen während den Revisionsabstellungen. Für das insbesondere in Sedimentproben ebenfalls gemessene  $^{137}\text{Cs}$  ist keine eindeutige Zuordnung in Anteile aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl und den Abgaben der Kernkraftwerke mehr möglich. Bei den andern Nukliden zeigen die Messungen generell den auf Grund der Abgaben erwarteten Verlauf, wobei gewisse Messwerte vermutlich durch einen relativ langsamen Partikeltransport in den Monaten nach dem Revisionsstillstand höher liegen.

In einer von dreizehn Grasproben aus der Umgebung des KKM konnten die Radionuklide  $^{60}\text{Co}$  und  $^{54}\text{Mn}$ , die dem Kernkraftwerk zuzuordnen sind, festgestellt werden (1,3 respektive 1,4 Bq/m<sup>2</sup>). Diese Grasprobe wurde am 22. August 2007 beim Zusammenfluss von Saane und Aare erhoben. Da dieser Ort während des grossen Hochwassers am 9. August 2007 überflutet war, ist anzunehmen, dass das Gras durch das Abwasser und aufgewühlte Sedimente verschmutzt wurde. Eine später an demselben Ort erhobene Grasprobe ergab Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze. In der Umgebung von Mühleberg wurde im Berichtsjahr häufiger  $^{60}\text{Co}$  gemessen als in den Vorjahren: im Niederschlag in den Monaten März und November (2 respektive 14 mBq/Liter) sowie in den Luftfiltern des Hochvolumensammlers in den Monaten Januar, März, April, Mai, Juli (0,5 bis 1,2 mikroBq/m<sup>3</sup>) sowie im September (6,4 mikroBq/m<sup>3</sup>). Dies ist darauf zurückzuführen, dass der benutzte Detektor eine um den Faktor 3 bessere Nachweisgrenze aufweist. Diese Messwerte sind im Vergleich zu den Immissionsgrenzwerten gemäss Artikel 102 radiologisch

unbedeutend. 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. Tabelle B.1 zeigt die in den Kernkraftwerken und im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) gemessenen Abgabewerte sowie die unter ungünstigen Annahmen errechneten Personendosen für Erwachsene und Kleinkinder in der Umgebung der betreffenden Anlage im Jahr 2007. Die Abgaben des Paul Scherrer Instituts und die daraus in gleicher Weise berechneten Dosiswerte sind in Tabelle B.2 zusammengestellt. Eine nuklidspezifische Aufschlüsselung der Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser ist in Tabelle B.3a, mit der Abluft in den Tabellen B.3b und B.3c aufgelistet. Die Fussnoten zu den Tabellen geben Hinweise zu den Limiten, den Messungen und den bei der Berechnung der Jahresdosis verwendeten Annahmen.

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

Die aus den Emissionen der Kernkraftwerke errechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in unmittelbarer Nähe der Anlage beträgt unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren beim KKB ungefähr 0,002 mSv, beim KKG 0,001 mSv, beim KKL 0,005 mSv und beim KKM 0,005 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung betragen somit im Jahr 2007 nur einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwerts. Die errechneten Dosiswerte liegen wie in den Vorjahren alle unter 0,01 mSv.

Auf Grund eines internationalen Vergleichs stellte die HSK im Rahmen der Aufhebung der Befristung der Betriebsbewilligung für den Block 2 des KKB die Auflage, dass das KKB bis im Jahr 2007 seine Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser auf den Medianwert der europäischen Druckwasserreaktoren senken soll. KKB

hat im Berichtsjahr die dafür installierte Nanofiltrationsanlage definitiv in Betrieb genommen und erstmals die Abgaben soweit reduziert, dass die Auflage erfüllt ist. Die HSK stellte beim KKM, im Rahmen der vom Bundesrat für das Jahr 2005 verlangten Periodischen Sicherheitsüberprüfung, eine entsprechende Auflage: KKM hat Massnahmen zu ergreifen, um die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser ab Ende 2010, unter Wahrung der Verhältnismässigkeit, auf einen Zielwert von weniger als 1 GBq pro Jahr (ohne Tritium) zu reduzieren.

Die HSK berücksichtigt bei den Dosisberechnungen die  $^{14}\text{C}$ -Abgaben, da diese seit einigen Jahren auf Grund der geringen übrigen Abgaben die Dosis dominieren. Das radioaktive Kohlenstoffisotop  $^{14}\text{C}$  entsteht im Reaktor durch Kernreaktionen von Neutronen mit Stickstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff. Die  $^{14}\text{C}$ -Abgaben der Kernkraftwerke sind systembedingt begrenzt, weil die Abgaberate primär von der Reaktorleistung abhängig ist. Die Kernkraftwerke haben in den letzten Jahren die  $^{14}\text{C}$ -Abgaben gemessen und nachgewiesen, dass diese mit den Erfahrungswerten aus der Messkampagne vor etwa zwanzig Jahren und den in der einschlägigen Literatur angegebenen  $^{14}\text{C}$ -Abgabewerten für ähnliche Anlagen korrespondieren. Das KKL führt seit längerer Zeit aus eigener Initiative  $^{14}\text{C}$ -Messungen durch. Mitte 1998 wurde die Apparatur des KKL zur Messung von  $^{14}\text{C}$  auf Grund der Resultate einer internationalen Vergleichsmessung neu kalibriert, was dazu führte, dass die für Einzelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis seit 1998 etwas höher ist. Das KKG führt seit Ende 2001 Messungen der  $^{14}\text{C}$ -Abgaben mit der Abluft durch. Die für Einzelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis der Jahre 2001 bis 2003 werden beim KKG im Nachhinein als um den Faktor 3 zu hoch eingeschätzt, dies auf Grund der Ergebnisse der neuen Kalibrierung der Messapparatur mit zwei diversitären Standards zu Beginn des Jahres 2004. Beim KKB und KKM wurden die von der HSK geforderten einjährigen Messkampagnen für  $^{14}\text{C}$  und  $^3\text{H}$  abgeschlossen. Alle Schweizer Kernkraftwerke führten aber 2007 die  $^{14}\text{C}$ - und die  $^3\text{H}$ -Messungen auf freiwilliger Basis fort. Somit konnten auch 2007 zur Ermittlung des jeweiligen Dosisbeitrags von  $^{14}\text{C}$  die gemessenen Werte herangezogen werden.

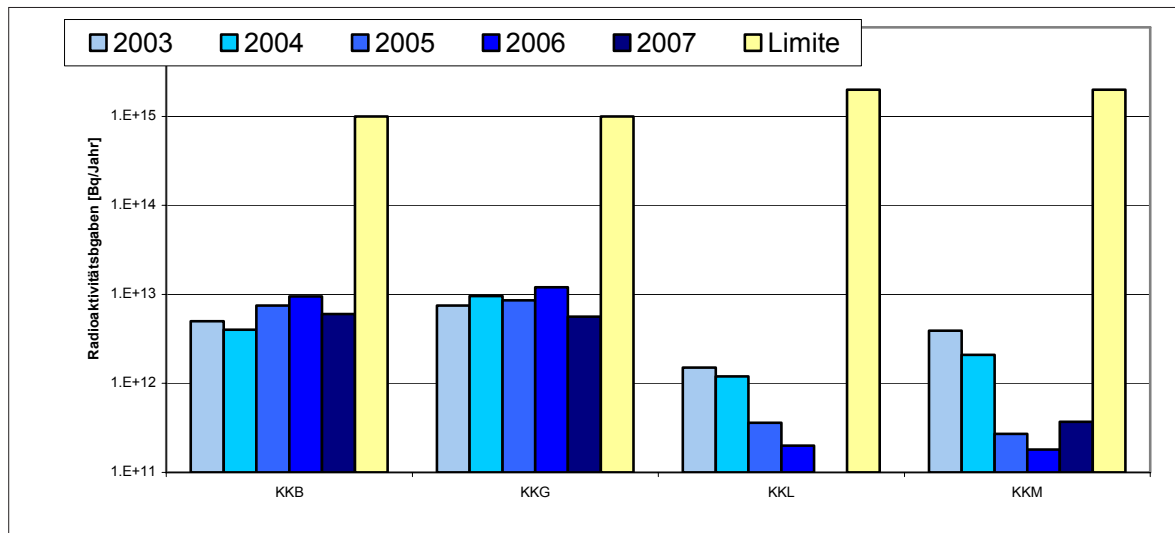
Das PSI ist auf Grund der Bewilligung für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung verpflichtet, sowohl für die einzelnen Anlagen als auch für die Gesamtanlage des PSI die aus den Abgaben resultierende Dosis in der Umgebung zu berechnen. Beim PSI errechnet die HSK eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von weniger als 0,008 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 von 0,15 mSv pro Jahr am quellenbezogenen Dosisrichtwert für den gemeinsamen Standort des PSI und des ZZL liegt. Für das ZZL beträgt der Anteil 0,05 mSv pro Jahr.

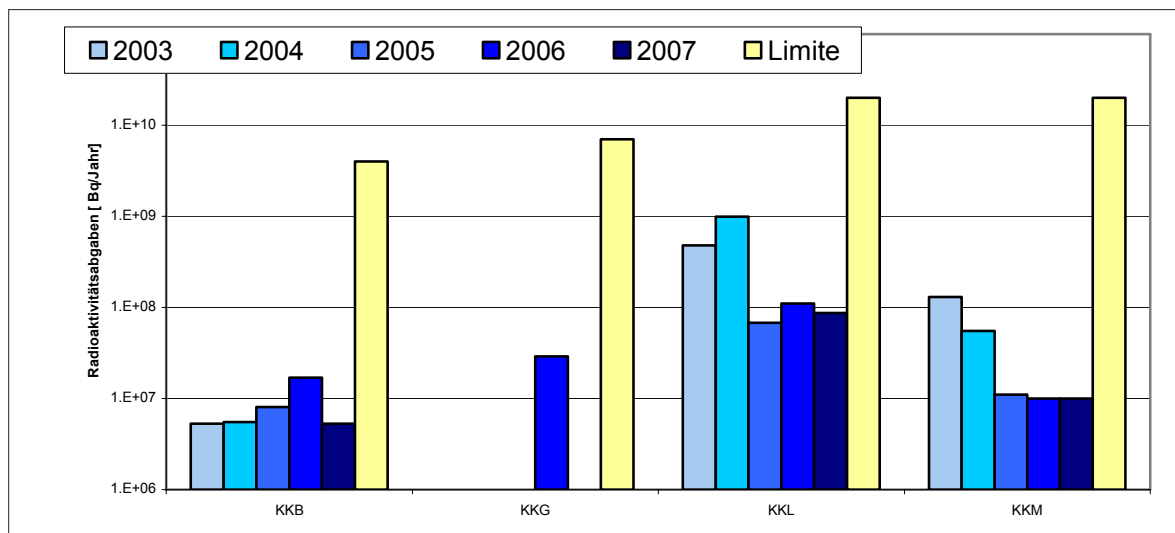
Im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) erfolgten im Berichtsjahr weitere Einlagerungen in die Lagergebäude für hoch- und mittelaktive Abfälle und im Hochregallager der Konditionieranlage. In der Plasma-Anlage fanden wiederum eine Frühjahres- und eine Herbstverbrennungskampagne statt. Die für das Jahr 2007 bilanzierten Abgaben des ZZL sind in den Tabellen B.1 und B.3a bis B.3c zusammengestellt. Die auf Grund der Abgaben unter ungünstigen Annahmen berechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Umgebungsbevölkerung lag bei 0,001 mSv.

**Darstellung B.1:** Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre in den letzten fünf Jahren (2003 bis 2007) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten

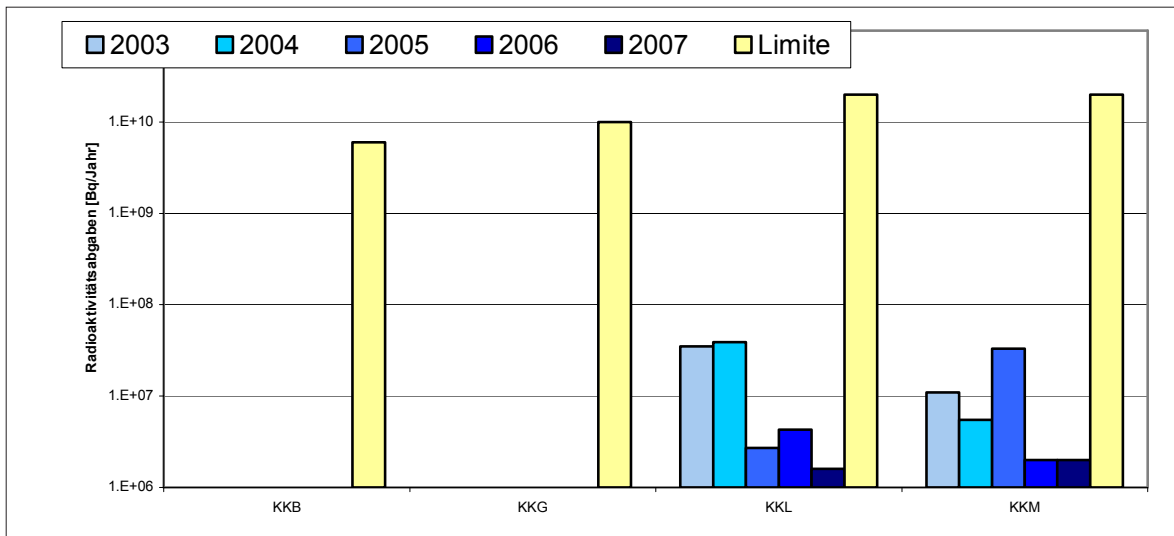
1. Edelgasabgaben mit der Abluft



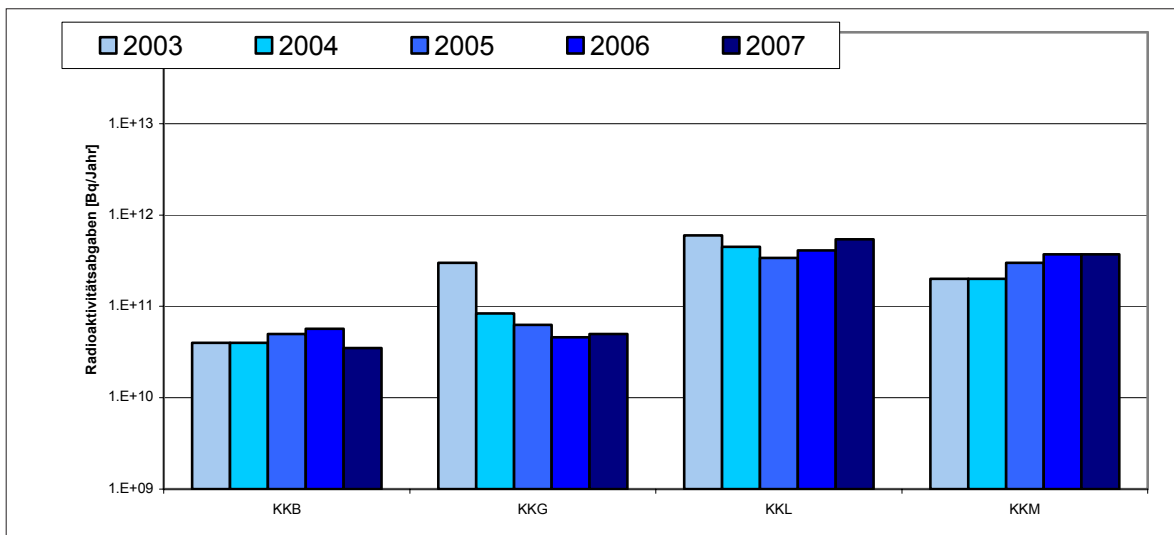
2. Iodabgaben mit der Abluft



### 3. Aerosolabgaben mit der Abluft

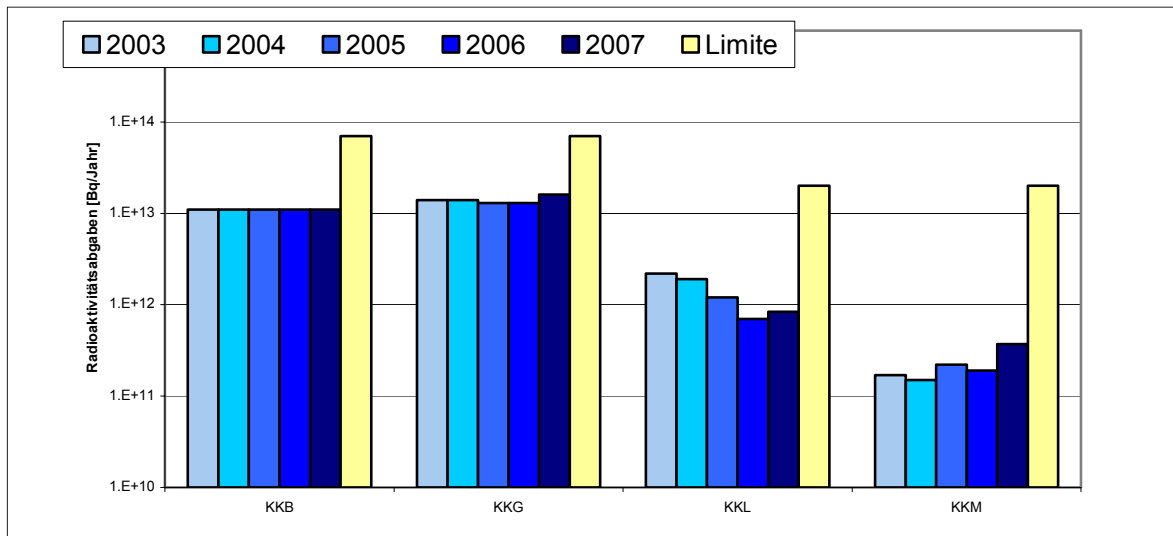


### 4. Abgabe von Kohlenstoff-14 (<sup>14</sup>C) mit der Abluft

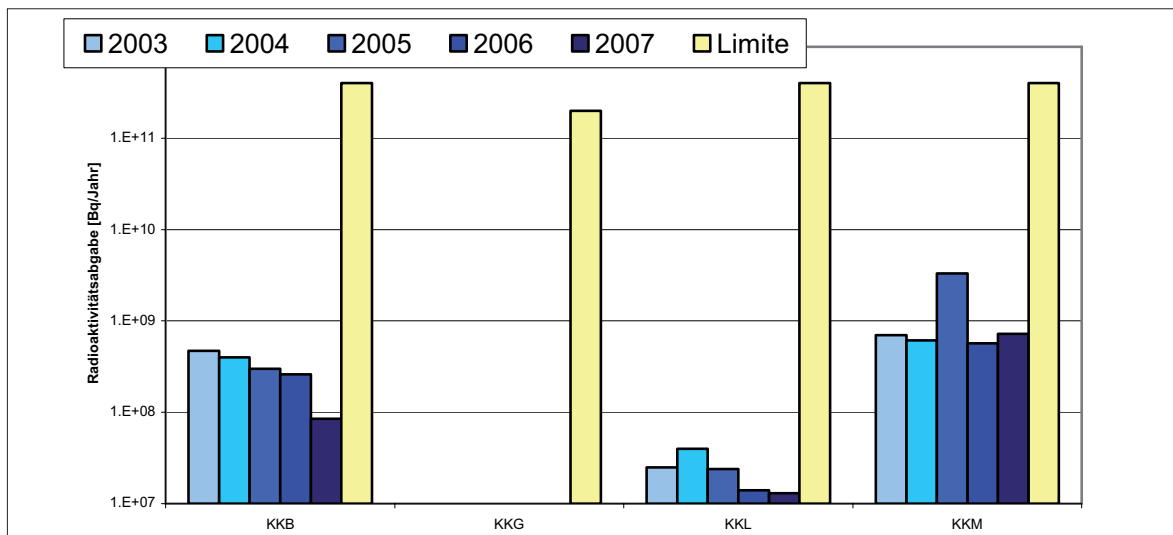




### 5. Tritiumabgaben mit dem Abwasser



### 6. Aktivitätsabgabe mit dem Abwasser (ohne Tritium)



**Tabelle B.1:** Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2007 für die Kernkraftwerke und das Zentrale Zwischenlager Würenlingen und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung

Ort	Medium	Art der Abgaben <sup>4</sup>	Limiten <sup>1</sup>  Bq pro Jahr	Tatsächliche Abgaben <sup>2,4</sup>			Berechnete Jahresdosis <sup>3</sup>	
				Aequivalentabgaben		Bq pro Jahr	Erwachsene mSv/Jahr	Kleinkind mSv/Jahr
Bq pro Jahr	Prozent der Limite	Bq pro Jahr						
KKB1 + KKB2	Abwasser 3'870 m <sup>3</sup>	Nuklidgemisch ohne Tritium	4·10 <sup>11</sup>	-	<0.1%	6.9·10 <sup>8</sup>	<0.001	<0.001
		Tritium	7·10 <sup>13</sup>	1.1·10 <sup>13</sup>	16%	1.1·10 <sup>13</sup>	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	1·10 <sup>15</sup>	6.0·10 <sup>12</sup>	0.6%	5.5·10 <sup>12</sup>	<0.001	<0.001
		Aerosole	6·10 <sup>9</sup>	-	<0.1%	9.9·10 <sup>4</sup>	<0.001	<0.001
		Iod: <sup>131</sup> I	4·10 <sup>9</sup>	5.3·10 <sup>6</sup>	0.1%	5.3·10 <sup>6</sup>	<0.001	<0.001
Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	-	-	-	3.5·10 <sup>10</sup>	0.0010	0.0017		
Dosis total						<b>0.0012</b>	<b>0.0020</b>	
KKM	Abwasser 7'354 m <sup>3</sup>	Nuklidgemisch ohne Tritium	4·10 <sup>11</sup>	7.2·10 <sup>8</sup>	0.2%	7.6·10 <sup>9</sup>	<0.001	<0.001
		Tritium	2·10 <sup>13</sup>	3.7·10 <sup>11</sup>	1.9%	3.7·10 <sup>11</sup>	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	2·10 <sup>15</sup>	-	<0.1%	1.1·10 <sup>11</sup>	<0.001	<0.001
		Aerosole	2·10 <sup>10</sup>	-	<0.1%	2.0·10 <sup>6</sup>	0.0038	0.0033
		Iod: <sup>131</sup> I	2·10 <sup>10</sup>	-	<0.1%	1.0·10 <sup>7</sup>	<0.001	<0.001
Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	-	-	-	3.7·10 <sup>11</sup>	0.0013	0.0022		
Dosis total						<b>0.0051</b>	<b>0.0054</b>	
KKG	Abwasser 6'633 m <sup>3</sup>	Nuklidgemisch ohne Tritium	2·10 <sup>11</sup>	-	<0.1%	2.2·10 <sup>6</sup>	<0.001	<0.001
		Tritium	7·10 <sup>13</sup>	1.6·10 <sup>13</sup>	23%	1.6·10 <sup>13</sup>	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	1·10 <sup>15</sup>	<5.6·10 <sup>12</sup>	<0.6%	<5.4·10 <sup>12</sup>	<0.001	<0.001
		Aerosole	1·10 <sup>10</sup>	-	<0.1%	5.0·10 <sup>5</sup>	<0.001	<0.001
		Iod: <sup>131</sup> I	7·10 <sup>9</sup>	-	<0.1%	-	<0.001	<0.001
Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	-	-	-	5.0·10 <sup>10</sup>	<0.001	<0.001		
Dosis total						<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	
KKL	Abwasser 14'129 m <sup>3</sup>	Nuklidgemisch ohne Tritium	4·10 <sup>11</sup>	-	<0.1%	7.7·10 <sup>7</sup>	<0.001	<0.001
		Tritium	2·10 <sup>13</sup>	8.4·10 <sup>11</sup>	4.2%	8.4·10 <sup>11</sup>	<0.001	<0.001
	Abluft	Edelgase	2·10 <sup>15</sup>	-	<0.1%	1.3·10 <sup>11</sup>	<0.001	<0.001
		Aerosole	2·10 <sup>10</sup>	-	<0.1%	1.6·10 <sup>6</sup>	<0.001	<0.001
		Iod: <sup>131</sup> I	2·10 <sup>10</sup>	8.7·10 <sup>7</sup>	0.4%	8.7·10 <sup>7</sup>	<0.001	<0.001
Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	-	-	-	5.4·10 <sup>11</sup>	0.0029	0.0049		
Dosis total						<b>0.0029</b>	<b>0.0050</b>	
ZZL	Abwasser 450 m <sup>3</sup>	Nuklidgemisch ohne Tritium	2·10 <sup>11</sup>	4.5·10 <sup>8</sup>	0.2%	1.7·10 <sup>9</sup>	<0.001	<0.001
		Tritium	-	-	-	1.3·10 <sup>11</sup>	<0.001	<0.001
	Abluft	β-/γ-Aerosole	1·10 <sup>9</sup>	-	<0.1%	3.8·10 <sup>5</sup>	<0.001	<0.001
		α-Aerosole	3·10 <sup>7</sup>	-	<0.1%	9.8·10 <sup>3</sup>	<0.001	<0.001
		Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	1·10 <sup>12</sup>	1.5·10 <sup>10</sup>	1.5%	1.5·10 <sup>10</sup>	<0.001	0.001
Tritium	1·10 <sup>14</sup>	3.1·10 <sup>11</sup>	0.3%	3.1·10 <sup>11</sup>	<0.001	<0.001		
Dosis total						<b>&lt;0.001</b>	<b>0.0011</b>	

**Tabelle B.2:**

Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2007 und der daraus berechneten Dosen für Einzelpersonen der Bevölkerung

	PSI Ost						PSI West			Gesamtanlage des PSI <sup>2,4</sup>		
	Hochkammin	Saphir, Proteus	Forschungslabor	Betriebsgebäude radioaktive Abfälle	Bundeszwischenlager	Zentrale Fortluftanlagen	Injektor II	C-Labor	Abwasser 3016 m <sup>3</sup>	Abluft	Aequivalentabgaben	
<b>Abgaben im Abwasser<sup>2,4</sup> [Bq/a]</b> Nuklidgemisch ohne Tritium Tritium	-	-	-	-	-	-	-	-	2.9·10 <sup>8</sup> 4.3·10 <sup>12</sup>	-	7.1·10 <sup>7</sup> -	
<b>Abgaben über die Abluft<sup>2,4</sup> [Bq/a]</b> Edelegase und andere Gase $\beta/\gamma$ -Aerosole <sup>4</sup> , ohne Iod $\alpha$ -Aerosole Iod Tritium in H <sub>2</sub> O Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	1.2·10 <sup>11</sup> 1.5·10 <sup>8</sup> - 2.7·10 <sup>8</sup> 1.9·10 <sup>11</sup> -	- - - - 4.3·10 <sup>8</sup> -	- - - - - -	- - - - 1.9·10 <sup>10</sup> -	- 1.8·10 <sup>4</sup> - - 2.8·10 <sup>9</sup> -	1.6·10 <sup>14</sup> 4.0·10 <sup>10</sup> - 8.4·10 <sup>7</sup> 2.3·10 <sup>12</sup> -	7.1·10 <sup>10</sup> 3.9·10 <sup>6</sup> - - - -	- 6.6·10 <sup>3</sup> - - - -	- -	1.6·10 <sup>14</sup> 4.0·10 <sup>10</sup> - 3.5·10 <sup>8</sup> 2.5·10 <sup>12</sup> -	3.4·10 <sup>14</sup> -	
<b>Jahresdosis<sup>3</sup> [mSv/Jahr] für:</b> Erwachsene Kleinkinder	<0.00015 0.00015	<0.00015 <0.00015	<0.00015 <0.00015	<0.00015 <0.00015	<0.00015 <0.00015	0.0070 0.0071	<0.00015 <0.00015	<0.00015 <0.00015	<0.00015 <0.00015	<0.00015 <0.00015	<0.0075 <0.0075	
<b>Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert<sup>1</sup></b>	0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	4.7 %	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<5%	

**Tabelle B.3a:** Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2007:

Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben

Nuklid $\beta/\gamma$ -Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
<sup>3</sup> H	1.1·10 <sup>13</sup>	1.6·10 <sup>13</sup>	8.4·10 <sup>11</sup>	3.7·10 <sup>11</sup>	4.3·10 <sup>12</sup>	1.3·10 <sup>11</sup>
<sup>7</sup> Be					7.9·10 <sup>06</sup>	
<sup>22</sup> Na					8.4·10 <sup>05</sup>	2.6·10 <sup>07</sup>
<sup>24</sup> Na	9.5·10 <sup>06</sup>			2.2·10 <sup>06</sup>		
<sup>35</sup> S					1.3·10 <sup>07</sup>	
<sup>51</sup> Cr				7.3·10 <sup>08</sup>		
<sup>54</sup> Mn	3.2·10 <sup>06</sup>		3.4·10 <sup>06</sup>	2.6·10 <sup>09</sup>	2.4·10 <sup>05</sup>	
<sup>56</sup> Mn						
<sup>59</sup> Fe	1.5·10 <sup>05</sup>			4.8·10 <sup>07</sup>		
<sup>56</sup> Co					3.9·10 <sup>04</sup>	
<sup>57</sup> Co	4.3·10 <sup>06</sup>				5.2·10 <sup>05</sup>	
<sup>58</sup> Co	1.8·10 <sup>08</sup>	1.0·10 <sup>05</sup>	3.0·10 <sup>06</sup>	8.6·10 <sup>08</sup>	7.8·10 <sup>05</sup>	
<sup>60</sup> Co	1.2·10 <sup>08</sup>	9.3·10 <sup>05</sup>	5.2·10 <sup>07</sup>	3.1·10 <sup>09</sup>	6.1·10 <sup>05</sup>	2.6·10 <sup>06</sup>
<sup>65</sup> Zn			6.0·10 <sup>05</sup>	7.0·10 <sup>07</sup>	1.1·10 <sup>04</sup>	
<sup>85</sup> Sr						
<sup>89</sup> Sr	2.7·10 <sup>07</sup>			1.6·10 <sup>07</sup>		
<sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y	2.0·10 <sup>06</sup>			8.0·10 <sup>06</sup>	3.1·10 <sup>07</sup>	
<sup>95</sup> Zr	2.7·10 <sup>05</sup>					
<sup>97</sup> Zr						
<sup>95</sup> Nb	3.6·10 <sup>05</sup>	1.7·10 <sup>05</sup>		1.9·10 <sup>06</sup>		
<sup>99</sup> Mo						
<sup>99m</sup> Tc	1.8·10 <sup>06</sup>					
<sup>103</sup> Ru	3.3·10 <sup>04</sup>					
<sup>106</sup> Ru/Rh					1.3·10 <sup>05</sup>	
<sup>110m</sup> Ag	1.2·10 <sup>06</sup>			4.7·10 <sup>05</sup>	6.4·10 <sup>03</sup>	
<sup>122</sup> Sb	8.2·10 <sup>06</sup>					
<sup>124</sup> Sb	1.1·10 <sup>08</sup>			8.0·10 <sup>06</sup>	1.7·10 <sup>03</sup>	
<sup>125</sup> Sb	3.0·10 <sup>07</sup>		1.2·10 <sup>07</sup>		3.1·10 <sup>04</sup>	2.6·10 <sup>05</sup>
<sup>123m</sup> Te	5.2·10 <sup>06</sup>	1.0·10 <sup>06</sup>				
<sup>132</sup> Te	1.9·10 <sup>06</sup>					
<sup>125</sup> I					1.1·10 <sup>06</sup>	
<sup>126</sup> I						
<sup>131</sup> I	1.6·10 <sup>07</sup>		4.2·10 <sup>06</sup>		3.7·10 <sup>05</sup>	
<sup>133</sup> I	4.3·10 <sup>06</sup>					
<sup>134</sup> Cs	8.5·10 <sup>06</sup>				6.9·10 <sup>06</sup>	5.2·10 <sup>07</sup>
<sup>136</sup> Cs						
<sup>137</sup> Cs	1.5·10 <sup>08</sup>		1.4·10 <sup>06</sup>	6.2·10 <sup>07</sup>	2.0·10 <sup>08</sup>	1.7·10 <sup>09</sup>
<sup>133</sup> Ba						
<sup>140</sup> Ba						
<sup>140</sup> La						
<sup>141</sup> Ce						
<sup>144</sup> Ce						
<sup>152</sup> Eu						
<sup>154</sup> Eu						
<sup>172</sup> Lu					1.4·10 <sup>04</sup>	
<sup>185</sup> Os					3.6·10 <sup>04</sup>	
<sup>239</sup> Np						
$\alpha$ -Strahler				1.1·10 <sup>05</sup>		
<sup>234/238</sup> U					1.1·10 <sup>04</sup>	
<sup>239/240</sup> Pu	1.0·10 <sup>04</sup>				1.1·10 <sup>05</sup>	
<sup>238</sup> Pu/ <sup>241</sup> Am	1.2·10 <sup>04</sup>				6.6·10 <sup>04</sup>	
<sup>242</sup> Cm	2.1·10 <sup>03</sup>					
<sup>243/244</sup> Cm	1.2·10 <sup>03</sup>				9.7·10 <sup>03</sup>	

**Tabelle B.3b:** Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Edelgase und Iod 2007:  
Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben

Nuklid $\beta/\gamma$ -Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
Gase, Edelgase						
Tritium	$2.8 \cdot 10^{11}$	$7.1 \cdot 10^{11}$	$5.2 \cdot 10^{11}$	$2.1 \cdot 10^{10}$	$2.5 \cdot 10^{12}$	$3.1 \cdot 10^{11}$
$^{11}\text{C}$					$2.4 \cdot 10^{13}$	
$^{14}\text{C}$ ( $\text{CO}_2$ )	$3.5 \cdot 10^{10}$	$5.0 \cdot 10^{10}$	$5.4 \cdot 10^{11}$	$3.7 \cdot 10^{11}$		$1.5 \cdot 10^{10}$
$^{13}\text{N}$					$2.5 \cdot 10^{13}$	
$^{15}\text{O}$					$1.0 \cdot 10^{14}$	
$^{18}\text{F}$					$7.9 \cdot 10^{11}$	
$^{24}\text{Ne}$					$8.8 \cdot 10^{11}$	
$^{41}\text{Ar}$					$5.9 \cdot 10^{12}$	
$^{79}\text{Kr}$						
$^{85}\text{Kr}$					$1.2 \cdot 10^{11}$	
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	$2.3 \cdot 10^{11}$			$5.3 \cdot 10^{10}$		
$^{87}\text{Kr}$						
$^{88}\text{Kr}$				$2.7 \cdot 10^{10}$	$1.7 \cdot 10^{08}$	
$^{122}\text{Xe}$						
$^{125}\text{Xe}$						
$^{127}\text{Xe}$					$2.7 \cdot 10^{11}$	
$^{129\text{m}}\text{Xe}$						
$^{131\text{m}}\text{Xe}$						
$^{133}\text{Xe}$	$2.2 \cdot 10^{12}$		$2.1 \cdot 10^{10}$			
$^{133\text{m}}\text{Xe}$						
$^{135}\text{Xe}$	$2.7 \cdot 10^{12}$		$8.9 \cdot 10^{10}$	$1.2 \cdot 10^{09}$		
$^{135\text{m}}\text{Xe}$			$2.0 \cdot 10^{10}$			
$^{137}\text{Xe}$						
$^{138}\text{Xe}$						
EG-Aequiv. <sup>4)</sup>				$8.6 \cdot 10^{10}$		
EG: $\beta$ -total		$5.4 \cdot 10^{12}$				
Andere	$3.9 \cdot 10^{11}$					
<b>Iod</b>						
$^{123}\text{I}$					$6.1 \cdot 10^{07}$	
$^{124}\text{I}$					$1.7 \cdot 10^{06}$	
$^{125}\text{I}$					$3.0 \cdot 10^{07}$	
$^{126}\text{I}$					$1.2 \cdot 10^{06}$	
$^{131}\text{I}$	$5.3 \cdot 10^{06}$		$8.7 \cdot 10^{07}$	$1.0 \cdot 10^{07}$	$2.6 \cdot 10^{08}$	
$^{133}\text{I}$	$3.0 \cdot 10^{07}$					

**Tabelle B.3c:** Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Aerosole 2007:  
Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben

Nuklid $\beta/\gamma$ -Aerosole	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
<sup>7</sup> Be					8.8·10 <sup>04</sup>	
<sup>22</sup> Na					1.5·10 <sup>04</sup>	
<sup>24</sup> Na					2.3·10 <sup>05</sup>	
<sup>38</sup> S					2.6·10 <sup>09</sup>	
<sup>38</sup> Cl					7.9·10 <sup>07</sup>	
<sup>39</sup> Cl					3.4·10 <sup>10</sup>	
<sup>51</sup> Cr				1.5·10 <sup>05</sup>		
<sup>54</sup> Mn				1.5·10 <sup>05</sup>		
<sup>58</sup> Co		1.6·10 <sup>05</sup>		1.2·10 <sup>05</sup>		
<sup>60</sup> Co		2.6·10 <sup>05</sup>	3.9·10 <sup>04</sup>	8.7·10 <sup>05</sup>	1.9·10 <sup>06</sup>	4.4·10 <sup>02</sup>
<sup>65</sup> Zn				2.4·10 <sup>05</sup>		
<sup>72</sup> As					3.0·10 <sup>07</sup>	
<sup>75</sup> Se					4.7·10 <sup>06</sup>	
<sup>76</sup> Br					6.5·10 <sup>05</sup>	
<sup>77</sup> Br					1.4·10 <sup>08</sup>	
<sup>82</sup> Br					9.3·10 <sup>08</sup>	
<sup>90</sup> Sr				1.1·10 <sup>05</sup>		
<sup>99m</sup> Tc					7.5·10 <sup>07</sup>	
<sup>110m</sup> Ag		7.4·10 <sup>04</sup>				
<sup>131</sup> I			9.7·10 <sup>05</sup>			
<sup>134</sup> Cs						2.7·10 <sup>02</sup>
<sup>137</sup> Cs		4.8·10 <sup>03</sup>		1.6·10 <sup>05</sup>		1.0·10 <sup>04</sup>
<sup>140</sup> Ba			6.0·10 <sup>05</sup>	1.8·10 <sup>05</sup>		
<sup>140</sup> La			1.0·10 <sup>06</sup>			
<sup>173</sup> Lu					5.1·10 <sup>05</sup>	
<sup>177m</sup> Lu					5.4·10 <sup>04</sup>	
<sup>175</sup> Hf					1.8·10 <sup>06</sup>	
<sup>181</sup> Re					1.4·10 <sup>08</sup>	
<sup>182</sup> Re					3.6·10 <sup>08</sup>	
<sup>182m</sup> Re					4.8·10 <sup>05</sup>	
<sup>182</sup> Os					9.5·10 <sup>06</sup>	
<sup>183m</sup> Os					6.8·10 <sup>05</sup>	
<sup>185</sup> Os					2.3·10 <sup>07</sup>	
<sup>191</sup> Os					2.5·10 <sup>08</sup>	
<sup>185</sup> W					4.2·10 <sup>08</sup>	
<sup>191</sup> Pt					3.3·10 <sup>06</sup>	
<sup>192</sup> Au					2.7·10 <sup>09</sup>	
<sup>193</sup> Au					2.6·10 <sup>08</sup>	
<sup>194</sup> Au					7.8·10 <sup>07</sup>	
<sup>195</sup> Au					2.1·10 <sup>06</sup>	
<sup>192</sup> Hg					2.5·10 <sup>08</sup>	
<sup>193m</sup> Hg					3.4·10 <sup>08</sup>	
<sup>195</sup> Hg					3.4·10 <sup>10</sup>	
<sup>195m</sup> Hg					1.5·10 <sup>08</sup>	
<sup>197</sup> Hg					1.2·10 <sup>06</sup>	
<sup>197m</sup> Hg					1.8·10 <sup>08</sup>	
<sup>203</sup> Hg					1.0·10 <sup>07</sup>	
Nicht spezifizierte	9.9·10 <sup>04</sup>					3.7·10 <sup>05</sup>
$\alpha$ -Aerosole	6.2·10 <sup>03</sup>					9.8·10 <sup>03</sup>

## Fussnoten zu den Tabellen B.1 bis B.3

- 1 **Abgabelimiten** gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die Abgabelimite 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 G14 angegebenen Modellen und Parametern ermittelt. Dosiswerte kleiner als 0,001 mSv – entsprechend einer Dosis, die durch natürliche externe Strahlung in ca. zehn Stunden akkumuliert wird – werden in der Regel nicht angegeben. Beim PSI wird die Jahresdosis der Gesamtanlage als Summe über die Abgabestellen gebildet.
- 4 Bei der **Art der Abgaben** resp. den **tatsächlichen Abgaben** ist Folgendes zu präzisieren:  
Abwasser: Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-LE-Wert von 200 Bq/kg angegeben. Die LE-Werte für die einzelnen Nuklide sind dem Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Ein LE-Wert von 200 Bq/kg entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Ingestions-Dosisfaktor von  $5 \cdot 10^{-8}$  Sv/Bq. Die unnormierte Summe der Abwasserabgaben ist in einer weiteren Spalte angegeben.  
**Edelgase:** Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-CA-Wert von  $2 \cdot 10^5$  Bq/m<sup>3</sup> angegeben. Die CA-Werte für die Edelgasnuklide sind dem Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Ein CA-Wert von  $2 \cdot 10^5$  Bq/m<sup>3</sup> entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Immersions-Dosisfaktor von  $4.4 \cdot 10^{-7}$  (Sv/Jahr)/(Bq/m<sup>3</sup>). Die

unnormierte Summe der Edelgasabgaben ist in einer weiteren Spalte angegeben.

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

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

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

**Iod:** Bei den Kernkraftwerken ist die Abgabe von <sup>131</sup>I limitiert; somit ist bei den tatsächlichen Abgaben auch nur dieses Iod-Isotop angegeben. Beim PSI, bei dem andere Iod-Isotope in signifikanten Mengen abgegeben werden, ist die Abgabe für die einzelnen Abgabestellen und die Gesamtanlage als Summe der Aktivität der gemessenen Iod-Nuklide angegeben. Für die Gesamtanlage wird zudem auch ein <sup>131</sup>Iod-Aequivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben, wobei sich der Gewichtungsfaktor aus dem Verhältnis des Ingestionsdosisfaktors des jeweiligen Nuklides zum Ingestionsdosisfaktor von <sup>131</sup>I ergibt. Die Ingestionsdosisfaktoren sind der StSV entnommen.

Für die Berechnung der Jahresdosis werden sowohl für die KKW wie für das PSI immer sämtliche verfügbaren Iod-Messungen verwendet, d.h. es ist beispielsweise für KKB auch der Beitrag von <sup>133</sup>I berücksichtigt.

**Kohlenstoff<sup>14</sup>C:** In den Tabellen ist der als Kohlendioxid vorliegende Anteil des <sup>14</sup>C, der für die Dosis relevant ist, angegeben. Die für <sup>14</sup>C 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 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  $^{16}\text{N}$ , welches mit dem Dampf aus dem Reaktor in die Turbine im Maschinenhaus getragen wird. Des Weiteren können Abfalllager zu einer erhöhten Ortsdosis am Zaun beitragen.

Am Zaun des KKM wurden bei stichprobenweise, vierteljährlich von der HSK durchgeführten Messungen Dosisleistungen zwischen  $0,08 \mu\text{Sv/h}$  (natürlicher Untergrund) und  $0,34 \mu\text{Sv/h}$  ermittelt. Auf ein Jahr hochgerechnet würde basierend auf diesen Momentanwerten am meist exponierten Ort eine Dosiserhöhung von ca.  $2,2 \text{ mSv}$  (ohne natürlichem Untergrund) resultieren. Die vom KKM ausgewerteten Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun ergeben für das Berichtsjahr eine Dosiserhöhung von  $0,8 \text{ mSv}$ , ohne natürlichen Untergrund von ca.  $0,7 \text{ mSv}$ .

Am Zaun des KKL wurden bei vierteljährlichen Stichproben der HSK während des Leistungsbetriebes Ortsdosisleistungen zwischen  $0,06 \mu\text{Sv/h}$  (natürlicher Untergrund) und  $0,19 \mu\text{Sv/h}$  ermittelt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes und unter Berücksichtigung der Betriebszeit am meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von ca.  $1,0 \text{ mSv}$  pro Jahr. Die höchste, mit den TLD am Zaun ermittelte Jahresdosis (nach Abzug des natürlichen Untergrundes von  $0,6 \text{ mSv}$ ) beträgt  $0,8 \text{ mSv}$ .

Im Jahr 2007 betrug der höchste, mit einem Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun des Paul Scherrer Instituts (PSI) gemessene Wert von ca.  $0,2 \text{ mSv}$  (ohne natürlichem Untergrund von ca.  $0,6 \text{ mSv}$ ). Der zugehörige Messpunkt liegt bei der Aktivlagerhalle am PSI-Ost. Auf Grund der stichprobenweise von der HSK gemessenen Ortsdosisleistung am Zaun des PSI-Ost ergibt sich hochgerechnet auf ein Jahr eine Ortsdosis von  $0,8 \text{ mSv}$  ohne natürlichen Untergrund.

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

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



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

### 2.1 Übersicht

Das MADUK-System (**M**essnetz zur **a**utomatischen **D**osisleistungsüberwachung in der **U**mgebung der **K**ernkraftwerke) inklusive der Einrichtungen zur Übernahme von **A**nlageparametern (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.

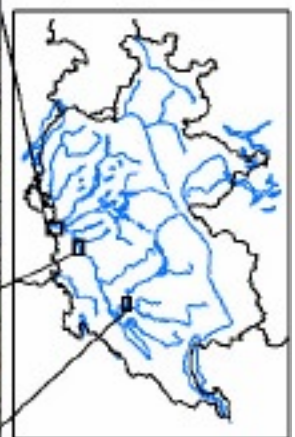
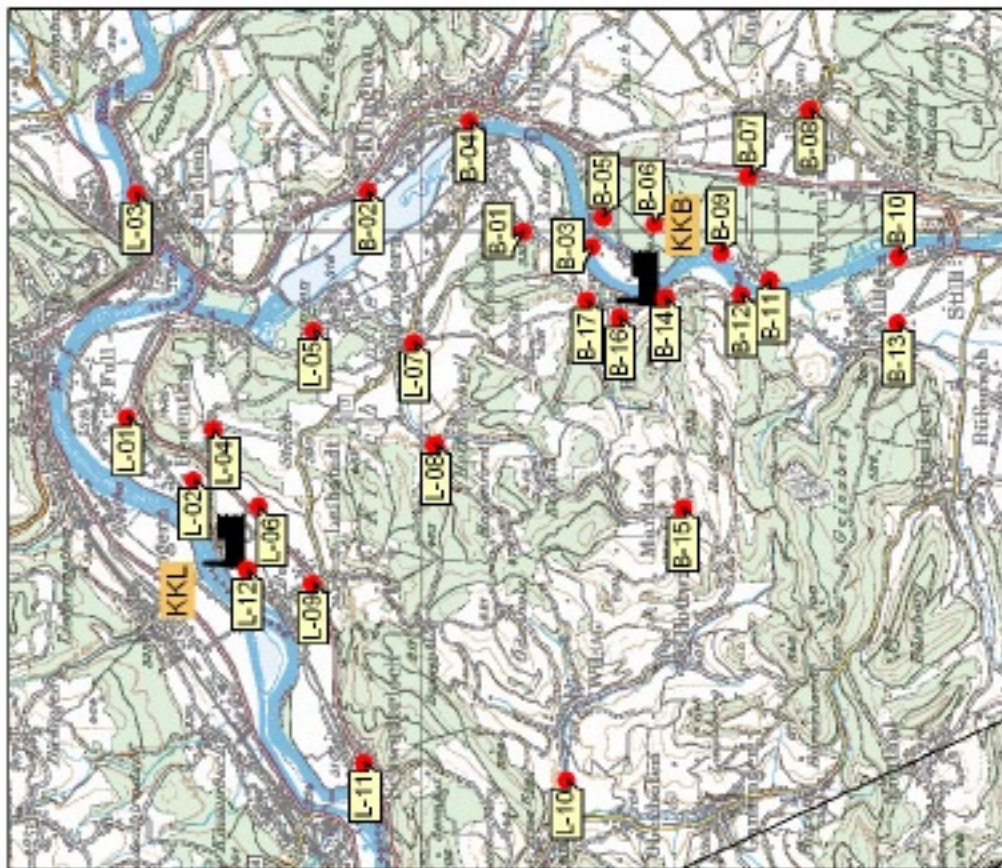
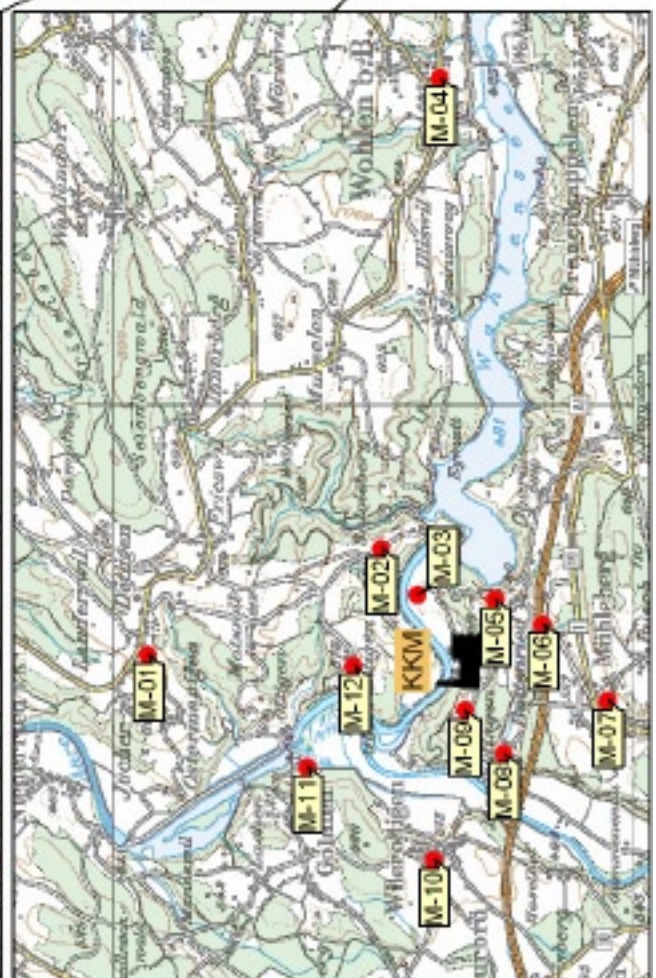
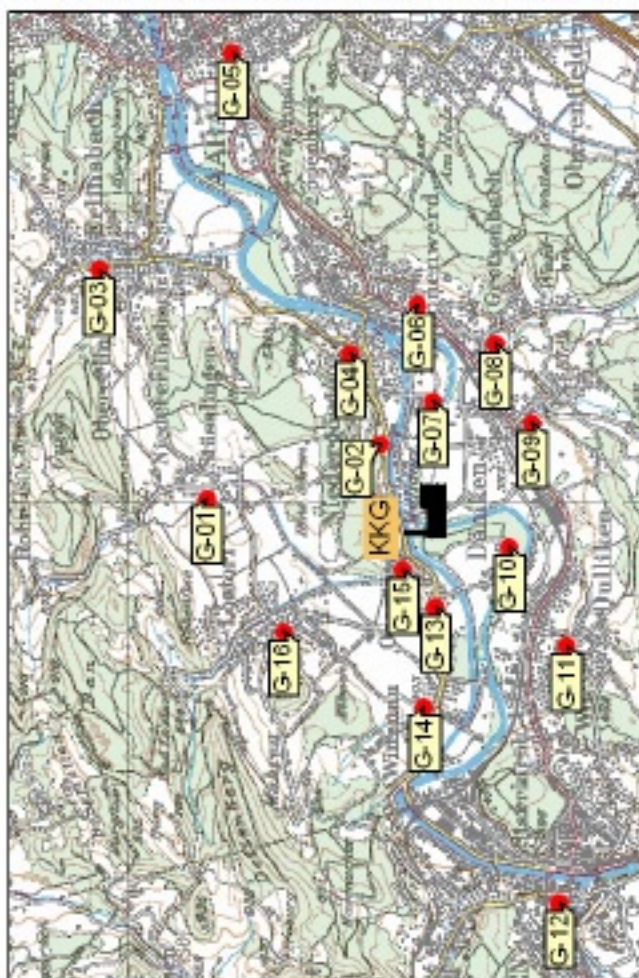
Das MADUK-Netz zur Messung der Dosisleistungen besteht aus insgesamt 57 Immissionsmessstationen in der Umgebung der vier Kernkraftwerke. Die Messsonden des MADUK-Systems komplettieren und ergänzen das gesamtschweizerische Messnetz zur Radioaktivitätsüberwachung, das mit dem NADAM-Netz auf weitere 58 Messstationen zählen kann. Die Geiger-Müller-Zählrohre in den Sonden ermitteln die Gamma-Dosisleistung im Messbereich von 10 nSv/h (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 Datenzwischenlagerung 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 Alarmierungssystem und ein Backupsystem. Des Weiteren sorgen verschiedene Subsysteme für den Datenaustausch mit den externen Partnern: Nationale Alarmzentrale (NAZ) in Zürich, Kernreaktorfernüberwachung Baden-Württemberg sowie MeteoSchweiz in Zürich. Die Subsysteme beliefern auch die Systeme ADAM und ADPIC in der HSK. Die Darstellung auf Seite 65 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 im Bundesamt für Gesundheit visualisiert werden. Auf der Internetseite [www.hsk.ch](http://www.hsk.ch) unter der Rubrik Messen/Messwerte Radioaktivität sind die Stunden- und Tagesmittelwerte aller MADUK Stationen abrufbar.

Darstellung B.2: Neuer Messwertsender im Messelektronikkasten



Die vier MADUK-Messringe. Kartendaten PK100 © (DV316.2) Swisstopo



## MADUK Sondenstandorte

## 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 Investitionmassnahmen im Jahr 2007 haben sich auf die Vorarbeiten für die Erneuerung der Datenkommunikation im Gesamtsystem konzentriert.

Verschiedene Prototypen neuer auf TCP/IP basierenden Messwertsendern wurden in der HSK getestet. Der Austausch im Feld wird erst im Jahr 2008 erfolgen.

## 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» im Management-Handbuch der HSK wird die Einsatztauglichkeit des Gesamtsystems MADUK beurteilt: Systemstörungen, die zu wesentlichen Nutzungseinschränkungen geführt haben, werden als Ausfallzeit in Stunden erfasst. Im Berichtsjahr lag die Systemverfügbarkeit bei 98,9 % (Verfügbarkeit der ANPA- und EMI-Daten eingerechnet). Über die wichtigen Systemstörungen und Betriebsvorkommnisse wird im Folgenden kurz berichtet. Störungen in der Telekommunikationskette zwischen Modem in der Station und Modem im Messringknoten haben bei der IMM-Station 5 bei Leibstadt sporadische aber auch längere Datenausfälle (bis zu 26 Tagen) produziert. Zudem sind Ausfälle mit Dauer von einigen Stunden bei den IMM-Stationen 10, 13 und 14 bei Beznau, 7 bei Gösgen sowie 1 und 11 bei Mühleberg Defekten in der Sonden-Hardware, oder gestörten Modems zuzuschreiben. Der Ausfall des Routers im Messringknoten Mühleberg legte für 6 Stunden die gesamte MADUK-Kommunikation nach Mühleberg lahm. Im Bereich Hardware kamen zwei Subsysteme-Rechner nach einem Ausschalten und wieder Einschalten nicht mehr hoch und wurden durch neue Maschinen ersetzt. Vermutlich war ein Problem bei einer Hardware, die lange im Betrieb war und dann komplett vom Strom getrennt wurde, Ursache des Ausfalls. Im Bereich zentrale Software gab es einen Datenbankabsturz und eine Erschöpfung der Kapazität

des zentralen Filesystems, die den korrekten Betrieb für einige Stunden störten. Die Ursachen dieser Schwierigkeiten lagen in bekannten Bugs der INGRES-Datenbank bzw. in einem Fehler in der Systemkonfiguration (die Disks wurden in der Folge neu partitioniert). Nach allen im zentralen System verursachten Störungen konnten die Daten später wieder lückenlos erfasst werden. Bei der Erfassung der Meteodaten gab es Probleme mit der Qualität der Daten, da diese teilweise Datenfehler aufwiesen. Meteoschweiz konnte das Problem prompt beheben und die korrekten Daten nachliefern.

## 2.4 Qualitätssicherung

Die Aufgaben im Bereich der Qualitätssicherung basieren auf dem Qualitätsmanagementsystem der HSK und dem darauf abgestützten 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. November 2004 werden die neu in Einsatz kommenden MADUK-Sonden geeicht. Die Eichung hat eine dreijährige Gültigkeit. Das Messverhalten der Sonden zwischen den Eichungen wird mittels der halbjährlichen Genauigkeitstests verfolgt. Bei den Genauigkeitstests werden mit Hilfe einer Prüfquelle die Resultate des Niederdosis- und des Hochdosis-Zählrohres überprüft. Mit einer 460 kBq <sup>137</sup>Cs-Quelle werden erhöhte Werte bei jeder Sonde während ca. 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 2007 ergaben die durchgeführten Funktionskontrollen, dass alle Messsonden die technischen Spezifikationen und Vorgaben des Sondenherstellers erfüllen. Die Archivierung und Alarmierung funktionierten ebenfalls einwandfrei.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme werden insitu-Messungen mittels Gammaskopmetrie im Feld

durchgeführt. Mit Hilfe eines Germanium-Detektors wird die emittierte Gammastrahlung von natürlichen und künstlichen Nukliden gemessen, welche in einem gewissen Radius um den Detektor auf und im Boden abgelagert wurden oder im Boden natürlicherweise vorkommen. Der Abstand Detektor – Boden beträgt 1 m. Gemäss Planung wird pro Jahr abwechslungsweise in der Umgebung zweier Kernkraftwerke gemessen. Im September 2007 wurde eine Messkampagne mit 27 in-situ-Messungen an den MADUK-Stationen bei Gösgen und Leibstadt durchgeführt. Dabei gab es 10 Messergebnisse, die ausserhalb des entsprechenden Toleranzbereiches lagen und vertieft analysiert wurden. Bei 6 Standorten lag das Verhältnis des aktuellen Messwerts für  $^{137}\text{Cs}$  zum aktuellen Bezugswert von 1993 unterhalb der festgelegten Bandbreiten. Die Cäsium-Aktivität hat an diesen Standorten stärker abgenommen als erwartet. Weil sich  $^{137}\text{Cs}$  in immer tiefere Erdschichten verlagert, nimmt entsprechend die gemessene Aktivität ab. Aus diesem Grund wird ab der nächsten Messkampagne auf den Wert von 2005 Bezug genommen. Bei zwei Standorten lag das Verhältnis Messwert/Bezugswert für  $^{238}\text{U}$  oberhalb der festgelegten Bandbreite. Da die hohen Werte am selben Tag gemessen wurden, wird ein meteorologischer Effekt vermutet, der das Gleichgewicht der Zerfallsreihe störte (die Berechnung der  $^{238}\text{U}$ -Reihe erfolgt anhand des Nuklids  $^{214}\text{Bi}$ ). Bei zwei Standorten lag das Verhältnis Messwert zu Bezugswert oberhalb der Bandbreite für  $^7\text{Be}$ . Dafür wurde kein triftiger Grund gefunden.

## 2.5 Messergebnisse

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

Für die langjährige Nachvollziehbarkeit der Messungen ist es hier zu erwähnen, dass die Stationen 3 und 4 des Messrings Mühleberg, sowie die Station 7 des Messrings Gösgen im Laufe des Jahres 2007 (im Januar, Juni bzw. November) versetzt wurden.

Im 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 3530 nSv/h,

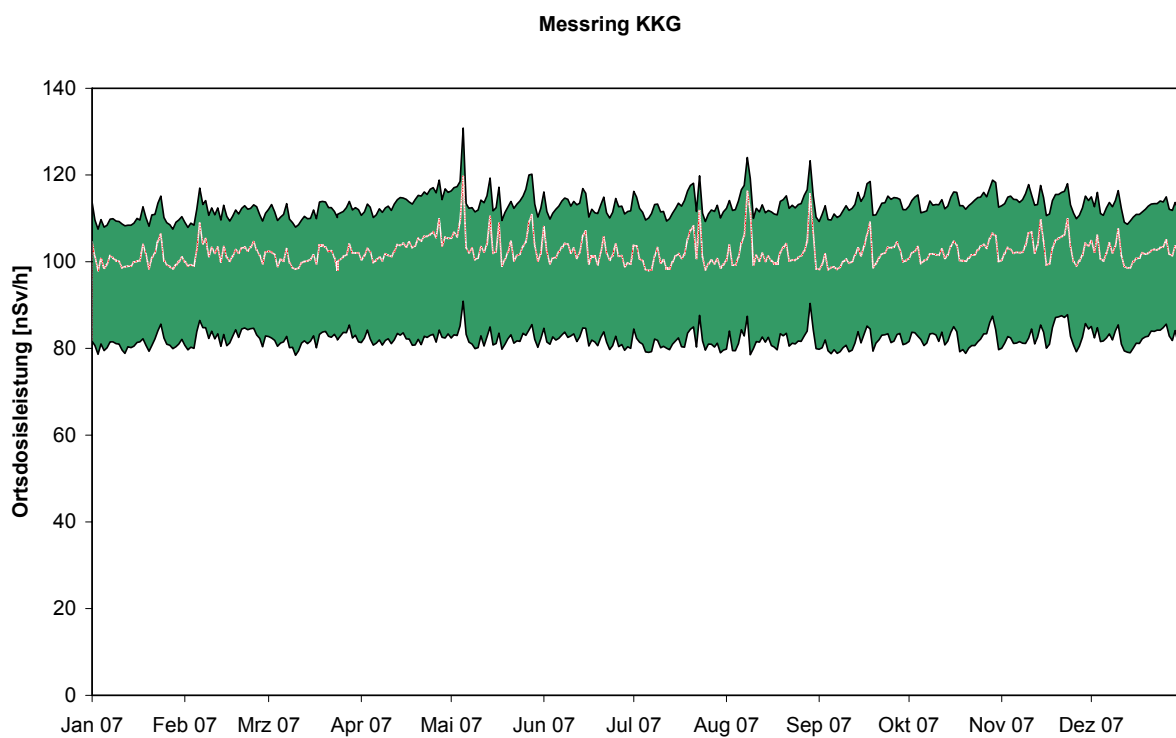
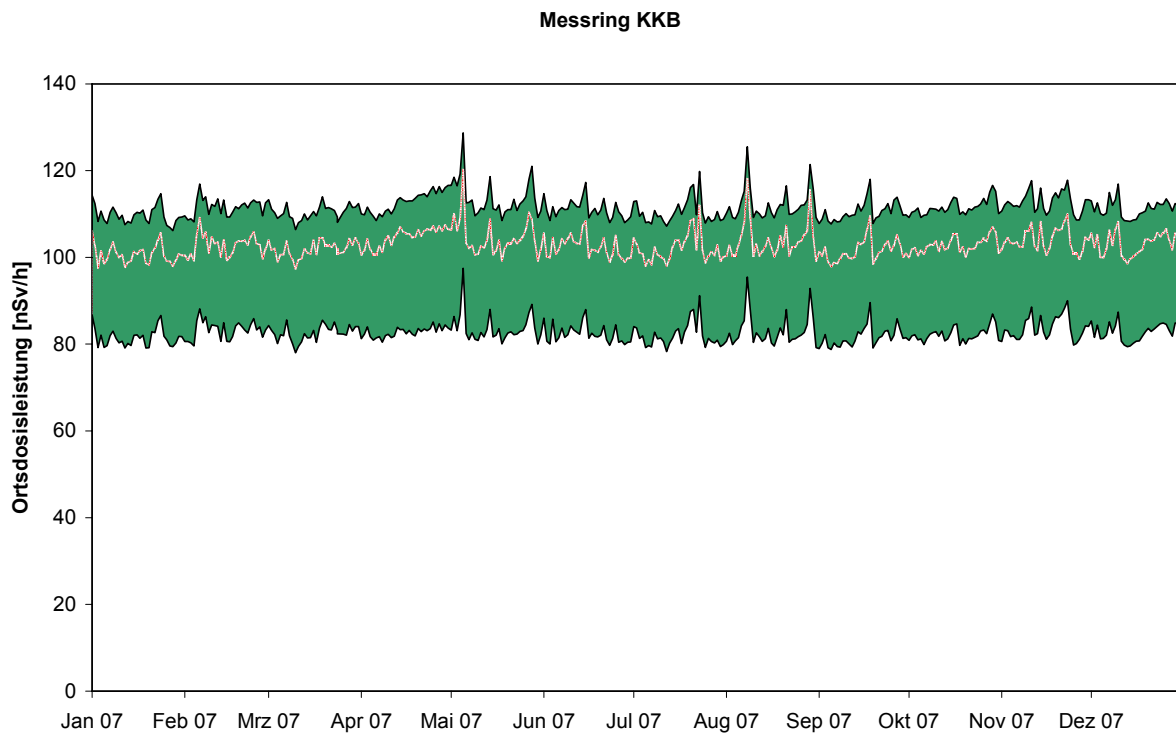
- bei der IMM-Station 7 des Messrings Gösgen 1250 nSv/h,
- bei der IMM-Station 6 des Messrings Leibstadt 450 nSv/h,
- bei der IMM-Station 3 des Messrings Mühleberg 127 nSv/h.

Beim gemessenen Wert der IMM-Station M-03 (Mühleberg, Meteomast KKM) ist zu beachten, dass die Distanz zur Prüfquelle infolge der Versetzung der MADUK-Sonde grösser geworden ist.

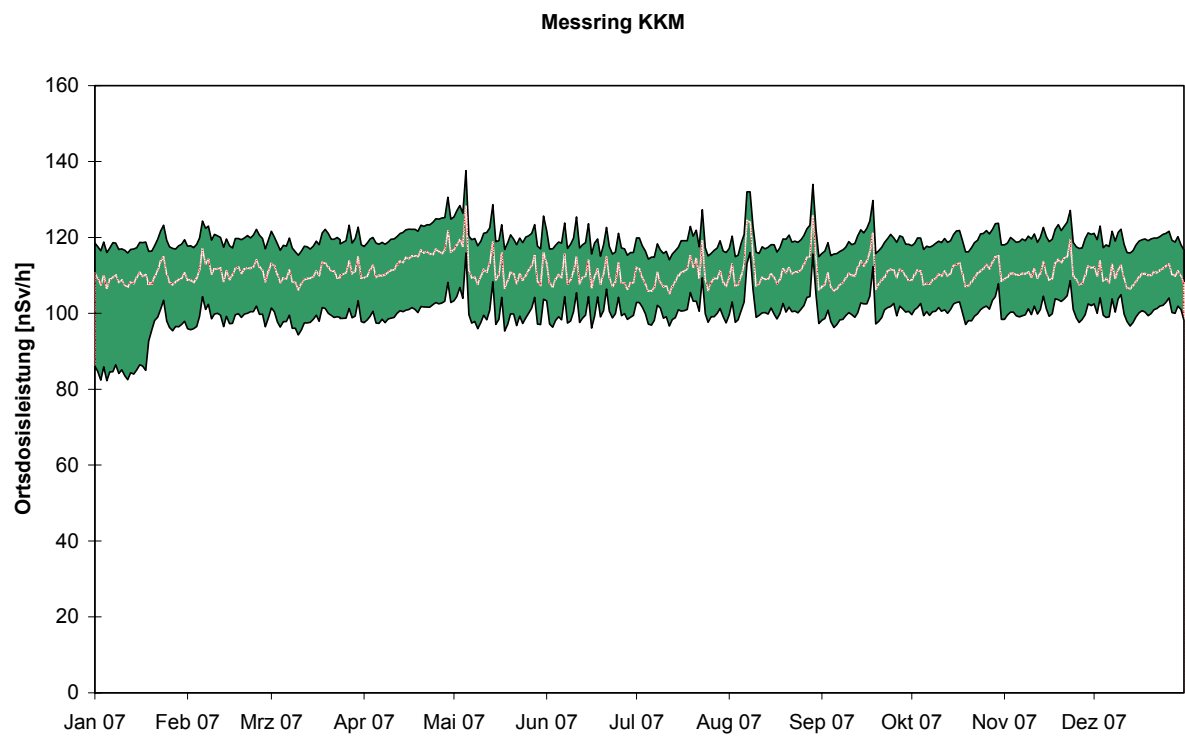
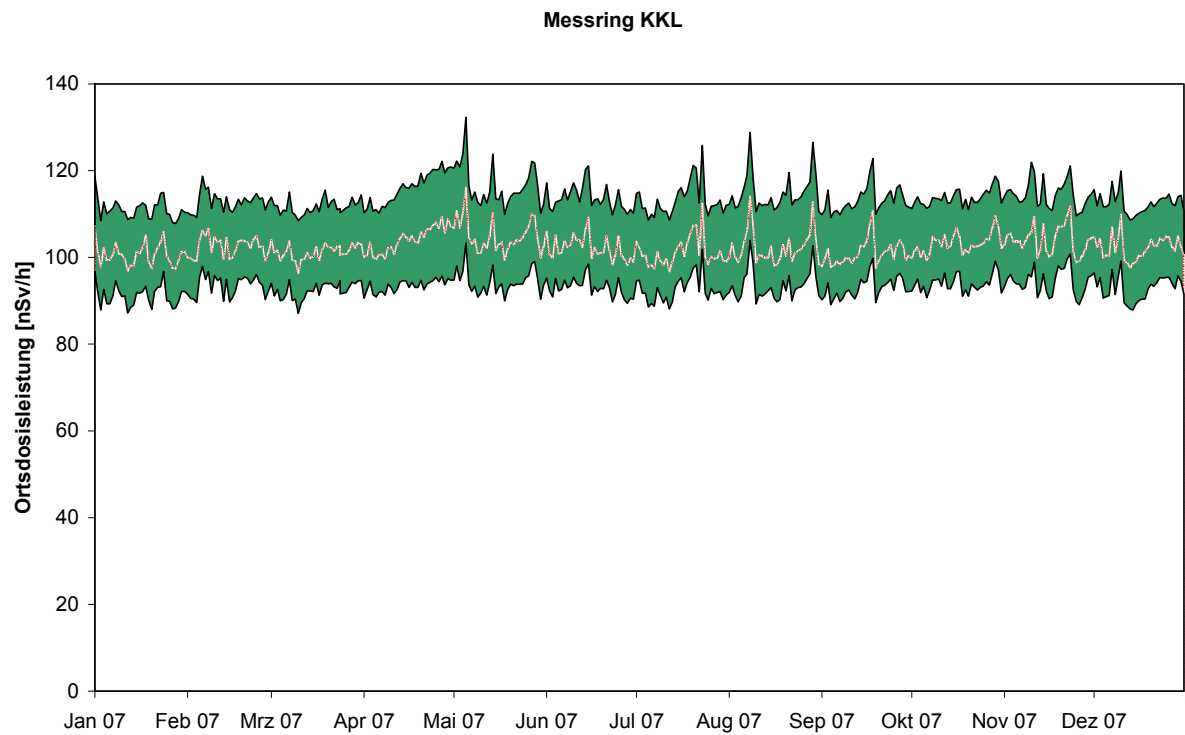
Am 5. Januar um 21.40 Uhr wurde bei der IMM-Station L-06 (Leibstadt, Meteomast KKL) ein einziger erhöhter Wert von 3,24  $\mu\text{Sv/h}$  gemessen. Der 1- $\mu\text{Sv/h}$ -Grenzwert für Ortsdosisleistungen wurde damit verletzt. Die Sonde befand sich zu diesem Zeitpunkt weder im Ausbreitungsfeld von Leibstadt noch von Beznau. Da die benachbarte NADAM-Sonde zur gleichen Zeit normale Werte (0,093  $\mu\text{Sv/h}$ ) anzeigte, ist von einer technischen Störung an der Sonde auszugehen. Die Sonde wurde in der Folge speziell beobachtet, aber es wurden keine weiteren abnormalen Werte gemessen. Am 27. August um 16.30 Uhr überschritt ein einzelner 10-Minutenwert den auf 50 nSv/h gesetzten Schwellwert für die Nettodosisleistung bei der Messstation M-04 (Wohlen, Gemeindehaus). Es wurde eine Nettodosisleistung von 83 nSv/h registriert. Zu diesem Zeitpunkt befand sich die Sonde nicht im Ausbreitungsfeld des KKM. Die Minutenwerte bestätigten eine für mehrere Minuten dauernde Erhöhung. Eine Spike-Störung der Sonde kann damit ausgeschlossen werden. Die Ursache der Erhöhung konnte jedoch nicht mit Sicherheit erörtert werden. Der erwähnte Nettodosisleistungsmesswert ist radiologisch unbedeutend. Die Darstellungen B.3 und B.4 zeigen die Maxima, die Minima und die Mediane der Tagesmittelwerte im Berichtsjahr in den Umgebungen der Kernkraftwerke. Die Werte liegen im normalen Schwankungsbereich. Im Fall Mühleberg sind die tiefsten Werte nach oben gerutscht, da die entsprechende Sonde von einem Dach auf Naturland umgelegt wurde, wo der Abschirmungseffekt viel niedriger ist.

Aus den Darstellungen B.5 bis B.8 sind die Verteilung von Windrichtung und Geschwindigkeit für jeden Kernkraftwerkstandort ersichtlich. Windstillen (Windgeschwindigkeit < 0,5 m/s), die am Standort Beznau 10,6 %, am Standort Gösgen 12,2 %, am Standort Leibstadt 8,6 % und am Standort Mühleberg (auf der Anhöhe Stockeren) 8,4 % der Messungen ausmachen, werden nicht dargestellt.

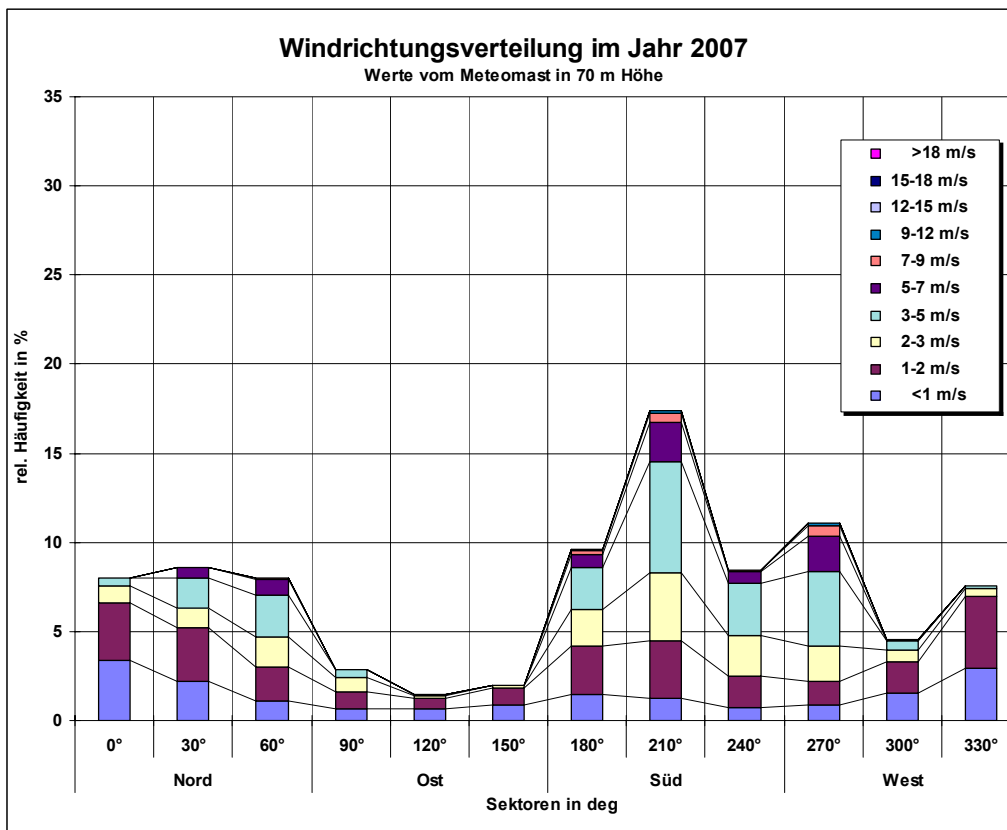
Darstellung B.3: Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKB, KKG



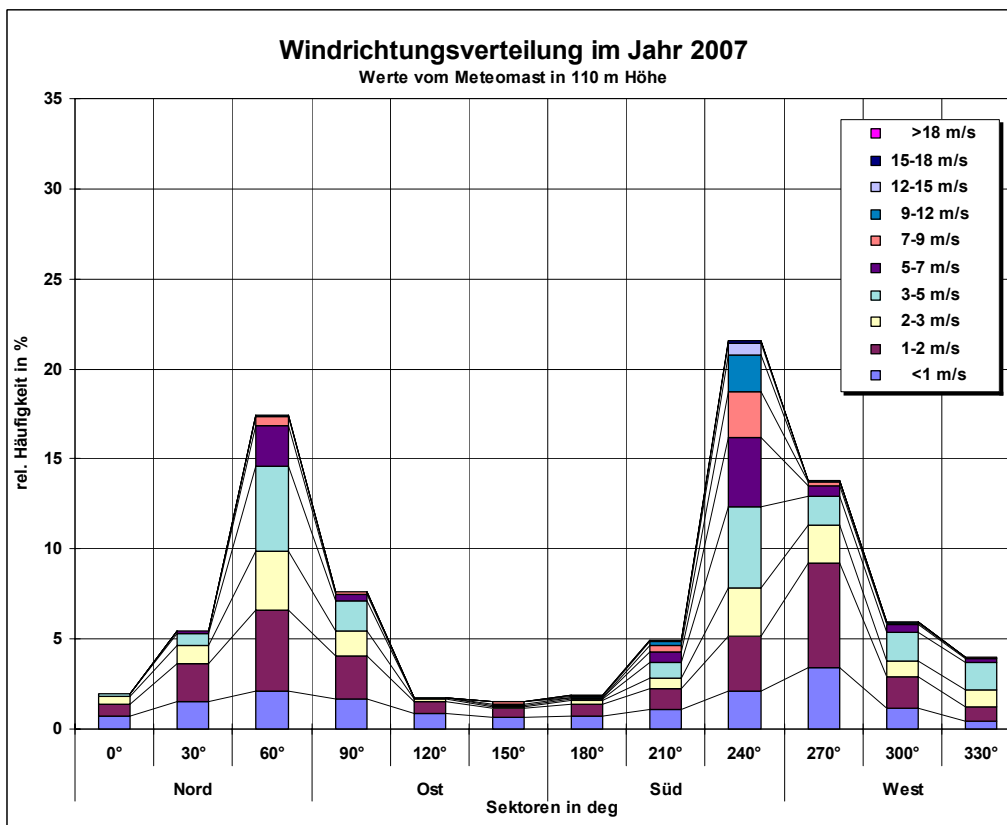
Darstellung B.4: Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKL, KKM



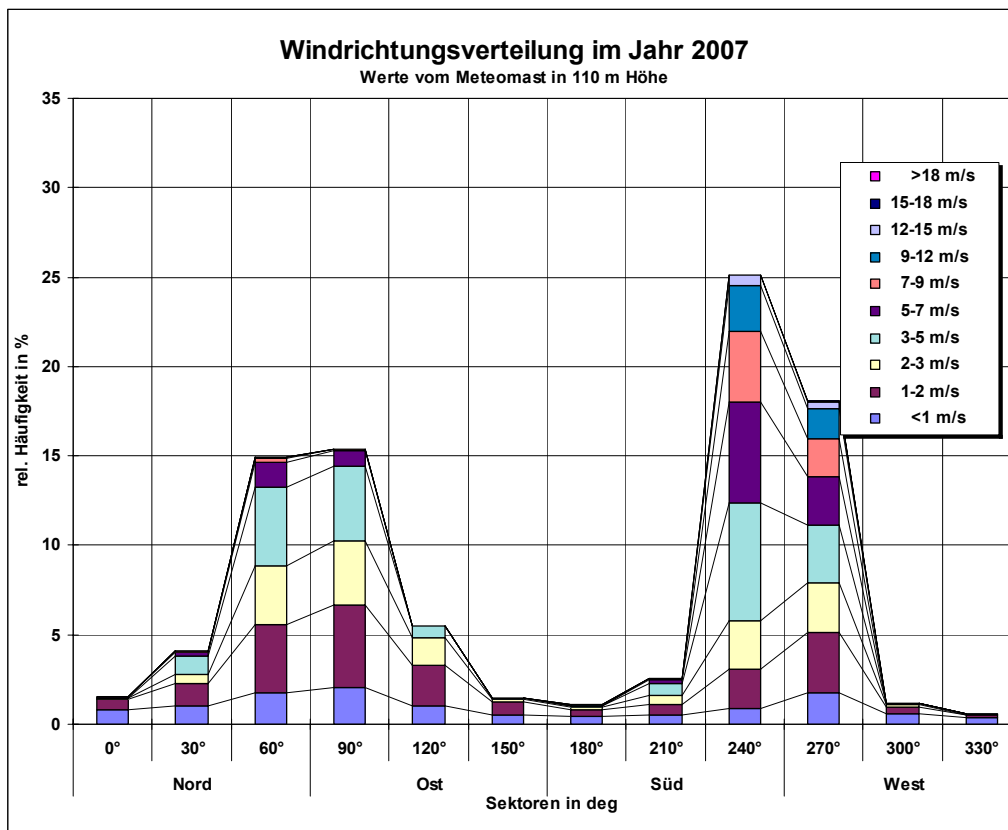
Darstellung B.5: Windverteilung am Standort Beznau, 10.6 % Windstillen (< 0.5 m/s)



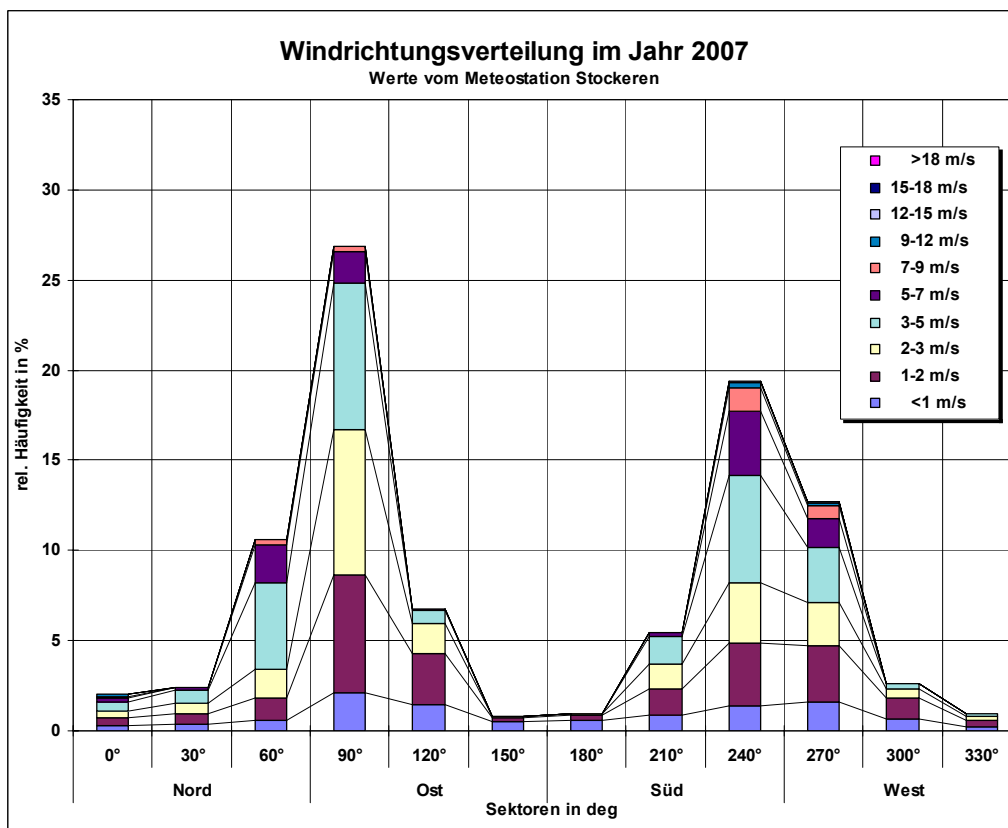
Darstellung B.6: Windverteilung am Standort Gösgen, 12.2 % Windstillen (< 0.5 m/s)



Darstellung B.7: Windverteilung am Standort Leibstadt, 8.6 % Windstillen (< 0.5 m/s)



Darstellung B.8: Windverteilung am Standort Mühleberg, Stockeren, 8.4 % Windstillen (< 0.5 m/s)





## 3. Atmosphärische Ausbreitung

### 3.1 Kompetenzzentrum Ausbreitung

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

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

Die bisher in der HSK-Richtlinie R-41 festgelegten Vorgaben wurden überarbeitet und in der HSK-Richtlinie G14 «Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung auf Grund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen» neu formuliert.

### 3.2 Modellberechnungen im Ereignisfall

Die Organisation, die Zuständigkeiten und der Einsatz der Organe des Bundes bei einem Ereignis in einer Kernanlage mit einer bevorstehenden oder bereits erfolgten Freisetzung von radioaktiven Stoffen sind in der Verordnung über die Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität (VEOR) geregelt. Insbesondere ist die HSK bei einer störfallbedingten Freisetzung radioaktiver Stoffe aus einer schweizerischen Kernanlage für die zeitgerechte Beurteilung der radiologischen Gefährdung der Bevölkerung in der näheren Umgebung (Zonen 1 und 2) verantwortlich.

Die HSK ist unter anderem für die Prognosen der Entwicklung eines 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) hat in ihrem Konzept hinsichtlich atmosphärischer Ausbreitungsrechnungen bei Unfällen in Kernanlagen 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

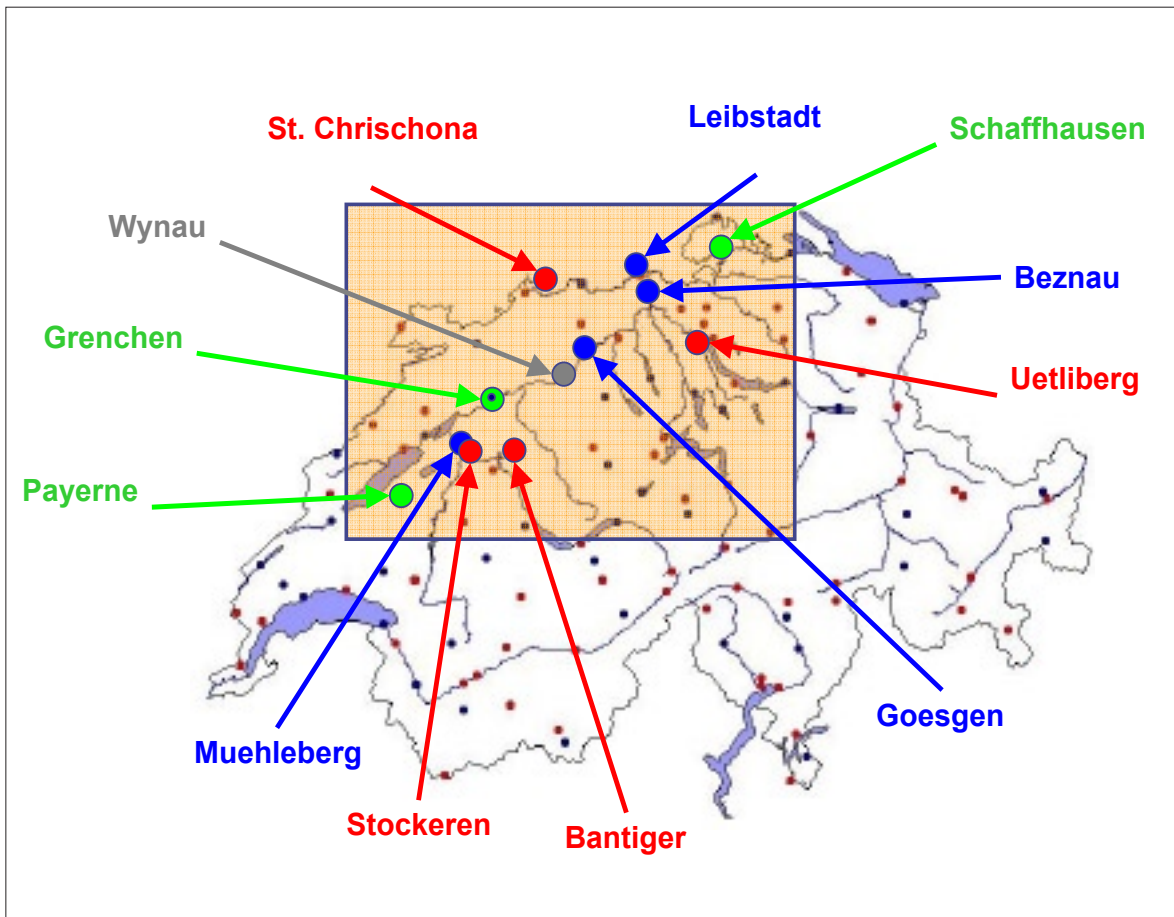
2), regionalen (Zone 3 und grenznahe Ausland) und grossräumigen (fernes Ausland) Bereich notwendig.

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 Gefährdung muss vielmehr mittels Modellrechnungen auf Grund 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. Die HSK strebt zusammen mit der MeteoSchweiz die Ablösung der bestehenden meteorologischen Messungen bei den Kernanlagen durch das Projekt CN-MET an.



**Darstellung B.9:** Das meteorologische Messnetz am Ende des Projekts CN-MET: kleine rote bzw. blaue Punkte für das SwissMetNet Bodennetz, blaue Kreise für die SwissMetNet-Stationen an den Standorten der Kernanlagen, rote Kreise für die Grundschichtstationen, grüne Kreise für die Wind- und Temperaturprofiler (Figurquelle MeteoSchweiz)

Das Projekt CN-MET (Centrales Nucléaires et Météorologie) beinhaltet die Entwicklung eines feinmaschigen Modells zusammen mit der Integration eines «remote-sensing»-Systems. Das zu einer Maschenweite von 2 Kilometern angepasste Modell basiert auf dem aktuellen Prognosemodell mit 7 Kilometern Maschenweite und nützt ein darauf zugeschnittenes meteorologisches Messnetz aus, das Messungen am Boden mit Messungen in der planetaren Grenzschicht kombiniert (siehe Darstellung B.9). 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.

Die Qualitätssicherung des feinmaschigen numerischen Modells aLMO2 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.

Die Entwicklung des Modells schritt im Jahr 2007 planmässig voran. Das Modell wurde in Bereichen wie z.B. Schneeanalyse und Bodenmodellierung verbessert. Die Assimilation von Radardaten bringt ebenfalls einen Mehrwert ins Modell. Ein erster Vergleich der Modellvorhersagen mit Messungen aus einer Kampagne in Wettswil zeigte ermutigende Ergebnisse. Auch die Bodenstation (SwissMetNet) am Standort Gösigen konnte im Jahr 2007 platziert und in Betrieb genommen werden. Was die remote-sensing-Instrumentierung betrifft, wurden neue Windprofiler beschafft. Die Installation ist aber durch verschiedene externe Einflüsse in Verzug geraten.

### 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 Topografie und lokale Windverhältnisse berücksichtigt, eingesetzt. Für Anwendungen in der unmittelbaren Umgebung der schweizerischen Kernanlagen werden die gemessenen Windfelder aus der WINDBANK (Windfeld-Datenbank) verwendet.

Das von Lawrence Livermore National Laboratory entwickelte Ausbreitungsmodell ADPIC wurde im Rahmen einer Modell-Evaluation aus einer Vielzahl von atmosphärischen Dispersionsmodellen, welche Ausbreitungsvorgänge im komplexen Gelände beschreiben können, als das für die Schweiz am besten geeignete Modell ausgewählt. Die Evaluation erfolgte auf Grund von Tracer-Experimenten im Raum Gösgen. Für einen operationellen Einsatz des Modells in der Schweiz waren umfangreiche Anpassungen notwendig, insbesondere bezüglich Online-Meteodaten-Erfassung, dreidimensionale Windfelddaten und Visualisierung der Ergebnisse.

#### Aktueller Stand

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  $^{137}\text{Cs}$ ) 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 können Routineberechnungen auch im Ereignisfall – insbesondere in der Anfangsphase, z.B. bei einem schnellen Störfall – für eine erste Beurteilung verwendet werden.

Der Hauptzweck der *störfallspezifischen Berechnungen* in der Vor- und Wolkenphase ist die Beurteilung der Gefährdung der Bevölkerung in der Umgebung des Kernkraftwerks bei einer späteren oder bereits erfolgten Freisetzung von radioaktiven Stoffen. Die Berechnungen dienen als Grundlage, um das möglicherweise gefährdete Gebiet abzugrenzen und über weitere eventuell notwendige Messungen oder Massnahmen entscheiden zu können. Nach dem Wolkendurchzug ist die Beurteilung der tatsächlichen Gefährdung der Bevölkerung auf Grund der in der Wolkenphase erhaltenen Dosen und den noch zu erwartenden Dosen infolge Deposition wichtig. Zudem helfen die Modellberechnungen zur Festlegung des Wolkendurchzuggebietes als Grundlage für die Optimierung der Messstrategie.

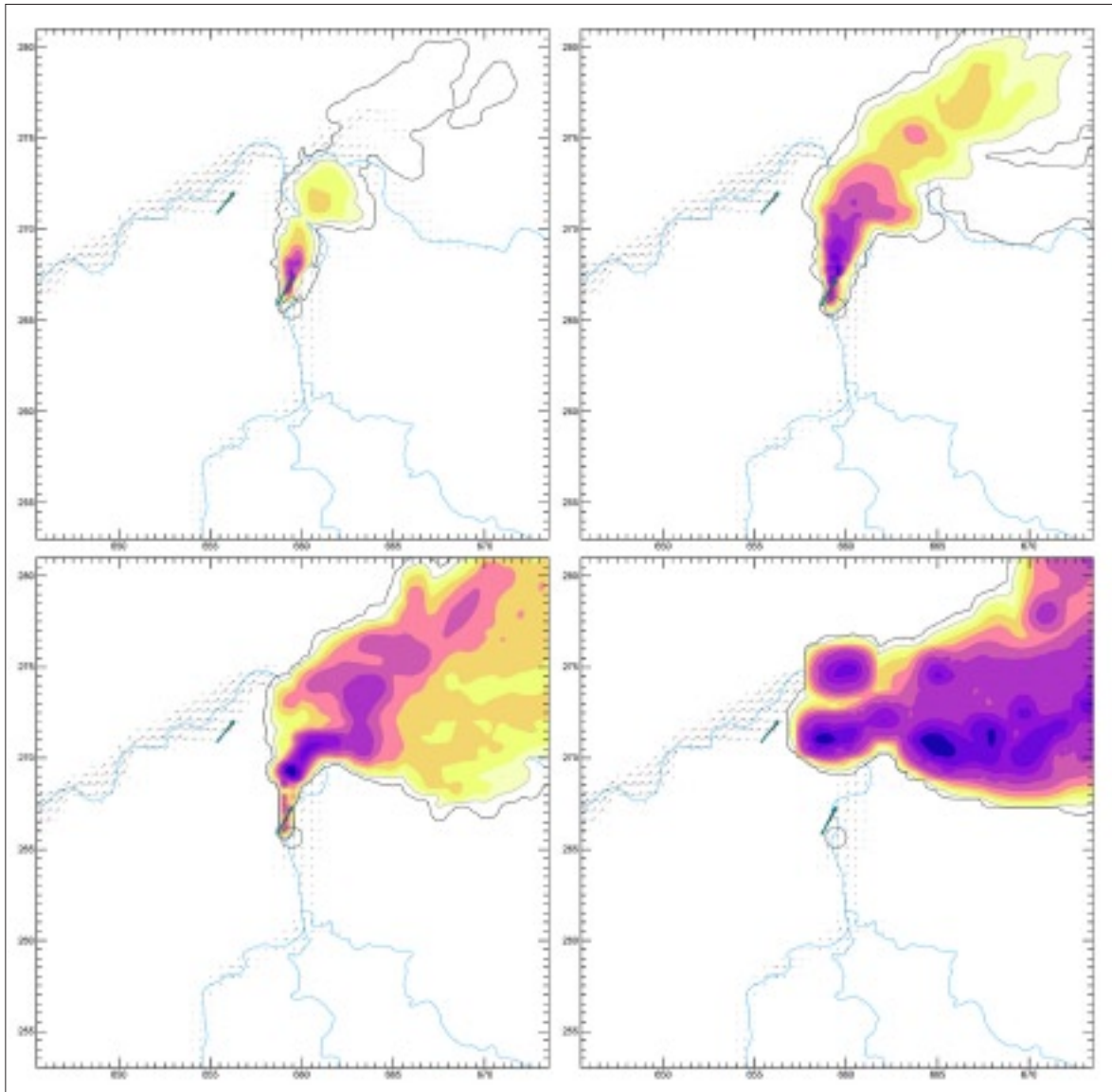
Für die Sicherstellung der Notfallbereitschaft im Ereignisfall muss neben der technischen Verfügbarkeit auch die fachtechnische Betreuung und Bedienung des Systems gewährleistet sein.

#### Beispiele von ADPIC/WINDBANK-Berechnungen

Das Ausbreitungsmodell ADPIC/WINDBANK ermöglicht im Ereignisfall auf Grund von aktuellen meteorologischen Daten eine realistische Beurteilung der radiologischen Gefährdung der Bevölkerung. Normalerweise wird bei der Berechnung der Dosisbelastung für die Bevölkerung von der bodennahen Luftaktivität ausgegangen (externe Bestrahlung aus der radioaktiven Wolke und Inhalation). Das dreidimensionale Ausbreitungsmodell ADPIC/WINDBANK erlaubt aber auch die Darstellung von Aktivitätskonzentrationen in der Luft für verschiedene Höhen über dem Boden. Diese Zusatzinformationen können beispielsweise bei der Alarmierung der Bevölkerung in der Akutphase mitberücksichtigt werden, um das möglicherweise betroffene Gebiet konservativ abzugrenzen.

In den Darstellungen B.10 bis B.12 werden drei Beispiele für die integrierte Luftaktivität als Funktion der Höhe über Boden dargestellt. Es handelt sich dabei jeweils um fiktive Freisetzungen radioaktiver Stoffe in Abgabehöhen von 10 m, 50 m bzw. 100 m. Die Beispiele stammen aus den routinemässig durchgeführten Berechnungen und beruhen auf echten Wettersituationen. Sie zeigen, dass je nach Windverhältnis und abhängig von der Abgabehöhe unterschiedliche Gebiete betroffen sein können.

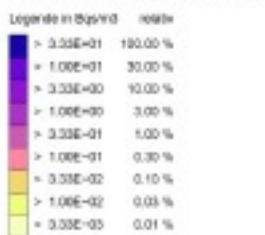
**Darstellung B.10:** Beispiel einer ADPIC/WINDBANK-Simulation mit 10 m Abgabehöhe (integrierte Luftaktivität als Funktion der Höhe über Boden in Bq·s/m<sup>3</sup>)



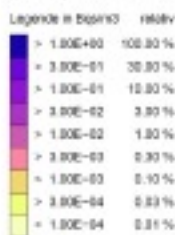
Situation am 9. Januar 2008 um 04:00 Uhr Lokalzeit  
 Ausbreitungsrechnung mit einer Einheitsquelle von 1 Bq/s Cs-137  
 Effektive Abgabehöhe 10 m über Boden  
 Vordergrund: Integrierte Luftaktivität in Bq·s/m<sup>3</sup> für verschiedene Höhen über Boden  
 Hintergrund: 3D-Windfeld auf 350 m über Meer und Standortwinde

Darstellungshöhe über Boden

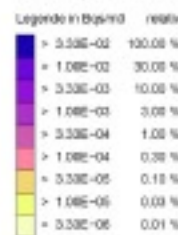
in Bodennähe (oben links)



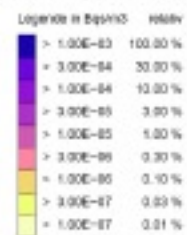
30 m (oben rechts)



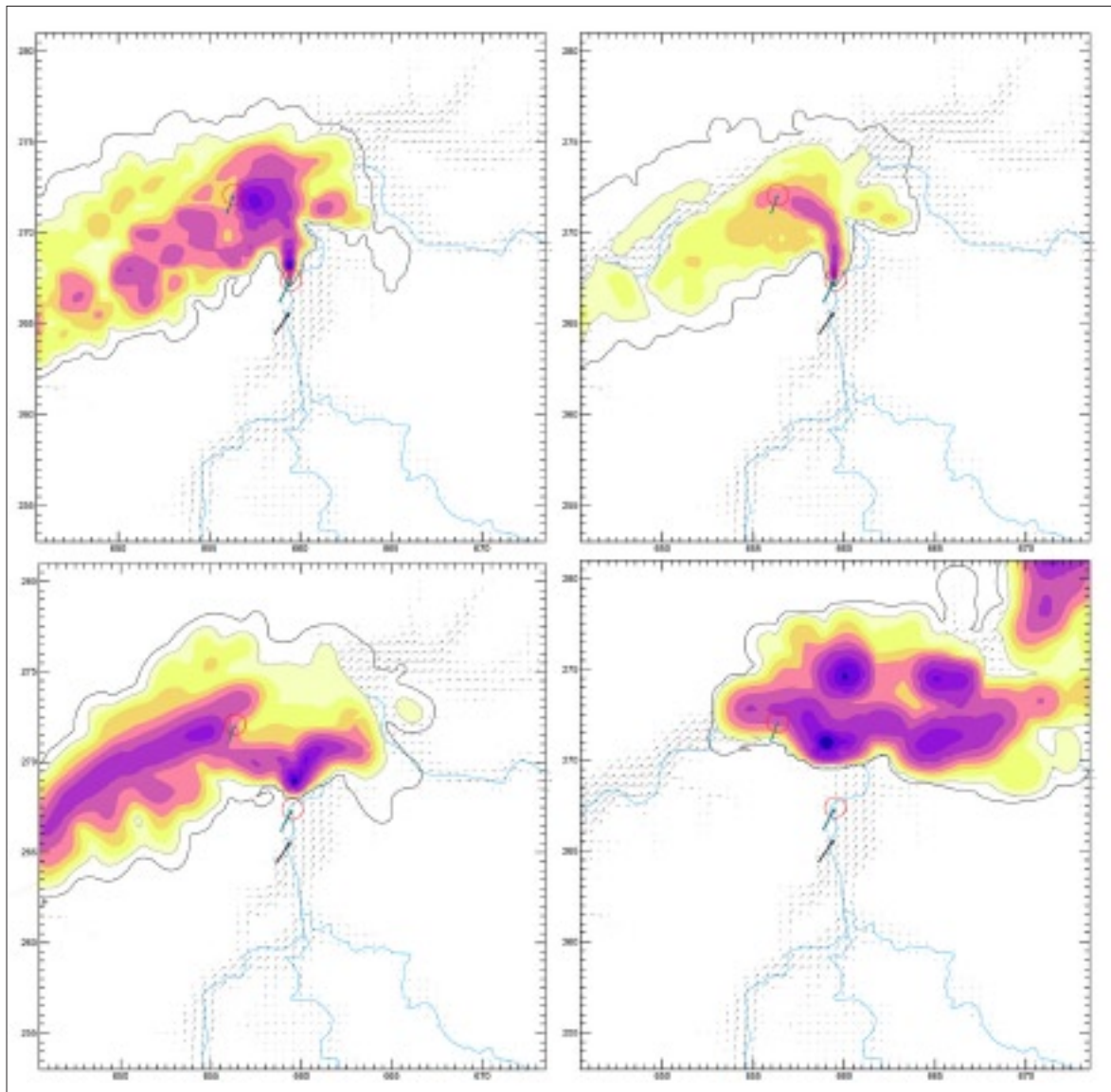
100 m (unten links)



300 m (unten rechts)



**Darstellung B.11:** Beispiel einer ADPIC/WINDBANK-Simulation mit 50 m Abgabehöhe (integrierte Luftaktivität als Funktion der Höhe über Boden in Bq·s/m<sup>3</sup>)



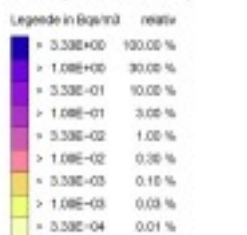
Situation am 5. Januar 2008 um 10:30 Uhr Lokalzeit  
 Ausbreitungsrechnung mit einer Einheitsquelle von 1 Bq/s Cs-137  
 Effektive Abgabehöhe 50 m über Boden  
 Vordergrund: Integrierte Luftaktivität in Bq·s/m<sup>3</sup> für verschiedene Höhen über Boden  
 Hintergrund: 3D-Windfeld auf 400 m über Meer und Standortwinde

**Darstellungshöhe über Boden**

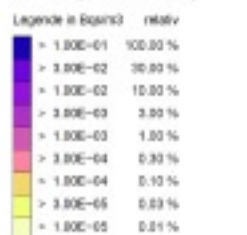
in Bodennähe (oben links)



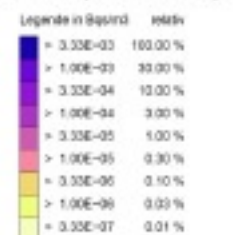
30 m (oben rechts)



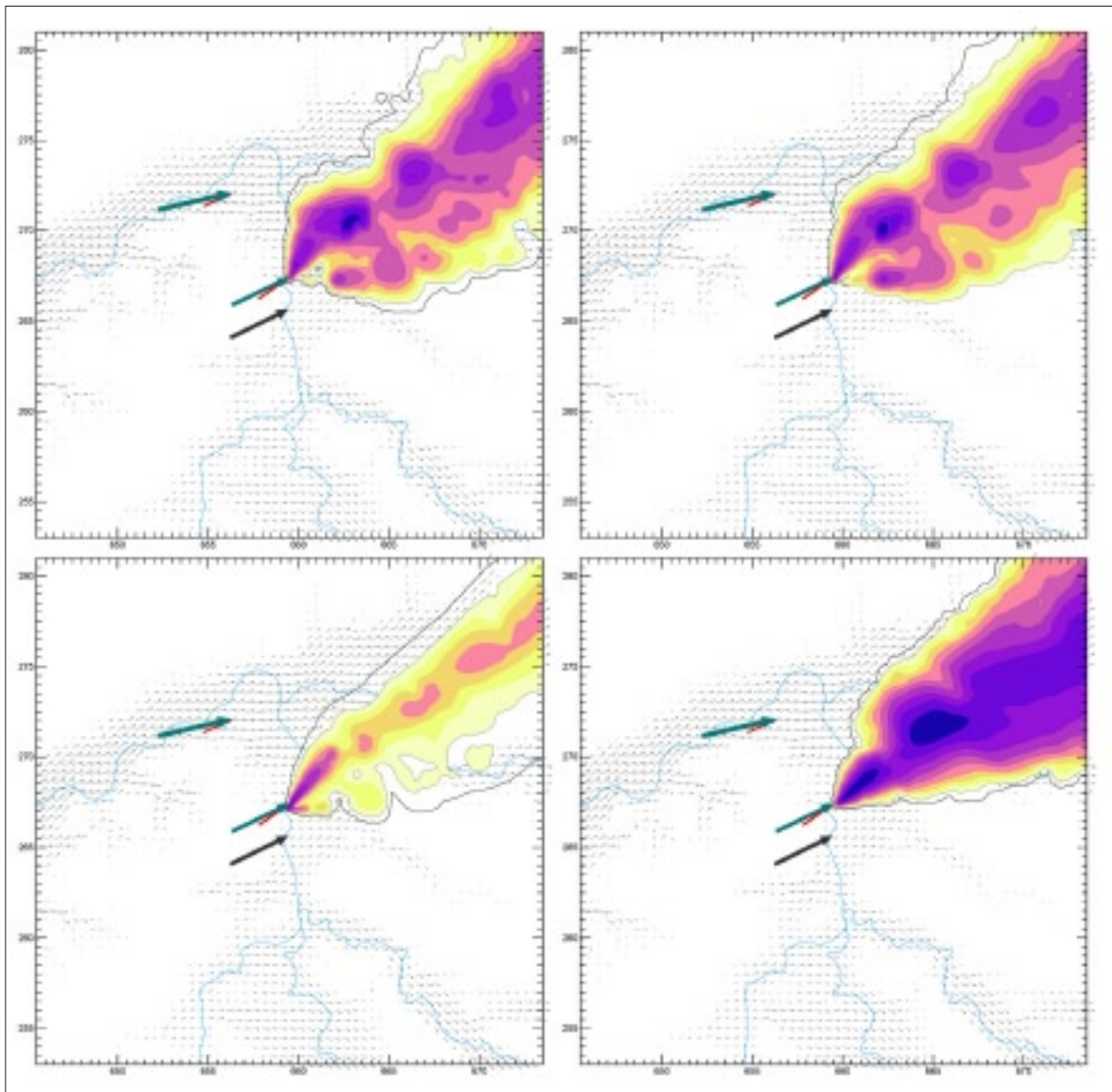
100 m (unten links)



300 m (unten rechts)



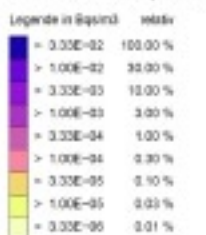
**Darstellung B.12:** Beispiel einer ADPIC/WINDBANK-Simulation mit 100 m Abgabehöhe (integrierte Luftaktivität als Funktion der Höhe über Boden in Bq·s/m<sup>3</sup>)



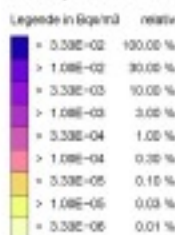
Situation am 7. Januar 2008 um 19:00 Uhr Lokalzeit  
 Ausbreitungsrechnung mit einer Einheitsquelle von 1 Bq/s Cs-137  
 Effektive Abgabehöhe 100 m über Boden  
 Vordergrund: Integrierte Luftaktivität in Bq·s/m<sup>3</sup> für verschiedene Höhen über Boden  
 Hintergrund: 3D-Windfeld auf 450 m über Meer und Standortwinde

Darstellungshöhe über Boden

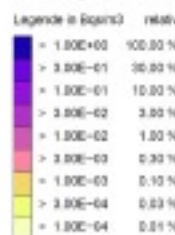
in Bodennähe (oben links)



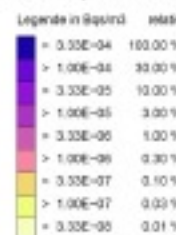
30 m (oben rechts)



100 m (unten links)



300 m (unten rechts)



## 4. Aeroradiometrische Messungen

### 4.1 Einleitung

In der Schweiz wurde 1986 mit aeroradiometrischen Messungen begonnen. Methodik und Software für Kalibrierung, Datenerfassung, Datenverarbeitung und Kartendarstellung wurden am Institut für Geophysik der ETH Zürich entwickelt (Schwarz 1991). In der Zeit von 1989 bis 1993 wurde die Umgebung (jeweils rund 50 km<sup>2</sup>) der schweizerischen Kernanlagen jährlich aeroradiometrisch vermessen. Im Jahre 1994 ging man zu einem Zweijahresrhythmus über, wobei abwechselungsweise zwei bzw. drei Gebiete mit Kernanlagen vermessen werden. 1992 und 1995 wurden ebenfalls am Institut für Geophysik der ETH Zürich zwei neue Messgeräte gebaut (16,8 und 4,0 l Detektoren). Seit den Messflügen 2001 kommt eine neu entwickelte Online-Datenauswertungs- und Kartierungssoftware zum Einsatz (Bucher 2001).

Im Jahre 1994 wurde die Aeroradiometrie in die Einsatzorganisation Radioaktivität des Bundes integriert. Als mögliche Einsatzfälle stehen Transport- und Industrieunfälle mit radioaktivem Material, KKW-Störfälle, Abstürze von Satelliten mit Nuklearreaktoren und Dirty Bombs im Vordergrund. Die jährlichen Messprogramme werden durch die Fachgruppe Aeroradiometrie, einer Untergruppe der Messorganisation im Fachbereich A der KomABC, zusammengestellt. 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 Messsystem integ-

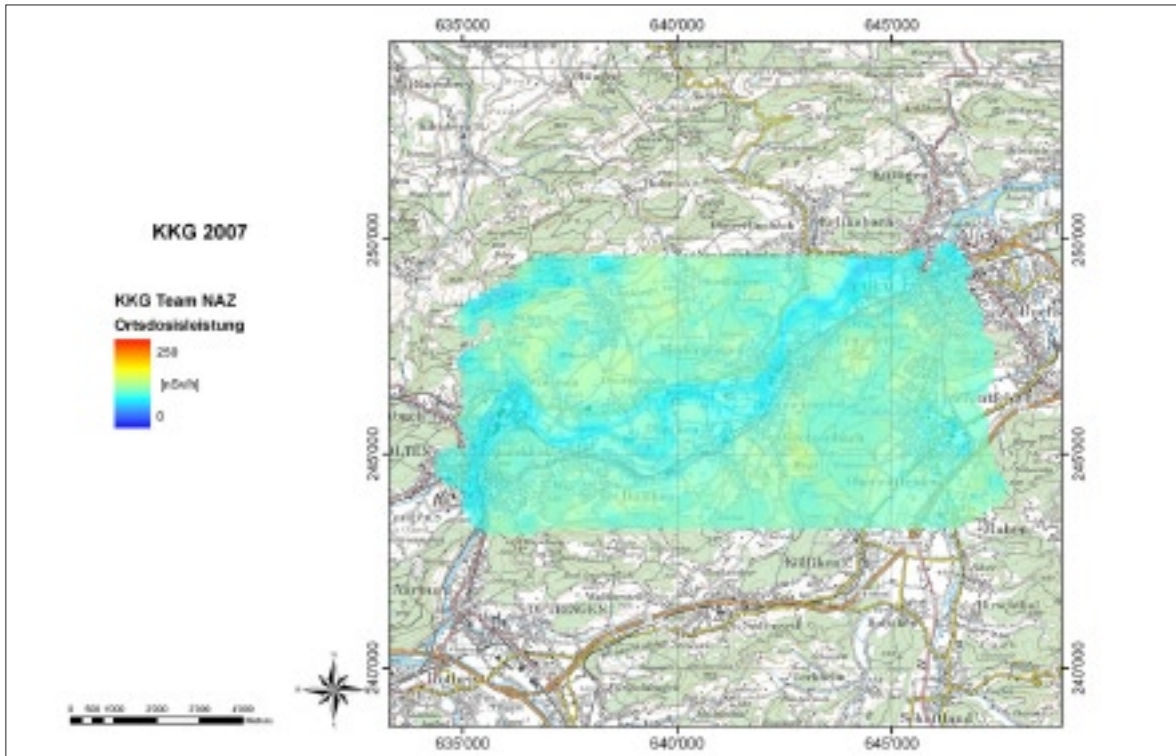
riert. 2006 wurde ein zweiter Detektor mit 16,8 l Volumen beschafft, kalibriert und bei den Messflügen 2007 erstmals eingesetzt.

### 4.2 Messungen und Messresultate 2007

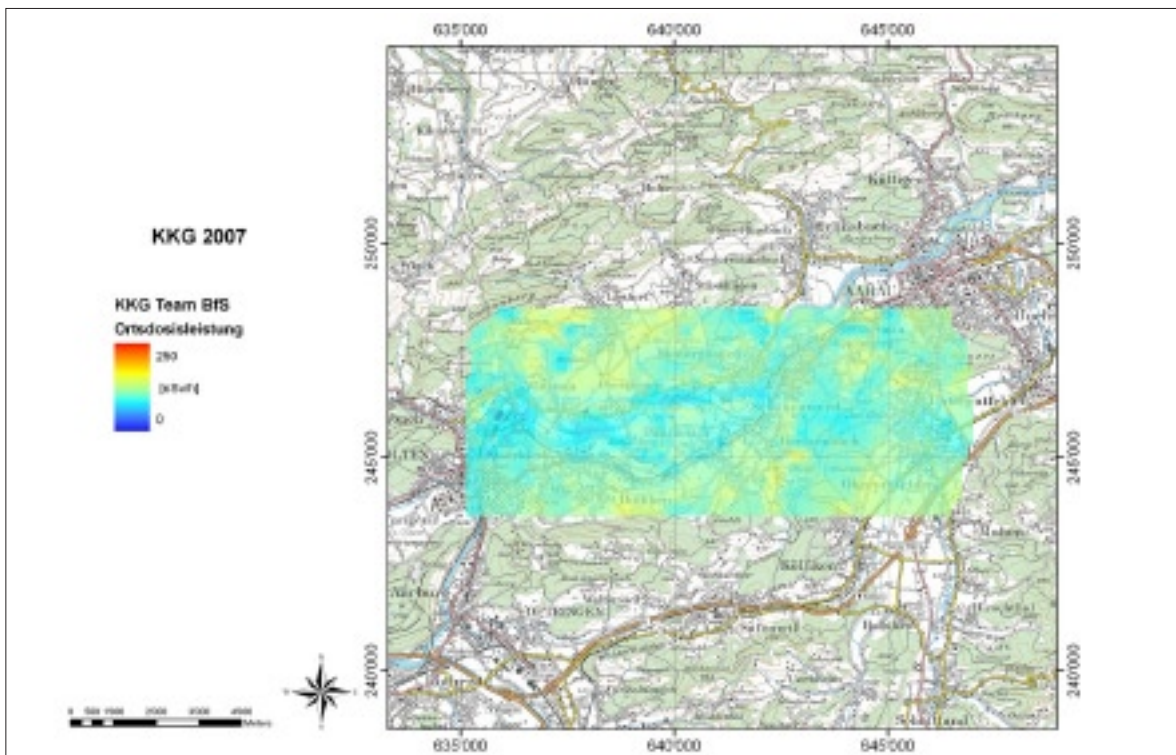
Bei den Messflügen im August 2007 lag der Schwerpunkt bei einer internationalen Messübung mit den Nachbarländern Deutschland und Frankreich. Daran nahmen Messteams des deutschen Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) und des französischen Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) teil. Neben den turnusgemässen Messgebieten, welche die Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM) abdeckten, wurde die Stadt Basel aeroradiometrisch vermessen und die Quellensuche geübt. Bei Basel wurden mit einem Composite Mapping die Zusammenarbeit und der Datenaustausch über die Landesgrenzen hinweg geübt. Im Rahmen der Messflüge 2007 führten zum ersten Mal ausländische Messteams aeroradiometrische Messungen in der Umgebung von Schweizer Kernkraftwerken durch.

Die Messresultate in den Gebieten um die zwei Kernkraftwerke Gösgen und Mühleberg zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. Das KKG konnte aeroradiometrisch nicht erkannt werden (Darstellung B.13). Das Messgebiet KKG wurde sowohl vom französischen als auch vom deutschen Team aeroradiometrisch erfasst. Die Resultate für die Ortsdosisleistung (Darstellungen B.14 und B.15) stimmten innerhalb der Messgenauigkeit überein.

**Darstellung B.13:** Karte der Ortsdosisleistung im Messgebiet KKG. Messwerte des schweizerischen Teams.  
Kartendaten: PK100 © swisstopo, DV 316.2

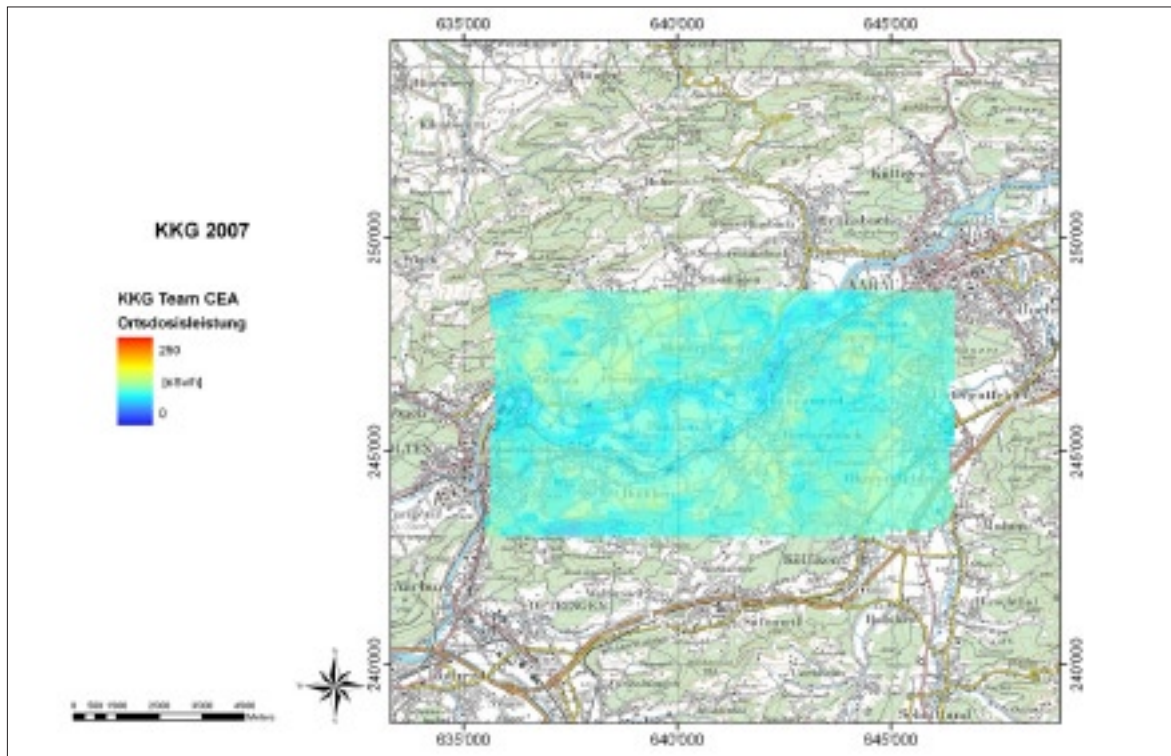


**Darstellung B.14:** Karte der Ortsdosisleistung im Messgebiet KKG. Messwerte des deutschen Teams.  
Kartendaten: PK100 © swisstopo, DV 316.2





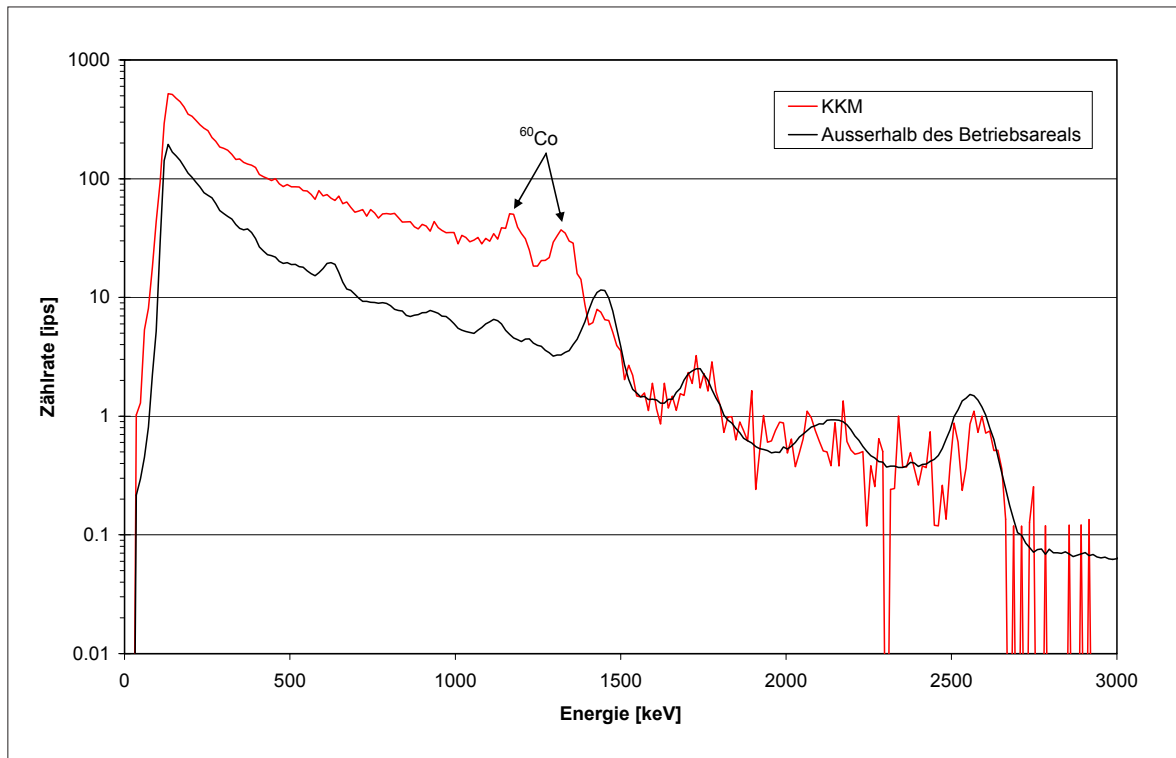
**Darstellung B.15:** Karte der Ortsdosisleistung im Messgebiet KKG. Messwerte des französischen Teams.  
 Kartendaten: PK100 © swisstopo, DV 316.2



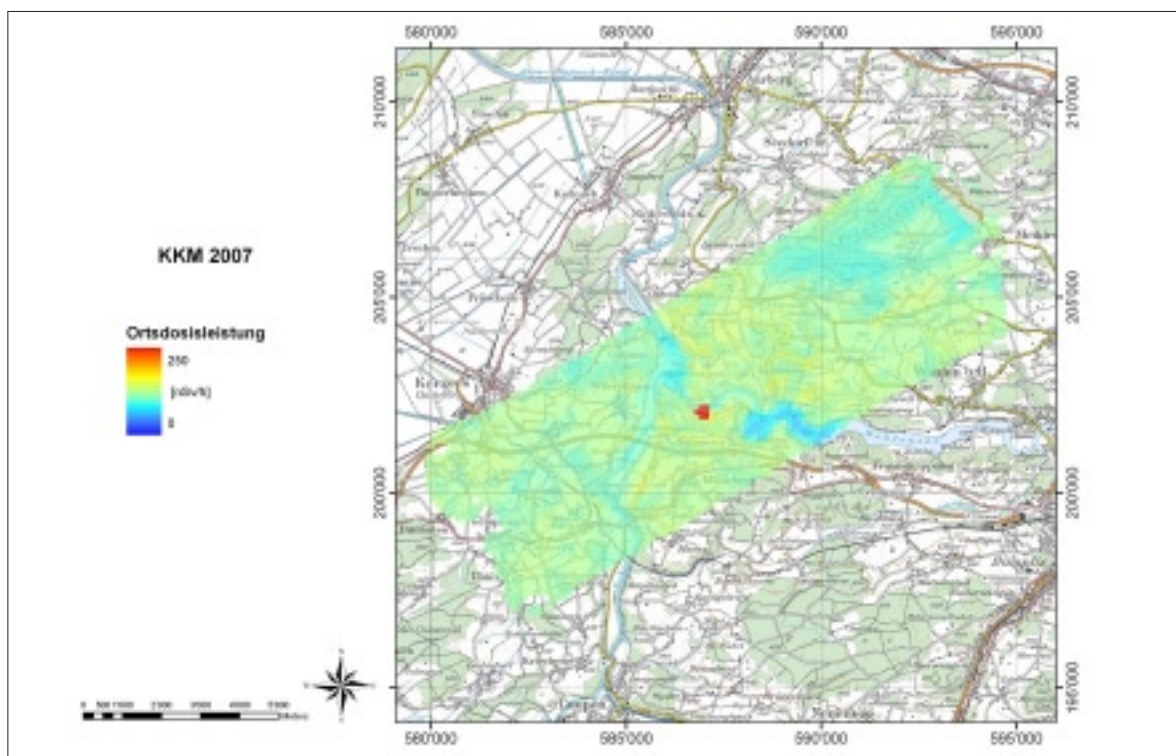
Da sich das KKM zum Zeitpunkt der Messflüge in Revision befand, konnte keine hochenergetische Photonenstrahlung des Aktivierungsproduktes  $^{16}\text{N}$  erkannt werden, wie dies in früheren Jahren der Fall (Bucher et al., 2004; Bucher et al., 2006) war. Hingegen konnte bei KKM das Radionuklid  $^{60}\text{Co}$  aus der Luft detektiert werden (Darstellung B.16). Dieses ist auf aktivierte Kompo-

nenten zurückzuführen, die auf dem Betriebsgelände gelagert wurden. Ausserhalb des Betriebsareals waren keine erhöhten Werte erkennbar (Darstellung B.17). Das Gebiet KKM wurde ebenfalls vom deutschen Team vermessen. Die Ergebnisse für die Ortsdosisleistung (Darstellung B.18) stimmen innerhalb der Messgenauigkeit mit den schweizerischen Resultaten überein.

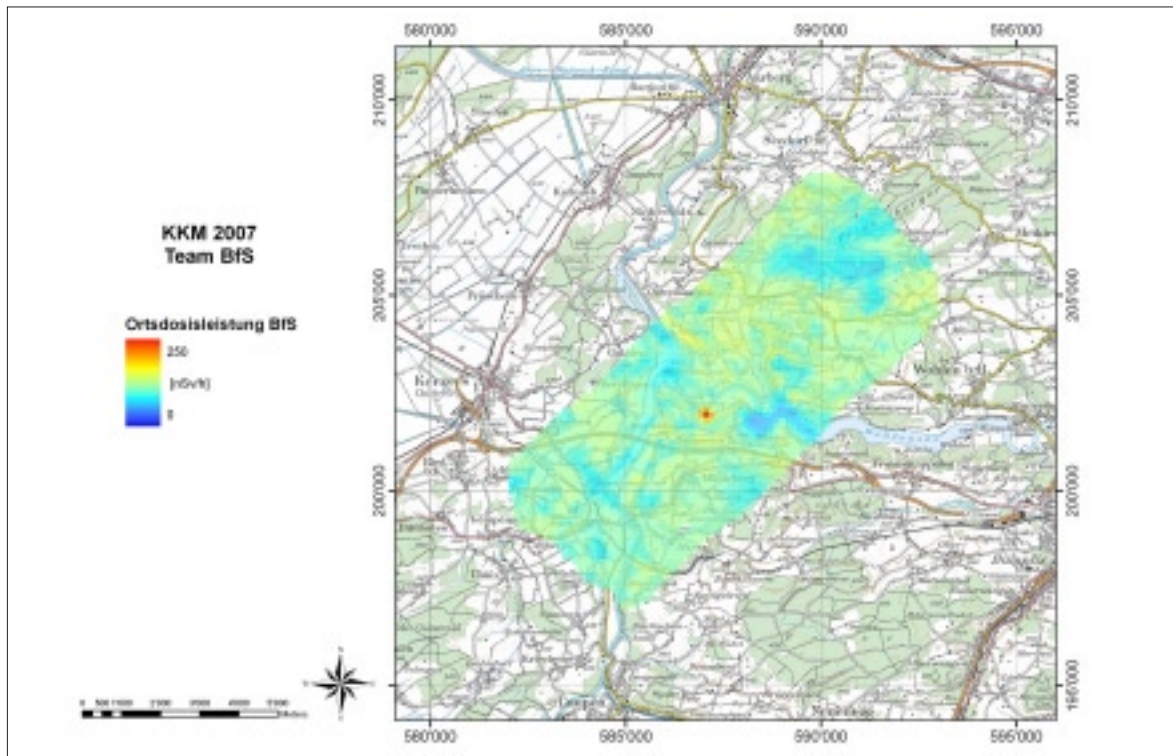
Darstellung B.16: Gemitteltetes Spektrum innerhalb und ausserhalb des Betriebsareals KKM



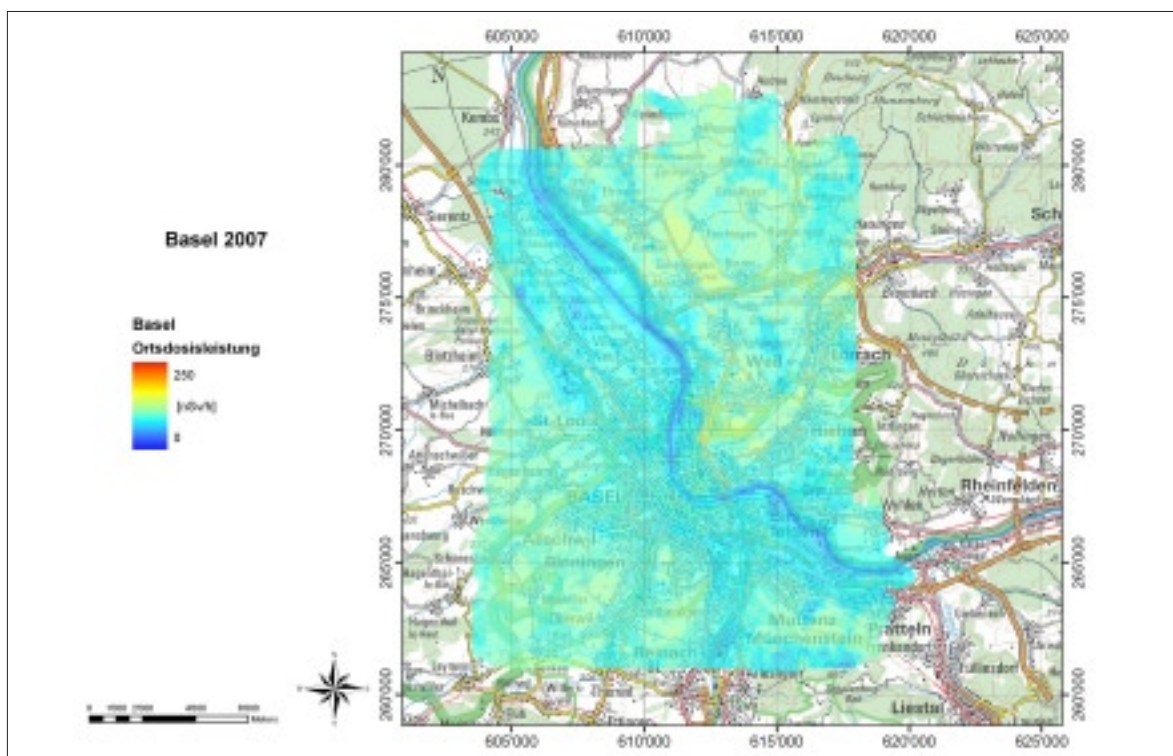
Darstellung B.17: Karte der Ortsdosisleistung im Messgebiet KKM. Messwerte des schweizerischen Teams.  
Kartendaten: PK100 © swisstopo, DV 316.2



**Darstellung B.18:** Karte der Ortsdosisleistung im Messgebiet KKM. Messwerte des deutschen Teams.  
 Kartendaten: PK100 © swisstopo, DV 316.2



**Darstellung B.19:** Karte der zusammengeführten Ortsdosisleistungsdaten der drei verschiedenen Teams im Messgebiet Dreiländereck Basel. Kartendaten: PK200 © swisstopo, DV 316.2



Auf dem Rangierbahnhof Muttenz wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Kompetenzzentrum ABC der Armee die Suche nach radioaktiven Quellen geübt. Dazu wurden diverse radioaktive Quellen für die Dauer der Messflüge im Gelände deponiert. Gleichzeitig zu den Messflügen wurden auch Messungen am Boden durchgeführt. Von den fünf ausgelegten Quellen wies nur eine Quelle ( $^{60}\text{Co}$ , 660 MBq) eine Aktivität auf, die aus der Luft mit der Standardflughöhe von 100 m erkannt werden konnte. Das Team des CEA konnte neben der  $^{60}\text{Co}$ -Quelle zwei weitere Quellen ( $^{137}\text{Cs}$ , 280 MBq und 230 MBq) lokalisieren. Die bessere Trefferquote war auf die geringere Flughöhe von 40 m und die damit verbundene, tiefere Nachweisgrenze zurückzuführen. Das Messteam des BfS konnte neben der  $^{60}\text{Co}$ -Quelle ebenfalls noch eine der  $^{137}\text{Cs}$ -Quellen lokalisieren.

Als Höhepunkt der Messübung 2007 erfolgte im Dreiländereck Basel ein so genanntes Composite Mapping. Dabei wurde je ein Teil des gesamten Messgebietes durch ein Messteam vermessen. Das schweizerische Messteam konzentrierte sich auf das Gebiet innerhalb der Schweizer Landesgrenze, das französische Messteam deckte hauptsächlich französisches und das deutsche Messteam hauptsächlich deutsches Gebiet ab. Anschliessend wurden die Daten in einem vorher definierten Datenformat von den Messteams an die Datenzentrale geliefert, welche die Daten dann in einer Karte zusammenführte (Darstellung B.19).

Östlich von Kleinhüningen wurden im Vergleich zum restlichen Messgebiet durch die Aeroradiometrie erhöhte  $^{40}\text{K}$ -Aktivitäten detektiert. Das Kantonale Laboratorium Basel-Stadt hat in der Folge Bodenmessungen in den entsprechenden Gebieten durchgeführt. Die Resultate dieser Bodenmessungen bestätigten die Ergebnisse der Aeroradiometrie. Im Gebiet des ehemaligen Güterbahnhofes der Deutschen Bahn wurde mit rund 1 200 Bq/kg die höchste  $^{40}\text{K}$ -Aktivität an granitischem Schotter gemessen (Lörtscher, 2007).

## 4.3 Literatur

- [1] Bucher, B., 2001: Methodische Weiterentwicklungen in der Aeroradiometrie. Dissertation Nr. 13973, ETH Zürich.
- [2] Schwarz, G. F., 1991: Methodische Entwicklungen zur Aerogammaskpektrometrie. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr.23, Schweizerische Geophysikalische Kommission.
- [3] 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.
- [4] Bucher, B., Rybach, L., Schwarz, G., 2004: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM03. PSI Bericht Nr. 04-14. ISSN 1019-0643.
- [5] Bucher, B., Butterweck, G., Rybach, L., Schwarz, G., 2006: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM05. PSI Bericht Nr. 06-06. ISSN 1019-0643.
- [6] Lörtscher, Y., 2007: Messflüge 2007 vom 27.8. – 30.8.2007. Kurzbericht über die Aeroradiometrieflüge und Zusammenstellung der Resultate. Nationale Alarmzentrale, Zürich, <http://www.naz.ch>.

**Impressum**

HSK Strahlenschutzbericht 2007

**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](http://www.hsk.ch)

HSK-AN-6503

ISSN 1661-2914

© HSK, Mai 2008

HSK-AN-6503  
ISSN 1661-2914

HSK, CH-5232 Villigen-HSK (Schweiz), Telefon +41 (0)56 310 38 11, Fax +41 (0)56 310 39 95 und +41 (0)56 310 39 07, [www.hsk.ch](http://www.hsk.ch)