



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI
Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN
Ispettorato federale della sicurezza nucleare IFSN
Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI



Strahlenschutzbericht 2009

Strahlenschutzbericht 2009

Rapport sur la radioprotection 2009

Radiological Protection Report 2009

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4
Préface	5
Preface	6
A: STRAHLENSCHUTZ IN DEN KERNANLAGEN	7
1. Kernkraftwerke	7
1.1 Kernkraftwerk Beznau (KKB)	7
1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)	9
1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)	11
1.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)	13
2. Weitere Kernanlagen	15
2.1 Paul Scherrer Institut (PSI)	15
2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)	15
2.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)	15
2.4 Universität Basel	16
3. Grafische Darstellungen	17
4. Dosimetrie	20
4.1 Einleitung	20
4.2 Personendosimetrie	20
4.3 Jobdosimetrie	39
4.4 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen	49
4.5 Erwartete Entwicklung der Exposition	49

B: UMWELTRADIOAKTIVITÄT BEI KERNANLAGEN, ÜBERWACHUNG 51

1. Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen	51
1.1 Emissionen aus den Kernanlagen	51
1.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen	62
2. Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)	63
2.1 Übersicht	63
2.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung	63
2.3 Systemverfügbarkeit und Störungen	65
2.4 Qualitätssicherung	66
2.5 Messergebnisse	67
3. Eichung im Feld: Qualitätssicherung der MADUK-Sonden	70
4. Atmosphärische Ausbreitung	72
4.1 Modellberechnungen im Ereignisfall	72
4.2 Projekt CN-MET	72
4.3 Atmosphärisches Ausbreitungsmodell ADPIC/WINDBANK	73
5. Aeroradiometrische Messungen	78
5.1 Einleitung	78
5.2 Messungen und Messresultate 2009	78
5.3 Literatur	81



Die vier jährlich erscheinenden Berichte des ENSI.

Vorwort



Von Dr. rer. nat. Georges Piller, Chef der Abteilung Strahlenschutz

Am 1. Januar 2009 ging die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) in das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) über und wurde aus dem Bundesamt für Energie ausgegliedert. Die Aufgaben der neuen Aufsichtsbehörde haben sich jedoch nicht geändert. Das ENSI überwacht weiterhin die ionisierende Strahlung und die Radioaktivität

innerhalb der schweizerischen Kernanlagen und in ihrer Umgebung. Es erstellt Prognosen zur Entwicklung eines Störfalls und berechnet die Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Umgebung. Es beurteilt zudem die Zweckmässigkeit der vom Betreiber der Kernanlage getroffenen Massnahmen. Der vorliegende Bericht ist der sechste zusammenfassende Jahresbericht über den Strahlenschutz im Aufsichtsbereich des ENSI.

Das Berichtsjahr war geprägt durch ein Ereignis im Kernkraftwerk Beznau, das man in der Schweiz eigentlich nicht mehr erwartet hatte. Zwei beruflich strahlenexponierte Personen erhielten eine Strahlendosis über dem Jahresgrenzwert von 20 milli-Sievert (mSv). Seit Inkrafttreten der Strahlenschutzverordnung im Jahr 1994 war dies im Aufsichtsbereich des ENSI nie vorgekommen. Das ENSI hat nach diesem Ereignis ein Verfahren nach Verwaltungsstrafrecht eingeleitet.

Trotzdem kommt das ENSI zum Schluss, dass in den schweizerischen Kernanlagen ein konsequenter 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 dem Stand von Wissenschaft und Technik angepasst wurde. Die Betreiber der schweizerischen Kernanlagen stehen vor der Herausforderung, den hohen Stand des Strahlenschutzes zu wahren und die erhöhten Individualdosen einzelner Spezialisten zu reduzieren. Zudem werden sie

den Arbeiten in hohen und variablen Strahlenfeldern eine spezielle Beachtung schenken.

Der Teil A des vorliegenden Jahresberichts behandelt die Strahlendosen des Personals und die Jobdosen. Die Kollektivdosen und die mittleren Individualdosen konnten in den letzten Jahren um einen Faktor 2 gesenkt werden. Der Mittelwert der Individualdosen des Personals in den Kernanlagen liegt mit 0,6 mSv weit unterhalb des Grenzwerts für beruflich strahlenexponierte Personen und auch unterhalb der mittleren jährlichen Strahlendosis der Bevölkerung in der Schweiz durch Radon (1,6 mSv). Die höchste Individualdosis im Kernkraftwerk Beznau betrug 37,8 mSv und lag damit signifikant über dem Jahresgrenzwert. In den Kernkraftwerken Gösgen, Leibstadt und Mühleberg lag der Maximalwert jeweils unter 10 mSv. Erhöhte Strahlendosen erhielten einzelne Spezialisten, die bei ihren Arbeiten an Komponenten mit hoher Ortsdosisleistung nicht ohne Weiteres durch andere Personen ersetzt werden können.

Der Teil B des Berichts enthält Angaben zur Überwachung der Umweltradioaktivität in der Umgebung der Kernanlagen. Dazu hat das ENSI ein Messnetz zur Automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) aufgestellt und betreibt es seit Jahren routinemässig. Die ermittelten Dosisleistungswerte sind auf www.ensi.ch (Rubrik «Messenetz MADUK» > «Messwerte Radioaktivität») öffentlich zugänglich. Die Emissionen und Immissionen der schweizerischen Kernanlagen sind mit den Vorjahren vergleichbar und führen bei Kleinkindern in der unmittelbaren Umgebung einer Kernanlage jährlich zu einer Dosis von weniger als 10 mikro-Sv.

Im Bereich der atmosphärischen Ausbreitung radioaktiver Partikel verfolgt das ENSI den Stand von Wissenschaft und Technik. Das Projekt CN-MET (Centrales Nucléaires et Météorologie) wurde 2009 erfolgreich abgeschlossen. MeteoSchweiz stellt damit qualitativ hochwertige meteorologische Informationen zur Verfügung, um den Schutz der Bevölkerung bei einem radiologischen Störfall zu verbessern.

Préface

Dr. rer. nat. Georges Piller, chef de la division Radioprotection

Le 1^{er} janvier 2009, la Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN) est devenue l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) et a été détachée de l'Office fédéral de l'énergie. Les missions de la nouvelle autorité de surveillance n'ont toutefois pas été modifiées. L'IFSN continue de surveiller les radiations ionisantes et la radioactivité à l'intérieur des centrales nucléaires suisses et dans leur environnement. Elle établit des pronostics sur le développement des défaillances et calcule la dispersion des substances radioactives dans l'environnement. Elle apprécie en outre l'opportunité des mesures mises en place par l'exploitant de l'installation nucléaire. Le présent document est le sixième rapport récapitulatif annuel concernant la radioprotection dans le domaine de surveillance de l'IFSN.

L'année sous revue est marquée par un incident dans la centrale nucléaire de Beznau, incident auquel on ne s'attendait à vrai dire plus en Suisse. Deux personnes professionnellement exposées aux rayonnements ionisants ont reçu une dose de radiations supérieure à la limite annuelle de 20 milli-Sievert (mSv). Ceci n'était jamais arrivé dans le domaine de surveillance de l'IFSN depuis l'entrée en vigueur en 1994 de l'ordonnance sur la radioprotection. Suite à cet événement, l'IFSN a lancé une procédure au terme de la loi fédérale sur le droit pénal administratif.

Malgré cet événement, l'IFSN arrive tout de même à la conclusion que la radioprotection est appliquée de manière conséquente dans les centrales nucléaires suisses. Des mesures d'optimisation ont conduit à une réduction sensible des doses de radiations. Y a contribué aussi l'adaptation à l'état de la science et de la technique, aux cours de ces dernières années, du traitement chimique de l'eau. Les exploitants des centrales nucléaires suisses se trouvent confrontés au défi de maintenir le haut niveau de radioprotection atteint et de réduire les doses individuelles élevées reçues par certains travailleurs spécialisés. Ils doivent en outre apporter une attention particulière aux travaux effectués dans les champs de radiations élevés et variables.

La partie A du présent rapport annuel traite des doses de radiations du personnel et des doses associées aux différentes tâches. Les doses collectives et moyennes ont pu être réduites d'un facteur 2 au cours de ces dernières années. La moyenne des doses individuelles annuelles est, dans les installations nucléaires, de 0,6 mSv; elle est largement inférieure à la limite de dose applicable aux personnes professionnellement exposées aux radiations et également inférieure à la dose annuelle moyenne due au radon reçue par la population en Suisse (1,6 mSv). La dose individuelle la plus élevée pour la centrale nucléaire de Beznau est de 37,8 mSv; elle est ainsi nettement plus élevée que la limite de la dose annuelle. Pour chacune des centrales nucléaires de Gösgen, Leibstadt et Mühleberg, la dose maximale est inférieure à 10 mSv. Certains spécialistes ont reçu des doses relativement élevées; ces personnes, travaillant sur des composants où le débit de dose est important, ne peuvent être facilement remplacées par d'autres personnes.

La partie B du rapport contient des informations sur la surveillance de la radioactivité dans l'environnement aux alentours des centrales nucléaires. Dans ce domaine l'IFSN a mis sur pied un réseau de surveillance automatique du débit de dose autour des centrales nucléaires (MADUK) et l'exploite en routine depuis de nombreuses années. Les valeurs des débits de dose obtenues sont accessibles au public sur le site www.ensi.ch (rubrique «réseau de mesures MADUK» > «Valeurs de mesures de la radioactivité»). Les rejets et les immissions des centrales nucléaires suisses sont comparables à ceux des années précédentes et conduisent à une dose annuelle maximale moins de 10 micro-Sievert pour les enfants en bas âge dans l'environnement immédiat d'une installation nucléaire.

Dans le domaine de la dispersion atmosphérique des particules radioactives, l'IFSN suit de près l'état de la science et de la technique. Le projet CN-MET (Centrales Nucléaires et Météorologie) a été finalisé avec succès en 2009. Avec ce nouveau système, MeteoSuisse met à disposition des informations météorologiques de haute qualité qui permettent d'améliorer la protection de la population en cas de défaillance radiologique.

Preface

Dr. rer. nat. Georges Pillier, Head of Radiation Protection

On January 1st 2009, HSK became ENSI, the Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate and at the same time the new body became independent of the Swiss Federal Office of Energy. However, the remit of the new regulatory body remains unchanged. ENSI continues to monitor ionising radiation and radioactivity in Swiss nuclear facilities and their immediate vicinity. It prepares forecasts on the potential course of any nuclear incident, including the spread of radioactivity into the environment. It also judges whether measures adopted by operators of nuclear facilities are appropriate. This is the sixth annual summary report on the radiological protection issues regulated by ENSI.

The year under review was marked by an incident at the Beznau nuclear power plant that was thought to be impossible in Switzerland. Two individuals exposed to radiation as part of their work received radiation doses in excess of the annual limit of 20 millisievert (mSv), something that has not happened in the areas regulated by ENSI since the introduction of the Radiological Protection Ordinance in 1994. As a result of this incident, ENSI instituted proceedings under administrative criminal law.

Despite this, ENSI concluded that radiological protection is being carried out consistently in Swiss nuclear facilities. Measures to optimise radiological protection have reduced exposure rates significantly. This has been helped by the fact that in recent years, operators have consistently introduced hydrochemical measures in accordance with the latest developments in science and technology. The challenge now facing the operators of nuclear facilities in Switzerland is to maintain the high levels of radiological protection and reduce the higher exposure levels experienced by certain specialists. In addition, operators must give particular attention to work performed in high and variable radiation fields. Section A of this annual report deals with exposure rates

for personnel and individual jobs. In recent years, facilities have reduced collective doses and average individual doses by a factor of two. The average individual exposure rate for personnel in nuclear facilities is now 0,6 mSv. This is significantly lower than both the maximum annual limit for persons exposed to radiation during their work and the average annual radon exposure rate of 1,6 mSv for the population in Switzerland as a whole. At the Beznau nuclear power plant, the highest individual dose was 37,8 mSv, which was significantly higher than the annual limit. At the nuclear power plants of Gösgen, Leibstadt and Mühleberg, the maximum individual dose was in each case less than 10 mSv. Exposure to higher doses was restricted to individual specialists working on components with high local dose rates and for whom it would not have been easy to replace with other personnel.

Section B of the report contains information on the monitoring of environmental radioactivity in the vicinity of nuclear facilities. For this purpose, ENSI has established a network that automatically monitors dose rates in the vicinity of nuclear power plants (MADUK) and this network has been operating as a matter of routine for many years. The monitoring results are publicly available at www.ensi.ch (click on «Messnetz MADUK» and then «Messwerte Radioaktivität»). Emissions from Swiss nuclear facilities are comparable with previous years and the maximum annual exposure rate for infants in the immediate vicinity of a nuclear facility was below 10 microsievert.

ENSI monitors scientific and technological developments relating to the atmospheric dispersion of radioactive particles and introduces changes as appropriate. The CN-MET Project (Centrales Nucléaires et Météorologie) was successfully completed in 2009 and so MeteoSwiss now provides high-quality meteorological information designed to improve the protection of the public in the event of an incident resulting in the release of radiation.

A: STRAHLENSCHUTZ IN DEN KERNANLAGEN

Bei der Auswertung der Daten richtet sich das ENSI 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 dem ENSI 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 des ENSI dargestellt.

1. Kernkraftwerke

1.1 Kernkraftwerk Beznau (KKB)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2009 wurden im KKB folgende Kollektivdosen ermittelt. Da in den beiden Blöcken jeweils alternierend ein Brennelementwechsel oder ein Revisionsstillstand durchgeführt werden, sind als Vergleich die Kollektivdosen der beiden Vorjahre aufgeführt:

KKB 1			
Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv		
	2009	2008	2007
Brennelementwechsel	109		100
Revisionsstillstand		439	
Leistungsbetrieb	74	53	56
Gesamte Jahreskollektivdosis	183	492	156

KKB 2			
Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv		
	2009	2008	2007
Revisionsstillstand	380		357
Brennelementwechsel		63	
Leistungsbetrieb	67	55	52
Gesamte Jahreskollektivdosis	447	118	409

KKB 1 und 2			
Aktionen	Kollektivdosis Personen-mSv		
	2009	2008	2007
Revisionsstillstand und BE-Wechsel	489	501	457
Leistungsbetrieb	141	108	108
Gesamte Jahreskollektivdosis	630	609	565

Im Berichtsjahr wurde in den beiden Blöcken des KKB eine Kollektivdosis von 630 Pers.-mSv verzeichnet. Die beiden höchsten im KKB registrierten Individualdosen betragen 37,8 bzw. 25,4 mSv (2008: 8,9 mSv) und wurden durch eine unzulässige Bestrahlung am 3. August verursacht. Sie lagen deutlich oberhalb des Dosis-

grenzwerts der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Ohne diese beiden Strahlendosen betrug die maximale Individualdosis im Jahr 2009 9,4 mSv und das entsprechende betriebseigene Planungsziel von maximal 10 mSv pro Person und pro Jahr wäre eingehalten gewesen. Es traten weder Personenkontamination, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen auf.

Im Block 1 wurde zwischen dem 23. Juni und 4. Juli der 37. Brennelementwechsel durchgeführt. Das Abfahren der Anlage verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Es wurden keine besonderen dosisintensiveren Arbeiten während des Brennelementwechsels durchgeführt. Die im Stillstand akkumulierte Kollektivdosis betrug 109 Pers.-mSv. Die Planungs-dosis von 103 Pers.-mSv konnte eingehalten werden.

Im Block 2 wurde vom 31. Juli bis 15. September eine geplante Revisionsabstellung durchgeführt. Das Abfahren der Anlage verlief ebenfalls ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Die akkumulierte Kollektivdosis betrug 380 Pers.-mSv. Wegen der unbeabsichtigten Bestrahlung zweier Mitarbeitender am 3. August, bei der rund 63 Pers.-mSv mehr als geplant akkumuliert wurden, wurde die Planungs-dosis von 352 Pers.-mSv überschritten. Zu den arbeits- und zeitintensiven Tätigkeiten während der Revisionsabstellung zählten die Prüfungen und der Austausch der «Baffle Bolts» und «Split Pins» im Reaktordruckbehälter. Wegen technischer Schwierigkeiten mit der Prüfausrüstung wurden die Arbeiten im Zusammenhang mit den «Baffle Bolts» modifiziert, was aber keine negativen Auswirkungen für den Strahlenschutz hatte. Diese im KKB erstmals durchgeführten Arbeiten konnten erfolgreich und bei geänderten Arbeitsumfang sogar mit tieferen Jobdosen als geplant abgeschlossen werden.

Der Personalbestand des Ressorts Strahlenschutz war zahlenmässig im Kalenderjahr 2009 immer ausreichend, um die administrativen und technischen Schutz- und Überwachungsaufgaben korrekt auszuüben und sicherzustellen.

Vorkommnis der INES-Stufe 2: Überschreitung der zulässigen Strahlen- exposition von zwei Mitarbeitern bei Inspektionsarbeiten im Block 2

Anlässlich der Revisionsabstellung 2009 waren für den 3. August zwei Arbeiten geplant, die die Reaktorboden-

kammer betrafen. Im Rahmen der Druckprüfung des Reaktordruckbehälters (RDB) war es erforderlich, die Incore-Führungsrohre der Kerninstrumentierung aus dem RDB zu ziehen und in der Reaktorbodenkammer Überwachungskameras zu installieren. Da die Schutzrohre stark aktiviert sind und zu Ortsdosisleistungen von mehr als 1 Sv pro Stunde führen können, dürfen sich auf der betroffenen Ebene während des Ziehens keine Personen aufhalten. Erst wenn die Rohre in der dafür vorgesehenen Abschirmung parkiert sind, können die entsprechenden Zonen vom Strahlenschutz wieder freigegeben werden.

Da bei der Planung der Arbeiten der Zeitaufwand für das Abdichten der Druckrohre am Dichtungstisch im Incore-Raum erst zu spät erkannt wurde, zog man das Ziehen der Incore-Rohre gegenüber dem kommunizierten Revisionsplan vor. Dadurch kam es zu einer Kollision der beiden Tätigkeiten. Während eine Person im Raum unter dem RDB noch damit beschäftigt war, die für die Druckprüfungen eingesetzten Scheinwerfer zu installieren, wurden bereits die ersten Incore-Rohre aus dem RDB gezogen. Beim Ziehen stieg die Ortsdosisleistung im Raum unter dem RDB auf etwa 1,5 Sv pro Stunde. Der inzwischen vor Ort eingetroffene Strahlenschutzkoordinator erkannte die Situation und beorderte den Mitarbeiter aus dem Gefahrenbereich. Zusätzlich gab er dem dort stationierten Strahlenschutzmitarbeiter den Auftrag, die Ortsdosisleistung im Zugangsbereich zum Raum unter dem RDB zu messen. Entgegen den Erwartungen betrat dieser den Bereich und führte die Messung ohne die Verlängerung der Messsonde seines Dosisleistungsmessgerätes (Teleskop) zu benutzen, durch. Die Abklärungen ergaben, dass der Mitarbeiter im Raum unter dem RDB eine Dosis von 37,8 mSv, der Strahlenschutzmitarbeiter eine solche von 25,4 mSv akkumuliert hatte.

Die am Tag vor den geplanten Arbeiten durchgeführten Ortsdosisleistungsmessungen im Raum unter dem RDB ergaben Werte, die mit 1,5 mSv pro Stunde im erwarteten Bereich lagen. Der vor Ort stationierte Strahlenschutzmitarbeiter war über die Verschiebung des Ziehens der Incore-Rohre nicht informiert und hatte bei kurz vorher wiederholten Dosisleistungsmessungen auch keine unerwarteten Werte festgestellt. Darauf hatte er den Raum für die Installationsarbeiten freigegeben.

Das ENSI hat festgestellt, dass bei der Planung von radiologisch relevanten Arbeiten während der Revision Defizite vorhanden waren. Die zeitliche Verschiebung des Ziehens der Incore-Führungsrohre wurde dem KKB-

Strahlenschutz nicht oder nur ungenügend kommuniziert.

Beim operationellen Strahlenschutz wurde Verbesserungspotenzial erkannt. Die Alarmschwelle des Dosisleistungsalarms des elektronischen Dosimeters, die bei 1 mSv pro Stunde eingestellt war, wurde für die Arbeit unter dem RDB, wo auch im Normalzustand erhöhte Dosisleistungen im Bereich von mehr als 1 mSv pro Stunde herrschen, nicht angepasst. Deshalb war der Dosisleistungsalarm dauernd hörbar; der innert kürzester Zeit anstehende Dosisalarm hingegen nicht. Laut Strahlenschutzbelehrung des KKB ist beim Ertönen des Dosisalarms der Arbeitsplatz unverzüglich zu verlassen und mit dem Strahlenschutz Kontakt aufzunehmen. Der bei 5 mSv eingestellte Dosisalarm hätte bei sofortigem Verlassen des Arbeitsplatzes verhindert, dass die jährliche Dosislimite überschritten worden wäre, er war aber aufgrund der Einstellung des elektronischen Dosimeters für den Träger nicht wahrnehmbar. Weil im Bereich der möglicherweise auftretenden hohen Ortsdosisleistungen auch kein entsprechendes ortsfestes Messgerät mit Alarmfunktion (Pegelwächter) installiert war, war sich der Mitarbeiter in der Reaktorbodenkammer der Gefahr in keiner Weise bewusst.

Da Strahlenexpositionen über dem gesetzlichen Grenzwert resultierten, wurde das Ereignis vom ENSI unter Anwendung der INES-Skala als der INES-Stufe 2 zugeordnet.

Das ENSI stellte bei mehreren Inspektionen fest, dass der Strahlenschutz im KKB grundsätzlich gut funktioniert. Die Abläufe und Überwachungsmassnahmen in Bereichen mit potenziell hohen Ortsdosisleistungen sind jedoch zu optimieren.

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKB wurde im Rahmen verschiedener Inspektionen und Fachgespräche vom ENSI stichprobenweise überprüft. Des Weiteren hat sich das ENSI 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.

Fehlerhaft arbeitende Komponenten an der Pumpe der Sicherheitsgebäudeabluftüberwachung führten zu zwei Ausfällen, die dem ENSI als Vorkommnisse gemeldet

wurden. Ein weiteres Vorkommnis betraf die Kamininstrumentierung, die durch eine kurzzeitige Fehlmessung einen Sicherheitsgebäudeteilabschluss auslöste. Die Abklärung der Ursachen für die Ereignisse ist im Gange. Erste Verbesserungsmassnahmen wurden getroffen.

Im Berichtsjahr hat KKB einen Freimessschrank zur Durchführung von Freimessungen von Materialien nach Art. 53 KEV in Betrieb genommen.

Die Anerkennung der Personendosismetriestelle des KKB wurde mit zwei terminierten Auflagen verlängert. Eine Auflage betraf die Abklärung der Ursachen für die gemäss Personendosismetrieverordnung zu grossen Abweichungen der Oberflächendosis Hp(0.07) im Hochdosisbereich. Die andere verlangte einen Bericht mit der Beurteilung, ob sich die Verbesserungen zur Behebung der Ausreisserproblematik von Messwerten bewährt haben.

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

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI 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.
- An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für Personendosismetriestellen hat die Dosismetriestelle des KKB den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeit von $\pm 10\%$ am Referenzpunkt erbracht.

1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)

Im Kalenderjahr 2009 wurden im KKG folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Werte aus dem Jahr 2008):

KKG		
Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv	
	2009	2008
Revisionsstillstand	326	686
Leistungsbetrieb	122	88
Gesamte Jahreskollektivdosis	448	774

Im Berichtsjahr belief sich die Kollektivdosis im KKG auf 448 Pers.-mSv (2008: 774 Pers.-mSv). Die höchste im

KKG registrierte Individualdosis betrug 8,4 mSv (2008: 13,2 mSv). Der Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr wurde somit unterschritten. Es traten keine Personenkontaminationen auf, die sich nicht mit einfachen Mitteln entfernen liessen.

Zwischen dem 6. Juni und dem 26. Juni 2009 war die Anlage für die Revision abgestellt. Bei den Arbeiten während des Revisionsstillstands wurden 326 Pers.-mSv akkumuliert, geplant waren 377 Pers.-mSv.

Das KKG hatte zu Beginn des 30. Zyklus (im Jahr 2008) bei der Überwachung des Primärkühlmittels (PKM) wieder Brennstabschäden festgestellt. Die ^{131}I -Aktivitätskonzentration im PKM stieg innerhalb weniger Tage nach dem Anfahren auf $2 \text{ E}+5 \text{ Bq/kg}$, was etwa dem Wert am Ende des 29. Zyklus im Juni 2008 entspricht. Im Verlauf des 30. Zyklus stieg diese Aktivitätskonzentration weiter auf rund $8 \text{ E}+5 \text{ Bq/kg}$ an. Der in der Technischen Spezifikation festgelegte maximal zulässige Wert für die mittlere Aktivitätskonzentration wurde nicht erreicht. Aufgrund der Analyse der ^{134}I -Aktivitätskonzentration im PKM wurde am Ende des 30. Zyklus im Juni 2009 eine Brennstoffauswaschung von ca. 20 g abgeschätzt.

Wie bei einer Brennstableckage erwartet, stiegen beim Abfahren der Anlage und der Druckabsenkung die Aktivitätskonzentrationen der Spaltprodukte im Primärkühlmittel an. Die maximal gemessene Aktivitätskonzentration von ^{131}I lag bei $1,3 \text{ E}+8 \text{ Bq/kg}$. Die des ^{133}Xe betrug $1,2 \text{ E}+8 \text{ Bq/kg}$. Der Reinigungsprozess vor dem Öffnen des RDB wurde verlängert, um den betrieblichen Richtwert für die ^{131}I -Aktivitätskonzentration im PKM von $1,0 \text{ E}+6 \text{ Bq/kg}$ für das Heben des RDB-Deckels zu erreichen. Die Messwerte der bis dahin erfolgten Edelgas-Abgabe über den Kamin ergaben für Personen in der Umgebung des KKG eine Dosis unter $2 \mu\text{Sv}$, rund ein Faktor 100 unter dem quellenbezogenen Dosisrichtwert. Die Iod- und Aerosol-Abgabe war nicht signifikant.

Trotz der Verwendung einer Absaughaube beim Heben des RDB-Deckels stieg die Raumlufkontamination im Bereich der Anlagenräume für eine beschränkte Zeit von weniger als 8 Stunden deutlich über $1/10 \text{ CA}$.

Aufgrund vermehrter Alarme an den Personenkontaminationsmonitoren am Ausgang der kontrollierten Zone wurde vom KKG-Strahlenschutz die stellenweise erhöhte ^{132}I -Aktivitätskonzentration in der Luft als direkte Ursache der Personenkontaminationen festgestellt. Alle Personenkontaminationen konnten durch Duschen und Umkleiden eliminiert werden. Als ursprüngliche Ursache

hierfür wird die unvorhergesehene Freisetzung von Tellur wegen der Brennstoffhüllrohrschäden gekoppelt mit dem schlechten Rückhaltevermögen dieses Elements im Reinigungsprozess des PKM konstatiert. Durch das an den Oberflächen des Primärkühlmittelsystems und an den Wänden des Reaktorbeckens haftende ^{132}Te erhöhte sich die ^{132}I -Raumlufkontamination in den Anlagenräumen. Mit Luftsammlern und anschliessender Laboranalysen wurde eine ^{132}I -Kontamination der Luft von bis zu 120 Bq/m^3 nachgewiesen. Wegen der kurzen Halbwertszeit liegt der Richtwert CA für ^{132}I um den Faktor 50 höher als derjenige für ^{131}I . Die ^{132}I -Kontamination der Luft entsprach $0,3 \%$ CA und ist daher von geringer Bedeutung.

Aufgrund eines unvorhergesehenen Aktivitätsaustrages von Iod in die Anlagenräume am Abend des 12. Juni 2009 wurde das Containment für ca. 4 Stunden gesperrt. Während dieser Zeit wurden die Filter der Luftsammler ausgewertet. Das Reaktorbecken wurde abgedeckt und eine zusätzliche Spülluftabsaugung installiert, was die Iod-Freisetzung erfolgreich eindämmte. Nach einer Abklärung der Lüftungssituation und der Bestimmung der auf den CA-Richtwert bezogene Summenluftkontamination (unter 1 CA) wurde ein zeitlich beschränkter Aufenthalt in den Anlagenräumen wieder zugelassen.

Die zeitliche Beschränkung wurde am 14. Juni 2009 der neuen Situation angepasst, nachdem die Raumlufkonzentration von ^{132}I auf 30 bis 50 Bq/m^3 gesunken war. Die Reaktorbeckenabdeckung wurde erst kurz vor dem Fluten des Reaktorbeckens am 17. Juni 2009 entfernt, um die Auswirkung auf die Luftkontamination ohne Gefährdung von Personal zu kontrollieren. Es gab dabei erwartungsgemäss keine messbare Erhöhung der ^{132}I -Aktivitätskonzentration.

Die Dosisleistungen an den Komponenten des Primärkreislaufs zeigten im Vergleich zu den Vorjahren eine leicht sinkende Tendenz. Die Auswertung der Wischtestproben vom RDB-Deckel für das β/γ zu α -Verhältnis lag mit 1 zu 2600 ± 600 unter dem Verhältnis der Vorjahre. Trotz Anstieg der α -Emitter ist deren Beitrag zur Inkorporationsgefahr kleiner als derjenige der β/γ -Strahler.

Nach Abschluss der Revision lag die Kollektivdosis bei 326 Pers.-mSv (TL-Dosimeter) und damit ca. 10% unter dem für die Revision geschätzten Wert. Hauptursache für die tiefere Kollektivdosis waren die zeitlichen Verschiebungen einiger Wiederholungsprüfungen in die nächste Revision 2010. Beim Dekontaminieren einer Armatur trat eine Inkorporation auf. Ermittelt wurde eine Aktivität von ca. $1160 \text{ Bq } ^{60}\text{Co}$ entsprechend einer

Inkorporationsdosis von rund 5 µSv. Der betroffenen Person wurde der Zutritt zur kontrollierten Zone vorübergehend verboten, bis sie nach zwei Tagen die Personenmonitore wieder passieren konnte.

Kurz nach dem Wiederanfahren liessen die Analyse-daten des Primärwassers auf einen erneuten Brennelementschaden schliessen. Bis Ende 2009 ergaben sich daraus aber keine gravierenden radiologischen Konsequenzen. Die ¹³¹I-Konzentration im PKM blieb nahezu konstant bei rund 5 E+5 Bq/kg.

Bei seinen Inspektionen konnte sich das ENSI davon überzeugen, dass im KKG ein wirksamer Strahlenschutz betrieben wird. Das Strahlenschutzpersonal begleitete, wie in den Schichtplänen vorgegeben, die Arbeiten in der kontrollierten Zone. Die Einteilung der Zonen entsprach den radiologischen Bedürfnissen. Das Verhalten des Personals in den eingerichteten Zonen und an deren Übergängen war diszipliniert und strahlenschutzkonform.

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKG wurde im Rahmen verschiedener Inspektionen und Fachgespräche vom ENSI stichprobenweise überprüft. Des Weiteren hat sich das ENSI anhand der 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 zwei Freimessschranke zur Durchführung von Freimessungen von Materialien nach Art. 53 KEV in Betrieb genommen.

Im Berichtsjahr hat das KKG mit der Lieferung von Fremddampf an die Kartonfabrik Cartasseta in Niedergösgen begonnen. Zur Überwachung des Fremddampfes wurden drei neue Messstellen in Betrieb genommen. Gleichzeitig wurde bei der bestehenden Fremddampfauskopplung zur Kartonfabrik Mondi die Dampfmenge erhöht und die Elektronik der dort installierten Messstellen an den Stand der Technik angepasst.

Auf Ende 2009 hat das KKG sein Dosimetriesystem von Thermolumineszenzdosimetern (TLD) auf Direct Ion Storage Detektoren (DIS) umgestellt. Das ENSI führte am 7. Dezember 2009 eine Annerkennungsinspektion mit positivem Ergebnis durch, so dass eine neue Annerkennungsverfügung ausgestellt werden konnte.

Neben den ENSI-Inspektionen wurden bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen verschiedene nationale Labors bzw. Messstellen teilnehmen, überprüft:

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI 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 vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für Personendosimetriestellen hat die Dosimetriestelle des KKG teilgenommen und den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeit von ± 10 % am Referenzpunkt erbracht.

1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2009 wurden im KKL folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Zahlen aus dem Jahr 2008):

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv	
	2009	2008
Revisionsstillstand	745	924
Leistungsbetrieb	321	157
Gesamte Jahreskollektivdosis	1066	1081

Im Berichtsjahr belief sich die im KKL verzeichnete Kollektivdosis auf 1066 Pers.-mSv (2008: 1081 Pers.-mSv). Die höchste im KKL akkumulierte Individualdosis betrug 9,4 mSv (2008: 8,8 mSv) und liegt damit unter dem Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, die sich nicht mit einfachen Mitteln entfernen liessen. Inkorporationen von radioaktiven Stoffen wurden keine festgestellt.

Die Jahreshauptrevision dauerte vom 8. August bis zum 1. September 2009. Die radiologische Situation war günstig. Im KKL waren seit 2004 keine Brennelementdefekte mehr aufgetreten. Die Konzentration der Iod-Isotope im Reaktorwasser sank nach dem Abfahren der Anlage unter den Wert der Vorjahre. Die Konzentrationen der Korrosionsprodukte im Reaktorwasser waren vergleichbar mit den Vorjahreswerten. Die Messwerte

der Oberflächendosisleistung an den Komponenten des Primärkreislaufs entsprachen ungefähr denjenigen des Vorjahrs. Die an jeweils 8 Messpunkten gemessene mittlere Dosisleistung der beiden Umwälzschleifen betrug zu Beginn der Revision 1,37 mSv/h und lag damit um 9% niedriger als während der Revisionsabstellung im letzten Jahr (2008: 1,5 mSv/h). In der Sekundäranlage wurden ebenfalls günstige radiologische Verhältnisse festgestellt. Die Ortsdosisleistungen lagen im Bereich von einigen μ -Sv/h, ein eindeutiger Trend zu Veränderungen im Vergleich zu den Vorjahren war nicht erkennbar. Die lose Kontamination an zwei ausgebauten Frischdampfleitungs-Isolationsventilen (MSIV) lag zwischen 30 bis 600 RW und war damit deutlich niedriger als in den vergangenen Jahren mit generell 600 RW an allen Messpunkten.

Für die Arbeiten während des Revisionsstillstands wurde eine Kollektivdosis von 745,1 Pers.-mSv (EPD-Dosis) akkumuliert, geplant waren 830,0 Pers.-mSv (EPD-Dosis). Die tatsächlich ermittelte Kollektivdosis für die Revision betrug 90 % des abgeschätzten Wertes, was ein gutes Ergebnis ist. Es wurde eine meldepflichtige Tätigkeit mit einer Jobdosis über 50 Pers.-mSv durchgeführt, nämlich die mechanisierten Ultraschall-Prüfungen Loop A & B, N3 Stützen und RDB Stützen mit insgesamt 256,9 Pers.-mSv (EPD-Dosis). Am Ende der Revision belief sich die Jobdosis des dafür eingesetzten Personals auf 242,8 Pers.-mSv (EPD-Dosis).

Im Rahmen des Projekts KKLVIP (Vessel and Internals Project) zum Schutz des Primärkreislaufs vor Spannungsrissskorrosion wird vom KKL seit September 2008 Wasserstoff ins Reaktorwasser zudosiert. Vom 24. November bis 6. Dezember 2008 wurden zum ersten Mal insgesamt 700 g Platin in Form einer wasserlöslichen Verbindung ins Reaktorwasser eingespeist. Die zweite Einspeisung von Platin fand vom 23. November bis 4. Dezember 2009 statt.

Das KKL hat ein Konzept zur Verhinderung ungeplanter Strahlenexposition entwickelt und im Jahr 2009 im Bereich der Sekundäranlage umgesetzt. Es beinhaltet im Wesentlichen das konsequente Abschliessen der Zugänge von Räumen mit hoher Ortsdosisleistung und die Installation zusätzlicher Dosisleistungsmessgeräte. Ausserdem werden die Schwellen der elektronischen Dosimeter für den Dosis- und den Ortsdosisleistungsalarm so angepasst, dass bei einem Alarm in jedem Fall der Gefahrenbereich unverzüglich zu verlassen ist.

Der Personalbestand des Ressorts Strahlenschutz war immer angemessen und ermöglichte es, die administrativen und technischen Schutz- und Überwachungs-

aufgaben korrekt auszuüben und sicherzustellen. Das ENSI stellte bei mehreren angemeldeten und nicht angemeldeten Inspektionen fest, dass im KKL ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz praktiziert wird.

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKL wurde im Rahmen mehrerer Inspektionen und Fachgespräche vom ENSI stichprobenweise überprüft. Des Weiteren hat sich das ENSI anhand der 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.

Defekte Elektronikarten der Instrumentierung zur Überwachung der Kaminfortluft hinsichtlich radioaktiver Edelgase führten im Berichtszeitraum zu zwei Vorkommnissen. Das KKL hat den Ersatz der Elektronik dieser Überwachungseinrichtungen in Angriff genommen.

Im Rahmen der Umsetzung des Konzepts zur Verhinderung ungeplanter Strahlenexposition hat das KKL 15 zusätzliche ortsfeste Dosisleistungsmonitore in Räumen, die durch das Schichtpersonal auf regulären Rundgängen geöffnet werden und eine nach oben variable Dosisleistung aufweisen, nachgerüstet.

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

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Abwasserproben und Aerosol- und Jodfiltern zeigten bis auf eine Ausnahme Übereinstimmung mit den Messwerten des Kernkraftwerks Leibstadt. Bei einer Abwassermonatsmischprobe wurden grössere Abweichungen zwischen den Resultaten des Betreibers und des ENSI festgestellt. Die genaue Ursachenabklärung ist noch im Gange.
- An der vom BAG und vom ENSI 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 2009 wurden im KKM folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Zahlen aus dem Jahr 2008):

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv	
	2009	2008
Revisionsstillstand	862	881
Leistungsbetrieb	346	249
Gesamte Jahreskollektivdosis	1208	1130

Im Berichtsjahr belief sich die Kollektivdosis im KKM auf 1130 Pers.-mSv (TLD, 2008: 1130 Pers.-mSv). Die höchste im KKM ermittelte Individualdosis betrug 9,0 mSv (2008: 10,3 mSv). Die in der Strahlenschutzverordnung festgelegte Limite von 20 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen wurde somit eingehalten. Im Berichtszeitraum traten weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen auf.

Vom 9. August bis zum 8. September 2009 war die Anlage für die Jahresrevision abgestellt. Die Kollektivdosis aller Mitarbeitenden im Revisionsstillstand 2009 lag bei 862 Pers.-mSv (EPD), der vom KKM vor Beginn der Arbeiten geschätzte Wert lag bei 940 Pers.-mSv. Dank der schadenfreien Brennelemente war die Ausgangslage für die Revisionsarbeiten radiologisch gesehen auch dieses Jahr sehr günstig. Für die niedrigen gemessenen Werte des radioaktiven ¹³¹Iod war die geplante Unterbrechung der Wasserstoffeinspeisung rund 48 Stunden vor dem Abfahren der Anlage massgebend. Die Dosisleistungen an den Umwälzschleifen, Kerneinbauten und am Reaktorwasser-Reinigungssystem sind im Vergleich zum Vorjahr überwiegend zurückgegangen. Die mittlere Dosisleistung an den Umwälzschleifen betrug in dieser Revision 1,6 mSv/h und sank im Vergleich zum Mittelwert des Jahres 2008 um rund 14,5 % und im Vergleich zum Jahr 2007 um 24 %.

Während der Revision wurden im Drywell ausschliesslich Routinearbeiten durchgeführt. Zu erwähnen sind hier die wiederkehrenden Prüfungen im Stützenbereich N2B und N2E der Umwälzschleifen. Die bei den Arbeiten im Drywell akkumulierte Kollektivdosis lag unter der geplanten, zum einen, da die Dosisleistungen an den Umwälzschleifen niedrigerer waren und zum ande-

ren, da einige Arbeiten einen geringen Arbeitsaufwand benötigten als erwartet.

Die geplante Kollektivdosis für die Durchführung diverser Arbeiten im Clean-Up während der Revision wurde mit 65 Pers.-mSv abgeschätzt und dem ENSI fristgerecht gemeldet. Die tatsächliche Kollektivdosis belief sich am Ende auf 63,1 Pers.-mSv. Das KKM hatte zusätzliche Abschirmungen und ein Gerüst montiert, um den geplanten Austausch der Armatur 112 V 05 und den Teilersatz der CU-Saugleitung optimal durchführen zu können.

Die zusätzliche Garderobe mit einem Verbindungskorridor für den direkten Zutritt in die kontrollierte Zone im Maschinenhaus hat sich während den arbeitsintensiven Phasen des Revisionsstillstands wiederum bewährt. Diese temporäre Zutrittsmöglichkeit weist eine moderne Infrastruktur auf und erfüllt alle Anforderungen des operationellen Strahlenschutzes. Zudem führt sie zu einer deutlich verbesserten Situation im Vergleich zum bisherigen Zonenübergang.

Die Edelmetalleinspeisung wurde fortgesetzt. Es wurde bereits zum fünften Mal eine wasserlösliche Platinverbindung in das Reaktorwasser eingespeist. Gemeinsam mit der kontinuierlichen Zugabe von Wasserstoff sollen dadurch die Einbauten im Reaktordruckbehälter vor Spannungsrisskorrosion geschützt werden.

Der Personalbestand des Ressorts Strahlenschutz war im ganzen Betriebsjahr angemessen und ermöglichte es, die administrativen und technischen Schutz- und Überwachungsaufgaben korrekt auszuüben und sicherzustellen. Die regelmässig wiederkehrenden und arbeitsbedingten Kontaminationskontrollen der Oberflächen und der Luft bestätigten einen sauberen radiologischen Zustand der kontrollierten Zone des KKM.

Das ENSI führte in der Berichtsperiode eine unangemeldete und mehrere angemeldete Inspektionen zum Thema Strahlenschutz durch. In den inspizierten Bereichen wurden keine Abweichungen von den Vorgaben festgestellt. Das ENSI stellt fest, dass im KKM ein konsequenter und gesetzeskonformer operationeller Strahlenschutz praktiziert wird.

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKM wurde im Rahmen verschiedener Inspektionen und Fachgespräche vom ENSI stichprobenweise überprüft. Des Weiteren hat sich das ENSI anhand der eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Vor-Ort-

Kontrollen davon überzeugt, dass die regelmässigen Überprüfungen der Messgeräte durch das Kraftwerkspersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Die erdbebensichere Befestigung der Aerosolmonitore zur Raumabluftüberwachung, die in der Sicherheitstechnischen Stellungnahme zur PSÜ KKM 2005 verlangt wurde, wurde im Berichtsjahr realisiert.

Die Anerkennung der Personendosimetriestelle des KKM wurde mit drei terminierten Auflagen verlängert. Eine Auflage betraf die Überprüfung des Auswertalgorithmus der externen Dosimetrie bei tiefen Gamma- und Röntgenenergien. Die beiden anderen Auflagen betrafen die Temperaturstabilität und die Messunsicherheit des Inkorporationsmessplatzes.

Zusätzlich zu den ENSI-Inspektionen wurden bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an

denen nationale Labors bzw. Messstellen teilnehmen, überprüft:

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Abwasserproben und Aerosol- und Jodfiltern sowie teilweise von Abgasproben zeigten bis auf eine Ausnahme Übereinstimmung mit den Messwerten des KKM. Bei einem Jodfilter, der im Rahmen der Bilanzierung der radioaktiven Abgaben mit der Kaminfortluft eingesetzt wurde, wurde eine Querkontamination festgestellt. Das KKM hat daraufhin die Probenahme verbessert.
- An der vom BAG und vom ENSI 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 eidgenössische Forschungsinstitut für Natur- und Ingenieurwissenschaften. Zusammen mit in- und ausländischen Hochschulen, Instituten, Kliniken und Industriebetrieben arbeitet es in den Bereichen Materialwissenschaften, Elementarteilchen-Physik, Umwelt- und Energieforschung, Biowissenschaften sowie Strahlenmedizin. Der Nullleistungs-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 durch das ENSI beaufsichtigt.

Im Jahr 2009 akkumulierten die 1486 beruflich strahlenexponierten Personen des PSI eine Kollektivdosis von 85,9 Pers.-mSv (2008: 136,3 Pers.-mSv). Davon stammen 11,7 Pers.-mSv aus dem Aufsichtsbereich des ENSI (2008: 25,4 Pers.-mSv); die höchste Individualdosis im Aufsichtsbereich des ENSI betrug 1,1 mSv.

Strahlenschutzinstrumentierung

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

Im Berichtszeitraum hat das PSI die Erneuerung der Fortluftüberwachung des Hochkamins im PSI-Ost in Angriff genommen.

2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)

In der Berichtsperiode wurde im ZZL eine Kollektivdosis von 12,6 Pers.-mSv akkumuliert. Der geschätzte Wert von 30,1 Pers.-mSv wurde dank administrativer und

technischer Massnahmen zum Strahlenschutz deutlich unterschritten.

Die höchste registrierte Einzeldosis betrug 1,1 mSv. Im Berichtsjahr wurden weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen festgestellt. Die durch den Strahlenschutz regelmässig durchgeführten Probenahme zeigten weder auf den Oberflächen noch in der Atemluft Hinweise auf unzulässige Kontaminationen. Zu den im Berichtsjahr ausgeführten und strahlenschutzrelevanten Tätigkeiten des Betriebs des ZZL zählen das Behälterhandling mit Transport- und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente, die Anlieferung radioaktiver Stoffe zur weiteren Verarbeitung im ZZL, die Konditionierung radioaktiver Abfälle sowie die Verbrennungs- und Schmelzkampagnen in der Plasma-Anlage. Bei den Konditionierungsarbeiten konnte ein wesentlicher Teil des angelieferten Materials nach Dekontamination und Ausmessen freigemessen und als konventioneller Abfall entsorgt werden. Das ENSI erteilte im September der Zwiilag die unbefristete Betriebsbewilligung für die Plasma-Anlage.

Sämtliche Tätigkeiten wurden unter Einhaltung der gesetzlichen und internen Strahlenschutzvorgaben erfolgreich durchgeführt. Die Ergebnisse mehrerer ENSI-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'Energie et des Particules (IPEP) und der Ingenieurschule Genf (HEPIA) angehört. Im Jahr 2009 stand der CROCUS-Reaktor Ingenieur- und Physikstudenten der EPFL, Kursteilnehmern der Reaktorschule des PSI sowie Studenten der Ingenieurschule Genf, Studenten des Departements für Maschinenbau und Verfahrenstechnik der ETHZ und

auch Studenten des Swiss Nuclear Engineering Masterkurses der ETHZ/EPFL während 174,5 Stunden bei kleiner Leistung (unter 100 W) für Ausbildungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 283 Wh thermische Energie erzeugt. Das Experiment CARROUSEL steht für Praktika zur Wirkung von Wasser als Neutronenmoderator zur Verfügung. Die Neutronenquelle LOTUS war nicht in Betrieb. Im Berichtjahr, wie schon im Jahr 2008, lagen die Dosen des Personals unterhalb der Nachweisgrenze. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend. Anlässlich einer Inspektion im September 2009 stellte das ENSI fest, dass sich die Anlagen in einem ordentlichen, sauberen und sicherheitstechnisch einwandfreien Zustand befinden und die Vorschriften betreffend Strahlenschutz für das Personal und die Umwelt eingehalten wurden.

2.4 Universität Basel

Der Forschungsreaktor AGN-211-P der Universität Basel dient vorwiegend der Ausbildung von Studenten und der Neutronenaktivierungsanalytik (NAA).

Die Nutzung des Reaktors hat sich gegenüber dem Vorjahr kaum verändert. Im Berichtsjahr betrug die produzierte Energie 36,9 kWh (2008: 23,8 kWh 2007: 36,9 kWh; 2006: 36,6 kWh; 2005: 18 kWh). Neben der Nutzung durch das Kantonale Laboratorium Basel-Stadt zur Qualitätsprüfung von Lebensmitteln wurden Studenten in der NAA ausgebildet und eine Maturarbeit durchgeführt. Die PSI-Reaktorschule nutzte die Anlage im Rahmen ihres erweiterten Ausbildungsprogramms an zwei mehrtägigen Praktika. Zudem wurden bei Strahlenschutzausbildungen Bestrahlungen und radiologische Messungen durchgeführt.

Der Reaktorbetrieb erfolgte im Kalenderjahr 2009 störungsfrei bei einer thermischen Leistung von rund 1 kW. Die Reaktorwasseraktivität wurde überprüft. Dabei wurden keine Abweichungen von den Vorgaben festgestellt. Die Individualdosen sowie die Kollektivdosen des im Reaktor tätigen Personals lagen unterhalb der Nachweisgrenze. Die Abgaben radioaktiver Stoffe über den Luft- und den Abwasserpfad waren unbedeutend. Das ENSI stellte fest, dass die vorgegebenen Betriebsbedingungen und die Vorschriften zum Strahlenschutz für das Personal und die Umwelt im Jahr 2009 eingehalten wurden.

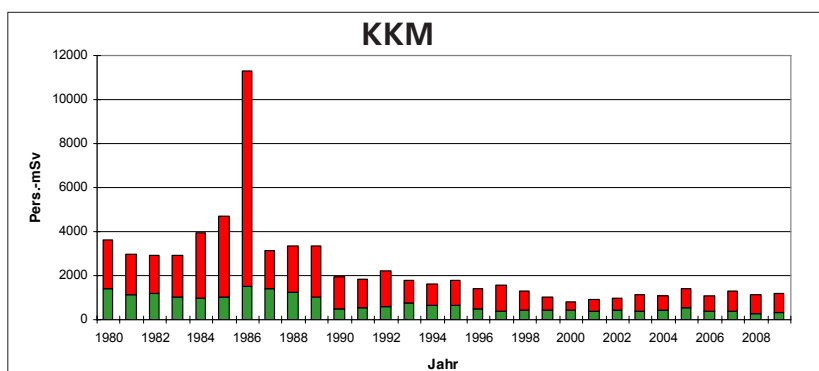
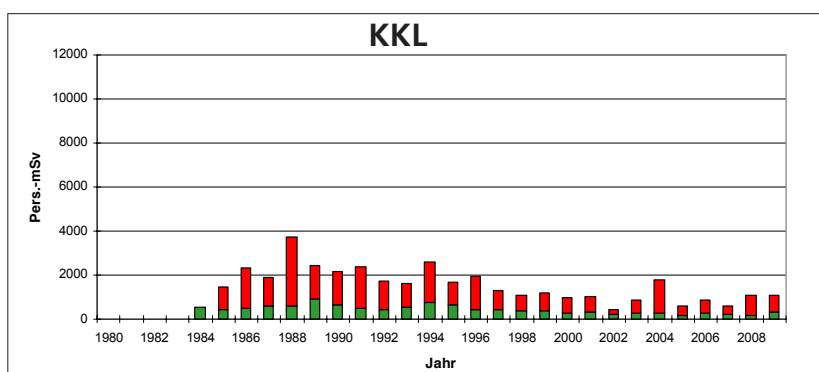
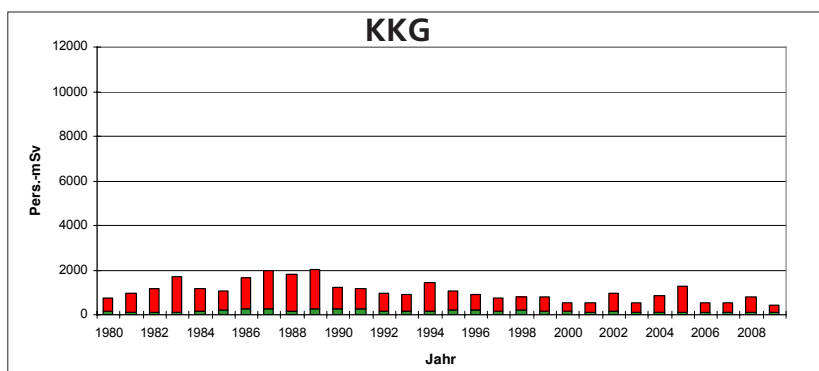
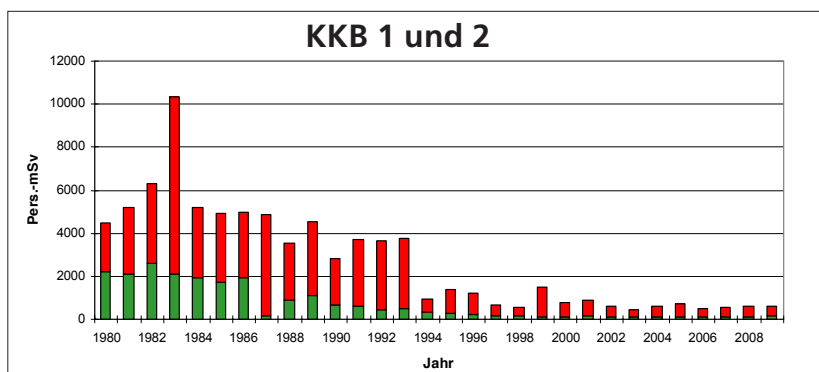
3. Grafische Darstellungen

In der Darstellung A.1 sind die Jahreskollektivdosen der Kernkraftwerke seit 1980 enthalten. Die Darstellung A.2 zeigt den Verlauf der Anzahl Personen mit einer beruf-

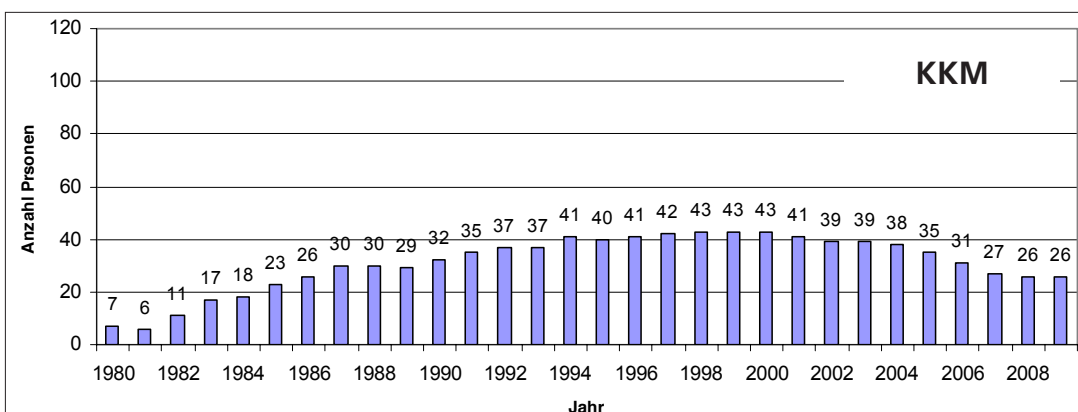
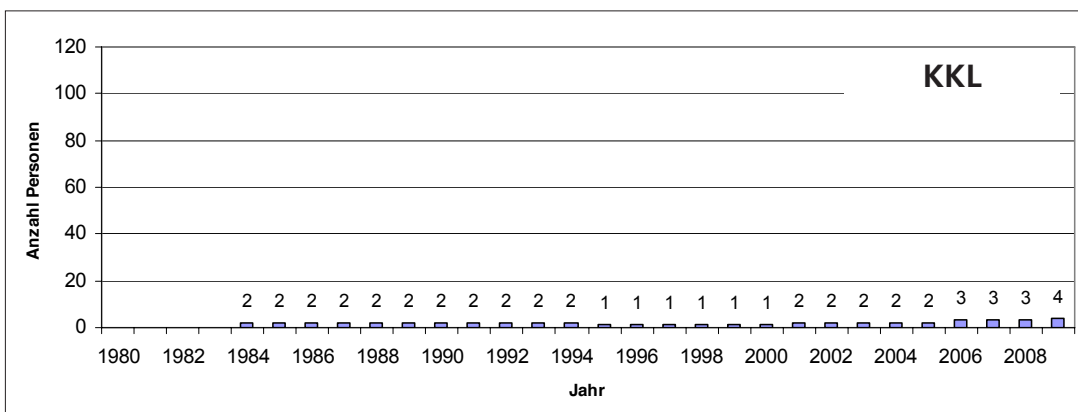
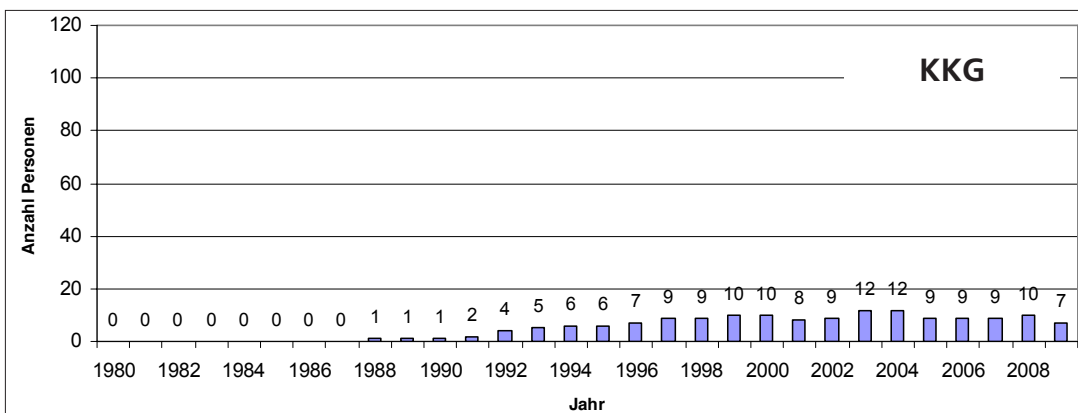
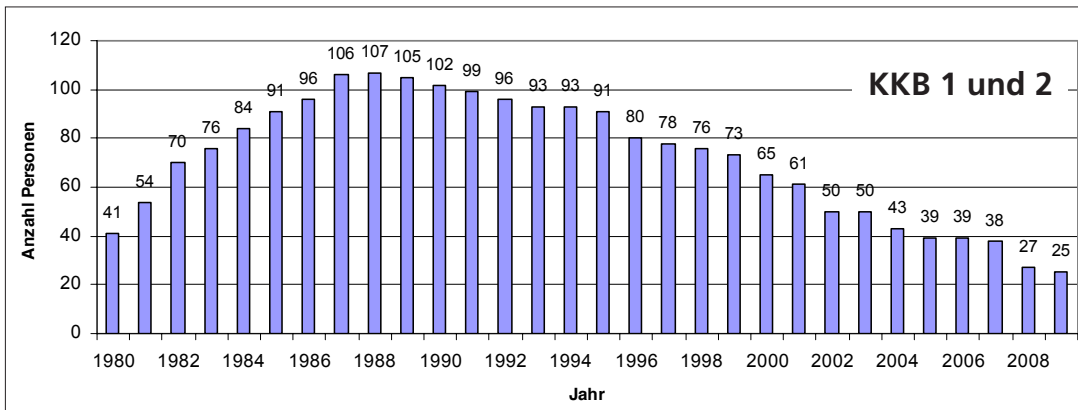
lichen Lebensdosis von mehr als 200 mSv. Darstellung A.3 gibt die Kollektivdosen in den Kernkraftwerken, im ZZL und im PSI seit Inbetriebnahme der Anlagen wieder.

Darstellung A.1:

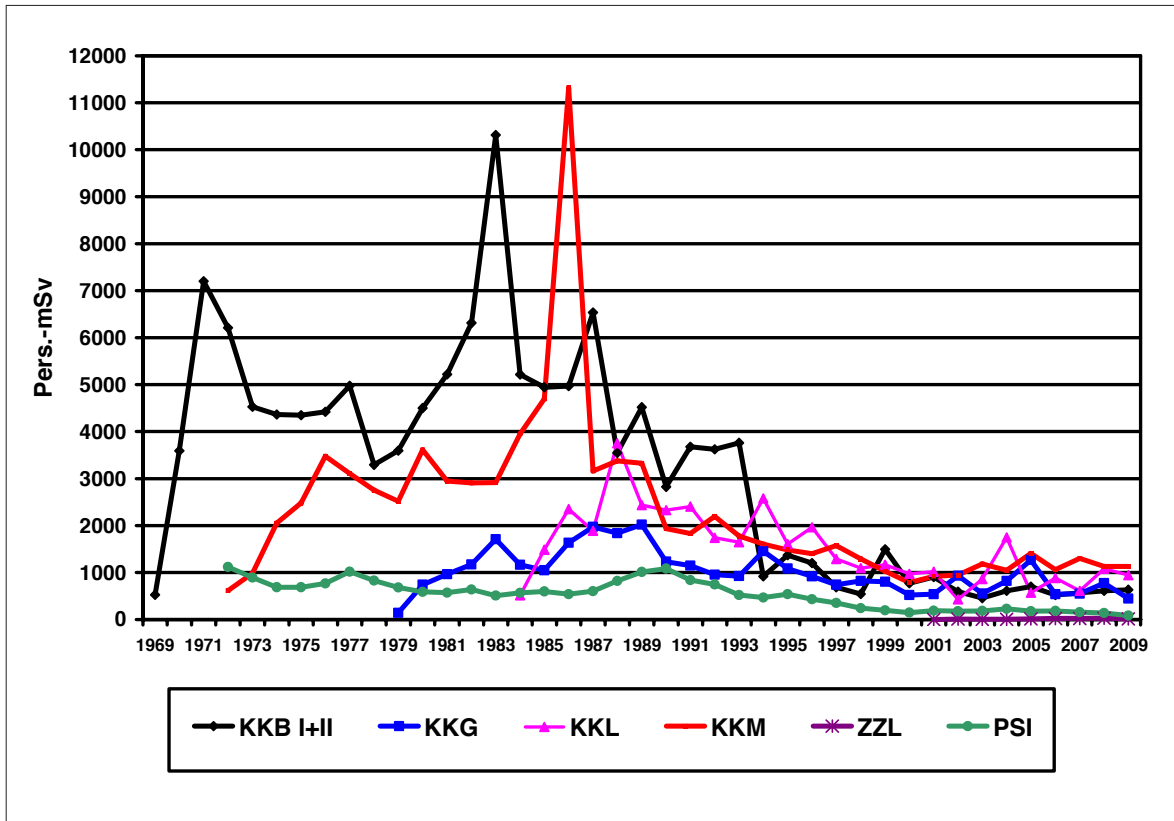
Jahreskollektivdosen (Pers.-mSv) der Kernkraftwerke von 1980 bis 2009. Rot bezeichnet sind die Daten aus den Revisionsstillständen, grün diejenigen aus dem Leistungsbetrieb.



Darstellung A.2: Anzahl Personen mit einer beruflichen Lebensdosis über 200 mSv, Kernkraftwerke, 1980 bis 2009



Darstellung A.3: Entwicklung der Jahreskollektivdosen (Pers.-mSv) in den Kernanlagen, 1968 bis 2009



4. Dosimetrie

4.1 Einleitung

Als zuständige Aufsichtsbehörde hat das ENSI 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» regelt technische Details über die Form und den Umgang mit den zu meldenden Individualdosen und arbeitsspezifischen Kollektivdosen. Aufgabe des ENSI ist es, die Angaben aus den einzelnen Anlagen kritisch zu prüfen, auszuwerten und entsprechend den Vorgaben der Strahlenschutzverordnung an das BAG weiterzuleiten.

Die Strahlenschutzverordnung schreibt vor, dass die maximale Exposition jeder einzelnen beruflich strahlenexponierten Person 20 mSv pro Jahr nicht überschreiten darf. In der Richtlinie ENSI-B02 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. Das ENSI prüft die eingereichten Strahlenschutzplanungen. Somit wird auch der in der Strahlenschutzverordnung verlangten Optimierung der radiologischen Schutzmassnahmen Folge geleistet.

In der Richtlinie ENSI-G15 «Strahlenschutzziele für Kernanlagen» ist für die jährliche Kollektivdosis einer Anlageneinheit (Block) ein Wert von maximal 1500 Pers.-mSv festgelegt. Bei einer Überschreitung dieses Werts prüft das ENSI die Optimierungsmassnahmen des Betreibers im Detail.

Zur Ermittlung der Dosen und zum Nachweis der Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben betreibt jedes Kernkraftwerk eine vom ENSI anerkannte Dosimetriestelle, die die Dosimeter des Eigen- und des Fremdpersonals auswertet und die akkumulierten Dosen registriert. Für

das ZZL übernimmt das KKB diese Aufgabe. Die Neutronendosimetrie wird für alle Anlagen von der Dosimetriestelle des PSI durchgeführt.

4.2 Personendosimetrie

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 Richtlinie ENSI-B02 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 durch Rundungen nicht relevante Ungenauigkeiten.

Für das Jahr 2009 haben die fünf vom ENSI anerkannten Dosimetriestellen (KKB, KKG, KKL, KKM und PSI) insgesamt 6171 beruflich strahlenexponierte Personen mit einer Kollektivdosis von 2865,6 Pers.-mSv gemeldet (Mehrfachbuchungen bereinigt). Die an den Universitäten verwendeten Dosimeter (14 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 dem ENSI akkumuliert wurden.

Tabelle A.1: Zusammenfassung der Kollektivdosen in den schweizerischen Kernanlagen 2009,
Eigen- und Fremdpersonal

Bereich	Anzahl überwachte Personen	Kollektivdosis (Pers.-mSv)
KKB 1 und 2	1165	629.2
KKG	989	447.7
KKL	1689	945.9
KKM	1251	1129.8
ZZL	151	12.6
PSI	1486	85.9
Universitäten	14	0.0
Aufsichtsbereich des ENSI	6171	2865.6

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2009, Anzahl Personen.

Tabelle A.2a: Kernkraftwerke

Dosisverteilung [mSv]	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW ¹⁾		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
0.0 - 1.0	371	609	980	353	488	841	367	1018	1385	225	687	912	1357	2473	3830
> 1.0 - 2.0	44	73	117	23	57	80	48	99	147	44	104	148	146	276	422
> 2.0 - 5.0	24	32	56	30	32	62	31	108	139	56	99	155	118	249	367
> 5.0 - 10.0	4	6	10	3	3	6	5	13	18	15	21	36	20	39	59
> 10.0 - 15.0															
> 15.0 - 20.0															
> 20.0 - 50.0	1	1	2										1	1	2
> 50.0															
Total Personen	444	721	1165	409	580	989	451	1238	1689	340	911	1251	1642	3038	4680
Mittel pro Person [mSv]	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	1.1	0.8	0.9	0.6	0.6	0.6

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 ²⁾	Total Forschung	ZZL			Total KKW EP + FP	Total Kernanlagen und Forschung ¹⁾
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP		
0.0 - 1.0	1044	421	1465	14	1479	50	98	148	3830	5295
> 1.0 - 2.0	16	1	17		17	2	1	3	422	443
> 2.0 - 5.0	4		4		4				367	372
> 5.0 - 10.0									59	59
> 10.0 - 15.0										
> 15.0 - 20.0										
> 20.0 - 50.0									2	2
> 50.0										
Total Personen	1064	422	1486	14	1500	52	99	151	4680	6171
Mittel pro Person [mSv]	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1	0.6	0.5

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

2) EPF Lausanne und Universität Basel

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2009.

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

Dosisverteilung [mSv]	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW ¹⁾		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
0.0 - 1.0	76.6	99.2	175.8	40.6	57.3	97.9	53.5	140.3	193.8	41.2	150.1	191.3	190.8	388.5	579.3
> 1.0 - 2.0	62.5	108.0	170.5	35.5	81.7	117.2	67.4	153.4	220.8	64.7	152.5	217.2	210.5	414.1	624.6
> 2.0 - 5.0	70.7	90.3	161.0	93.3	100.9	194.2	84.4	330.6	415.0	179.2	305.9	485.1	358.2	760.6	1118.8
> 5.0 - 10.0	22.8	35.6	58.4	16.9	21.5	38.4	29.1	87.2	116.3	97.0	139.2	236.2	126.1	257.2	383.3
> 10.0 - 15.0															
> 15.0 - 20.0															
> 20.0 - 50.0	38.0	25.5	63.5										38.0	25.5	63.5
> 50.0															
Total [Pers.-mSv]	270.6	358.6	629.2	186.3	261.4	447.7	234.4	711.5	945.9	382.1	747.7	1129.8	923.6	1845.9	2769.5
Höchste Einzeldosis [mSv]	38.0	25.5	38.0	5.9	8.4	8.4	7.0	9.4	9.4	8.7	9.0	9.0	38.0	25.5	38.0

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

Tabelle A.3b: Kernanlagen und Forschung

Dosisverteilung [mSv]	PSI			Universitäten ²⁾	Total Forschung	ZZL			Total KKW EP und FP	Total Kernanlagen und Forschung ¹⁾
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP		
0.0 - 1.0	42.2	8.3	50.5	0.0	50.5	8.1	1.2	9.3	579.3	633.7
> 1.0 - 2.0	22.2	1.4	23.6		23.6	2.2	1.1	3.3	624.6	652.4
> 2.0 - 5.0	11.8		11.8		11.8				1118.8	1132.7
> 5.0 - 10.0									383.3	383.3
> 10.0 - 15.0										
> 15.0 - 20.0										
> 20.0 - 50.0									63.5	63.5
> 50.0										
Total [Pers.-mSv]	76.2	9.7	85.9	0.0	85.9	10.3	2.3	12.6	2769.5	2865.6
Höchste Einzeldosis [mSv]	3.3	1.4	3.3	0.0	3.3	1.1	1.1	1.1	38.0	38.0

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 Lebensaltersdosen des Eigenpersonals 2009.

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

Tabelle A.4a: Kernanlagen

Dosisverteilung [mSv]	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM	KKW Total	PSI	ZZL	Kernanlagen und PSI Total
> 100 - 150	29	6	13	20	68	6	0	74
> 150 - 200	17	6	5	13	41	2	1	44
> 200 - 250	6	5	3	10	24	1		25
> 250 - 300	7	1	1	6	15	2		17
> 300 - 350	8	1		2	11	1		12
> 350 - 400	2			2	4			4
> 400 - 450				1	1			1
> 450 - 500				1	1			1
> 500 - 550				3	3			3
> 550 - 600	1			1	2			2
> 600	1				1			1
Total Personen	71	19	22	59	171	12	1	184

Tabelle A.4b: Kernanlagen, 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			24	39	11	74
> 150 - 200			5	28	11	44
> 200 - 250			1	14	10	25
> 250 - 300			2	7	8	17
> 300 - 350			1	6	5	12
> 350 - 400				3	1	4
> 400 - 450				1		1
> 450 - 500					1	1
> 500 - 550				1	2	3
> 550 - 600				1	1	2
> 600				1		1
Total Personen	0		33	101	50	184

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2009. Dosismittelwerte, Kollektivdosen und Anzahl Personen nach Alter und Geschlecht.

Tabelle A.5a: Kernanlagen und Forschung (PSI¹), 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	
0.0 - 1.0	28	3	79	5	834	84	1018	92	1433	102	1175	60	363	5	5295
> 1.0 - 2.0	2		6		83	1	105		144		78		23	1	443
> 2.0 - 5.0			6		86	1	82	1	109		74		13		372
> 5.0 - 10.0			2		9		11		20		15		2		59
> 10.0 - 15.0															
> 15.0 - 20.0															
> 20.0 - 50.0									1		1				2
> 50.0															
Total Personen	30	3	93	5	1012	86	1216	93	1707	102	1343	60	401	6	6171
Mittel pro Person [mSv]	0.20	0.07	0.50	0.18	0.56	0.08	0.50	0.06	0.53	0.03	0.44	0.09	0.30	0.22	0.46
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	6.1	0.2	46.6	0.9	568.9	7.0	604.7	5.4	898.7	3.4	597.6	5.5	119.2	1.3	2865.5

Tabelle A.5b: Forschung (PSI¹), 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	
0.0 - 1.0	7	1	12	2	205	71	346	67	353	56	230	37	90	2	1479
> 1.0 - 2.0					3		4		6		1		3		17
> 2.0 - 5.0							4								4
> 5.0 - 10.0															
> 10.0 - 15.0															
> 15.0 - 20.0															
> 20.0 - 50.0															
> 50.0															
Total Personen	7	1	12	2	208	71	354	67	359	56	231	37	93	2	1500
Mittel pro Person [mSv]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.02	0.08	0.01	0.07	0.01	0.05	0.08	0.07	0.00	0.06
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5	1.2	28.1	0.5	23.4	0.5	11.5	3.1	6.1	0.0	85.9

1) Aufsichtsbereich des BAG mit einbezogen

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2009, 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	6		6	1	20	1	58	4	118	5	115	5	32		371
	> 1.0 - 2.0			1		3		15		17		7		1		44
	> 2.0 - 5.0							3		13		7		1		24
	> 5.0 - 10.0					1		1		1		1				4
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0									1						1
	> 50.0															
	Total Personen	6		7	1	24	1	77	4	150	5	130	5	34		444
	Mittel pro Person [mSv]	0.18		0.39	0.40	0.55	0.00	0.68	0.05	0.88	0.22	0.45	0.22	0.20		0.61
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.1		2.7	0.4	13.2	0.0	52.6	0.2	132.6	1.1	58.7	1.1	6.9		270.6
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	3		14	2	106	3	107	3	206	4	118	5	37	1	609
	> 1.0 - 2.0	1		1		17		19		19		13		3		73
	> 2.0 - 5.0			1		11		7		6		6		1		32
	> 5.0 - 10.0					1		2		2		1				6
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0											1				1
	> 50.0															
	Total Personen	4		16	2	135	3	135	3	233	4	139	5	41	1	721
	Mittel pro Person [mSv]	0.38		0.34	0.20	0.60	0.37	0.55	0.00	0.41	0.20	0.61	0.20	0.32	0.00	0.50
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.5	0.0	5.5	0.4	81.4	1.1	74.1	0.0	95.3	0.8	84.3	1.0	13.2	0.0	358.6
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	9		20	3	126	4	165	7	324	9	233	10	69	1	980
	> 1.0 - 2.0	1		2		20		34		36		20		4		117
	> 2.0 - 5.0			1		11		10		19		13		2		56
	> 5.0 - 10.0					2		3		3		2				10
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0									1		1				2
	> 50.0															
	Total Personen	10		23	3	159	4	212	7	383	9	269	10	75	1	1165
	Mittel pro Person [mSv]	0.26		0.36	0.27	0.59	0.28	0.60	0.03	0.60	0.21	0.53	0.21	0.27	0.00	0.54
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	2.6		8.2	0.8	94.6	1.1	126.7	0.2	227.9	1.9	143.0	2.1	20.1	0.0	629.2

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2009, 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		2		2	26	1	70	3	88	11	108	3	40		354
	> 1.0 - 2.0					1	1	6	1	7		6		1		23
	> 2.0 - 5.0					1		8		8		10		3		30
	> 5.0 - 10.0									1		2				3
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen		2		2	28	2	84	4	104	11	126	3	44		410
	Mittel pro Person [mSv]		0.10		0.00	0.29	0.55	0.56	0.40	0.52	0.05	0.49	0.00	0.27		0.45
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.2		0.0	8.2	1.1	46.7	1.6	54.2	0.5	61.8	0.0	12.0		186.3
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		75	2	84	3	155	3	136	3	28	1	494
	> 1.0 - 2.0			2		11		15		16		11		2		57
	> 2.0 - 5.0					8		9		9		5		1		32
	> 5.0 - 10.0									1		2				3
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen			6		94	2	108	3	181	3	154	3	31	1	586
	Mittel pro Person [mSv]			0.63		0.51	0.05	0.55	0.00	0.39	0.00	0.46	0.00	0.26	0.00	0.45
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]			3.8		48.1	0.1	59.8	0.0	70.6	0.0	71.0	0.0	8.0	0.0	261.4
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		2	6		101	3	154	6	243	14	244	6	68	1	848
	> 1.0 - 2.0			2		12	1	21	1	23		17		3		80
	> 2.0 - 5.0					9		17		17		15		4		62
	> 5.0 - 10.0									2		4				6
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen		2	8		122	4	192	7	285	14	280	6	75	1	996
	Mittel pro Person [mSv]		0.10	0.48		0.46	0.30	0.55	0.23	0.44	0.04	0.47	0.00	0.27	0.00	0.45
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.2	3.8		56.3	1.2	106.5	1.6	124.8	0.5	132.8	0.0	20.0	0.0	447.7

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2009, Fortsetzung.

Tabelle A.8: Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)

Eigenpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	2		5	1	19		59	3	85	14	143	5	30	1	367
	> 1.0 - 2.0					6		17		6		17		2		48
	> 2.0 - 5.0			1		4		5		9		12				31
	> 5.0 - 10.0									2		3				5
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	2		6	1	29		81	3	102	14	175	5	32	1	451
	Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.50	0.10	0.86		0.61	0.00	0.53	0.05	0.54	0.00	0.24	0.00	0.52
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		3.0	0.10	24.9	0.0	49.4	0.0	54.5	0.7	94.0	0.0	7.8	0.0	234.4
Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	8		28	1	264	5	172	5	286	5	176	4	63	1	1018
	> 1.0 - 2.0			3		33		23		27		9		4		99
	> 2.0 - 5.0			1		33	1	31		27		14		1		108
	> 5.0 - 10.0					2		5		4		1		1		13
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	8		32	1	332	6	231	5	344	5	200	4	69	1	1238
	Mittel pro Person [mSv]	0.28		0.38	0.00	0.65	0.47	0.82	0.04	0.52	0.00	0.43	0.08	0.32	0.00	0.57
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	2.2		12.1	0.0	216.8	2.8	188.7	0.2	180.2	0.0	86.1	0.3	22.1	0.0	711.5
Eigen- und Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	10		33	2	283	5	231	8	371	19	319	9	93	2	1385
	> 1.0 - 2.0			3		39		40		33		26		6		147
	> 2.0 - 5.0			2		37	1	36		36		26		1		139
	> 5.0 - 10.0					2		5		6		4		1		18
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	10		38	2	361	6	312	8	446	19	375	9	101	2	1689
	Mittel pro Person [mSv]	0.22		0.40	0.05	0.67	0.47	0.76	0.03	0.53	0.04	0.48	0.03	0.30	0.00	0.56
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	2.2		15.1	0.1	241.7	2.8	238.1	0.2	234.7	0.7	180.1	0.3	29.9	0.0	945.9

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2009, 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			3		17	2	38	5	72	2	58	1	27		225
	> 1.0 - 2.0					5		8		18		7		5	1	44
	> 2.0 - 5.0					1		8	1	22		18		6		56
	> 5.0 - 10.0					3		2		7		3				15
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen			3		26	2	56	6	119	2	86	1	38	1	340
	Mittel pro Person [mSv]			0.33		1.28	0.00	1.09	0.52	1.32	0.00	1.11	0.00	0.77	1.30	1.12
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]			1.0		33.3	0.0	60.8	3.1	157.4	0.0	95.8	0.0	29.4	1.3	382.1
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	3		8		145	4	142	1	184	9	145	4	41	1	687
	> 1.0 - 2.0	1		1		19		16		46		20		1		104
	> 2.0 - 5.0			3		32		18		28		13		5		99
	> 5.0 - 10.0			2		3		3		6		6		1		21
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	4		14		199	4	179	1	264	9	184	4	48	1	911
	Mittel pro Person [mSv]	0.38		1.60		0.93	0.28	0.75	0.30	0.88	0.01	0.76	0.00	0.63	0.00	0.82
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.5		22.4		186.0	1.1	134.5	0.3	231.8	0.1	139.6	0.0	30.4	0.0	747.7
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	3		11		162	6	180	6	256	11	203	5	68	1	912
	> 1.0 - 2.0	1		1		24		24		64		27		6	1	148
	> 2.0 - 5.0			3		33		26	1	50		31		11		155
	> 5.0 - 10.0			2		6		5		13		9		1		36
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	4		17		225	6	235	7	383	11	270	5	86	2	1251
	Mittel pro Person [mSv]	0.38		1.38		0.97	0.18	0.83	0.49	1.02	0.01	0.87	0.00	0.70	0.65	0.90
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.5		23.4		219.3	1.1	195.3	3.4	389.2	0.1	235.4	0.0	59.8	1.3	1129.8

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2009, 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	8	2	16	2	84	5	233	16	376	32	438	14	130	1	1357
	> 1.0 - 2.0			1		14		43		43		33		11	1	146
	> 2.0 - 5.0			1		6		19	1	45		39		7		118
	> 5.0 - 10.0					3		2		9		6				20
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0									1						1
	> 50.0															
	Total Personen	8	2	18	2	107	5	297	17	474	32	516	14	148	2	1642
	Mittel pro Person [mSv]	0.11	0.10	0.37	0.25	0.67	0.16	0.60	0.26	0.74	0.06	0.50	0.08	0.33	0.65	0.56
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.9	0.2	6.6	0.5	71.8	0.8	176.8	4.4	351.5	2.0	256.6	1.1	49.0	1.3	923.5
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	14		54	3	551	10	439	8	713	15	503	12	149	2	2473
	> 1.0 - 2.0	2		5		67	1	57		92		43		9		276
	> 2.0 - 5.0			5		79	1	59		64		35		6		249
	> 5.0 - 10.0			2		6		9		11		9		2		39
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0											1				1
	> 50.0															
	Total Personen	16		66	3	703	12	564	8	880	15	591	12	166	2	3038
	Mittel pro Person [mSv]	0.33		0.61	0.13	0.69	0.42	0.71	0.06	0.59	0.06	0.56	0.11	0.39	0.00	0.61
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	5.2		40.0	0.4	485.5	5.0	398.1	0.5	516.8	0.9	328.1	1.3	64.1	0.0	1845.9
Eigen- und Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	22	2	70	5	635	15	672	24	1089	47	941	26	279	3	3830
	> 1.0 - 2.0	2		6		81	1	100		135		76		20	1	422
	> 2.0 - 5.0			6		85	1	78	1	109		74		13		367
	> 5.0 - 10.0			2		9		11		20		15		2		59
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0									1		1				2
	> 50.0															
	Total Personen	24	2	84	5	810	17	861	25	1354	47	1107	26	314	4	4680
	Mittel pro Person [mSv]	0.25	0.10	0.55	0.18	0.69	0.34	0.67	0.20	0.64	0.06	0.53	0.09	0.36	0.33	0.59
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	6.1	0.2	46.6	0.9	557.3	5.8	574.9	4.9	868.3	2.9	584.7	2.4	113.1	1.3	2769.4

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2009, Fortsetzung.

Tabelle A.11: Zentrales Zwischenlager (ZZL)

Eigenpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0					1		15	2	21		10		1		50
	> 1.0 - 2.0									2						2
	> 2.0 - 5.0															
	> 5.0 - 10.0															
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen					1		15	2	23		10		1		52
	Mittel pro Person [mSv]					0.10		0.19	0.00	0.32		0.00		0.00		0.20
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]					0.1		2.9	0.0	7.3		0.0		0.0		10.3
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		14	1	27	1	24		27		2		98
	> 1.0 - 2.0											1				1
	> 2.0 - 5.0															
	> 5.0 - 10.0															
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen			2		14	1	27	1	24		28		2		99
	Mittel pro Person [mSv]			0.00		0.01	0.00	0.02	0.00	0.00		0.05		0.10		0.02
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]			0.0		0.1	0.0	0.5	0.0	0.1		1.4		0.2		2.3
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		15	1	42	3	45		37		3		148
	> 1.0 - 2.0									2		1				3
	> 2.0 - 5.0															
	> 5.0 - 10.0															
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen			2		15	1	42	3	47		38		3		151
	Mittel pro Person [mSv]			0.00		0.01	0.00	0.08	0.00	0.16		0.04		0.07		0.08
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]			0.0		0.2	0.0	3.4	0.0	7.4		1.4		0.2		12.6

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2009, 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	8	2	16	2	85	5	248	18	397	32	448	14	131	1	1407
	> 1.0 - 2.0			1		14		43		45		33		11	1	148
	> 2.0 - 5.0			1		6		19	1	45		39		7		118
	> 5.0 - 10.0					3		2		9		6				20
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0									1						1
	> 50.0															
	Total Personen	8	2	18	2	108	5	312	19	497	32	526	14	149	2	1694
	Mittel pro Person [mSv]	0.11	0.10	0.37	0.25	0.67	0.16	0.58	0.23	0.72	0.06	0.49	0.08	0.33	0.65	0.55
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.9	0.2	6.6	0.5	71.9	0.8	179.7	4.4	358.8	2.0	256.6	1.1	49.0	1.3	933.8
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	14		56	3	560	11	454	9	729	15	517	12	150	2	2532
	> 1.0 - 2.0	2		5		67	1	57		92		44		9		277
	> 2.0 - 5.0			5		79	1	59		64		35		6		249
	> 5.0 - 10.0			2		6		9		11		9		2		39
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0											1				1
	> 50.0															
	Total Personen	16		68	3	712	13	579	9	896	15	606	12	167	2	3098
	Mittel pro Person [mSv]	0.33		0.59	0.13	0.68	0.38	0.69	0.06	0.58	0.06	0.54	0.11	0.39	0.00	0.60
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	5.2		40.0	0.4	485.6	5.0	398.6	0.5	516.9	0.9	329.5	1.3	64.3	0.0	1848.2
Eigen- und Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	22	2	72	5	645	16	702	27	1126	47	965	26	281	3	3939
	> 1.0 - 2.0	2		6		81	1	100		137		77		20	1	425
	> 2.0 - 5.0			6		85	1	78	1	109		74		13		367
	> 5.0 - 10.0			2		9		11		20		15		2		59
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0									1		1				2
	> 50.0															
	Total Personen	24	2	86	5	820	18	891	28	1393	47	1132	26	316	4	4792
	Mittel pro Person [mSv]	0.25	0.10	0.54	0.18	0.68	0.32	0.65	0.18	0.63	0.06	0.52	0.09	0.36	0.33	0.58
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	6.1	0.2	46.6	0.9	557.5	5.8	578.3	4.9	875.7	2.9	586.1	2.4	113.3	1.3	2782.0

Verteilung der Extremitätendosen 2009.

Tabelle A.13: Kernanlagen und Forschung (PSI)

Dosisverteilung	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW			PSI			ZZL			Summe Kernanlagen und PSI
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	
0 - 25	8	1	9	4	6	10	1	5	6	6	4	10	19	16	35	77	2	79	0	0	0	114
> 25 - 50																						
> 50 - 75																						
> 75 - 100																						
> 100 - 125																						
> 125 - 150																						
> 150 - 175																						
> 175 - 200																						
> 200 - 300																						
> 300 - 400																						
> 400 - 500																						
> 500																						
Total Personen	8	1	9	4	6	10	1	5	6	6	4	10	19	16	35	77	2	79	0	0	0	114

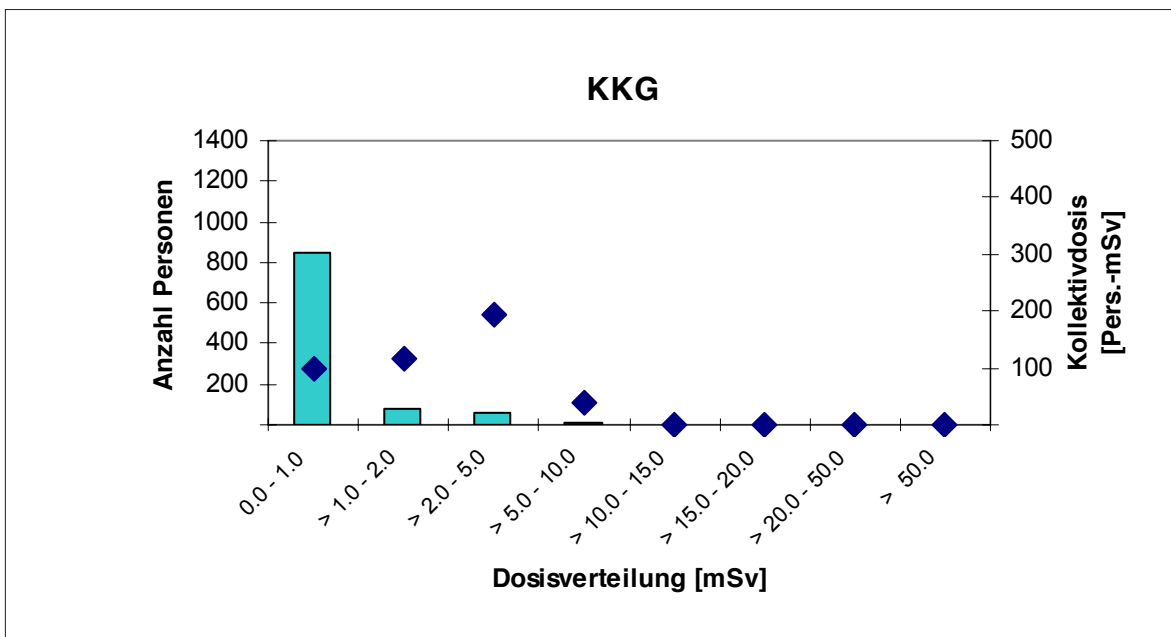
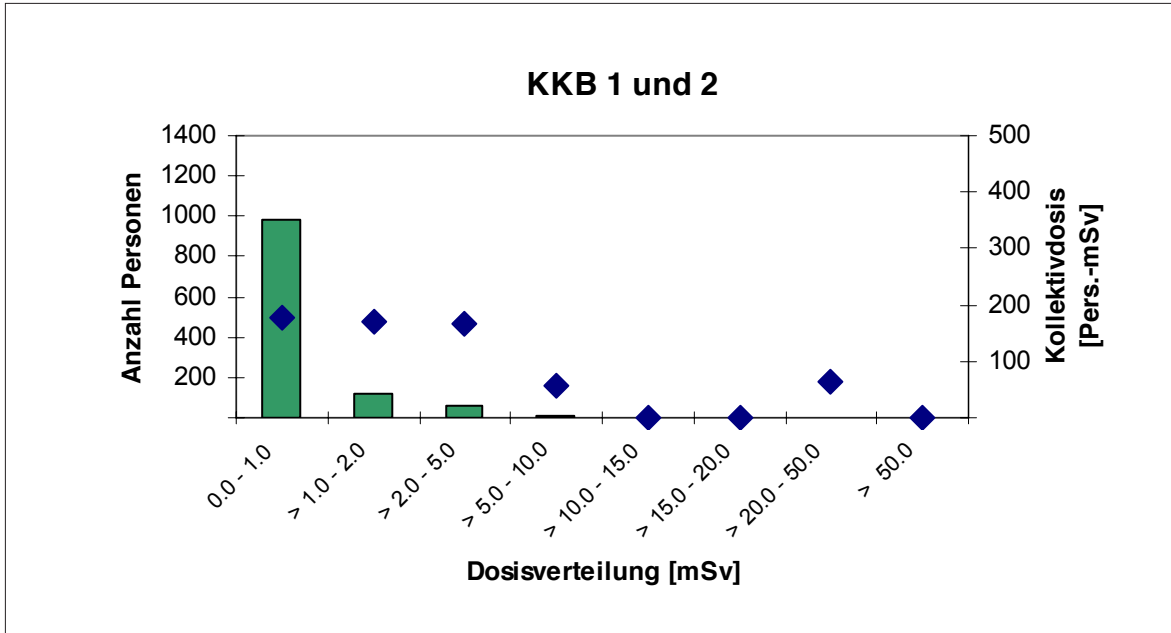
Folgedosis E₅₀ des beruflich strahlenexponierten Personals durch Inkorporationen.

Tabelle A.14: Kernanlagen und Forschung (PSI), Anzahl Personen

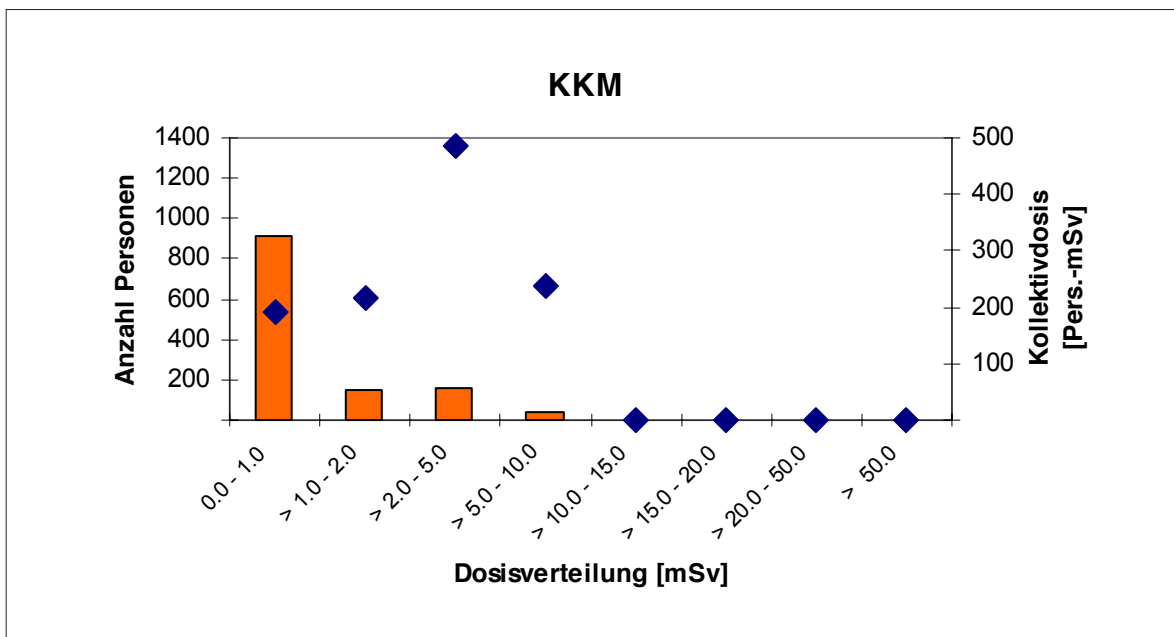
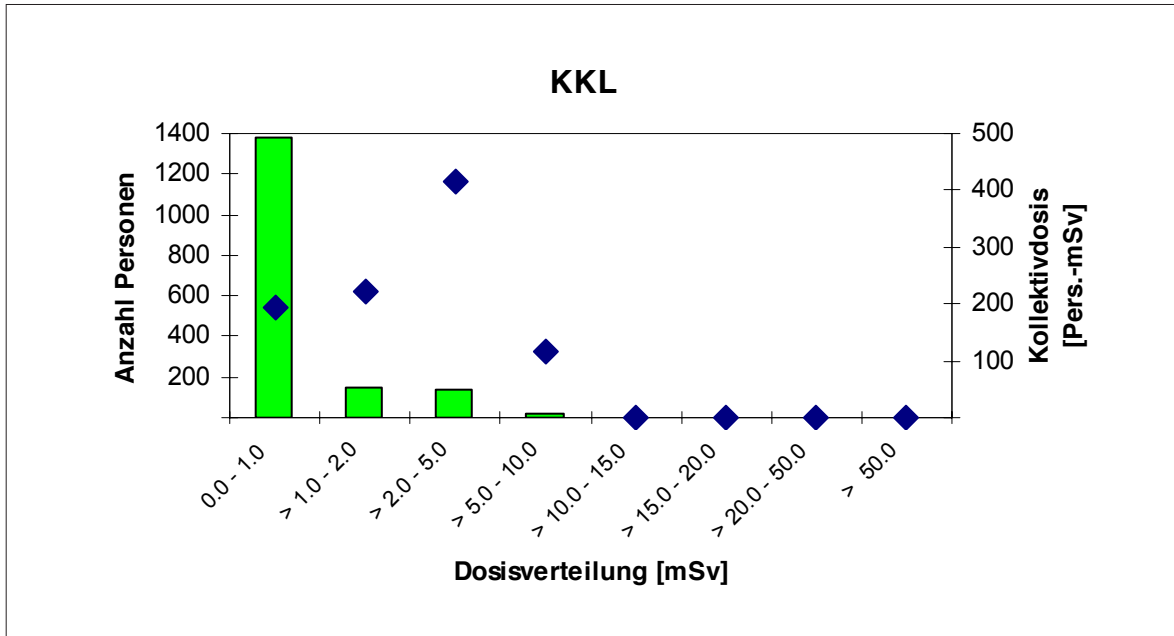
Folgedosis E ₅₀ Dosisverteilung	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW			PSI			ZZL			Summe Kernanlagen und PSI
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	
< = 1.0	393	661	1054	352	553	905	468	1290	1758	340	911	1251	1553	3415	4968	251	17	268	54	102	156	5392
> 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	393	661	1054	352	553	905	468	1290	1758	340	911	1251	1553	3415	4968	251	17	268	54	102	156	5392

Kollektivdosen und Anzahl dosimetrierter Personen 2009.

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



Kollektivdosen und Anzahl dosimetrierter Personen 2009, Fortsetzung.



Messmethoden der Personendosimetriestellen im Aufsichtsbereich des ENSI 2009.

Tabelle A.15: Vom ENSI anerkannte Personendosimetriestellen und deren Messmethoden

Messstelle	Überwachung der äusseren Bestrahlung									Überwachung der Inkorporationen								
	Ganzkörper			Haut			Extremitäten			Ganzkörperzähler			Schilddrüse			Urin		
	r ¹⁾	m ²⁾	a ³⁾	r ¹⁾	m ²⁾	a ³⁾	r ¹⁾	m ²⁾	a ³⁾	r ¹⁾	m ²⁾	a ³⁾	r ¹⁾	m ²⁾	a ³⁾	r ¹⁾	m ²⁾	a ³⁾
PSI	β, γ, x β, γ, x n	TLD / DIS Cr-39	1486 1122	β, γ, x β, γ, x	TLD / DIS	1486	β, γ, x	TLD	79	γ	Ge	264	γ, x	Nal	12	α, β γ, x	LSC / Nal Ge	11
KKB 1 und 2	β, γ, x	DIS	1165	β, γ, x	DIS	1165	β, γ, x	TLD	9	γ	Nal	1054	γ	Nal	1054			
KKG	γ	TLD	989	γ	TLD	989				γ	PSC	905	γ	PSC	905			
KKL	β, γ	TLD	1761	β, γ	TLD	1761	β, γ	TLD	6	γ	Nal	1758	γ	Nal	1758	β, γ	Ge	0
KKM	γ	TLD	1251	β, γ	TLD	1251	γ	TLD	11	γ	Nal	1251	γ	Nal	1251			
ZZL ⁴⁾	γ	DIS	150	β, γ, x	DIS	150	γ	TLD		γ	Nal	156	γ	Nal	156			

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

²⁾ m = Messmethode: TLD = Thermolumineszenzdosimeter
 DIS = Direct Ion Storage
 Cr-39 = Spaltspurdosimeter
 LSC = Flüssigkeitsszintillator
 Ge = Reinstgermanium-Detektor
 Nal = Nal (TI)-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 2009 in Prozent

Jahr	Relative Aufteilung der Jahreskollektivdosen [%]									
	KKB 1 und 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	4	96	13	87	33	67	44	56	21	79
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	36	64	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	29	71
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
2008	18	82	11	89	15	85	22	78	17	83
2009	22	78	27	73	30	70	29	71	28	72

Tabelle A.17: Aufteilung der Kollektivdosen auf Betrieb und Revisionsstillstand 1980 bis 2009 in Pers.-mSv

Jahr	Aufteilung der Jahreskollektivdosen [Pers.-mSv]									
	KKB 1 und 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
2008	108	501	88	686	157	924	249	881	602	2992
2009	141	489	122	326	321	745	346	862	930	2422

Zusammenstellung der Kollektivdosen, Fortsetzung.

Tabelle A.18: Kollektivdosen der Kernkraftwerke 2009

Anlage	KKB 1 + 2	KKG	KKL	KKM	Total
Pers.-mSv	629.2	447.7	945.9	1129.8	2769.5

Jahreskollektivdosen

Anlage	KKB 1 + 2	KKG	KKL	KKM	Total
Pers.-mSv	488.9	325.6	745.1	862.1	2421.7

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 Person [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
2008	1454	136.3	0.1
2009	1486	85.9	0.1

Tabelle A.20: Zentrales Zwischenlager (ZZL), Kollektivdosis des dosimetrierten Personals 2009

Kalender-jahr	Eigenpersonal			Fremdpersonal			Total		
	Anzahl Personen	Kollektiv-dosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person [mSv]	Anzahl Personen	Kollektiv-dosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person [mSv]	Anzahl Personen	Kollektiv-dosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person [mSv]
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
2008	50	19.9	0.4	77	7.2	0.1	127	27.1	0.2
2009	52	10.3	0.2	99	2.3	0.0	151	12.6	0.1

4.3 Jobdosimetrie

Die Jobdosimetrie dient der Optimierung von Arbeiten im Hinblick auf den Strahlenschutz. Eine Arbeit in einem bestimmten Jahr kann mit der gleichen Arbeit in früheren Jahren verglichen werden. Daraus ergeben sich wertvolle Erkenntnisse für den Strahlenschutz, 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 Personendosimeter (EPD) hinsichtlich der 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 Kernanla-

ge 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 aufgrund der Möglichkeiten ihrer Systeme vorgenommen. Daher ist es möglich, dass bestimmte Kernkraftwerke zu einzelnen Kategorien oder Aufteilungen keine Informationen liefern.

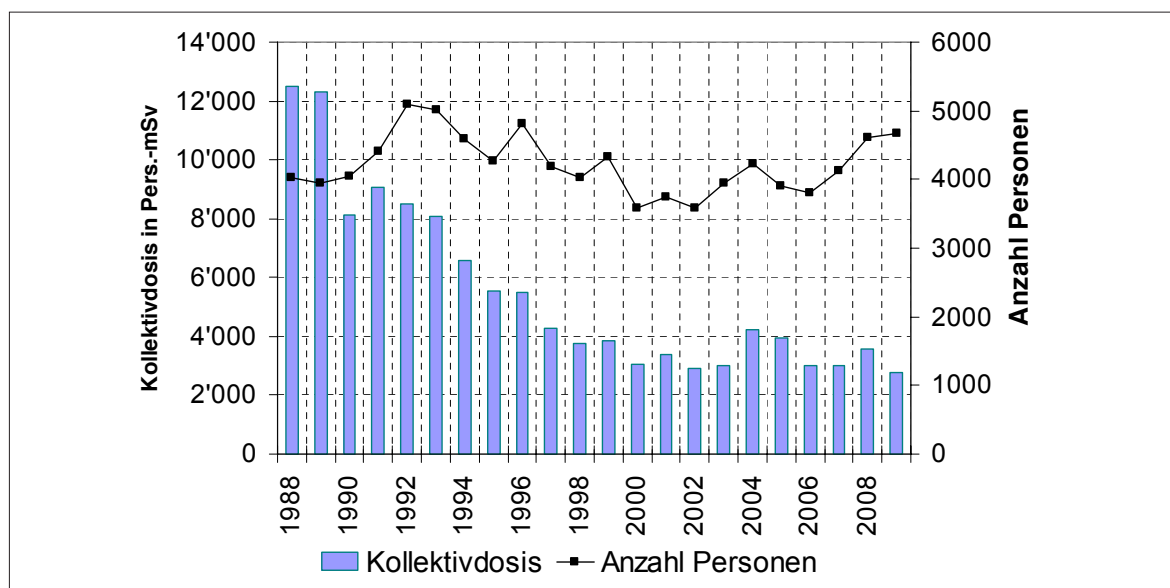
Die Kernkraftwerke in der Schweiz sind aufgrund ihrer Konstruktion (Siede- oder Druckwasseranlage) sowie ihres Alters nur bedingt miteinander vergleichbar. Zudem werden die Jobdosen unterschiedlich ermittelt und der Aufwand für Arbeiten im Strahlenfeld variiert in jeder Anlage von Jahr zu Jahr. Aussagen 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 jedoch 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	4 035
1989	12 310	3 941
1990	8 150	4 040
1991	9 056	4 402
1992	8 500	5 084
1993	8 100	5 011
1994	6 559	4 595
1995	5 535	4 268
1996	5 487	4 818
1997	4 297	4 186
1998	3 744	4 031
1999	3 859	4 326
2000	3 068	3 586
2001	3 380	3 745
2002	2 922	3 580
2003	3 013	3 937
2004	4 236	4 221
2005	3 946	3 913
2006	3 009	3 815
2007	3 018	4 127
2008	3 583	4 603
2009	2 770	4 680

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



Grafische Darstellung der Werte aus Tabelle A.21

Verhältnis zwischen Dosisaufwand und Energieerzeugung.

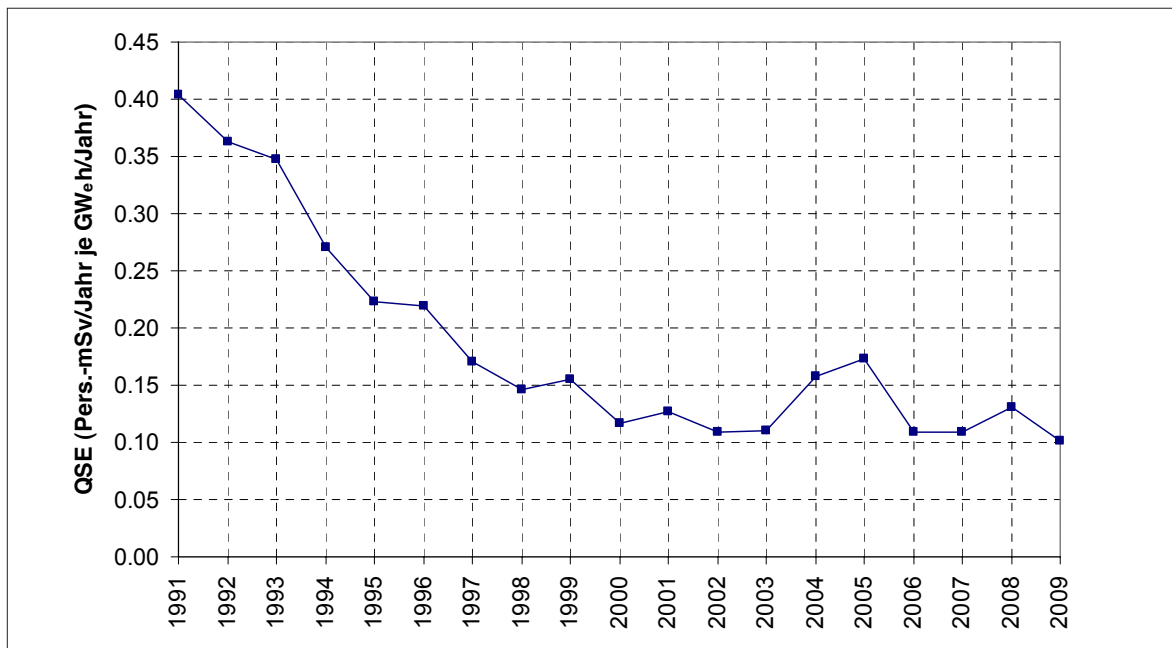
Tabelle A.22: Entwicklung des Verhältnisses Kollektivdosis in Pers.-mSv zur erzeugten elektrischen Bruttoenergie (QSE) über alle Kraftwerke

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
2008	3583	27528.0	0.130
2009	2770	27514.0	0.101

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 des QSE in den Jahren 2004 und 2005 wurde durch umfangreiche und dosisintensive Revisionsarbeiten im KKL und im KKG sowie durch die verlängerte Abstimmung der Anlage KKL im Jahr 2005 verursacht.

Vergleich von TLD/DIS- und EPD-Daten.

Die elektronischen Personendosimeter (EPD) liefern Messwerte, die von TLD- und DIS-Messwerten der behördlich anerkannten Personendosimetriestellen abweichen können. Diese Unterschiede sind für die einzelnen Anlagen nicht identisch, weil sie vom EPD-Typ sowie von den Eigenschaften des Strahlenfeldes abhängig sind. Ausserdem führt die Rundung bei den anerkannten Dosimetern im niedrigsten Dosisbereich zu geringeren Kollektivdosen gegenüber dem EPD, bei dem nicht gerundet wird.

Tabelle A.23: Zusammenstellung der mit EPD und den mit Dosimetern der anerkannten Dosimetriestellen ermittelten Kollektivdosen für das Kalenderjahr 2009

Werk	TLD* /DIS (Pers.-mSv)	EPD* (Pers.-mSv)	Verhältnis EPD zu TLD*/DIS
KKB 1 und 2**	EP 271		
	FP 359		
	Summe 630		
KKG**	EP 186		
	FP 261		
	Summe 448		
KKL***	EP 234	EP 288	EP 1.23
	FP 712	FP 778	FP 1.09
	Summe 946	Summe 1066	EP und FP 1.13
KKM	EP 382	EP 377	EP 0.99
	FP 748	FP 831	FP 1.11
	Summe 1130	Summe 1208	EP und FP 1.07

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 EPD basieren. Im Berichtsteil zu den Jobdosen erscheinen, wenn nicht anders vermerkt, auf TLD umgerechnete EPD-Dosen.
- ** KKB und KKG melden sämtliche Dosen als TLD/DIS-Dosen, wobei werksintern für die Ermittlung der Werte EPD-Daten herangezogen werden. Die anerkannte Dosimetriestelle des KKB verwendet DIS-Dosimeter.
- *** Das KKL hat festgestellt, dass der Quotient EPD/TLD signifikant von der Betriebsart (Leistungsbetrieb oder Revisionsstillstand) abhängt. Begründet wird dies durch eine im Leistungsbetrieb aus ¹⁶N entstehende hochenergetische Gammastrahlenkomponente, die von den EPDs überhöht angezeigt wird. Die einzelnen Quotienten für den Revisionsstillstand und den Leistungsbetrieb liegen bei 1,11 und 1,3.

Kollektivdosen in den einzelnen Betriebsphasen.

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

Betriebsphasen	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM
Leistungsbetrieb	141	122	321	346
Geplanter Stillstand	489	326	745	862
Ungeplante Stillstände	-	-	-	-
Summe	630	448	1067	1208

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

Personengruppe	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM
Strahlenschutz/Chemie	72	31	105	96
Reinig./Dekontamination	45	28	63	93
Mechanik	39	82	654	564
Elektrotechnik	11	12	63	46
Brennstoff	62	14	29	1
Gerüstbau	30	0	28	33
Isoleure	8	0	14	107
Betrieb (Schicht)	0	34	87	27
Behörden (SVTI, ENSI)	0	6	7	6
Übrige	306	242	18	236
Abschirmungen	7	0	0	0
Ausserordent. Unterhalt	50	0	0	0
Summe	630	448	1067	1208

Darstellung A.5: Kollektivdosisanteile in Prozent

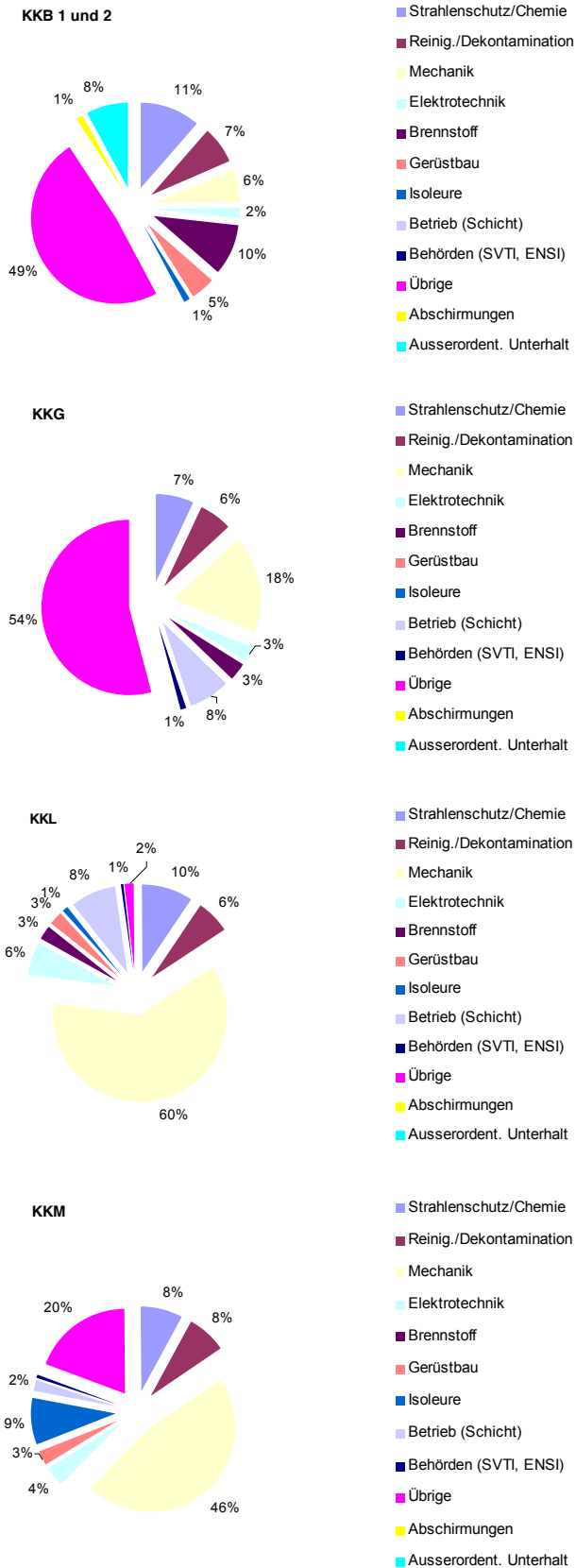


Tabelle A.26: Kollektivdosisanteile verschiedener Arbeitsbereiche im Leistungsbetrieb (Pers.-mSv pro KKW im Berichtsjahr)

Personengruppen	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM
Strahlenschutz/Chemie	0	18	41	35
Reinigung / Dekontamination	0	17	30	35
Mechanik	0	11	129	96
Elektrotechnik	0	0	22	19
Brennstoff	0	13	9	0
Gerüstbau	0	0	9	7
Isloeuere	0	0	4	2
Betrieb (Schicht)	0	23	63	24
Behörden (SVTI / ENSI)	0	0	2	2
Übrige Personengruppen	141	40	13	126
Abschirmungen	0	0	0	0
Ausserordent. Unterhalt	0	0	0	0
Summe	141	122	321	346

KKB bestimmte während des Leistungsbetriebs keine Jobdosen.

Darstellung A.6: Kollektivdosisanteile im Leistungsbetrieb in Prozent

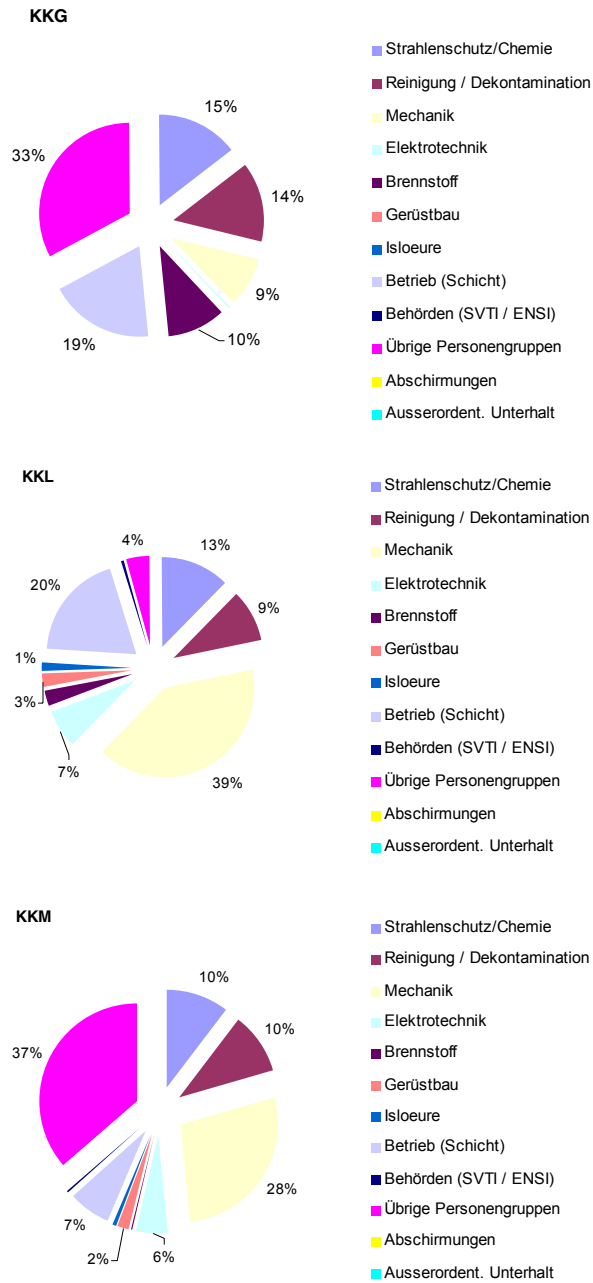
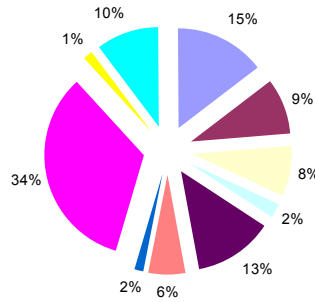


Tabelle A:27: Kollektivdosisanteile verschiedener Arbeitsbereiche; geplanter Stillstand (Pers.-mSv pro KKW im Berichtsjahr)

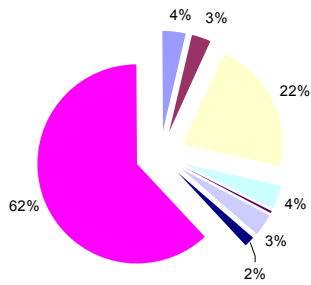
Personengruppe	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM
Strahlenschutz/Chemie	72	12	65	61
Reinigung / Dekontamination	45	10	33	58
Mechanik	39	71	525	468
Elektrotechnik	11	12	41	27
Brennstoff	62	2	20	0
Gerüstbau	30	0	19	25
Isoleure	8	0	10	106
Betrieb (Schicht)	0	11	25	4
Behörden (SVTI / ENSI)	0	6	5	4
Übrige Personengruppen	165	202	4	110
Abschirmungen	7	0	0	0
Ausserordent. Unterhalt	50	0	0	0
Summe	489	326	745	862

Darstellung A.7: Kollektivdosisanteile; geplanter Stillstand

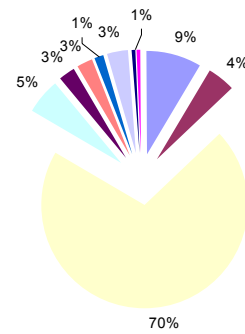
KKB 1 und 2



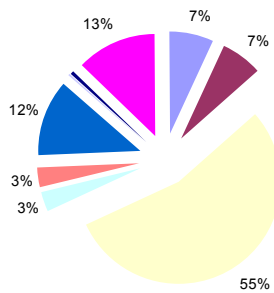
KKG



KKL



KKM



4.4 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen

Die Kollektivdosis konnte in den vergangenen Jahren stetig reduziert werden. Zudem haben sich über die Jahre die Jahreskollektivdosen der älteren Anlagen denen der neueren angenähert, weil in älteren Anlagen die Kollektivdosen stärker reduziert werden konnten als in den neueren. Wenn während der Jahresrevisionen umfangreiche Systemänderungen vorgenommen wurden, kann eine neuere Anlage eine höhere Jahreskollektivdosis aufweisen.

Der Quotient aus Dosis pro erzeugter elektrischer Energie QSE ist in den vergangenen Jahren wegen der erreichten Dosisreduktionen, der zeitlich verkürzten Stillstände und aufgrund der Leistungserhöhungen stetig gefallen. Gegenwärtig erfolgt eine Stabilisierung bei 0,1 Pers.-mSv pro GWh_{el.}, der im Jahr 2009 erreichte Wert liegt bei 0,101 Pers.-mSv pro GWh_{el.}

Ähnlich verhält es sich mit den mittleren Individualdosen. Über die letzten Jahre konnten die mittleren Individualdosen um rund einen Faktor 2 gesenkt werden, während sich die Zahl der beruflich strahlenexponierten Personen über einige Jahre konstant verhielt, aktuell aber wieder steigende Tendenz zeigt. Die mittleren Expositionen des Personals in den Kernanlagen liegen heute im Bereich des Jahresgrenzwertes für nichtberuflich strahlenexponierte Personen von 1 mSv pro Jahr oder sogar deutlich darunter. Abgesehen von den mittleren Individualdosen bieten maximale Individualdosen, die von einigen Spezialisten an Arbeitsorten mit relativ hoher Ortsdosisleistung akkumuliert werden können, eine stete Herausforderung für den operationellen Strahlenschutz. Im Berichtsjahr wurde der Jahresgrenzwert für die Individualdosis des beruflich strahlenexponierten Personals im Aufsichtsbereich des ENSI zum ersten Mal seit Inkrafttreten der Strahlenschutzverordnung im Jahr 1994 durch eine ungeplante Exposition von zwei Mitarbeitern überschritten.

Die zuständige Aufsichtsbehörde ENSI bewertet den Strahlenschutz in den schweizerischen Kernanlagen, nicht zuletzt aus dem gewonnenen Eindruck bei Inspektionen vor Ort, weiterhin als gut. Die Optimierungsanstrengungen, die seit den 90er-Jahren zur Reduktion der Dosen führten, hatten nachhaltigen Erfolg. Die Herausforderung sowohl für die Betreiber als auch für die Aufsichtsbehörde besteht darin, diesen guten Zustand zu erhalten und ungeplante Expositionen durch konsequente Planung der Tätigkeiten und de-

ren Abfolge sowie durch den Einsatz von zusätzlichen Dosisleistungsmessgeräten sicher zu vermeiden.

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 Abschirmungen aus Bleiblechen, ist vermutlich weitestgehend ausgeschöpft. Optimierungen sowie Beschleunigungen beim Auf- und Rückbau der Abschirmungen, Verfeinerungen beim Design und bei der Planung und ähnlichen Massnahmen erlauben die Effizienz dieser Mittel noch zu steigern. Signifikante Beiträge zur Dosisreduktion dürfen aber nicht mehr erwartet werden. Viel mehr werden alterungsbedingte Aufwendungen für die Werkstoffprüfung im Strahlenfeld und die damit verbundene Expositionen des Personals zu beobachten sein.

Änderungen in der *Wasserchemie der verschiedenen Anlagen* können zu einer Dosisreduktion beitragen. In einigen DWR-Anlagen wurden durch die Einspeisung von Zink, dessen Isotop ⁶⁴Zn vorher angereichert wurde, die Dosisleistungen an Komponenten des Primärkreislaufes halbiert. Das Zink verdrängt dabei ⁶⁰Co aus den Korrosionsschichten.

In der Schweiz wird das Verfahren vom KKG seit Ende 2004 angewendet. Im Durchschnitt lag die 2009 gemessene Dosisleistung an ausgewählten Primärkomponenten um 31 % unter dem Wert zu Beginn der Zinkdosierung. Die auf der Innenseite des RDB-Deckels gemessene Oberflächendosisleistung lag mit 135 mSv/h im Bereich der beiden Vorjahre (2008 und 2007: 130 mSv/h) aber deutlich unter den Werten der Jahre 2006 (280 mSv/h), 2005 (300 mSv/h) und 2004 (300 mSv/h). Diese deutlichen Verringerungen der Oberflächendosisleistungen sind erfreulich und tragen zur Minimierung der Kollektiv- und Individualdosen bei.

Das KKB stützt sich auf die seit vielen Jahren bewährte und optimierte Abfahrchemie. Dabei wird während der Reinigungsphase auf eine saubere Trennung der beiden Phasen (sauer-reduzierend und sauer-oxidierend) geachtet. Die beiden Kobaltnuklide ⁶⁰Co und ⁵⁸Co kön-

nen dadurch effizient aus dem Primärkreislauf entfernt werden. Im KKB 2 ist besonders die Aktivität des ^{58}Co zurückgegangen, was zum Rückgang der Ortsdosisleistung auf der heissen Seite führte. Während des Betriebs 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 1 und 2 optimal zu sein, wie die Untersuchungen des Crudmaterials im Primärwasser zeigten. Bei Fortführung dieser Fahrweisen sollten die Korrosionsprodukte in den Primärkreisläufen beider Blöcke weiter abnehmen. Im KKB 1 zeigte die Entwicklung der Ortsdosisleistungen in der Anlage kein einheitliches Bild: Während an den Hauptkühlmittelleitungen ein mittlerer Anstieg von 8 % gegenüber dem Vorjahr gemessen wurde, wurden die entsprechenden Werte an den Dampferzeuger-Mänteln um 24 % kleiner. Die Dosisleistung an der Innenoberfläche des Reaktordeckels blieb in den letzten Jahren annähernd unverändert. Im KKB 2 haben sich die Ortsdosisleistungen in der Anlage mit Ausnahme der Closure Legs gegenüber dem Vorjahr nicht signifikant verändert. An den Closure Legs zeigte sich ein Anstieg um rund 12 % gegenüber dem Vorjahr. Im KKM wurde im Januar 2009 eine Platinverbindung zehn Tage lang kontinuierlich in das Primärwasser eingespeist. Während des Leistungsbetriebs erfolgte nahezu kontinuierlich die Zudosierung von Wasserstoff. In diesem Jahr wurde an den Messpunkten eine im Vergleich

zum Vorjahr um durchschnittlich ca. 14,5 % erniedrigte Dosisleistung gemessen. Die Tendenz zu niedrigeren Ortsdosisleistungen an den Umwälzschleifen nach der Einspeisung von Platin ist im KKM regelmässig seit dem Jahr 2006 zu beobachten und wird auf die Edelmetalleinspeisung zurückgeführt.

Das KKL hat im Jahr 2009 zum zweiten Mal die Einspeisung einer Platinverbindung durchgeführt, während des gesamten Zyklus wurde Wasserstoff in den Primärkreislauf zudosiert. Die Effekte auf die Ortsdosisleistungen an den Umwälzschleifen wurden vom KKL im Berichtsjahr wiederum untersucht. Der Mittelwert der an insgesamt 16 Messpunkte erfassten Dosisleistungen betrug 1,37 mSv/h und war im Vergleich zum Vorjahr rund 9 % niedriger.

Zusammenfassend erwartet das ENSI für den Strahlenschutz, dass sich der 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 setzt sich der Trend zu Werten im Bereich der Hälfte des Jahresgrenzwertes von 20 mSv fort. Den Arbeiten in hohen und variablen Strahlenfeldern ist seitens der Betreiber und der Aufsichtsbehörden eine ganz besondere Beachtung zu schenken, damit sich Ereignisse wie im KKB nicht wiederholen.

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 2009 für die vier Schweizer Kernkraftwerke Beznau (KKB 1 und KKB 2), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) und Mühleberg (KKM) sowie für das Paul Scherrer Institut (PSI) und das am gleichen Standort gelegene Zentrale Zwischenlager Würenlingen (ZZL) deutlich unterhalb der Jahres- und Kurzzeit-Abgabelimite. Die aus den tatsächlichen Abgaben und der Direktstrahlung aus der jeweiligen Anlage errechnete Strahlenexposition liegt selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren für Erwachsene und Kleinkinder weit unterhalb des für Standorte von Kernanlagen festgelegten quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr.

Die externe Strahlung wird mit dem Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) ständig überwacht. In der Umgebung des KKB und des PSI sind 17, beim KKG 16 und beim KKL und KKM je 12 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 ENSI-Zentrale übertragen und automatisch analysiert. Allfällige Abweichungen vom Schwankungsbereich der natürlichen Strahlung werden signalisiert und automatisch dem ENSI-Piketingenieur gemeldet. Die im Berichtsjahr registrierten, nicht meteorologisch bedingten Abweichungen oder Ausfälle wurden nicht durch den Betrieb der Werke verursacht, sondern sie 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 B.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}Sr , ^{137}Cs) können im Allgemeinen mit den Atomwaf-

ferentests oder mit dem Reaktorunfall in Tschernobyl in Verbindung gebracht werden. Die langjährige Messreihe der Universität Bern von ^{14}C in Baumblättern in der Umgebung der Kernkraftwerke wurde fortgesetzt.

Im aquatischen Milieu zeigten Wasser- und Sedimentproben Spuren von künstlichen Radionukliden, wie ^{54}Mn , ^{60}Co und ^{65}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}Cs ist keine eindeutige Zuordnung in Anteile aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl und den Abgaben der Kernkraftwerke mehr möglich. Bei den andern Nukliden zeigen die Messungen generell den aufgrund der Abgaben erwarteten Verlauf, wobei gewisse Messwerte vermutlich durch einen relativ langsamen Partikeltransport in den Monaten nach dem Revisionsstillstand höher liegen.

In 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 der Darstellung B.1 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 gemäss ENSI-Richtlinie G14 errechneten Personendosen für Erwachsene und Kleinkinder in der Umgebung der betreffenden Anlage im Jahr 2009. Die ebenfalls berechneten Dosen für das 10-jährige Kind liegen zwischen Erwachsenem und Kleinkind. Die Abgaben des Paul Scherrer Instituts und die daraus in gleicher Weise berechneten Dosiswerte sind in Tabelle 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 Jodfilter 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 KKG und bei ZZL ungefähr 0,001 mSv, beim KKL und beim KKM ungefähr 0,005 mSv und beim KKB 0,006 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung betragen somit im Jahr 2009 nur einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwerts.

Das ENSI berücksichtigt bei den Dosisberechnungen auch die formell nicht limitierten ^{14}C -Abgaben, da diese seit einigen Jahren aufgrund der geringen übrigen Abgaben die Dosis dominieren. Das radioaktive Kohlenstoffisotop ^{14}C entsteht im Reaktor durch Kernreaktionen von Neutronen mit Stickstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff. Die ^{14}C -Abgaben der Kernkraftwerke sind systembedingt begrenzt, weil die Abgaberate primär von der Reaktorleistung abhängig ist. Die Kernkraftwerke haben in den letzten Jahren die ^{14}C -Abgaben gemessen und nachgewiesen, dass diese mit den Erfahrungswerten aus der Messkampagne vor etwa zwanzig Jahren und den in der einschlägigen Literatur angegebenen ^{14}C -Abgabewerten für ähnliche Anlagen korrespondieren. Das KKL führt seit längerer Zeit aus eigener Initiative ^{14}C -Messungen durch. Mitte 1998 wurde die Apparatur des KKL zur Messung von ^{14}C aufgrund der Resultate einer internationalen Vergleichsmessung neu kalibriert, was dazu führte, dass die für Einzelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis seit 1998 etwas höher ist. Das KKG führt seit Ende 2001 Messungen der ^{14}C -Abgaben mit der Abluft durch. Die für Einzelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis der Jahre

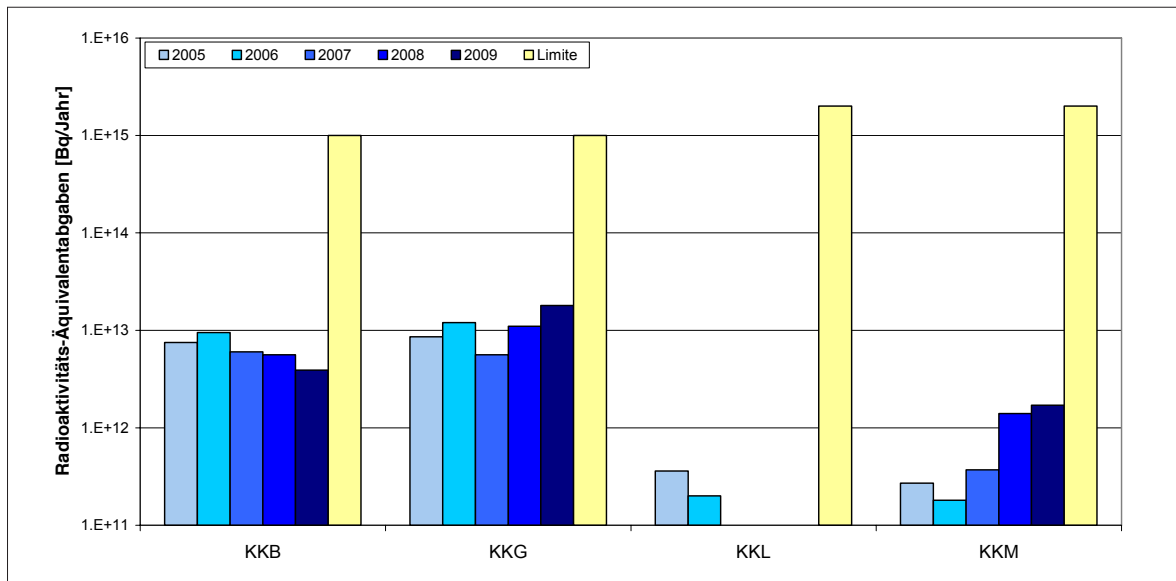
2001 bis 2003 werden beim KKG im Nachhinein als um den Faktor 3 zu hoch eingeschätzt, dies aufgrund der Ergebnisse der neuen Kalibrierung der Messapparatur mit zwei diversitären Standards zu Beginn des Jahres 2004. Alle Schweizer Kernkraftwerke führten 2009 die ^{14}C - und die ^3H -Messungen auch nach Abschluss der geforderten einjährigen Messperiode auf freiwilliger Basis fort. Somit konnten auch 2009 zur Ermittlung des jeweiligen Dosisbeitrags von ^{14}C die gemessenen Werte herangezogen werden. Im Vergleich zum Vorjahr sind die Dosiswerte bei KKB deutlich höher, was anhand der Messungen des KKB darauf zurückgeführt werden kann, dass sich bei den ^{14}C -Abgaben eine Verschiebung von organischen zu dosisrelevanteren anorganischen Kohlenstoffverbindungen (CO_2) ergeben hat.

Das PSI ist aufgrund der Bewilligung für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung verpflichtet, sowohl für die einzelnen Anlagen als auch für die Gesamtanlage des PSI die aus den Abgaben resultierende Dosis in der Umgebung zu berechnen. Beim PSI errechnet das ENSI eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von weniger als 0,005 mSv. Beinahe die gesamte Dosis ergibt sich im PSI durch die Abgabe von kurzlebigen radioaktiven Edelgasen aus den Teilchenbeschleunigern im West-Areal des Institutes. Die vom PSI und vom ENSI unabhängig voneinander durchgeführten Berechnungen zeigen, dass selbst unter ungünstigen Annahmen die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung deutlich unterhalb des für das PSI bewilligten Anteils von 0,15 mSv pro Jahr am quellenbezogenen Dosisrichtwert für den gemeinsamen Standort des PSI und des ZZL liegt. Für das ZZL beträgt der Anteil 0,05 mSv pro Jahr.

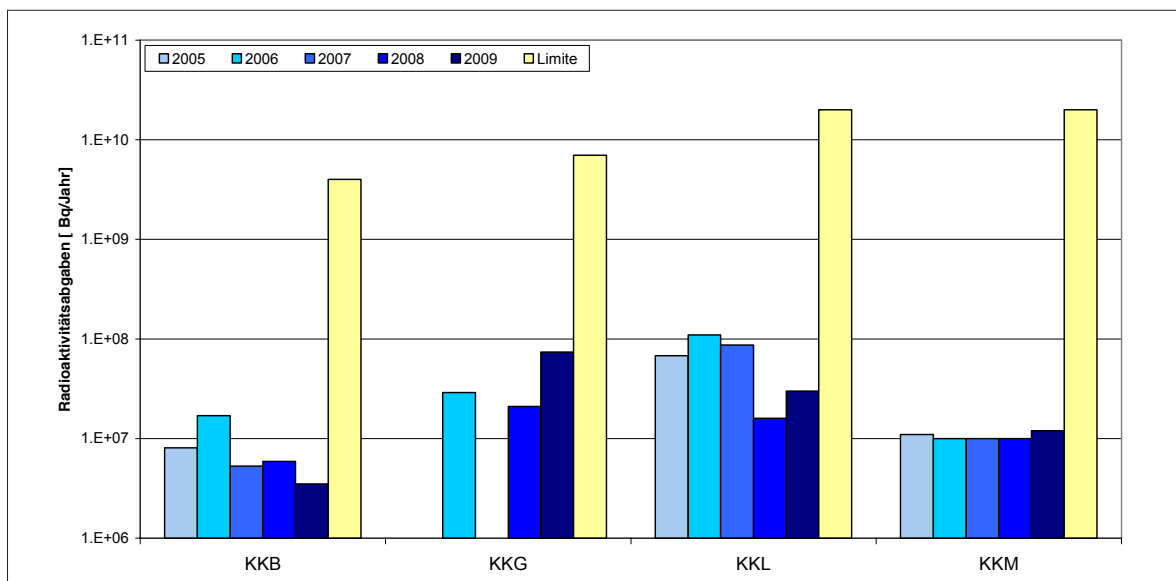
Im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) erfolgten im Berichtsjahr weitere Einlagerungen in die Lagergebäude für hoch- und mittelaktive Abfälle und im Hochregallager der Konditionieranlage. In der Plasma-Anlage fanden wiederum eine Frühjahrs- und eine Herbstverbrennungskampagne statt. Die für das Jahr 2009 bilanzierten Abgaben des ZZL sind in den Tabellen B.1 und B.3a bis B.3c zusammengestellt. Die aufgrund 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 (2005 bis 2009) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten

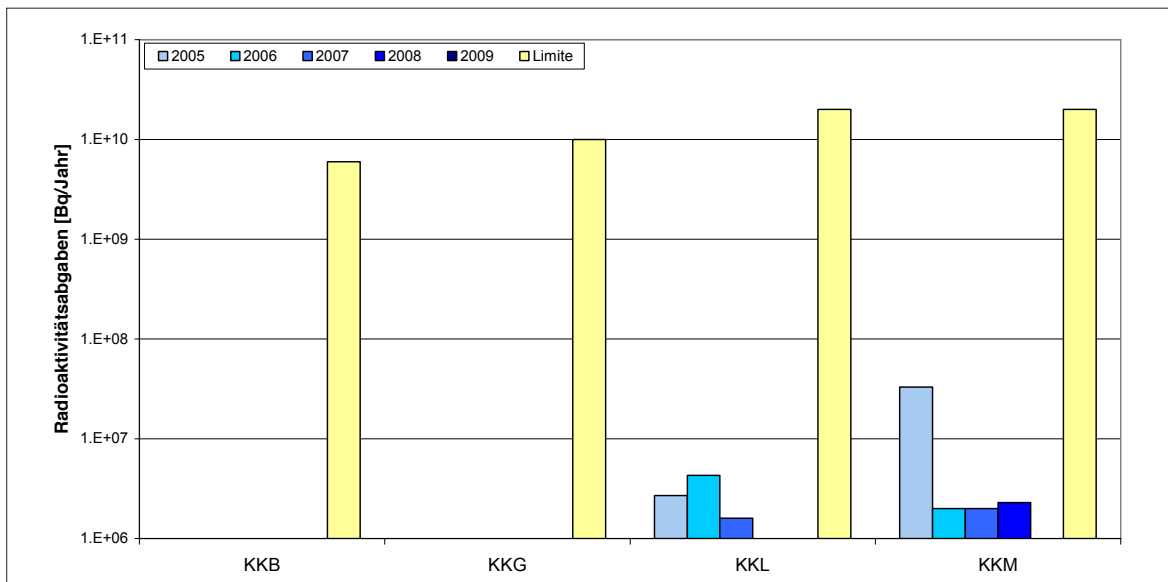
Edelgasabgaben mit der Abluft



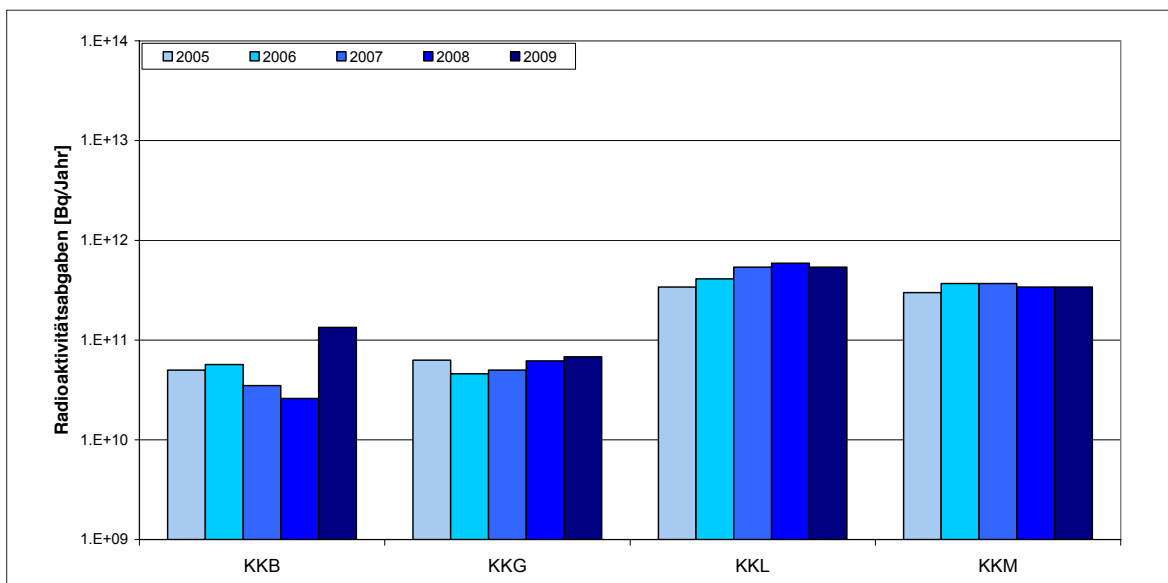
Iodabgaben mit der Abluft



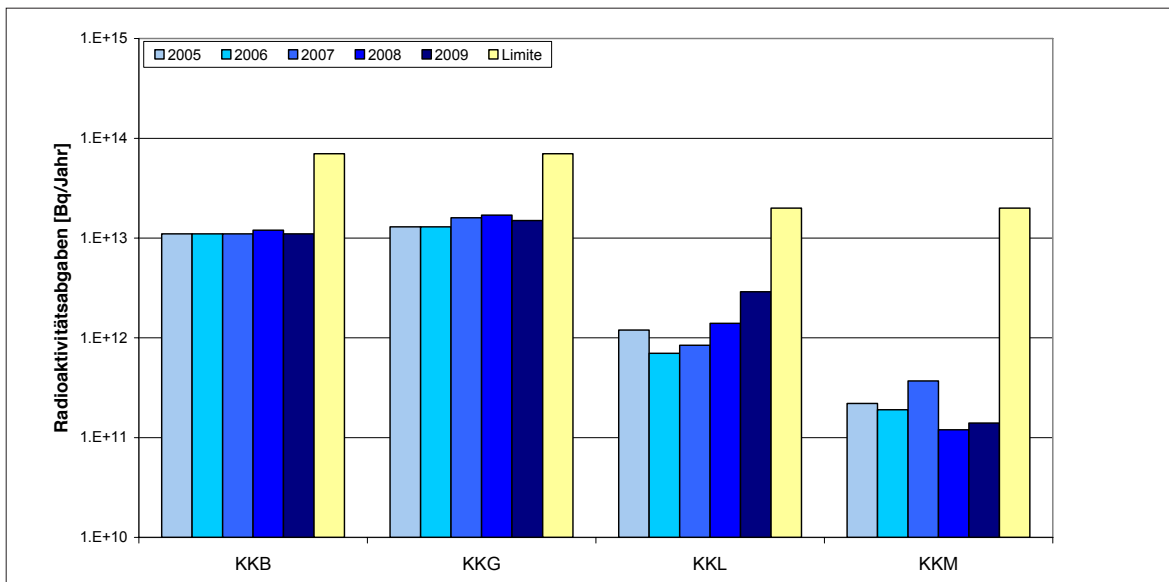
Aerosolabgaben mit der Abluft



Abgabe von Kohlenstoff-14 mit der Abluft



Tritiumabgaben mit dem Abwasser



Aktivitätsabgabe mit dem Abwasser (ohne Tritium)

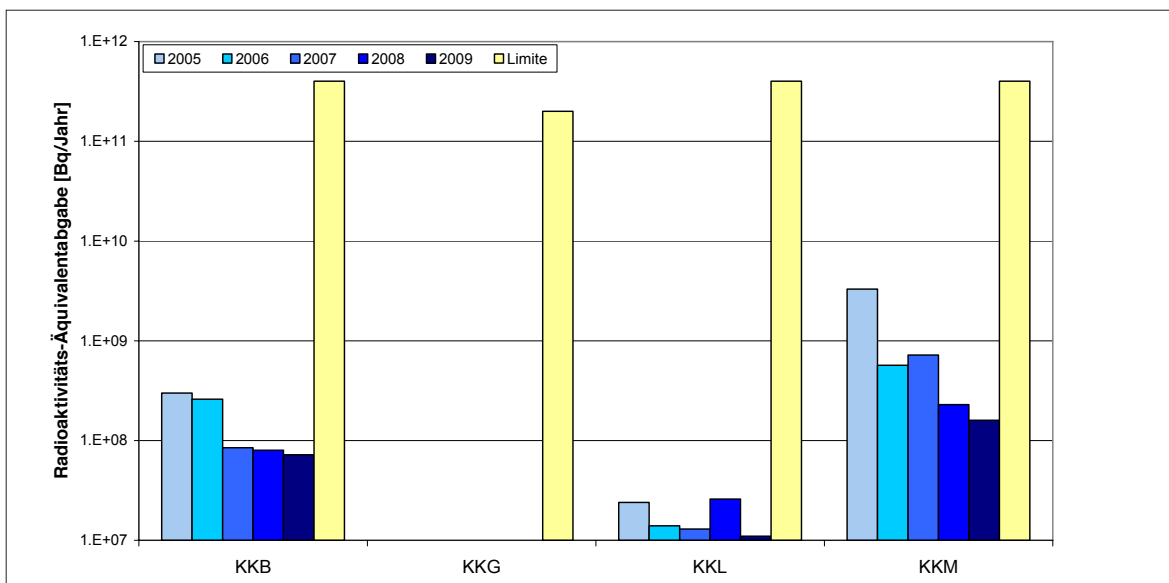


Tabelle B.1: Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2009 für die Kernkraftwerke und das Zentrale Zwischenlager Würenlingen und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung

Ort	Medium	Art der Abgaben ⁴	Limiten ¹ Bq pro Jahr	Tatsächliche Abgaben ^{2,4} Aequivalentabgaben			Berechnete Jahresdosis ³		
				Bq pro Jahr	Prozent der Limite	Bq pro Jahr	Erw. mSv/Jahr	10j Kind mSv/Jahr	1j Kind mSv/Jahr
KKB1 + KKB2	Abwasser 4'110 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	4·10 ¹¹	-	<0,1%	5,3·10 ⁶	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	7·10 ¹³	1,1·10 ¹³	16%	1,1·10 ¹³	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	1·10 ¹⁵	3,9·10 ¹²	0,4%	4,0·10 ¹²	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	6·10 ⁹	-	<0,1%	2,7·10 ⁵	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	4·10 ⁹ -	- -	<0,1% -	3,5·10 ⁶ 1,3·10 ¹¹	<0,001 0,0028	<0,001 0,0036	<0,001 0,0062
Dosis total						0,0029	0,0037	0,0063	
KKM	Abwasser 3'705 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	4·10 ¹¹	-	<0,1%	1,3·10 ⁹	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	2·10 ¹³	1,4·10 ¹¹	0,7%	1,4·10 ¹¹	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	2·10 ¹⁵	-	<0,1%	3,2·10 ¹¹	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	2·10 ¹⁰	-	<0,1%	9,0·10 ⁵	0,0033	0,0031	0,0029
		Iod: ¹³¹ I Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	2·10 ¹⁰ -	- -	<0,1% -	1,2·10 ⁷ 3,4·10 ¹¹	<0,001 <0,001	<0,001 0,0011	<0,001 0,0019
Dosis total						0,0041	0,0042	0,0048	
KKG	Abwasser 7'428 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	2·10 ¹¹	-	<0,1%	7,0·10 ⁶	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	7·10 ¹³	1,5·10 ¹³	21%	1,5·10 ¹³	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	1·10 ¹⁵	<1,8·10 ¹³	<1,8%	<1,6·10 ¹³	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1·10 ¹⁰	-	<0,1%	5,5·10 ⁴	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	7·10 ⁹ -	7,4·10 ⁷ -	1,1% -	7,4·10 ⁷ 6,8·10 ¹⁰	<0,001 <0,001	<0,001 <0,001	<0,001 <0,001
Dosis total						<0,001	<0,001	0,001	
KKL	Abwasser 13'289 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	4·10 ¹¹	-	<0,1%	6,4·10 ⁷	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	2·10 ¹³	2,9·10 ¹²	15%	2,9·10 ¹²	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	2·10 ¹⁵	-	<0,1%	7,4·10 ¹⁰	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	2·10 ¹⁰	-	<0,1%	1,9·10 ⁵	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	2·10 ¹⁰ -	3,0·10 ⁷ -	0,2% -	3,0·10 ⁷ 5,4·10 ¹¹	<0,001 0,002	<0,001 0,0027	<0,001 0,0045
Dosis total						0,0021	0,0027	0,0046	
ZZL	Abwasser 622 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	2·10 ¹¹	4,3·10 ⁹	2,2%	3,5·10 ⁹	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	-	-	-	1,0·10 ¹¹	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	β-γ-Aerosole	1·10 ⁹	5,2·10 ⁷	5,2%	5,2·10 ⁷	<0,001	<0,001	<0,001
		α-Aerosole	3·10 ⁷	-	<0,1%	1,7·10 ⁴	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂ Tritium	1·10 ¹² 1·10 ¹⁴	- 2,1·10 ¹¹	<0,1% 0,2%	1,4·10 ⁸ 2,1·10 ¹¹	<0,001 <0,001	<0,001 <0,001	<0,001 <0,001
Dosis total						<0,001	<0,001	<0,001	

Tabelle B.2: Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2009 und der daraus berechneten Dosen für Einzelpersonen der Bevölkerung

	PSI Ost				
	Hochkamin	Saphir, Proteus	Forschungs-labor	Betriebs-Gebäude radioaktive Abfälle	Bundeszwischen-lager
Abgaben im Abwasser^{2,4} [Bq/a]					
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	-	-	-
Tritium	-	-	-	-	-
Abgaben über die Abluft^{2,4} [Bq/a]					
Edelgase und andere Gase	-	-	-	-	-
β/γ -Aerosole ⁴ , ohne Iod	$4,2 \cdot 10^7$	-	-	-	$3,2 \cdot 10^5$
α -Aerosole	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	$4,6 \cdot 10^7$	-	-	-	-
Tritium als HTO	$1,0 \cdot 10^{11}$	$9,1 \cdot 10^8$	-	$2,6 \cdot 10^{10}$	$1,3 \cdot 10^{10}$
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	-	-	-	-	-
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:					
Erwachsene	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015
Kind 10j	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015
Kleinkinder	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert¹	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%

	PSI West			Gesamtanlage des PSI ^{2,4}		
	Zentrale Fortluftanlagen	Injektor II	C-Labor	Abwasser 1408 m ³	Abluft	Aequivalent-abgaben
Abgaben im Abwasser^{2,4} [Bq/a]						
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	-	$1,7 \cdot 10^8$	-	$2,9 \cdot 10^6$
Tritium	-	-	-	$2,4 \cdot 10^{11}$	-	-
Abgaben über die Abluft^{2,4} [Bq/a]						
Edelgase und andere Gase	$1,1 \cdot 10^{14}$	$7,5 \cdot 10^{10}$	-	-	$1,1 \cdot 10^{14}$	$2,4 \cdot 10^{14}$
β/γ -Aerosole ⁴ , ohne Iod	$1,0 \cdot 10^{10}$	$3,6 \cdot 10^6$	$3,2 \cdot 10^4$	-	$1,0 \cdot 10^{10}$	-
α -Aerosole	-	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	$2,2 \cdot 10^7$	-	-	-	$6,8 \cdot 10^7$	$4,7 \cdot 10^7$
Tritium als HTO	$1,4 \cdot 10^{12}$	-	-	-	$1,5 \cdot 10^{12}$	-
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	-	-	-	-	-	-
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:						
Erwachsene	0,0036	<0,00015	<0,00015	<0,00015		<0,0040
Kind 10j	0,0036	<0,00015	<0,00015	<0,00015		<0,0040
Kleinkinder	0,0036	<0,00015	<0,00015	<0,00015		<0,0040
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert¹	2,4 %	<0,1%	<0,1%	<0,1%		<2,5%

Tabelle B.3a: Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2009:
Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben²⁾

Nuklid β/γ-Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
³ H	1,1·10 ¹³	1,5·10 ¹³	2,9·10 ¹²	1,4·10 ¹¹	2,5·10 ¹¹	1,0·10 ¹¹
⁷ Be					1,5·10 ⁸	
²² Na					4,9·10 ⁴	1,4·10 ⁶
²⁴ Na	1,0·10 ⁷					
³⁵ S					4,1·10 ⁶	
⁴⁶ Sc					8,0·10 ⁴	
⁵¹ Cr				1,3·10 ⁸		
⁵² Mn					2,3·10 ⁴	
⁵⁴ Mn	2,2·10 ⁶		5,7·10 ⁶	2,7·10 ⁸	4,9·10 ⁶	1,1·10 ⁵
⁵⁶ Mn						
⁵⁹ Fe				1,1·10 ⁷		
⁵⁶ Co					1,2·10 ⁵	
⁵⁷ Co	1,3·10 ⁵				2,6·10 ⁵	
⁵⁸ Co	1,4·10 ⁸		5,6·10 ⁶	1,1·10 ⁸	2,4·10 ⁵	
⁶⁰ Co	4,3·10 ⁷	1,3·10 ⁶	5,0·10 ⁷	7,1·10 ⁸	4,9·10 ⁵	1,2·10 ⁷
⁶⁵ Zn			2,1·10 ⁶	3,4·10 ⁷		
⁸⁵ Sr						
⁸⁹ Sr	9,2·10 ⁶	7,8·10 ⁵		6,1·10 ⁵		
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	1,2·10 ⁶			7,1·10 ⁵	1,5·10 ⁶	
⁹⁵ Zr						
⁹⁷ Zr						
⁹⁵ Nb						
⁹⁹ Mo						
^{99m} Tc	3,5·10 ⁵					
¹⁰³ Ru						
¹⁰⁶ Ru/Rh						4,2·10 ⁶
^{110m} Ag	2,2·10 ⁶					
¹²² Sb	3,1·10 ⁶					
¹²⁴ Sb	8,5·10 ⁷			1,3·10 ⁶	3,1·10 ⁵	4,5·10 ⁵
¹²⁵ Sb	1,5·10 ⁷					1,1·10 ⁷
^{123m} Te	1,1·10 ⁷	1,4·10 ⁶				
¹³² Te	2,5·10 ⁶					
¹²⁵ I					5,0·10 ⁵	
¹²⁶ I						
¹³¹ I	2,8·10 ⁷	3,5·10 ⁶			1,5·10 ⁶	
¹³³ I	1,5·10 ⁷					
¹³⁴ Cs	2,9·10 ⁶				1,9·10 ⁵	3,9·10 ⁷
¹³⁶ Cs						
¹³⁷ Cs	1,6·10 ⁸		6,6·10 ⁵	3,1·10 ⁷	3,0·10 ⁶	3,4·10 ⁹
¹³³ Ba						
¹⁴⁰ Ba						
¹⁴⁰ La						
¹⁴¹ Ce						
¹⁴⁴ Ce						
¹⁷⁷ Lu					2,4·10 ⁶	
α-Strahler	*)	<1,3·10 ⁵	2,7·10 ⁵	6,0·10 ⁴		*)
^{234/238} U					1,0·10 ⁵	
^{239/240} Pu	1,5·10 ⁴				2,2·10 ⁴	6,5·10 ³
²³⁸ Pu/ ²⁴¹ Am	5,8·10 ³				1,4·10 ⁴	1,6·10 ³
²⁴² Cm	8,6·10 ³					5,4·10 ²
^{243/244} Cm	4,0·10 ³					8,6·10 ²

*) Angabe umfasst für das KKB und ZZL das 4. Quartal 2008 bis und mit dem 3. Quartal 2009

Tabelle B.3b: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Edelgase und Iod 2009: Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben

Nuklid β/γ -Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
Gase, Edelgase						
Tritium		$5,0 \cdot 10^{11}$	$2,6 \cdot 10^{12}$	$8,4 \cdot 10^9$	$1,5 \cdot 10^{12}$	$2,1 \cdot 10^{11}$
^{11}C					$1,7 \cdot 10^{13}$	
^{14}C (CO_2)	$1,3 \cdot 10^{11}$	$6,8 \cdot 10^{10}$	$5,4 \cdot 10^{11}$	$3,4 \cdot 10^{11}$		$1,4 \cdot 10^8$
^{13}N					$1,7 \cdot 10^{13}$	
^{15}O					$7,0 \cdot 10^{13}$	
^{18}F					$5,4 \cdot 10^{11}$	
^{24}Ne					$6,0 \cdot 10^{11}$	
^{41}Ar				$1,0 \cdot 10^{10}$	$3,4 \cdot 10^{12}$	
^{79}Kr						
^{85}Kr					$1,0 \cdot 10^{11}$	
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	$1,5 \cdot 10^{11}$			$1,1 \cdot 10^{11}$		
^{87}Kr				$1,9 \cdot 10^9$		
^{88}Kr				$1,3 \cdot 10^{11}$		
^{122}Xe						
^{125}Xe						
^{127}Xe						
$^{129\text{m}}\text{Xe}$						
$^{131\text{m}}\text{Xe}$						
^{133}Xe	$1,8 \cdot 10^{12}$		$2,1 \cdot 10^{10}$	$6,8 \cdot 10^9$		
$^{133\text{m}}\text{Xe}$						
^{135}Xe	$1,8 \cdot 10^{12}$		$3,9 \cdot 10^{10}$	$1,8 \cdot 10^9$		
$^{135\text{m}}\text{Xe}$			$1,4 \cdot 10^{10}$			
^{137}Xe						
^{138}Xe						
EG-Aequiv. ⁴⁾				$2,0 \cdot 10^{10}$		
EG: β -total		$<1,6 \cdot 10^{13}$				
Andere	$2,0 \cdot 10^{12}$					
Iod						
^{123}I						
^{124}I						
^{125}I					$6,6 \cdot 10^7$	
^{126}I						
^{129}I						
^{131}I	$3,5 \cdot 10^6$	$7,4 \cdot 10^7$	$3,0 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^6$	
^{133}I	$1,9 \cdot 10^7$					

Tabelle B.3c: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Aerosole 2009: Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben

Nuklid β/γ -Aerosole	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
⁷ Be						
²² Na						
²⁴ Na					1,5·10 ⁵	
³⁸ S					1,1·10 ⁹	
³⁸ Cl						
³⁹ Cl					6,8·10 ⁹	
⁵¹ Cr						
⁵⁴ Mn				4,2·10 ⁴		9,0·10 ¹
⁵⁸ Co			2,7·10 ⁴	2,2·10 ⁴		
⁶⁰ Co		5,5·10 ⁴	1,4·10 ⁵	7,3·10 ⁵	9,6·10 ⁵	1,1·10 ³
⁶⁵ Zn				1,1·10 ⁴		
⁷⁵ Se						
⁷⁷ Br					3,9·10 ⁶	
⁸² Br					6,3·10 ⁸	
⁹⁰ Sr						
⁹⁵ Zr						
⁹⁵ Nb						
^{99m} Tc					4,0·10 ⁷	
¹⁰³ Ru						
^{110m} Ag						
^{123m} Te						
¹²⁵ Sb						
¹³¹ I (Aerosol)			2,2·10 ⁴			
¹³⁴ Cs						
¹³⁷ Cs				4,2·10 ⁴		8,5·10 ³
¹⁴⁰ Ba				4,8·10 ⁴		
¹⁴¹ Ce						
¹⁴⁴ Ce						
¹⁸¹ Re					3,2·10 ⁷	
¹⁸² Re					1,1·10 ⁸	
^{182m} Re					4,0·10 ⁵	
¹⁸³ Re					5,2·10 ⁵	
¹⁸² Os						
¹⁸³ Os					1,3·10 ⁸	
^{183m} Os					2,3·10 ⁸	
¹⁸⁵ Os					9,1·10 ⁶	
¹⁹¹ Os						
¹⁹¹ Pt						
¹⁹² Au					1,6·10 ⁹	
¹⁹³ Au					2,0·10 ⁸	
¹⁹⁴ Au					1,9·10 ⁵	
¹⁹⁵ Au						
¹⁹² Hg					7,4·10 ⁸	
¹⁹³ Hg						
^{193m} Hg					2,6·10 ⁸	
¹⁹⁴ Hg					1,9·10 ⁵	5,2·10 ⁷
¹⁹⁵ Hg					5,8·10 ⁹	
^{195m} Hg					9,8·10 ⁷	
¹⁹⁷ Hg						
^{197m} Hg					1,2·10 ⁸	
²⁰³ Hg					6,8·10 ⁶	
Nicht spezifizierte	2,7·10 ⁵					
α -Aerosole	5,1·10 ³	5,3·10 ⁴	4,2·10 ⁴	1,1·10 ⁵		1,7·10 ⁴

Fussnoten zu den Tabellen B.1 bis B.3

- 1 **Abgabelimiten** gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die Abgabelimiten wurden so festgelegt, dass die Jahresdosis für Personen in der Umgebung (vgl. Fussnote 3) für die Kernkraftwerke unter 0,3 mSv/Jahr respektive das Zentrale Zwischenlager in Würenlingen (ZZL) unter 0,05 mSv/Jahr bleibt. Für das Paul Scherrer Institut (PSI) sind die Abgaben gemäss Bewilligung 6/2003 direkt über den quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0,15 mSv/Jahr limitiert.
- 2 Die **Messung der Abgaben** erfolgt nach den Erfordernissen der Reglemente «für die Abgaben radioaktiver Stoffe und die Überwachung von Radioaktivität und Direktstrahlung in der Umgebung des...» jeweiligen Kernkraftwerkes resp. des ZZL oder PSI. Die Messgenauigkeit beträgt ca. $\pm 50\%$. Abgaben unterhalb 0,1 % der Jahresabgabelimite werden vom ENSI als nicht-relevant betrachtet.
- 3 Die **Jahresdosis** ist für Personen berechnet, die sich dauernd am kritischen Ort aufhalten, ihre gesamte Nahrung von diesem Ort beziehen und ihren gesamten Trinkwasserbedarf aus dem Fluss unterhalb der Anlage decken. Die Dosis wird mit den in der Richtlinie ENSI-G14 angegebenen Modellen und Parametern ermittelt. Dosiswerte kleiner als 0,001 mSv – entsprechend einer Dosis, die durch natürliche externe Strahlung in ca. zehn Stunden akkumuliert wird – werden in der Regel nicht angegeben. Beim PSI wird die Jahresdosis der Gesamtanlage als Summe über die Abgabestellen gebildet.
- 4 Bei der **Art der Abgaben** resp. den **Tatsächlichen Abgaben** ist Folgendes zu präzisieren:
Abwasser: Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-LE-Wert von 200 Bq/kg angegeben. Die LE-Werte für die einzelnen Nuklide sind dem Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Ein LE-Wert von 200 Bq/kg entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Ingestionsdosisfaktor von $5 \cdot 10^{-8}$ Sv/Bq. Die unnormierte Summe der Abwasserabgaben ist in einer weiteren Spalte angegeben.
Edelgase: Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-CA-Wert von $2 \cdot 10^5$ Bq/m³ angegeben. Die CA-Werte für die Edelgasnuklide sind dem Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Ein CA-Wert von $2 \cdot 10^5$ Bq/m³ entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Immersionsdosisfaktor von $4,4 \cdot 10^{-7}$ (Sv/Jahr)/(Bq/m³). Die unnor-

mierte Summe der Edelgasabgaben ist in einer weiteren Spalte angegeben.

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

Gase: Beim PSI handelt es sich dabei vorwiegend um die Nuklide ¹¹C, ¹³N, ¹⁵O und ⁴¹Ar. Deren Halbwertszeiten sind kleiner als zwei Stunden. Hier ist für die einzelnen Abgabestellen und das gesamte PSI die Summe der Radioaktivität dieser Gase und Edelgase ohne Normierung auf einen Referenzwert angegeben. Für die Gesamtanlage wird zusätzlich auch die auf den Referenz-CA-Wert von $2 \cdot 10^5$ Bq/m³ normierten Abgabe aufgeführt.

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

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

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

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

1.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen

Die Ortsdosis, respektive die Ortsdosisleistung durch externe Strahlung werden in der Umgebung der Kernanlagen und des PSI mit dem MADUK-Messnetz (siehe Kapitel B.2), und mit Thermolumineszenz-Dosimetern (TLD) in der Umgebung sowie am Arealzaun überwacht. Zusätzlich dazu führt das ENSI vierteljährlich stichprobenweise Dosisleistungsmessungen am Arealzaun sowie bei Bedarf spezielle Messkampagnen durch.

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

Am Zaun des KKM wurden bei stichprobenweise, vierteljährlich vom ENSI durchgeführten Messungen Dosisleistungen zwischen etwa $0,08 \mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und $0,29 \mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Auf ein Jahr hochgerechnet würde basierend auf diesen Momentanwerten am meist exponierten Ort eine Dosiserhöhung von ca. $1,8 \text{ mSv}$ (ohne natürlichem Untergrund) resultieren. Die vom KKM ausgewerteten Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun ergeben für das Berichtsjahr nach Subtraktion des natürlichen Unter-

grunds von ca. $0,7 \text{ mSv}$ eine Dosiserhöhung von $0,7 \text{ mSv}$. Am Zaun des KKL wurden bei vierteljährlichen Stichproben des ENSI während des Leistungsbetriebs Ortsdosisleistungen zwischen $0,06 \mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und $0,18 \mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrunds und unter Berücksichtigung der Betriebszeit am meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von ca. 1 mSv pro Jahr. Die höchste, mit den TLD am Zaun ermittelte Jahresdosis (nach Abzug des natürlichen Untergrunds von $0,6 \text{ mSv}$) beträgt $0,8 \text{ mSv}$. Im Jahr 2009 betrug der höchste, mit einem Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun des Paul Scherrer Instituts (PSI) ermittelte Wert ca. $0,2 \text{ mSv}$ (ohne natürlichem Untergrund von ca. $0,6 \text{ mSv}$). Der zugehörige Messpunkt liegt bei der Aktivlagerhalle am PSI-Ost. Aufgrund der stichprobenweise vom ENSI gemessenen Ortsdosisleistung am Zaun des PSI-Ost ergibt sich hochgerechnet auf ein Jahr eine Ortsdosis von $0,7 \text{ mSv}$ ohne natürlichen Untergrund.

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

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

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

2.1 Übersicht

Das MADUK-System (**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 im ENSI automatisch angezeigt werden. Bei einem Störfall unterstützt MADUK die Notfallorganisation bei der Bestimmung des betroffenen Gebietes, der Einschätzung der möglichen Massnahmen 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. Geiger-Müller-Zählrohre ermitteln die Gamma-Dosisleistung im Messbereich von 10 nSv/h (Niederdosiszählrohre) bis 10 Sv/h (Hochdosiszählrohr). Von den Kernkraftwerken werden Kaminemissionswerte und wichtige Anlagenparameter der Primär- und Sekundäranlage übernommen und in die MADUK-Zentrale geleitet. Die MADUK-Zentrale des ENSI verarbeitet und archiviert die Daten, sorgt im Bedarfsfall für eine sofortige Alarmierung der ENSI-Notfallorganisation und sichert die Daten langfristig. 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 das System ADAM im ENSI. Die Darstellung auf der nächsten Seite zeigt

die Standorte der Messsonden in der Umgebung der Kernkraftwerke.

Die Daten von MADUK können mittels einer speziellen Software auf bestimmten Windows-Arbeitsplatzrechnern im ENSI, in den Kernkraftwerken und im Bundesamt für Gesundheit visualisiert werden. Auf der Internetseite www.ensi.ch unter Messnetz MADUK/Messwerte Radioaktivität sind die 10-Minuten-, Stunden- und Tagesmittelwerte aller MADUK Stationen abrufbar.

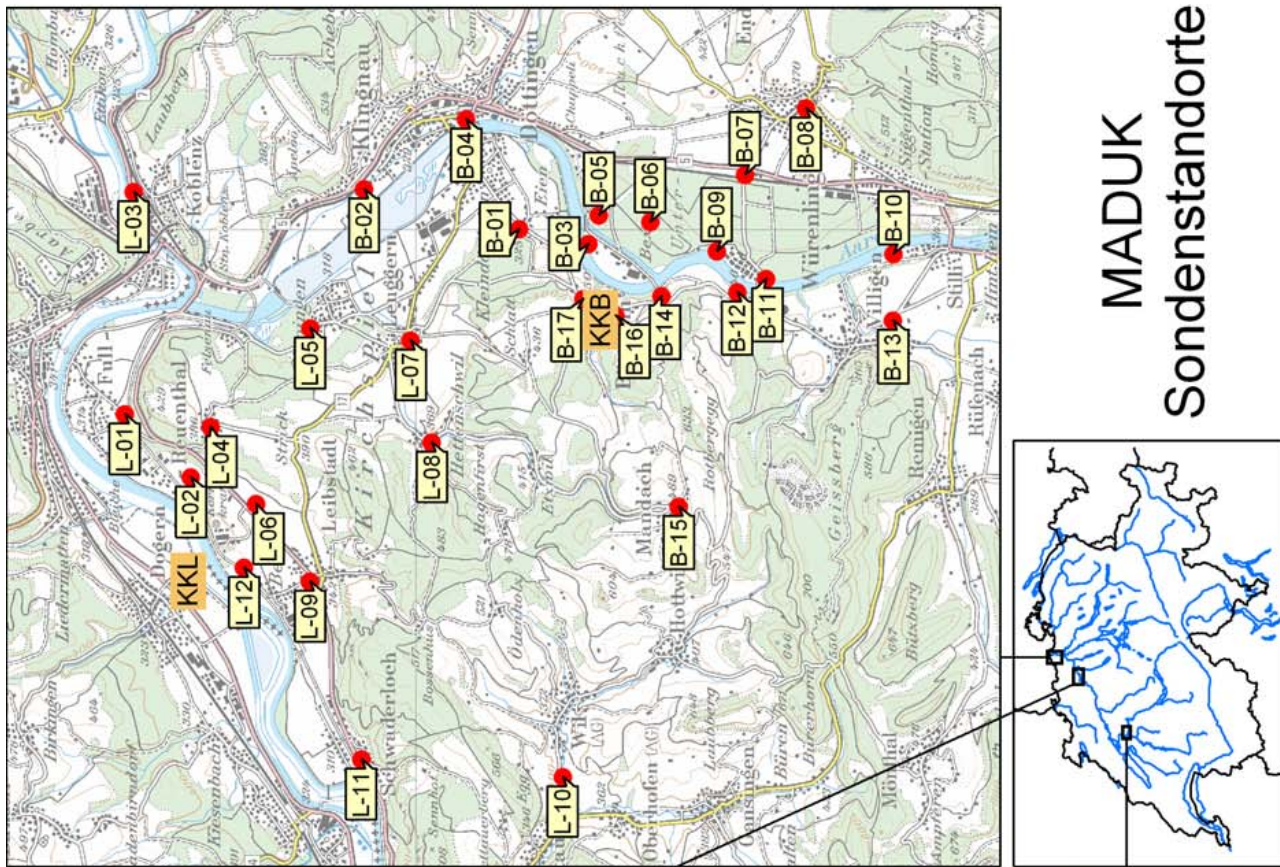
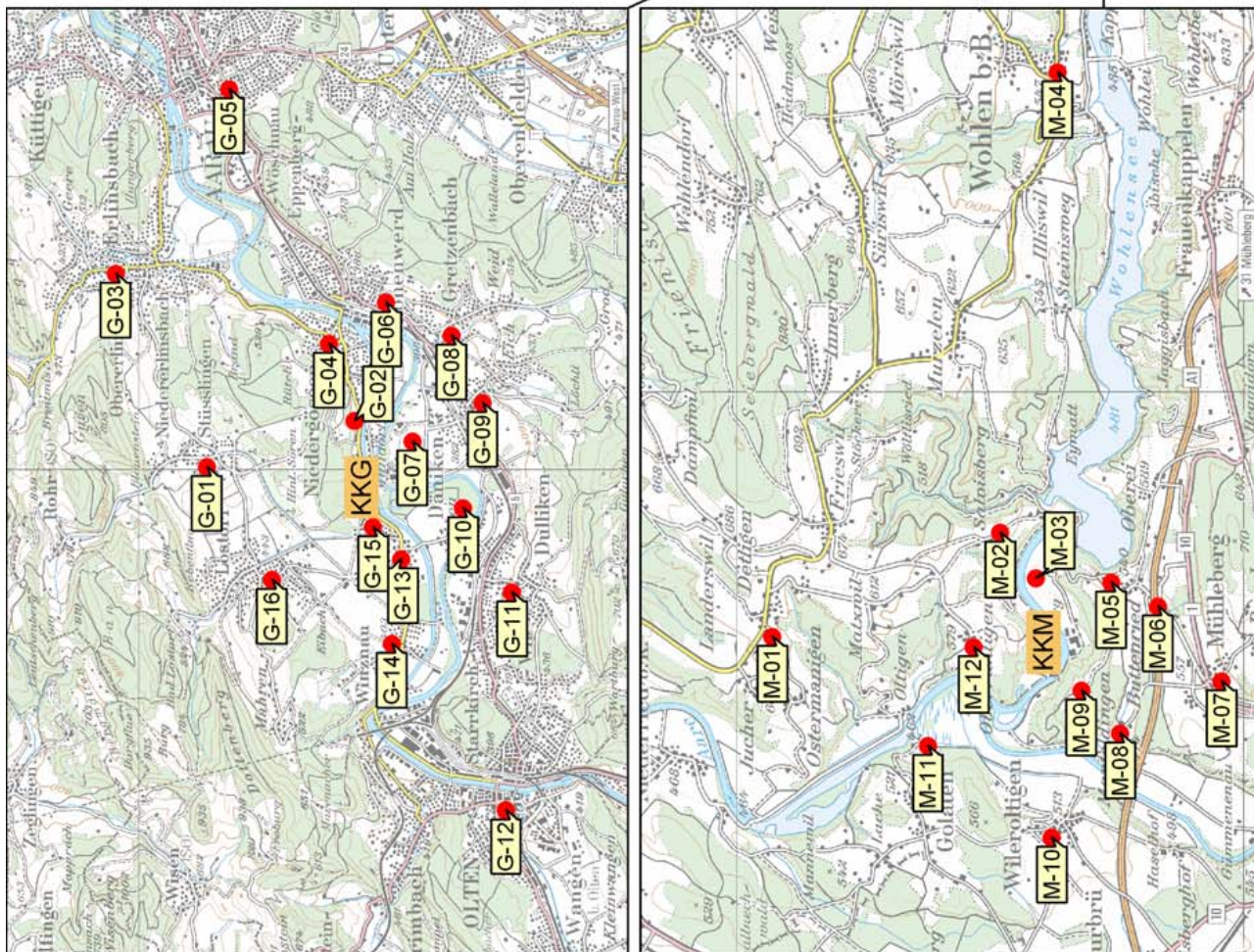
2.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung

Mit der Operationalisierung des Projektes CN-MET wurden Anpassungen an den Datenflüssen und am Zentralsystem nötig. Das in MADUK enthaltene Ausbreitungsmodul wird in Zukunft nicht mehr gepflegt. Die Meteodaten werden nun primär von Meteoschweiz an das ADPIC-System geliefert. Damit präsentieren sich die Datenflüsse gemäss Darstellung B.2.

Im Zuge der Organisationsänderung von HSK zu ENSI, und des Umzugs des ENSI nach Brugg mussten Anpassungen vorgenommen werden. So erfolgt der Datenexport zur NAZ nun über die Switch-Anbindung des ENSI und die Sektion URA des BAG hat die Möglichkeit, via Internet auf die MADUK-Daten zuzugreifen.

Wegen des Prozessrechnersersatzes in KKM wurde die ANPA-Schnittstelle angepasst und die neue Konfiguration wurde während der Revision in Betrieb genommen. Der Datenaustausch mit den deutschen Partnern wird zukünftig über eine verschlüsselte Verbindung abgewickelt. Die entsprechenden Anpassungen seitens MADUK sind erfolgt.

Mit dem Wegfall des Ausbreitungsmoduls im MADUK-System musste für den Pikett-Ingenieur eine alternative Lösung für das aktuelle Ausbreitungsfeld gefunden werden. Als Lösung boten sich die Normberechnungen des ADPIC-Systems an. Diese wurden nun in die MADUK-Bedienoberfläche integriert, so dass für jede Anlage entsprechende Ausbreitungsfelder für die Beurteilung vorliegen.



MADUK Sondenstandorte

Da der im Einsatz stehende Web-Server abgelöst werden muss und die eingesetzte Software auf den neueren Versionen der Microsoft-Betriebssysteme nicht lief, musste die Web-Applikation erneuert werden. Dabei wurde auch eine Erweiterung der Anzeige für 10-Minutenwerte realisiert.

2.3 Systemverfügbarkeit und Störungen

Die Systemverfügbarkeit ist bei MADUK von besonderer Bedeutung, da das System eine kontinuierliche Überwachung gewährleisten muss, die auch von der Öffentlichkeit wahrgenommen werden soll. Mit der Kenngrösse «Systemverfügbarkeit» wird die Einsatztauglichkeit des Gesamtsystems MADUK beurteilt: Systemstörungen, die zu wesentlichen Nutzungseinschränkungen des Systems geführt haben, werden als Ausfallzeit in Stunden erfasst. Im Berichtsjahr lag die Systemverfügbarkeit bei 97,7 % (Verfügbarkeit der ANPA- und EMI-Daten eingerechnet).

Die permanente Übertragung der Anlageparameter erreichte wiederum eine sehr hohe Verfügbarkeit. Beim KKM fiel im ersten Quartal die Datenübertragung aufgrund eines defekten Rechners seitens KKM für zwei Tage aus. Während der Jahresrevision im KKM wurden die Prozessrechner ersetzt und eine neue Schnittstelle für die ANPA- und EMI-Daten in Betrieb genommen. Für rund 17 Stunden wurden vom KKL am 9./10. August nur Testdaten geliefert. Im Weiteren waren keine nennenswerten Unterbrüche in der Übertragung festzustellen. Nach Ende des dritten Quartals 2009 wurde der Schlussbericht zum dreijährigen Probebetrieb der permanenten ANPA-Datenübertragung verfasst (ENSI-Aktennotiz AN-7056). Die permanente Datenübertragung wird nun definitiv weiterbetrieben.

Über die wichtigsten Systemstörungen und Betriebsvorkommnisse des MADUK-Systems wird im Folgenden kurz berichtet. In der Tabelle B.4 sind die Störungen bei den Messstationen mit Störungsdauer, permanentem Datenverlust und Ursache aufgelistet.

Nach 2008 machten sich auch 2009 bei der Station L-05 immer wieder Probleme in der Kommunikation

Darstellung B.2: Schematische Darstellung der Datenflüsse vom und zum MADUK-System

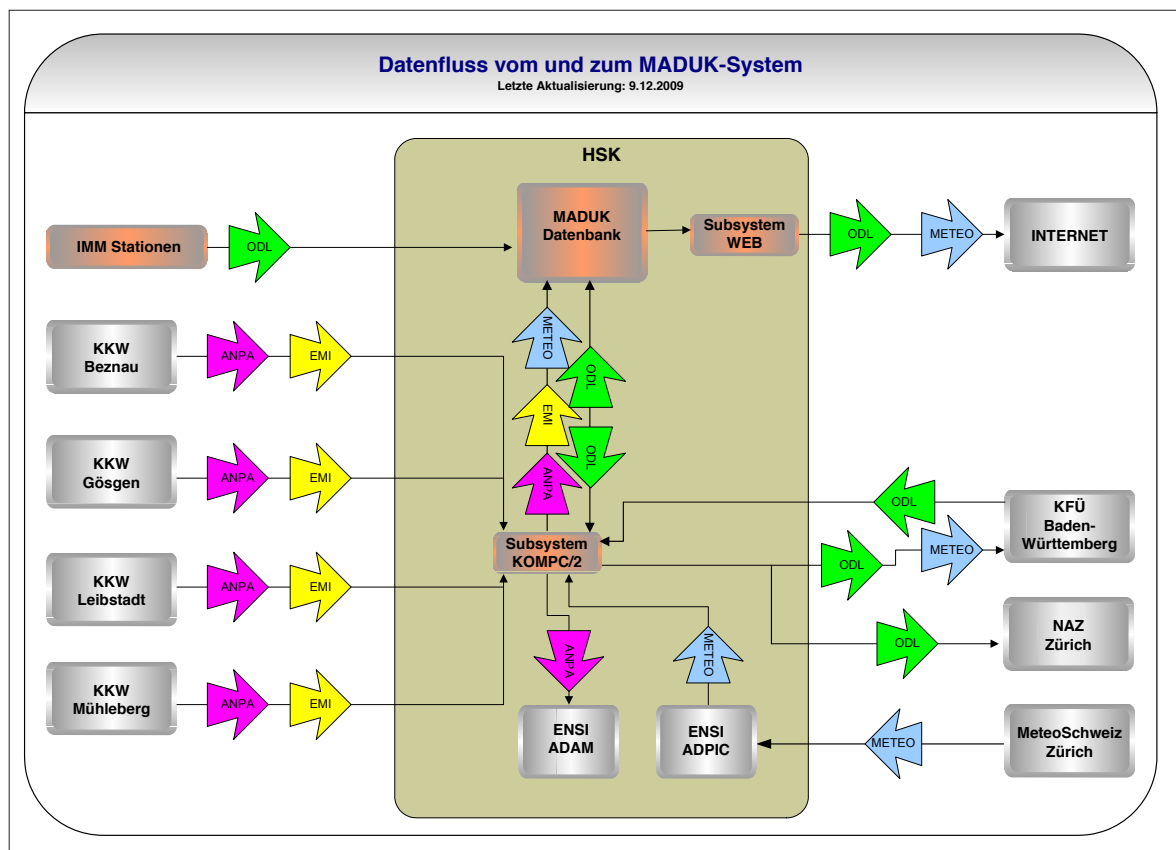


Tabelle B.4: Auflistung der Störungen bei den MADUK-Messtationen

Station	Störungsdauer [h]	Permanenter Datenverlust [h]	Ursache
L-03	23	23	Umbauarbeiten durch Standortbesitzer
L-10	142	142	Umbauarbeiten durch Standortbesitzer
M-09	41	–	Defekter DSL-Router
L-08	8	–	Defekter DSL-Router
M-11	24	–	Kommunikationsunterbruch
M-10	2	–	Kommunikationsunterbruch
L-10	8	–	Kommunikationsunterbruch
L-05	136.8	–	Kommunikationsunterbrüche
Alle	5	–	Komplettausfall der Kommunikationsdienste
M-03	39.7	39.7	Ausfall Datenlogger
G-14	27.6	27.6	Ausfall Datenlogger
G-05	1.2	1.2	Ausfall Datenlogger
G-10	1.6	1.6	Ausfall Datenlogger
L-06	4.5	4.5	Ausfall Datenlogger
L-07	3.2	3.2	Ausfall Datenlogger
B-04	3.7	3.7	Ausfall Datenlogger
B-01	1.0	1.0	Ausfall Datenlogger
B-13	2.2	2.2	Ausfall Datenlogger
L-07	3.8	3.8	Ausfall Datenlogger
G-16	22.3	22.3	Ausfall Datenlogger

bemerkbar. Mehrfache Interventionen beim Telekomanbieter lösten das Problem vorerst nicht. Mehrfaches Ausmessen der Leitungen und auch die Überprüfung der Leitungen konnten das Problem nicht weiter eingrenzen. Seit Ende September läuft die Verbindung wieder stabil, längere Unterbrüche wurden keine mehr festgestellt. Ende September führte zudem eine regionale Grossstörung zu einem Komplettausfall der Telekommunikationsdienste während rund 5 Stunden. Trotz Anbindung der Telekommunikation über zwei Amtszentralen konnte der Totalausfall nicht verhindert werden. Entsprechende Korrekturen sind nach dem Umzug nach Brugg angedacht.

Im ersten vollen Betriebsjahr mit den 2008 neu eingeführten Messwertsendern wurden nur wenige längere Störungen registriert. Diese waren ausschliesslich auf blockierte Prozesse auf dem Messwertsender zurückzuführen. Je nach Zeitpunkt der Störung konnte diese innert weniger Stunden oder Tagen behoben werden. Insbesondere eine Störung am Wochenende führte bei M-03 zu einem Unterbruch von rund 40 Stunden. Ein Pickettdienst für MADUK ist aber aufgrund der personellen Ressourcen nicht vorgesehen.

Weitere relevante Störungen waren beim Datenimport vom KFÜ Baden-Württemberg (1 x 26 Stunden, 1 x 48 Stunden) und bei den Datenimport- und Datenexportprozessen auf den Kommunikationsrechnern zu verzeichnen. Einer der Ausfälle dauerte rund 47 Stunden, da er sich am Wochenende ereignete, und war auf Probleme mit der Ingres-Datenbank zurückzuführen. Diese konnten schliesslich mit einer Anpassung der Konfiguration behoben werden. Trotzdem führten diese Probleme zu einer tiefen Verfügbarkeit von 93,1 % im vierten Quartal, was zu der eher bescheidenen Jahresverfügbarkeit von 97,7 % führte.

2.4 Qualitätssicherung

Die Aufgaben im Bereich der Qualitätssicherung basieren auf dem Qualitätsmanagementprozess «Fernüberwachung und Prognose» des ENSI. Dadurch ist gewährleistet, dass alle Aufgaben im Zusammenhang mit dem Betrieb, der Wartung und der Instandhaltung/Erneuerung qualitätsgestützt und nachvollziehbar bearbeitet sind. Die wesentlichen qualitätssichernden

Tabelle B.5: Auflistung der Nettodosisleistungs-Schwellwertüberschreitungen im Jahr 2009

Datum	Station	Dauer [h]	Max. NDL [nSv/h]	Max. ODL [nSv/h]
26. Jun. 19:10	M-03	0.2	56	191
26. Jun. 19:10	M-05	0.2	59.3	212
03. Jul. 12:30	G-10	1.0	75	196
03. Jul. 12:30	G-11	1.0	80	208
03. Jul. 18:30	B-02	0.2	54	167
03. Jul. 18:10	L-03	1.0	96	215
04. Jul. 19:40	L-10	0.9	62	183
28. Jul. 00:20	L-10	0.2	52	231
08. Aug. 12:40	L-10	0.5	66	209
17. Sep. 18:40	G-11	0.3	63	172
19. Sep. 22:40	M-04	0.5	61	184
20. Sep. 00:00	M-04	0.3	54	170
20. Sep. 01:10	L-03	0.9	103	224
20. Sep. 01:20	L-02	0.9	81	214
20. Sep. 01:30	L-04	0.5	67	207
20. Sep. 01:30	L-05	0.2	51	181
20. Sep. 01:50	L-06	0.3	52	191
20. Sep. 04:20	L-06	0.2	52	191
20. Sep. 04:40	L-02	0.2	51	188

Massnahmen werden im Folgenden beschrieben. In Anlehnung an die «Empfehlungen zur Sicherstellung der Messdatenqualität von Umgebungsdosimetriesystemen» der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität vom 24. November 2004 werden die MADUK-Sonden vor einem ersten Einsatz geeicht. Die Eichung hat eine dreijährige Gültigkeit. Im Frühjahr 2009 war eine Eichung fällig. Diese wurde im Feld mit Hilfe eines mit dem Eichlabor des Paul Scherrer Institut abgesprochenen Verfahrens vorgenommen (siehe auch Kapitel 3). Das Messverhalten der Sonden wird zwischen den Eichungen mit halbjährlichen Genauigkeitstests geprüft. Bei den Genauigkeitstests werden mit Hilfe einer Prüfquelle die Resultate der Niederdosis- und Hochdosis-Zählrohre überprüft. Mit einer 460 kBq ¹³⁷Cs-Quelle werden erhöhte Werte bei jeder Sonde während ca. 40 Minuten produziert und mit Sollwerten verglichen. Gleichzeitig wird diese Sondenfunktionskontrolle auch für die Überprüfung der Datenübermittlung, der korrekten Archivierung im MADUK-Datenarchiv sowie der Alarmauslösung gemäss den festgelegten Schwellwerten benutzt. Im Jahr 2009 wurde neben der Eichung im Frühjahr

eine Funktionskontrolle im Herbst durchgeführt. Diese zeigte die einwandfreie Funktion aller Sonden. Die Archivierung und Alarmierung funktionierten ebenfalls einwandfrei.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme werden üblicherweise Messungen mittels In-situ-Gammaspektrometrie im Feld durchgeführt. 2009 konnten keine Messungen durchgeführt werden, da sich der Ersatz des Detektors aufgrund von Lieferengpässen stark verzögerte und die qualitätsgesicherte Inbetriebnahme des Detektors nicht mehr im Jahr 2009 erfolgen konnte.

2.5 Messergebnisse

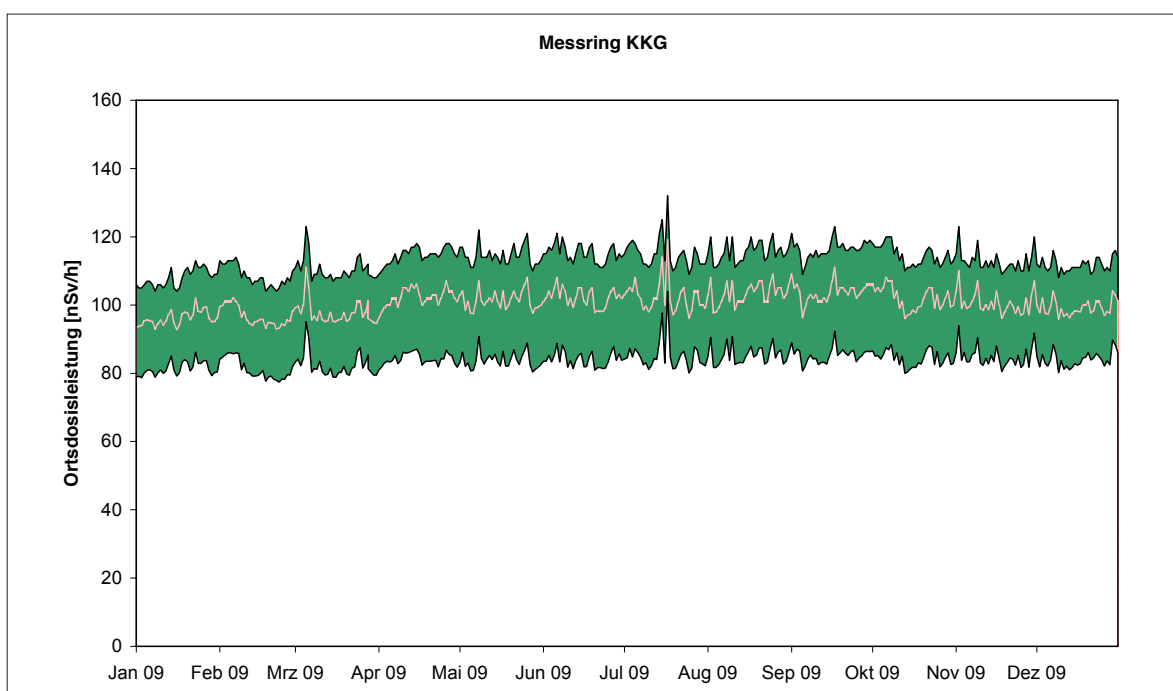
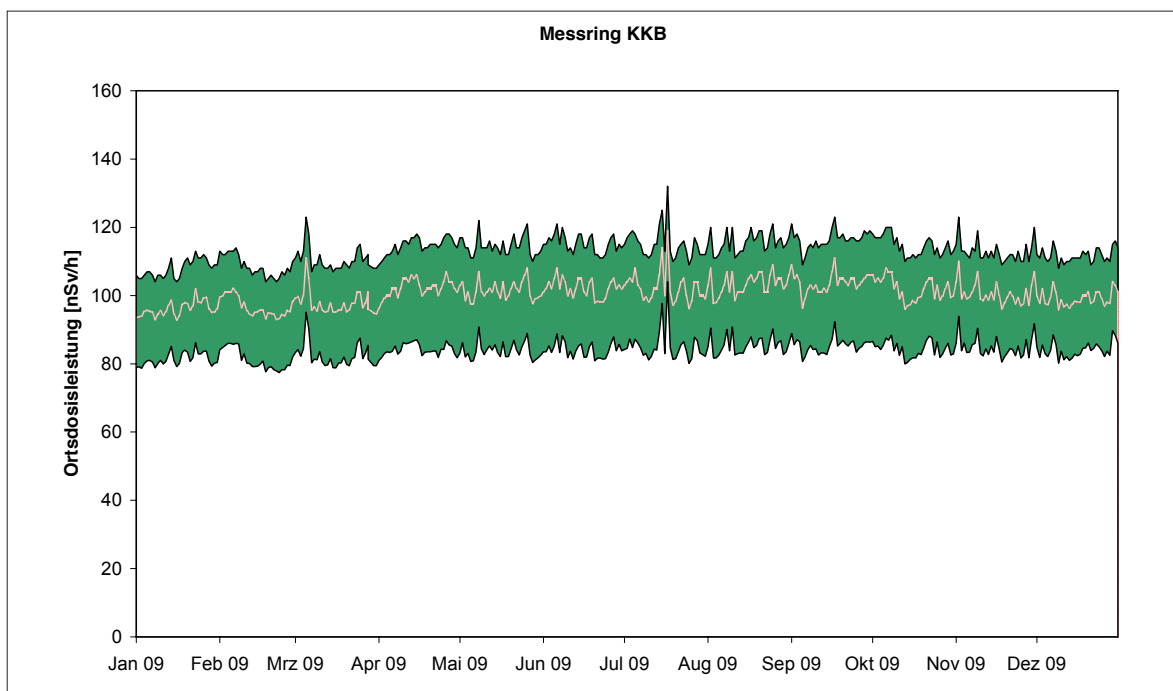
Erhöhte Ortsdosisleistungswerte, die auf Abgaben der Kernkraftwerke zurückzuführen waren, wurden keine festgestellt.

In Rahmen der jährlichen Überprüfungskampagne der NADAM-Sonden wurden beim Personalrestaurant des PSI durch die dort positionierte MADUK-Station B-11 für eine halbe Stunde erhöhte Werte registriert. Der Maximalwert betrug 3,23 µSv/h. Im Laufe des Berichtsjahres

sind die mit NADAM-Sonden ausgerüsteten Wetterstationen bei den Kernkraftwerken von KNET auf das neue SwissMetNet umgerüstet worden. Seither werden bei diesen NADAM-Stationen dieselben Sondentypen wie bei MADUK eingesetzt und baugleiche Prüfquellen verwendet. Die beiden Sonden stehen im Abstand von 2 Metern. Dank der neuen Prüfquellen in Form eines

Ringes sind die Messwerte der jeweils benachbarten Sonde während der Prüfung nur geringfügig beeinflusst. Bei der SwissMetNet-Station in Mühleberg wurde an der MADUK-Sonde M-03 ein Maximalwert von 122 nSv/h, bei Gösgen an der Sonde G-07 ein Maximalwert von 112 nSv/h und bei Leibstadt L-06 ein Maximalwert von 108 nSv/h registriert.

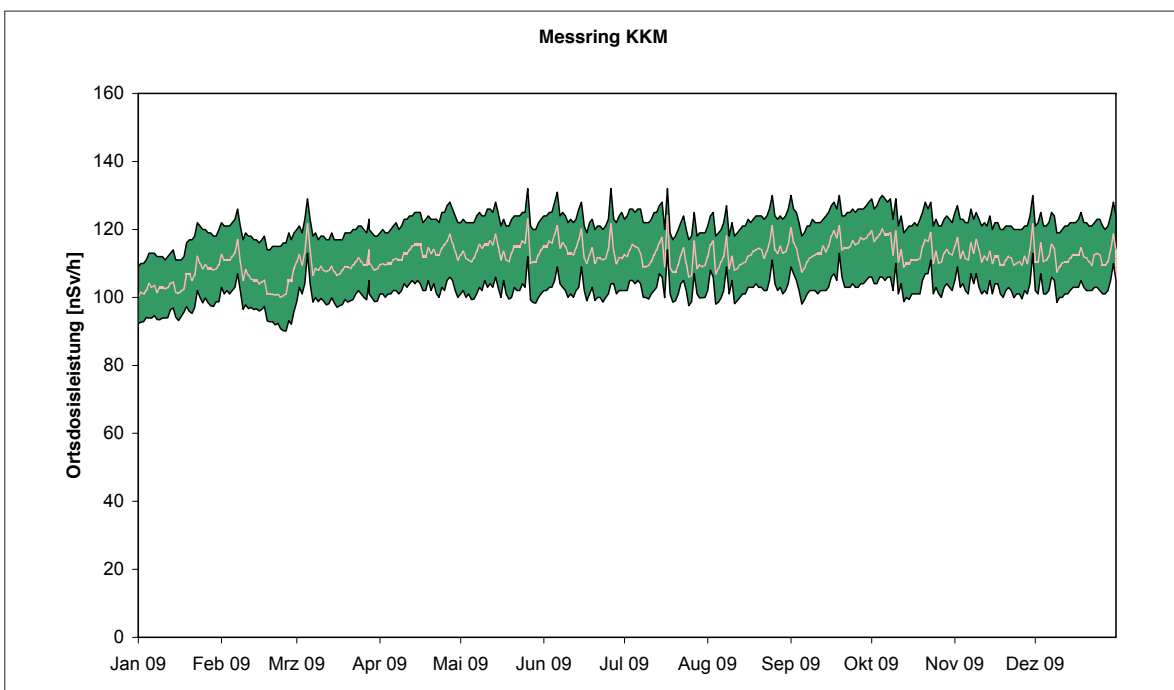
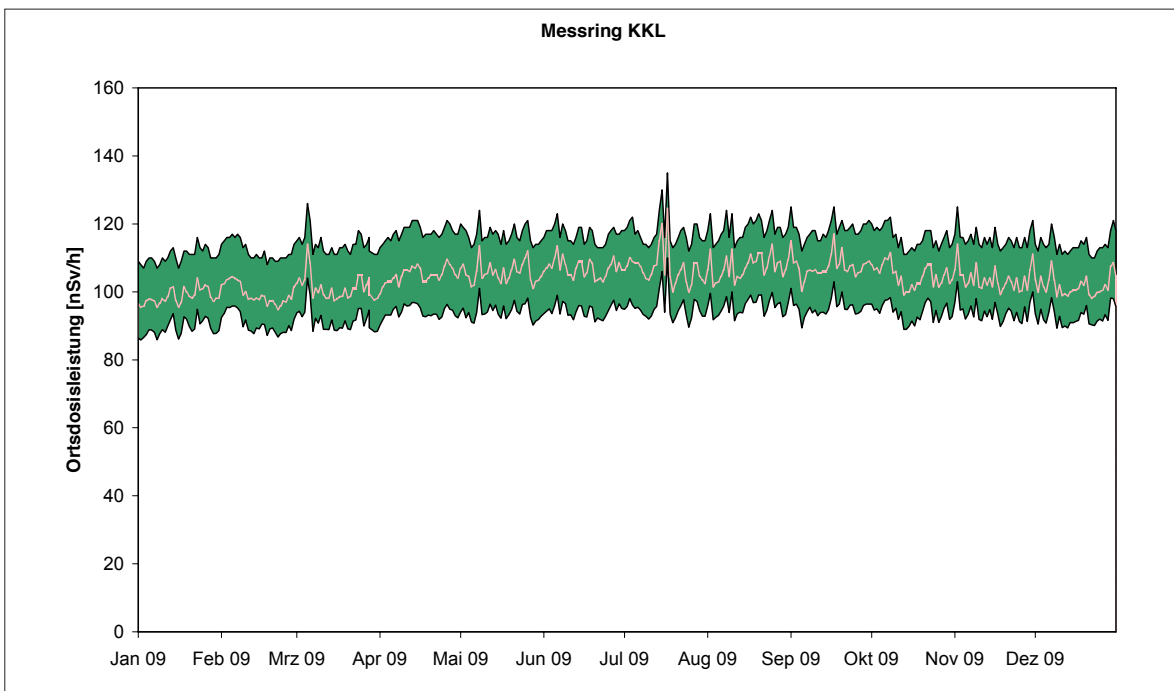
Darstellung B.3: Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKB, KKG



In der Tabelle B.5 sind alle Ereignisse aufgelistet, bei denen der Nettodosisleistungsschwellwert von 50 nSv/h überschritten wurde. Alle registrierten Erhöhungen waren auf Washout-Effekte als Folge von lokal begrenztem Starkregen zurückzuführen. Ein Zusammenhang mit dem Betriebsverhalten der Kernanlagen konnte nicht hergestellt werden.

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.

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



3. Eichung im Feld: Qualitätssicherung der MADUK-Sonden

Das ENSI betreibt seit 1993 das Messnetz zur Automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernanlagen (MADUK). Das System erfüllt folgende Aufgaben:

- Information der Öffentlichkeit und Behörden über die gemessenen Dosisleistungen in der Umgebung der KKW
- Beweissicherung in der Umgebung der Kernanlagen
- Erkennen von Betriebsstörungen und Unfällen in schweizerischen KKW

Das MADUK-Messnetz besteht aus insgesamt 57 Immissionsmessstationen. Jede Station besteht aus einer Dosisleistungssonde mit 3 Geiger-Müller-Zählrohren und einer abgesetzten Elektronik für die Datenspeicherung und Datenübermittlung. Alle zehn Minuten übermitteln die Stationen einen über 10 Minuten gemittelten Messwert an die Zentrale. Die in einer Datenbank gespeicherten Messwerte stehen anschliessend dem System für weitere Berechnungen zur Verfügung.

Um die Qualität der Ortsdosisleistungsmesswerte hoch zu halten, werden die Sonden einmal pro Semester einer Funktionskontrolle und gemäss den Vorgaben des METAS alle 3 Jahre einer Eichung unterzogen.

Für eine Nacheichung in einer Eichstelle müssten die Dosisleistungs sonden jeweils demontiert werden. Dies würde einen Austausch durch Ersatzsonden bedingen und könnte durch die geringfügigen Empfindlichkeitsunterschiede der einzelnen Sonden zu Sprüngen in der Aufzeichnung der Dosisleistungswerte führen. Um diese unnötige Datenvariabilität zu vermeiden, wurde in Zusammenarbeit mit der vom METAS beauftragten Eichstelle für ionisierende Strahlung am Paul Scherrer Institut folgende Methode zur Eichung im Feld entwickelt.

Vor dem Ersteinsatz im Feld wird jede Sonde in der Eichstelle geeicht. Dabei wird unter Laborbedingungen der Sollwert für die Messungen am Sondenstandort gebildet, indem im Referenzstrahlenfeld (^{137}Cs) der Eichstelle

die Messwerte für die beiden, später im Feld verwendeten Referenzquellen (^{137}Cs) bestimmt werden. Damit wird der Anschluss an ein Normal gewährleistet.

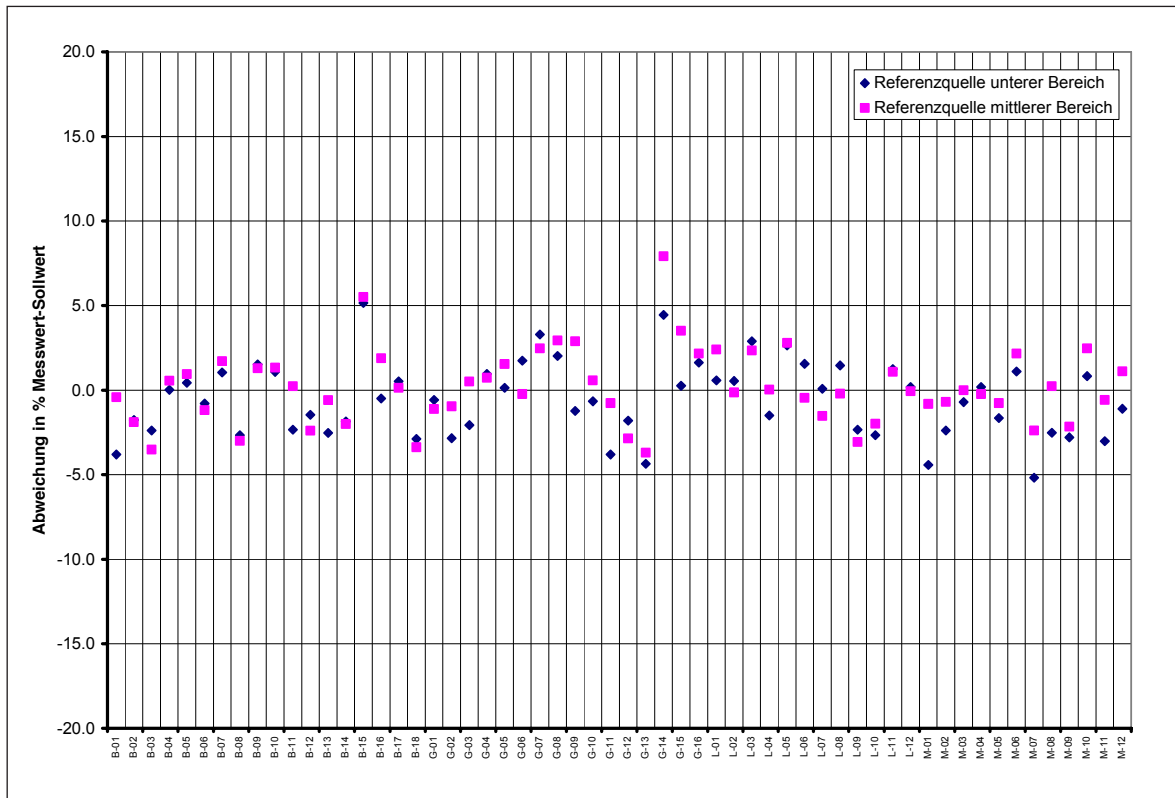
Im Feld wird mittels der zwei Referenzquellen die Dosisleistungs sonde einem definierten Strahlenfeld ausgesetzt. Die schwächere Referenzquelle dient zur Überprüfung des unteren Messbereichs, die stärkere ist für den mittleren Messbereich. Für jede Referenzquelle wird je ein 10 Minutenwert generiert. Dieser Messwert wird mit dem Sollwert der Eichstelle verglichen. Die erfassten Messdaten in der MADUK-Zentrale werden zusätzlich noch mit den in der Station gemessenen Werten verglichen und überprüft. Die Abweichung zum Sollwert muss innerhalb der vom METAS vorgegebenen Eichfehlergrenzen von 20 % liegen. Ist dies der Fall, stellt die Eichstelle mit den gemessenen und in einem Protokoll festgehaltenen Daten ein Eichzertifikat aus.

Neben der radiologischen Prüfung umfasst die Eichung wie auch die Funktionsprüfung eine Überprüfung der Alarmierung bei Grenzwertüberschreitungen und der automatischen Auslösung des Pagersystems.

Der Strahlenschutz nimmt bei der Eichung und Funktionsprüfung einen wesentlichen Teil der Arbeit ein. Vor und nach den Arbeiten im Feld werden die Referenzquellen jeweils einer Dichtheitskontrolle unterzogen. Für den Transport der radioaktiven Quellen müssen gültige Transportpapiere ausgestellt werden und der Fahrer muss über eine aktuelle Ausbildung für radioaktive Transporte verfügen. Während den Arbeiten mit den radioaktiven Quellen wird die ausführende Person dosimetriert. Eine unnötige Bestrahlung des Mitarbeiters und allfälliger Passanten wird durch umsichtige Arbeitsweise verhindert.

In Darstellung B.5 sind die Abweichungen der einzelnen Stationen vom Sollwert anlässlich der Eichung 2009 ersichtlich. Sie liegen mit minus 5% bis plus 8% gut innerhalb der Eichfehlergrenzen.

Darstellung B.5: Abweichungen der Messwerte von den Referenzwerten für die Eichung im Feld 2009



4. Atmosphärische Ausbreitung

4.1 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 das ENSI bei einer störfallbedingten Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus einer schweizerischen Kernanlage für die zeitgerechte Beurteilung der radiologischen Gefährdung der Bevölkerung in der näheren Umgebung (Zonen 1 und 2) verantwortlich.

Das ENSI ist zuständig für die Prognosen der Entwicklung des Störfalls in der Anlage sowie der möglichen Ausbreitung der Radioaktivität in der Umgebung und für die Abschätzung von deren radiologischen Konsequenzen. Das ENSI berät zudem die Nationale Alarmzentrale (NAZ) über die Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung.

Die Eidgenössische Kommission für ABC-Schutz (Kom-ABC) hat in ihrem Konzept hinsichtlich der atmosphärischen Ausbreitungsrechnungen bei Unfällen in Kernanlagen die heute vorhandenen Mittel beurteilt und die Anforderungen an die Resultate der Berechnungen sowie die Verfügbarkeit und der 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 zurückgegriffen werden. Die Gefährdung muss vielmehr mittels Modellrechnungen aufgrund der aktuellen Situation in der Anlage und der vorherrschenden Wetterbedingungen in der Umgebung abgeschätzt werden. Modellrechnungen dienen insbesondere dazu, das potenziell gefährdete Gebiet abzugrenzen, die notwendigen

Schutzmassnahmen festzulegen und die Messstrategie zu optimieren.

4.2 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») werden heute die Wind- und Temperaturprofile bis ca. 4 km über Boden genau erfasst. Diese Messungen verbessern die zeitliche Verfolgung des Zustandes der Atmosphäre bei einem radiologischen Störfall und sind damit eine optimale Informationsquelle für numerische Modelle. MeteoSchweiz verfügt insgesamt über drei «remote-sensing»-Messanlagen für Wind- und Temperaturprofile an den Standorten Payerne, Grenchen und Schaffhausen.

Das Projekt CN-MET (Centrales Nucléaires et Météorologie), das Ende 2009 erfolgreich abgeschlossen wurde, beinhaltet die Entwicklung eines feinmaschigen Modells zusammen mit der Integration eines «remote-sensing»-Systems. Das zu einer Maschenweite von 2 Kilometern angepasste Modell COSMO-2 basiert auf einem Prognosemodell mit 7 Kilometern Maschenweite und nützt ein darauf zugeschnittenes meteorologisches Messnetz aus, das Messungen am Boden mit Messungen in der planetaren Grenzschicht kombiniert. Das Projekt zielte 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 COSMO-2 ist eng gekoppelt mit der Echtzeit-Assimilation der 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.

Das von MeteoSchweiz entwickelte Prognosemodell COSMO-2 wurde in Bezug auf die erstellten Wetterprognosen an den Standorten der Kernkraftwerke einer Validierung unterzogen. Hierfür fand im Herbst 2008 an einem Standort zwischen Leibstadt und Beznau und im Frühling 2009 an einem Standort bei Mühleberg jeweils eine Messkampagne statt. Mit einem mobilen Wind- und Temperaturprofiler wurden die lokalen meteorologischen Verhältnisse gemessen und mit der Vorhersage aus dem COSMO-2-Modell verglichen.

Die detaillierte Prüfung der Ergebnisse durch das ENSI und der MeteoSchweiz hat ergeben, dass die Qualität der meteorologischen Prognosen entscheidend verbessert wurde und dadurch die Notfallschutzinstrumente des ENSI davon profitieren. Weiterhin stellt die allgemeine Forschungstätigkeit der MeteoSchweiz ein Garant für eine laufende Verbesserung des herangezogenen Wettermodells COSMO-2 bzw. der Prognosen dar.

4.3 Atmosphärisches Ausbreitungsmodell ADPIC/WINDBANK

Im Ereignisfall wird das komplexe 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 Windfelder aus der WINDBANK (Windfeld-Datenbank) verwendet.

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

Aktueller Stand

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

- Routinemässige Berechnungen mit einer Einheitsquelle ($1 \text{ Bq/s } ^{137}\text{Cs}$) 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 ENSI-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 aufgrund der in der Wolkenphase erhaltenen Dosen und den noch zu erwartenden Dosen infolge Deposition wichtig. Zudem tragen die Modellberechnungen zur Festlegung des Wolkendurchzuggebietes als Grundlage für die Optimierung der Messstrategie bei. Für die Sicherstellung der Notfallbereitschaft im Ereignisfall muss neben der technischen Verfügbarkeit auch die personelle Bedienung des Systems gewährleistet sein.

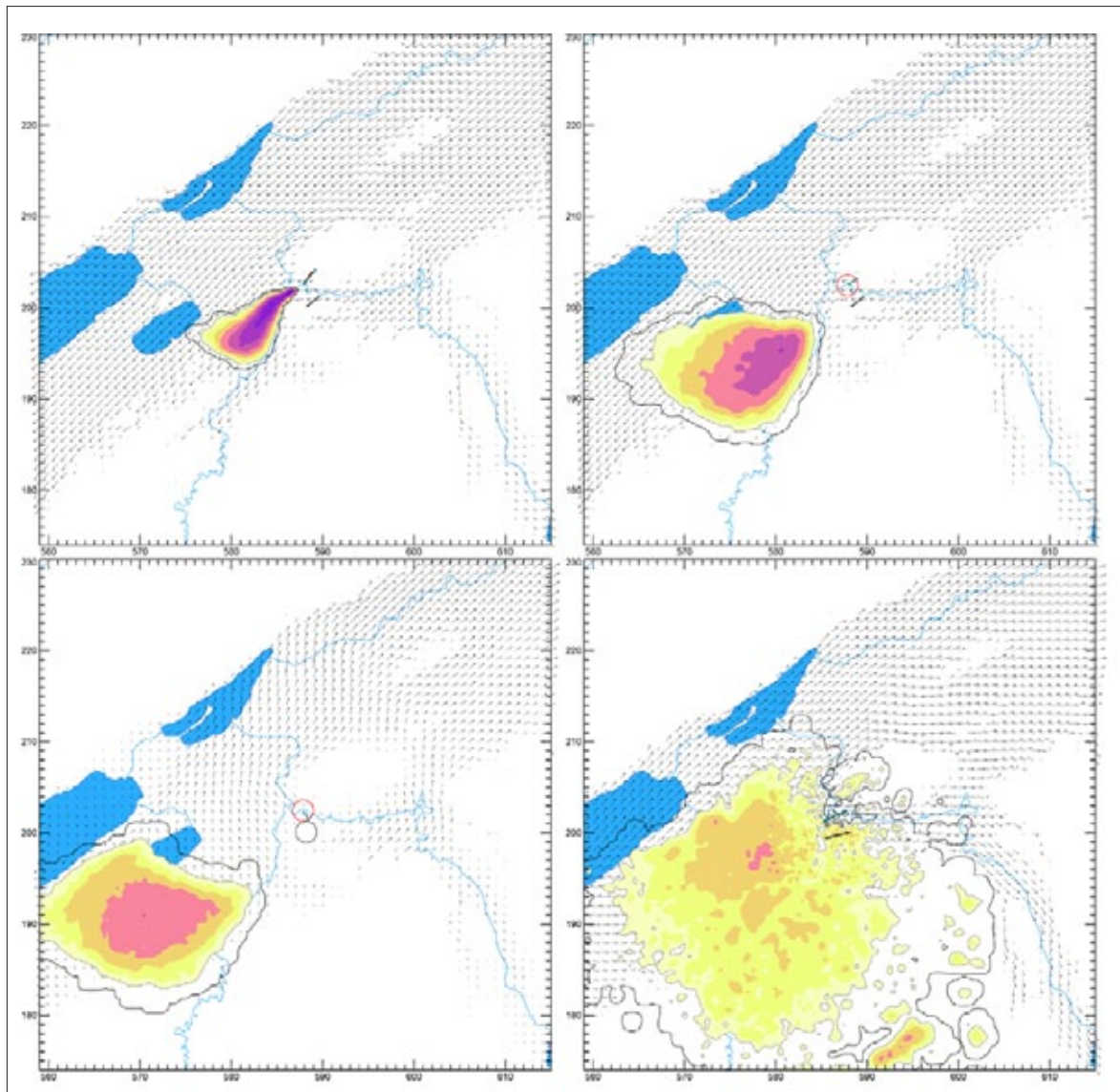
Beispiele von ADPIC/WINDBANK-Berechnungen

Das Ausbreitungsmodell ADPIC/WINDBANK ermöglicht im Ereignisfall aufgrund von aktuellen meteorologischen Daten eine realistische Beurteilung der radiologischen Gefährdung der Bevölkerung. Bei diagnostischen Berechnungen werden als Input die gemessenen Daten der operationellen Stationen der MeteoSchweiz verwendet. Bei prognostischen Berechnungen wird das numerische Prognosemodell COSMO-2 der MeteoSchweiz eingesetzt. In den Darstellungen B.6 bis B.9 werden Beispiele von ADPIC/WINDBANK-Simulationen aus der Gesamtnotfallübung KKM-MEDEA dargestellt. Es handelt sich dabei um Ausbreitungsrechnungen, die von der Mess-

wertzentrale für die Übung in Echtzeit bereitgestellt wurden. Die Darstellungen B.6 und B.7 zeigen die berechneten Luftaktivitäten als Funktion der Zeit (jeweils als Prognose bzw. Diagnose). Die Darstellungen B.8 und B.9 zeigen die berechneten Ortsdosisleistungen als

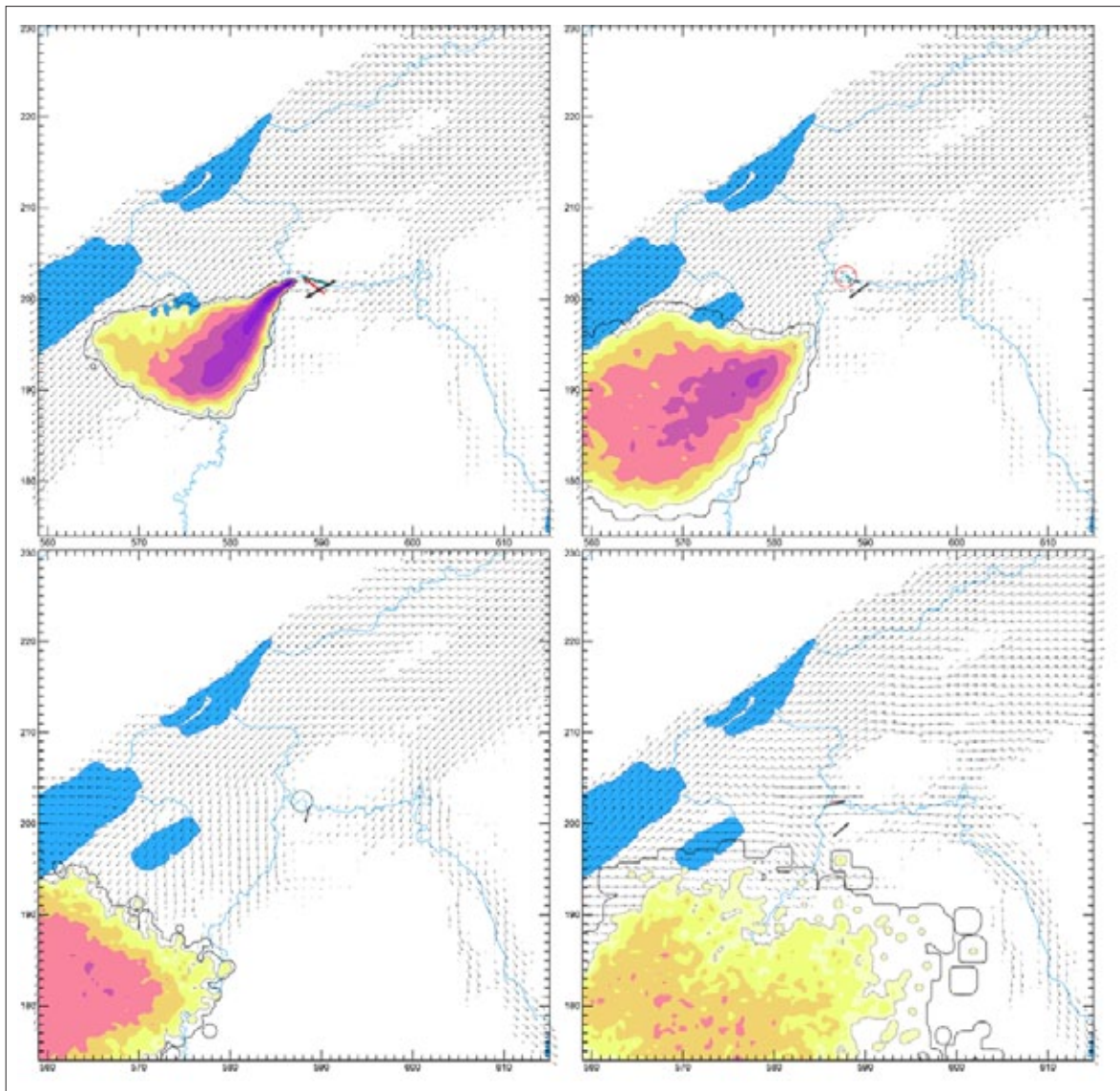
Funktion der Zeit (jeweils als Prognose bzw. Diagnose). Die Übereinstimmung zwischen Prognose und Diagnose ist erstaunlich gut, insbesondere in Anbetracht der Tatsache, dass sich der Wind während der Ausbreitung von Nord-Ost nach Süd-West gedreht hat.

Darstellung B.6: Beispiele von ADPIC/WINDBANK-Simulationen (Messwertzentrale Übung KKM-MEDEA, Prognose Luftaktivität)



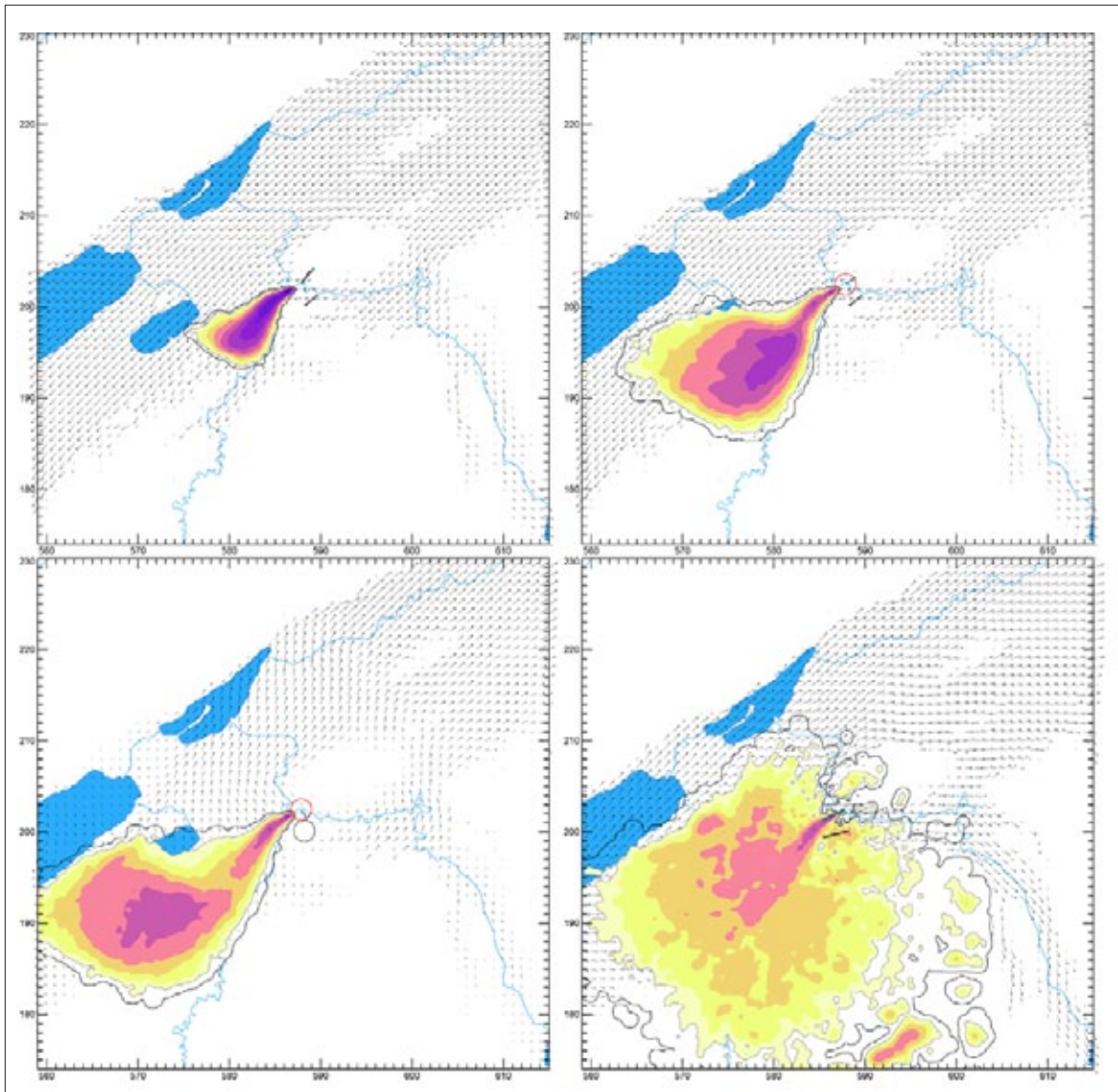
Übung KKM-MEDEA: Ausbreitungssituation am 16. Oktober 2009 um 12.00 Uhr (links oben), 13.00 Uhr (rechts oben), 14.00 Uhr (links unten) und 16.00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit
Ausbreitungsrechnung mit einer von der Übungsleitung definierten Kamin-Freisetzung um 11.00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 125 m über Boden
Berechnungen mit der WINDBANK-Methode und prognostizierten Winddaten aus COSMO-2, Zeitpunkt der Berechnungen ca. 10.00 Uhr Lokalzeit
Vordergrund: Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit
Hintergrund: 3-D-Windfeld auf 600 m über Meer

Darstellung B.7: Beispiele von ADPIC/WINDBANK-Simulationen (Messwertzentrale Übung KKM-MEDEA, Diagnose Luftaktivität)



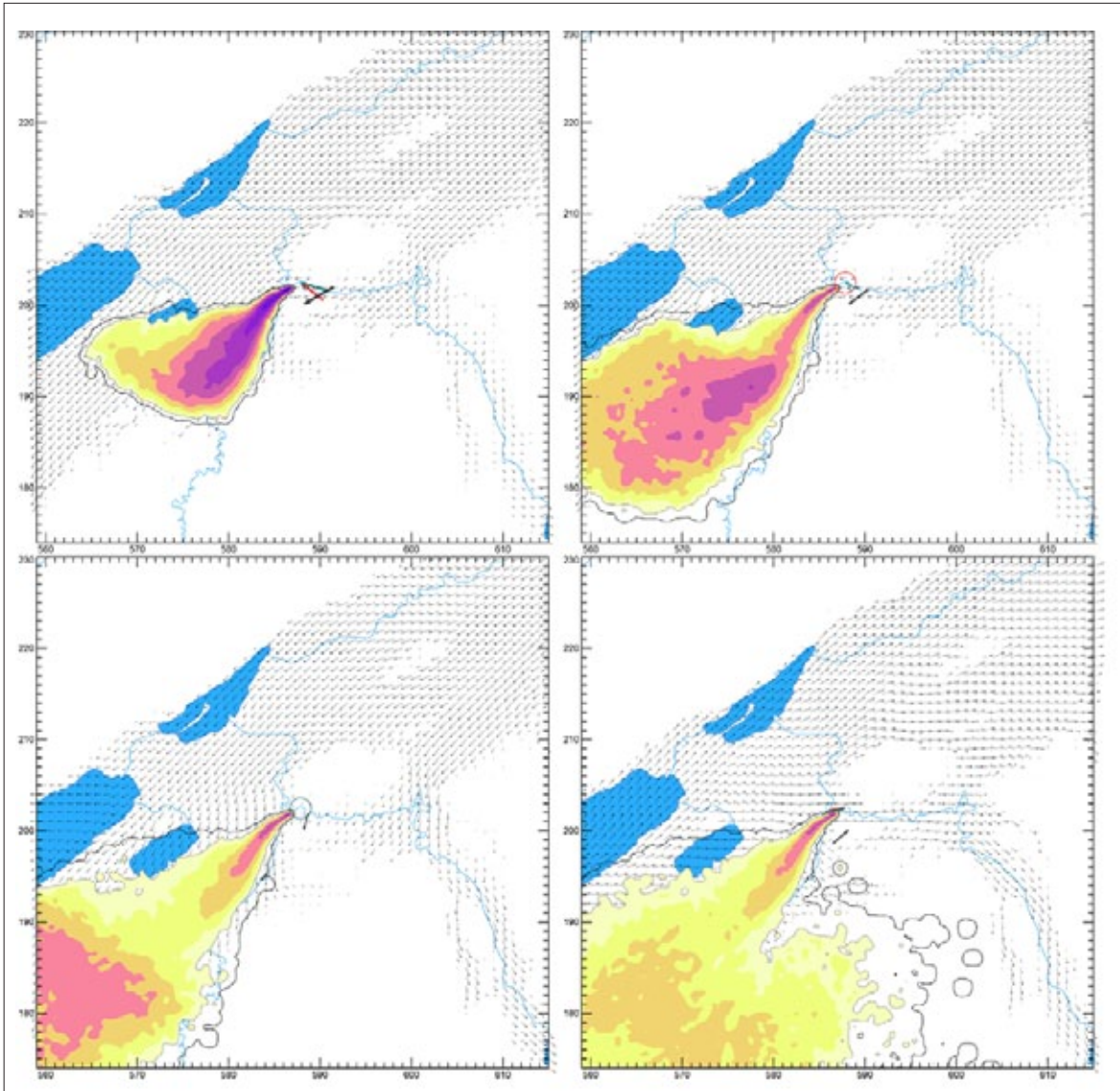
Übung KKM-MEDEA: Ausbreitungssituation am 16. Oktober 2009 um 12.00 Uhr (links oben), 13.00 Uhr (rechts oben), 14.00 Uhr (links unten) und 16.00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit
Ausbreitungsrechnung mit einer von der Übungsleitung definierten Kamin-Freisetzung um 11.00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 125 m über Boden
Berechnungen mit der WINDBANK-Methode und gemessenen Winddaten der MeteoSchweiz, Zeitpunkt der Berechnungen ca. 16.00 Uhr Lokalzeit
Vordergrund: Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit
Hintergrund: 3-D-Windfeld auf 600 m über Meer

Darstellung B.8: Beispiele von ADPIC/WINDBANK-Simulationen (Messwertzentrale Übung KKM-MEDEA, Prognose Ortsdosisleistung)



Übung KKM-MEDEA: Ausbreitungssituation am 16. Oktober 2009 um 12.00 Uhr (links oben), 13.00 Uhr (rechts oben), 14.00 Uhr (links unten) und 16.00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit
 Ausbreitungsrechnung mit einer von der Übungsleitung definierten Kamin-Freisetzung um 11.00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 125 m über Boden
 Berechnungen mit der WINDBANK-Methode und prognostizierten Winddaten aus COSMO-2, Zeitpunkt der Berechnungen ca. 10.00 Uhr Lokalzeit
 Vordergrund: Ortsdosisleistung (Wolken- und Bodenstrahlung) als Funktion der Zeit
 Hintergrund: 3-D-Windfeld auf 600 m über Meer

Darstellung B.9: Beispiele von ADPIC/WINDBANK-Simulationen (Messwertzentrale Übung KKM-MEDEA, Diagnose Ortsdosisleistung)



Übung KKM-MEDEA: Ausbreitungssituation am 16. Oktober 2009 um 12.00 Uhr (links oben), 13.00 Uhr (rechts oben), 14.00 Uhr (links unten) und 16.00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit
Ausbreitungsrechnung mit einer von der Übungsleitung definierten Kamin-Freisetzung um 11.00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 125 m über Boden
Berechnungen mit der WINDBANK-Methode und gemessenen Winddaten der MeteoSchweiz, Zeitpunkt der Berechnungen ca. 16.00 Uhr Lokalzeit
Vordergrund: Ortsdosisleistung (Wolken- und Bodenstrahlung) als Funktion der Zeit
Hintergrund: 3-D-Windfeld auf 600 m über Meer

5. Aeroradiometrische Messungen

5.1 Einleitung

Aeroradiometrische Messungen in der Schweiz begannen 1986. Methodik und Software für Kalibrierung, Datenerfassung, Datenverarbeitung und Kartendarstellung wurden am Institut für Geophysik der ETH Zürich entwickelt (Schwarz 1991). In der Zeit von 1989 bis 1993 wurde die Umgebung der schweizerischen Kernanlagen jährlich aeroradiometrisch auf einer Fläche von jeweils rund 50 km² 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 Industrie-

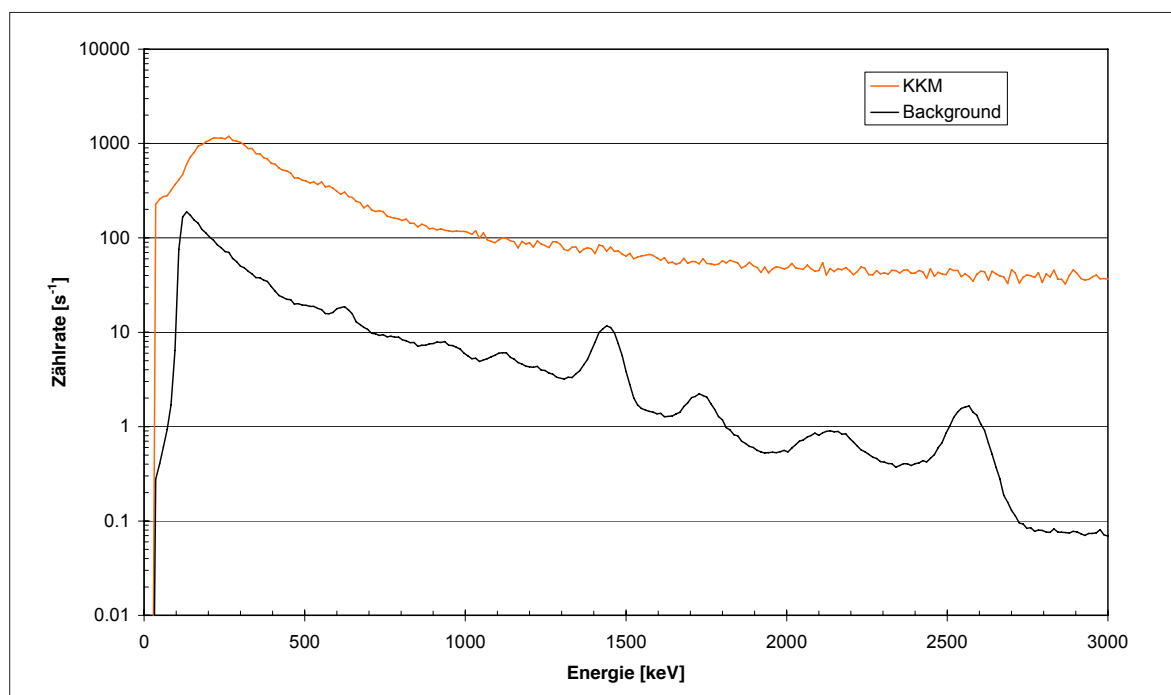
unfälle mit radioaktivem Material, KKW-Störfälle, Abstürze von Satelliten mit Nuklearreaktoren und «Dirty Bombs» im Vordergrund. Der Einsatz erfolgt unter der Regie der Nationalen Alarmzentrale (NAZ). Unterhalt und Bereitstellung des Messsystems erfolgen seit 2004 durch das Paul Scherrer Institut (PSI) und das ENSI.

Während der Jahre 2004 und 2005 wurden die Messsysteme erneuert und dabei die online Datenauswertungs- und Kartierungssoftware im Messsystem integriert. 2006 wurde ein zweiter Detektor mit 16,8 l Volumen beschafft, kalibriert und bei den Messflügen 2007 erstmals eingesetzt.

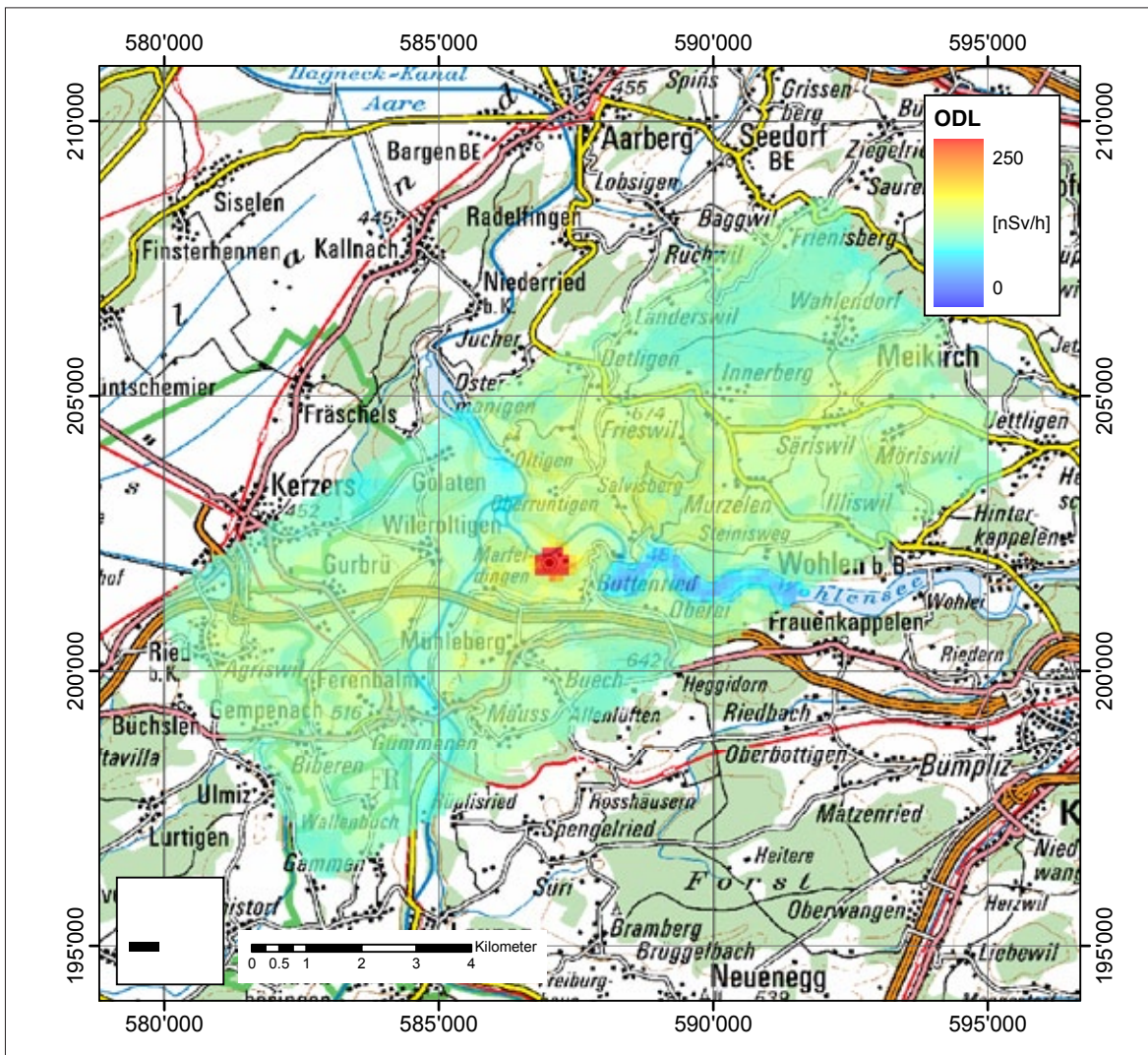
5.2 Messungen und Messresultate 2009

Bei den Messflügen im Juni 2009 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM) abgedeckt. Der Schwerpunkt bei den Messflügen 2009 lag bei einer trinationalen Messübung

Darstellung B.10: Photonenspektrum über dem KKM im Vergleich zum Background ausserhalb des Betriebsareals



Darstellung B.11: Karte der Ortsdosisleistung im Messgebiet KKM. Kartendaten PK200 © swisstopo (DV084391)



in der Nähe von München, an der neben dem Organisator aus Deutschland auch ein Messteam aus Frankreich teilnahm. Im Folgenden werden nur die Resultate der Messungen in der Umgebung der Kernanlagen diskutiert.

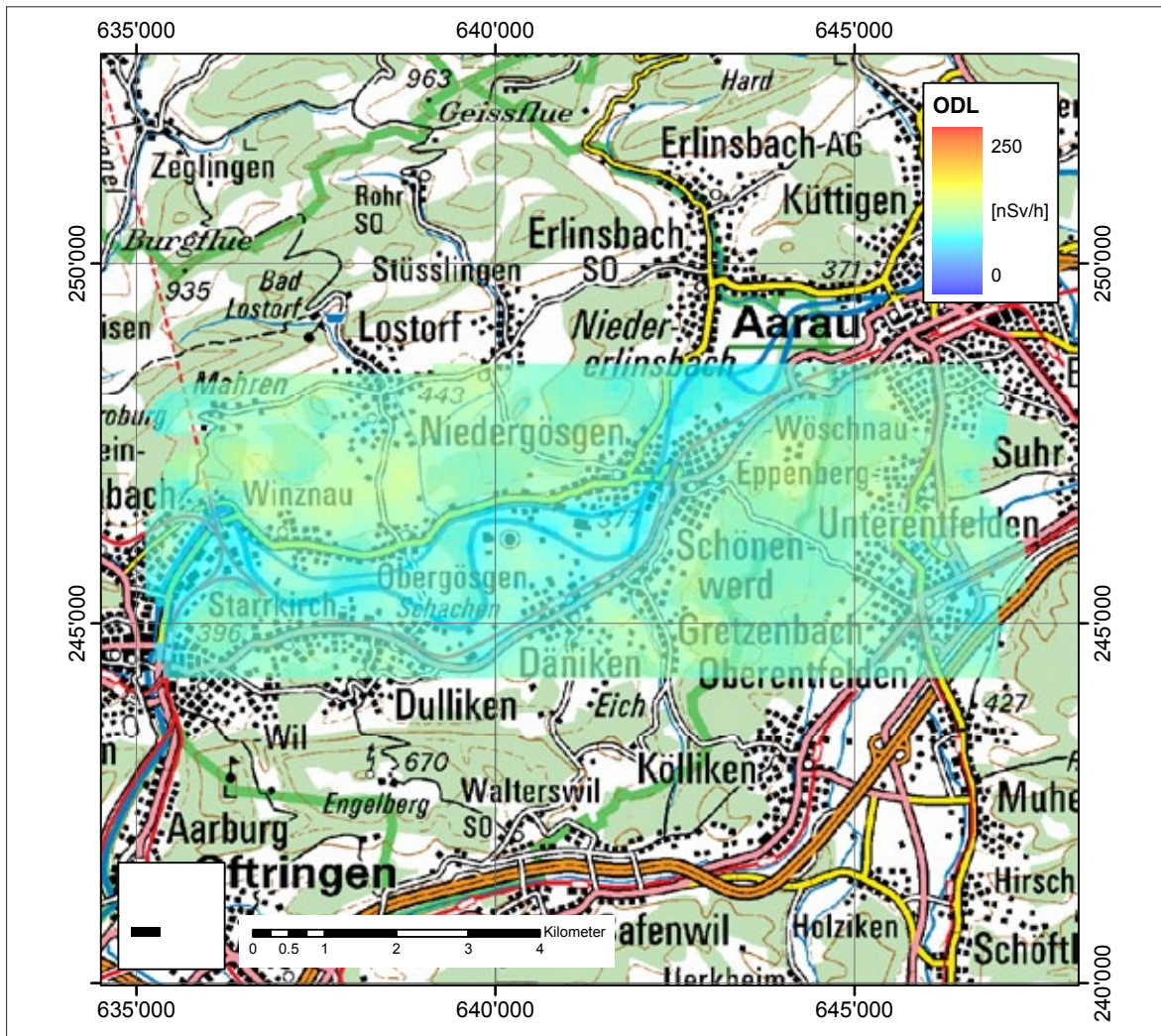
Die Messresultate in den Messgebieten KKG und KKM zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. Das KKG mit seinem Druckwasserreaktor konnte aeroradiometrisch nicht erkannt werden. Das KKM mit seinem Siedewasserreaktor konnte anhand von hochenergetischer Photonenstrahlung erkannt werden (Darstellung B.10). Diese Strahlung wird durch das Aktivierungsprodukt ^{16}N erzeugt, welches bei Siedewasserreaktoren durch die Frischdampfleitung in die Turbinen im Maschinenhaus gelangt. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise gering

abgeschirmt ist, kann die hochenergetische Gammastrahlung des ^{16}N aus der Luft gut gemessen werden. Ausserhalb des Betriebsareals sind keine erhöhten Werte erkennbar.

In der Karte der Ortsdosisleistung (Darstellung B.11) ist KKM deutlich anhand erhöhter Werte erkennbar. Ausserhalb des umzäunten Werksareals sind keine erhöhten Werte erkennbar. Die Wertevariation ist auf variable natürliche Radioelementgehalte im Untergrund zurückzuführen. Die tiefsten Werte findet man über den Gewässern, da die terrestrische Strahlung dort durch den Wasserkörper abgeschirmt wird.

In der Karte der Ortsdosisleistung für das Messgebiet KKG sind keine erhöhten Werte erkennbar (Darstellung B.12). KKG ist wie bereits in allen vorausgehenden Jahren nicht zu erkennen.

Darstellung B.12: Karte der Ortsdosisleistung im Messgebiet KKG. Kartendaten PK200 © swisstopo (DV084391)



5.3 Literatur

Schwarz, G. F., 1991: Methodische Entwicklungen zur Aerogammaspektrometrie. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr.23, Schweizerische Geophysikalische Kommission.

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

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

Impressum

ENSI Strahlenschutzbericht 2009

Herausgeber

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI
CH-5200 Brugg

Telefon 0041 (0)56 460 84 00

Telefax 0041 (0)56 460 84 99

zu beziehen bei

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI
Informationsdienst

CH-5200 Brugg

oder per E-Mail

Info@ensi.ch

Zusätzlich zu diesem Strahlenschutzbericht...

...informiert das ENSI in drei weiteren
jährlichen Berichten aus seinem Arbeits-
und Aufsichtsgebiet.

abrufbar unter

www.ensi.ch

ENSI-AN-7202

ISSN 1661-2914

© ENSI, Mai 2010

ENSI-AN-7202
ISSN 1661-2914

ENSI, CH-5200 Brugg, Industriestrasse 19, Telefon +41 (0)56 460 84 00, Fax +41 (0)56 460 84 99, www.ensi.ch