



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 2010

Strahlenschutzbericht 2010

Rapport sur la radioprotection 2010

Radiological Protection Report 2010

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4
Préface	5
Preface	6
A: STRAHLENSCHUTZ IN DEN KERNANLAGEN	
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)	14
2. Weitere Kernanlagen	15
2.1 Paul Scherrer Institut (PSI)	15
2.2 Zentrales Zwischenlager (ZZL)	16
2.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)	17
2.4 Universität Basel	17
3. Grafische Darstellungen	18
4. Dosimetrie	22
4.1 Einleitung	22
4.2 Personendosimetrie	22
4.3 Jobdosimetrie	42
4.4 Bewertung der Strahlenexposition	53
4.5 Erwartete Entwicklung der Exposition	54

B: UMWELTRADIOAKTIVITÄT BEI KERNANLAGEN, ÜBERWACHUNG

1.	Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen	57
1.1	Emissionen aus den Kernanlagen	57
1.2	Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen	68
2.	Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)	69
2.1	Übersicht	69
2.2	Systeminstandhaltung und –ergänzung	71
2.3	Systemverfügbarkeit und Störungen	71
2.4	Qualitätssicherung	73
2.5	Messergebnisse	73
3.	Atmosphärische Ausbreitung	78
3.1	Modellberechnungen im Ereignisfall	78
3.2	Projekt CN-MET	78
3.3	Atmosphärisches Ausbreitungsmodell ADPIC/WINDBANK	79
4.	Aeroradiometrische Messungen	82
4.1	Einleitung	82
4.2	Messungen und Messresultate 2010	82
4.3	Literatur	87

Vorwort



Der vorliegende siebte Jahresbericht des ENSI über den Strahlenschutz in den schweizerischen Kernanlagen behandelt im Teil A die Strahlendosen des Personals und die Jobdosen.

Der Teil B enthält Angaben zu den Abgaben der Kernanlagen und zur Überwachung der Umweltradioaktivität in der näheren Umgebung.

Dieses Berichtsjahr war wiederum geprägt durch ein Vorkommnis, das das ENSI der Stufe 2 auf der INES-Skala zugeordnet hat. Bei Instandhaltungsarbeiten im Brennelement-Transferbecken des Kernkraftwerks Leibstadt hat ein Taucher einen rohrähnlichen Gegenstand geborgen. Es handelte sich dabei um ein sehr stark aktiviertes Endstück eines früher ausgebauten Mantelrohrs der Reaktorkerninstrumentierung. Die Abklärungen haben eine Handdosis von 7,5 Sv und eine Ganzkörperdosis von 28 mSv ergeben. Beides ist als Überschreiten eines Jahresgrenzwerts nach Strahlenschutzverordnung zu werten.

Wie im Falle des INES-2-Ereignisses 2009 zeigt sich auch hier, dass den Arbeiten in hohen und variablen Strahlenfeldern eine ganz besondere Beachtung zu schenken ist. Aus Sicht des Strahlenschutzes müssen verschiedene dringliche Massnahmen ergriffen werden. Dazu gehört beispielsweise, dass akustische Alarmer und Warnungen von elektronischen Dosimetern auch unter erschwerten Arbeitsbedingungen unmittelbar wahrgenommen werden können. Es braucht auch eine systematische Bestimmung der Strahlenfelder und eine Weitergabe dieser Informationen an alle Involvierten.

Die Kollektivdosen und die mittleren Individualdosen haben sich gegenüber den letzten Jahren nicht wesentlich geändert. Der Mittelwert der Individualdosen des Personals von Kernanlagen liegt mit 0,7 mSv weit unterhalb des Grenzwerts für beruflich strahlenexponierte Personen und auch unterhalb der mittleren jährlichen Strahlendosis der Bevölkerung in der Schweiz durch Radon (3,2 mSv).

Die höchste Individualdosis im Kernkraftwerk Leibstadt betrug 28 mSv; 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.

Trotz des INES-2-Vorkommnisses in Leibstadt 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 halten und die erhöhten Individualdosen einzelner Spezialisten zu reduzieren.

Zur Überwachung der Umweltradioaktivität in der Umgebung der Kernanlagen betreibt das ENSI seit Jahren ein Messnetz zur Automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK). Die ermittelten Dosisleistungswerte sind auf www.ensi.ch (Rubrik «Messnetz 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.

Auch wenn es hier um die Berichterstattung für das Jahr 2010 und um die schweizerischen Kernanlagen geht, darf die Katastrophe im japanischen Fukushima nicht unerwähnt bleiben. Nebst anderen Massnahmen werden auch der interne und der externe Notfallschutz kritisch zu überprüfen sein. Das ENSI wird diesbezüglich rasch eine neue Bewertung der Referenzszenarien für die Notfallplanung und der Verfügbarkeit von MADUK-Messdaten in extremen Situationen vornehmen.

Préface

Le présent et septième rapport annuel de l'Inspection Fédérale de la Sécurité Nucléaire (IFSN) sur la radioprotection dans les installations nucléaires suisses traite en partie A des doses d'irradiation du personnel et des doses associées aux différentes tâches. La partie B informe des rejets des installations nucléaires et de la surveillance de la radioactivité de l'environnement au voisinage immédiat.

L'exercice sous revue a de nouveau été marqué par un événement que l'IFSN a classé au niveau 2 de l'échelle INES. Lors des travaux de maintenance dans la piscine de transfert des assemblages combustibles de la centrale nucléaire de Leibstadt, un plongeur a sécurisé un objet ressemblant à un tuyau. Il s'agissait de l'embout très fortement activé d'une partie d'instrumentation nucléaire du cœur du réacteur précédemment démontée. Les analyses ont révélé une dose à la main de 7,5 Sv et une dose au corps entier de 28 mSv. Selon l'ordonnance sur la radioprotection, ces deux valeurs doivent être taxées de dépassement d'une valeur limite annuelle.

Comme avec l'événement INES 2 de 2009, il s'avère ici aussi qu'il faut faire particulièrement attention aux travaux réalisés dans des champs de rayonnement élevés et variables. Sous l'angle de la radioprotection, différentes mesures doivent être prises rapidement, notamment des alarmes et avertissements acoustiques de dosimètres électroniques fonctionnant même en cas de conditions accrues de travail. On a besoin aussi d'une analyse systématique des champs de rayonnement et d'une transmission de ces informations à toutes les parties prenantes.

Les doses collectives et les doses individuelles moyennes n'ont guère changé par rapport aux dernières années. Avec 0,7 mSv, la valeur moyenne des doses individuelles du personnel des installations nucléaires est largement inférieure à la valeur limite fixée pour les personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession, ainsi aussi qu'à la dose d'irradiation annuelle moyenne de la population en Suisse par le radon (3,2 mSv). Dans la centrale nucléaire de Leibstadt, la dose individuelle la plus élevée a été de 28 mSv; dans les centrales nucléaires de Gösgen, Leibstadt et Mühleberg, la valeur maximale est restée inférieure à 10mSv. Certains spécialistes ont reçu des doses d'irradiation plus élevées lorsque, dans leurs travaux sur des composants avec débit de dose locale élevé, ils n'ont pas pu être remplacés sans autres par d'autres personnes.

Malgré l'événement INES 2 de Leibstadt, l'IFSN conclut que les installations nucléaires suisses profitent d'une radioprotection systématique. Des mesures d'optimisation ont permis une nette réduction des doses de rayonnement, due aussi à l'adaptation, ces dernières années, de la chimie de l'eau des installations à l'état de la science et de la technique. Les exploitants des installations nucléaires suisses sont face au double défi de maintenir un niveau élevé de radioprotection et de réduire les doses individuelles accrues de certains spécialistes.

Pour surveiller la radioactivité de l'environnement au voisinage des installations nucléaires, l'IFSN exploite depuis des années un réseau de mesures pour la surveillance automatique du débit de dose dans l'environnement des centrales nucléaires (MADUK). Les débits de dose ainsi déterminés sont accessibles au public sur www.ensi.ch (rubrique « Réseau de mesures MADUK » > « Valeurs de mesure de la radioactivité »). Les émissions et immissions des installations nucléaires suisses sont comparables à celles des années précédentes et conduisent pour les petits enfants vivant au voisinage immédiat d'une installation nucléaire à une dose de moins de 10 micro-Sv.

Même si on traite ici du compte rendu de l'exercice 2010 et des installations nucléaires suisses, on se doit de mentionner la catastrophe de Fukushima. Entre autres mesures, il faudra vérifier de manière critique aussi la protection en cas d'urgence interne et externe. A cet égard, l'IFSN procédera rapidement à une nouvelle évaluation des scénarios de référence pour la planification en cas d'urgence ainsi que de l'accessibilité des données de mesures MADUK dans des situations extrêmes.

Preface

This is the 7th Annual Report of ENSI on radiological protection in Swiss nuclear facilities. Section A deals with doses for staff and individual jobs and Section B covers releases from nuclear facilities and the monitoring of environmental radioactivity in their immediate vicinity.

The year under review was again marked by an event classified by ENSI as Level 2 on the INES Scale. During maintenance work in the fuel-assembly transfer system at the Leibstadt nuclear power station, a diver recovered a pipe-like object. The object, which was highly radioactive, was the end piece from a jacketed pipe previously removed from the in-core instrumentation. Subsequent investigations showed that the diver had been exposed to a hand dose of 7,5 Sv and a complete-body dose of 28 mSv - both in excess of the annual limits specified in the Swiss Radiological Protection Ordinance.

As with the INES-2 event in 2009, this event showed that particular attention is required when working with high and variable radiation fields. In terms of radiological protection, a range of measures must be introduced as a matter of urgency, including for example, measures to ensure that acoustic alarms and warnings from electronic dosimeters are audible immediately even under difficult working conditions. In addition, there needs to be a systematic identification of radiation fields and this information must be made available to all concerned.

Neither collective nor average individual doses have changed significantly in recent years. The average individual dose for personnel in nuclear facilities is now 0,7 mSv. This is significantly lower than both the maximum annual limit for persons exposed to radiation in the course of their work and the average annual rate of exposure to radon for the population in Switzerland as a whole (3,2 mSv). The maximum individual dose in the Leibstadt nuclear power plant was 28 mSv. The maximum dose rate at the Gösgen, Leibstadt and Mühleberg power plants was in each case less than 10 mSv. Exposure to enhanced doses was restricted to individual specialists working on components with high local dose rates where it would have been difficult to use other staff.

Despite the INES-2 event at Leibstadt, ENSI concluded that Swiss nuclear facilities are applying a consistent approach to radiological protection and the measures implemented have significantly reduced radiation doses. In recent years, nuclear facilities have improved water chemistry by introducing the latest 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 individual doses to which certain specialists are exposed.

In order to monitor environmental radioactivity in the vicinity of nuclear facilities, ENSI has, for many years operated a network that automatically monitors dose rates in the vicinity of nuclear power plants (MADUK). The dose rates recorded by MADUK are available to the public on the ENSI website at www.ensi.ch (click on „MADUK measuring network“ and then „Dose rates“). Emissions from Swiss nuclear facilities were comparable with previous years and the maximum annual dose for infants in the immediate vicinity of a nuclear facility was less than 10⁰ microSv.

Even though this report covers the year 2010 and relates solely to facilities in Switzerland, mention must be made of the disaster at the Fukushima plant in Japan. In addition to other measures, there is a need for a critical review of internal and external emergency protection. ENSI will conduct a re-evaluation of reference scenarios for emergency planning and the availability of MADUK measurement data in extreme situations.

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 2010 wurden im KKB folgende Kollektivdosen ermittelt. Da in den beiden Blöcken jeweils alternierend ein Brennelementwechsel oder ein Revisionsstillstand durchgeführt wird, sind als Vergleich die Kollektivdosen der beiden vorigen Jahre aufgeführt:

KKB 1			
Aktionen	Kollektivdosis in Pers.-mSv		
	2010	2009	2008
Brennelementwechsel (2009)		109	
Revisionsstillstand (2008, 2010)	691		439
Leistungsbetrieb	63	74	53
Gesamte Jahreskollektivdosis	754	183	492

KKB 2			
Aktionen	Kollektivdosis in Pers.-mSv		
	2010	2009	2008
Revisionsstillstand (2009)		380	
Brennelementwechsel (2008, 2010)	194		63
Leistungsbetrieb	60	67	55
Gesamte Jahreskollektivdosis	254	447	118

KKB 1 und 2			
Aktionen	Kollektivdosis in Pers.-mSv		
	2010	2009	2008
Revisionsstillstand und BE-Wechsel	885	489	501
Leistungsbetrieb	123	141	108
Gesamte Jahreskollektivdosis	1008	630	609

In den beiden Blöcken des KKB wurde im Berichtsjahr eine Kollektivdosis von 1008 Pers.-mSv verzeichnet. Die höchste im KKB registrierte Individualdosis betrug 8,9 mSv und lag deutlich unterhalb des Dosisgrenzwerts der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr.

Das entsprechende betriebseigene Planungsziel von 10 mSv pro Person und pro Jahr wurde eingehalten. Es wurden keine Personenkontaminationen, die nicht mit herkömmlichen Mitteln entfernt werden konnten, festgestellt.

Eine Kontaminationsverschleppung gab es im KKB 2 nach dem Auspacken eines Unterwassersaugers, der für die Austauscharbeiten der Kernumfassungsschrauben benötigt wurde. Die Kontamination konnte noch in der Nacht innerhalb weniger Stunden entfernt werden. Bei einem Mitarbeiter des Eigenpersonals, der Reinigungsarbeiten durchgeführt hatte, wurde eine Inkorporation festgestellt, die nach sorgfältiger Abklärung eine geringe effektive Folgedosis E_{50} von 0,1 mSv verursachte.

Im Block 1 wurde im Berichtsjahr zwischen dem 21. Mai und 19. Juli die geplante Revisionsabstellung mit Brennelementwechsel und Anlagenrevision durchgeführt. Die Stillstandsdauer war mit 59 Tagen um 4 Tage länger als in der Planung vorgesehen. Das Abfahren der Anlage verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Die akkumulierte Kollektivdosis betrug 691 Pers.-mSv. Die Planungs-dosis von 494 Pers.-mSv wurde somit deutlich überschritten. Zu den arbeits- und zeitintensiven Tätigkeiten während der Revisionsabstellung zählen unter anderem der Austausch der Kernumfassungsschrauben (Baffle Bolts) und der Regelstabsführungsrohr-Zentrierstifte (Split Pins) im Reaktordruckbehälter sowie Reparaturarbeiten an den oberen und mittleren Lippendichtschweissnähten (Canopy Seals). Vor allem die befundbedingte Reparatur der mittleren Canopy Seals sowie die Probleme beim Austausch der Baffle Bolts führten zu der grossen Abweichung von 40 % gegenüber der ursprünglichen Kollektivdosisprognose.

Die mittleren Ortsdosisleistungen (ODL) an den Mänteln der Dampferzeuger zeigen wie in den vergangenen Jahren niedrige Werte. Hingegen sind die ODL an den Komponenten des Primärkreislaufs im Vergleich zum Vorjahr an den Hauptkühlmittleitungen Closure Legs A und B um weitere 18 % angestiegen. Die ODL-Werte an den Hot Legs A und B belaufen sich bei einem geringfügigen Anstieg weiterhin auf einem tiefen Niveau.

In-situ-gammaspektrometrische Messungen an relevanten Leitungen haben gezeigt, dass das Nuklid ^{60}Co mit rund 90 % für die ODL verantwortlich ist. Neben ^{60}Co wurden hauptsächlich die Nuklide ^{58}Co und ^{124}Sb detektiert.

Das KKB ist sich der Problematik des stetigen ODL-Anstiegs an den Hauptkühlmittleitungen bewusst.

Die Abfahrchemie wurde bereits modifiziert, bisher aber ohne messbaren Erfolg. Weitere Aktionen, welche das KKB bereits in einem Massnahmenkatalog zusammengefasst hat werden in den nächsten Jahren zum Einsatz kommen.

Weil im KKB 1 der Systemdruck beim 1. SVTI-Rundgang anstatt der vorgeschriebenen 154 bar nur 125 bar betragen hat, und weil diese Information zu spät bei den am Rundgang beteiligten Personen angekommen war, wurde ein 2. SVTI-Schlussrundgang bei den Komponenten des Primärkreislaufs erforderlich. Dabei wurde zusätzlich eine Kollektivdosis von 0,5 Pers.-mSv akkumuliert.

Vor dem Betreten des Raums unter dem RDB des KKB 1 fiel eine unnötige Wartezeit von 20 Minuten an. In diesem Raum gibt es keine fest installierte Beleuchtung und Handlampen wurden nicht mitgebracht. Dabei wurde eine Kollektivdosis von ca. 0,5 Pers.-mSv akkumuliert.

Im Block 2 wurde vom 17. August bis 23. September ein geplanter Brennelementwechsel durchgeführt. Nach einer Stillstandsdauer von 37 Tagen wurde der Leistungsbetrieb mit 5 Tagen Vorsprung auf die Planung wieder aufgenommen. Das Abfahren der Anlage verlief ebenfalls ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Die akkumulierte Kollektivdosis betrug 194 Pers.-mSv. Die Planungs-dosis von 185 Pers.-mSv wurde damit geringfügig überschritten.

Für den Austausch der Kernumfassungsschrauben war vorgängig eine Kollektivdosis von 71 Pers. mSv abgeschätzt worden. Tatsächlich konnten die Arbeiten mit 44 Pers. mSv durchgeführt werden. Ursachen für die geringere Dosis waren unter anderem der Einsatz eines verbesserten Unterwasser-Manipulators mit einem höheren Losdrehmoment für die alten Schrauben. Zeitaufwändige Zusatzschritte konnten dadurch entfallen.

Die mittleren Ortsdosisleistungen (ODL) an den Mänteln der Dampferzeuger zeigen auch im KKB 2 wie in den vergangenen Jahren niedrige Werte. Die ODL an den Komponenten des Primärkreislaufs sind im Vergleich zum Vorjahr an den Hauptkühlmittleitungen Closure Legs A und B um weitere 28 % angestiegen.

Damit zeigt sich der gleiche Trend wie im KKB 1, allerdings bei niedrigeren ODL. An den Hot Legs A und B belaufen sich die ODL weiterhin auf einem tiefen Niveau.

Durch krankheitsbedingte Ausfälle war der Personalbestand des Ressorts Strahlenschutz kurzzeitig noch ausreichend, um die administrativen und technischen Schutz- und Überwachungsaufgaben korrekt auszuüben und sicherzustellen. Das KKB verstärkt derzeit den Bestand des Eigenpersonals im Strahlenschutz mit erfahrenen Personen. Dies ist aus Sicht des ENSI zu begrüssen, da der Personalbestand beim Eigenpersonal mit langjähriger Anlagenerfahrung und fundierten Kenntnissen des operationellen Strahlenschutzes gegenwärtig tief ist.

Das ENSI stellte bei mehreren Inspektionen fest, dass der Strahlenschutz im KKB grundsätzlich gut funktioniert.

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.

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 Personendosimetriestellen hat die Dosimetriestelle des KKB den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeit von $\pm 10\%$ am Referenzpunkt erbracht.

1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2010 wurden im KKG folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Werte aus dem Jahr 2009):

KKG		
Aktionen	Kollektivdosis in Pers.-mSv	
	2010	2009
Revisionsstillstand	453	326
Leistungsbetrieb	142	122
Gesamte Jahreskollektivdosis	595	448

Im Berichtsjahr belief sich die Kollektivdosis im KKG auf 595 Pers.-mSv (2009: 448 Pers.-mSv). Die höchste im KKG registrierte Individualdosis betrug 8,1 mSv (2009: 8,4 mSv). Der Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr wurde somit deutlich unterschritten. Es traten keine Inkorporationen auf und es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, die sich nicht mit einfachen Mitteln entfernen liessen.

Vom 28. Mai bis am 19. Juni 2010 war die Anlage für die Revision abgestellt. Für die Arbeiten während des Revisionsstillstands wurden 453 Pers.-mSv akkumuliert, die geplante Kollektivdosis von 462 Pers.-mSv wurde leicht unterschritten.

Auch im 31. Zyklus (im Jahr 2009) traten bei der Überwachung des Primärkühlmittels (PKM) Anzeichen für Brennstabschäden auf. Aufgrund dieser Schäden entschied sich KKG im Hinblick auf die Revision zu veränderten Abfahr- und Anfahr-Prozedere und zu verschiedenen administrativen und organisatorischen Massnahmen im Bereich Strahlenschutz. Das Abfahren der Anlage wurde früher begonnen und durch ein verlängertes, „sanfteres“ Anfahren wurde das Risiko für weitere Schäden vermindert.

Die Analysen des Primärkühlmittels zeigten zu Beginn des 31. Zyklus eine ungewöhnlich hohe Cäsium-Aktivität, die um eine Grössenordnung höher lag als am Ende des 30. Zyklus.

Bis zum Ende des 31. Zyklus hat sich die Cäsium-Aktivität um einen Faktor 5 verringert. Ursprüngliche Bedenken, dass die Cäsiumisotope die dosisleistungsbestimmenden Nuklide im Beckenwasser werden, haben sich deshalb nicht bewahrheitet.

Die Aktivitätskonzentration von ^{134}I , welches durch Trampuran verursacht wird, stieg im PKM an. Das KKG führte Analysen des PKM durch, die eine Berechnung der Menge an Trampuran erlaubten. Diese betrug am Ende des 31. Zyklus ca. 25 Gramm. Der Abfahrpeak von ^{131}I lag im Jahr 2010 mit $2\text{E}+08$ Bq/kg zwei- bis dreimal höher als im Vorjahr. Durch die Reinigungsschritte, die das KKG während der verlängerten Abfahrprozedur durchführen konnte, sank die Konzentration bis zum Öffnen des Primärkreislaufs auf ca. $5\text{E}+05$ Bq/kg. Es wurden keine Limiten oder Grenzwerte verletzt.

Die Dosisleistungen an ausgewählten Komponenten des Primärkreislaufs zeigten im Vergleich zum Vorjahr eine leicht sinkende Tendenz. Verglichen mit Werten, die vor der Zinkdosierung erhoben worden waren, war eine deutliche Abnahme zu verzeichnen. Die Auswertung der Wischtestproben vom RDB-Deckel für das α/β Verhältnis lag mit 1 zu 2600 im Bereich des Vorjahres aber deutlich unter dem Verhältnis der früheren Jahre.

Für das Abheben des RDB-Deckels wurden besondere Strahlenschutzmassnahmen festgelegt. Durch den Einsatz des Aerosol-Schutzhemdes konnten luftgetragene radioaktive Stoffe in die mit erhöhter Kapazität laufende Spülluft abgesaugt werden. Während des langsamen Abhebens des Deckels wurde die Reaktorgrube mit einer reduzierten Füllrate kontinuierlich gefüllt. Die Alarmschwelle der Iod-Monitore lag bei $1\text{ CA }^{131}\text{I}$ ($8\text{E}+02$ Bq/m³) und am Beckenrand waren je ein Luftsammler, ein Iod- und ein Aerosol-Monitor eingerichtet. Die Spitzenwerte in der Raumluft lagen für ^{131}I bei 1,7 CA und für ^{132}I bei 0,04 CA. Beim ersten merklichen Anstieg der Konzentrationen wurde für die noch anwesenden Mitarbeiter im Containment das Tragen von Atemschutzmasken angeordnet.

Während den wichtigsten Arbeiten blieb die Reaktorgrube geflutet, um die bei abtrocknenden Oberflächen zu erwartenden Iod-Freisetzen zu verhindern. Ausserdem beschränkte das KKG die Aufenthaltszeiten im Containment entsprechend der jeweiligen radiologischen Situation. Nach Abschluss der Revision lag die Kollektivdosis bei 453 Pers.-mSv und entsprach praktisch dem Planwert.

Bei seinen Inspektionen konnte sich das ENSI davon überzeugen, dass im KKG ein wirksamer Strahlenschutz betrieben wird. Die vom KKG im Wissen um Brennstoffschäden ergriffenen Massnahmen waren beispielgebend und zeigten Wirkung. Die Einteilung der Zonen entsprach der radiologischen Situation.

Das Verhalten des Personals in den eingerichteten Zonen und an deren Übergängen war diszipliniert und strahlenschutzkonform. Die Schutzmittel waren immer ausreichend vorhanden und wurden adäquat eingesetzt.

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.

Am 17. Mai 2010 fiel die kontinuierliche Jodaktivitätsmessung der Kaminfortluftüberwachung aus. Der Grund war eine Fehlfunktion des Durchflussmessers oder ein verschmutzter Filter in der Überwachungseinrichtung. Die genaue Ursache konnte nicht ermittelt werden. Die Störung war nach einer Stunde behoben. Die Nichtverfügbarkeit der Messung hatte nur eine geringe sicherheitstechnische Bedeutung da der radiologische Zustand der Anlage mit den anderen verfügbaren Einrichtungen der Raum- und Prozessüberwachung mit hoher Zuverlässigkeit überwacht werden konnte. Die Messeinrichtungen zur Bilanzierung der radioaktiven Jod-Abgaben waren von der Störung nicht betroffen.

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

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 $\pm 10\%$ am Referenzpunkt erbracht.

1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2010 wurden im KKL folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Zahlen aus dem Jahr 2009):

KKL		
Aktionen	Kollektivdosis in Pers.-mSv (EPD)	
	2010	2009
Revisionsstillstand	1313	745
Leistungsbetrieb	259	321
Gesamte Jahreskollektivdosis	1572	1066

Im Berichtsjahr belief sich die im KKL verzeichnete Kollektivdosis auf 1572 Pers.-mSv (2009: 1066 Pers.-mSv, alles EPD-Dosen). Die höchste registrierte Jahresindividualdosis betrug 6,6 mSv für das Eigenpersonal und 28 mSv für das Fremdpersonal. Mit einer Ausnahme lagen die Individualdosen unter dem Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Bei der unzulässigen Bestrahlung wurde mittels der nach Strahlenschutzverordnung angeordneten Rekonstruktion eine Handdosis von 7,5 Sv ermittelt. Diese Dosis überschreitet den laut Strahlenschutzverordnung vorgegebenen Grenzwert für die Hand von 500 mSv/Jahr deutlich. Es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, die sich nicht mit einfachen Mitteln entfernen liessen. Inkorporationen von radioaktiven Stoffen oberhalb der Triageschwelle gab es ebenfalls keine.

Die Jahreshauptrevision dauerte vom 1. August bis zum 16. September (47 Tage). Dank des schadenfreien Brennstoffs war die radiologische Situation in den Anlageräumlichkeiten im Allgemeinen günstig. Die im Primärwasser nach dem Abfahren der Anlage gemessene Konzentration von ^{131}I war tief und bereits nach wenigen Tagen nicht mehr messbar. Wie in den Vorjahren lag die Konzentration des Korrosionsproduktes ^{60}Co auf vergleichbar tiefem Niveau. In den Nachkühlsystemen (RHR) wurden trotzdem erhöhte Dosisleistungen festgestellt. Der Mittelwert der Oberflächendosisleistungen an den Recirc-Schleifen sank hingegen im Vergleich mit dem Vorjahr um etwa 17% und betrug 1,14 mSv/h. Dieser Rückgang ist auf die positiven Effekte der Edelmetalleinspeisung (OLNC) zurückzuführen.

Die sehr umfangreichen und personalintensiven Arbeiten im Maschinenhaus haben ebenfalls vom schadenfreien Brennstoff profitiert. Der Austausch der drei Niederdruckrotoren mit den zugehörigen Schaufelträgern führte nur zu einer Kollektivdosis von 5,3 Pers.-mSv (elektronisches Dosimeter, EPD). Geplant waren 11,3 Pers.-mSv. Der Ersatz von zwei Niederdruckvorwärmern war mit 5 Pers.-mSv geplant. Nach Abschluss der Arbeiten wurden 4,5 Pers.-mSv festgestellt. Die ausgebauten Komponenten, die leicht kontaminiert und deshalb aus Strahlenschutzgründen dicht verpackt sind, werden in einem speziellen abgeschlossenen Gebäude am KKL-Betriebsareal zum Abklingen aufbewahrt. Für die vielen Röntgenprüfungen, die überwiegend nur nachts erfolgten, wurde vom KKL-Strahlenschutz ein spezielles Zutrittskonzept zum Maschinenhaus ausarbeitet und erfolgreich umgesetzt.

Die mit den EPD gemessene Kollektivdosis der Jahreshauptrevision betrug 1313 Pers.-mSv. Dies entspricht dem Planwert von 1'300 Pers.-mSv. Die vom KKL-Strahlenschutz ursprünglich geplante Kollektivdosis lag bei 1'200 Pers.-mSv. Da aber kurz vor dem Revisionsbeginn dem KKL-Strahlenschutz überraschend zusätzliche 700 Arbeiten gemeldet wurden, musste die Prognose nach oben korrigiert werden.

Während der Jahreshauptrevision wurden zwei Arbeiten mit geplanten Kollektivdosen über 50 Pers.-mSv durchgeführt. Beide Arbeiten wurden dem ENSI rechtzeitig, unter Einhaltung der Vorgaben gemeldet und die entsprechenden Strahlenschutzplanungen wurden eingereicht. Die Ultraschallprüfung an Schweissnähten der Recirc-Schleife wurde mit 102 Pers.-mSv geplant.

Nach erfolgreich abgeschlossenen Prüfungen zeigte die Auswertung der EPD's eine Kollektivdosis von 91,6 Pers.-mSv. Die mechanisierten Ultraschallprüfungen an Nähten von RDB-Stützen waren mit 50 Pers.-mSv geplant. Die mit den EPD's akkumulierte Kollektivdosis betrug 56,6 Pers.-mSv. Die Arbeiten konnten zum überwiegenden Teil problemlos durchgeführt werden. Die Bergung eines Hot-Spots aus dem Reaktorwasser-Reinigungssystem verlief problemlos. Der Hot-Spot wurde mittels einer Hochdruckwasserdüse aus einem T-Stück entfernt und in einem Filter aufgefangen. Die Oberflächendosisleistung am T-Stück sank damit von rund 450 mSv/h auf 2 bis 4 mSv/h. Am beladenen Filter mit dem Hot-Spot konnte 1,36 Sv/h gemessen werden.

Es war geplant, 28 Steuerstabführungsrohre mit Hilfe einer mobilen Spülvorrichtung zu reinigen und dabei Crud-Ablagerungen in den Rohren zu entfernen und geeignet zu entsorgen.

Die Arbeit wurde unterhalb des Reaktordruckbehälters, im Steuerstabantriebsraum (SAR), ausgeführt. Die Kollektivdosis war mit 10 Pers.-mSv geplant. Nach der Reinigung von 14 Positionen wurden die Arbeiten aus Strahlenschutzgründen abgebrochen. Die zu diesem Zeitpunkt akkumulierte Kollektivdosis betrug bereits 24,3 Pers.-mSv (EPD). Die Konstruktion des Manipulators führte zu einer Kontamination in dessen Innerem mit einer Oberflächendosisleistung bis 70 mSv/h. Zusätzlich wurden auch der SAR stark kontaminiert und die Ortsdosisleistungen vor Ort waren unerwartet hoch. Die Individualdosen des Personals sind deshalb entsprechend gestiegen. Schliesslich mussten die von der starken Kontamination betroffenen Räumlichkeiten mit grossem Aufwand gereinigt werden. Der ursprüngliche Zonenzustand wurde bis zum Revisionsende wieder erreicht.

Der Personalbestand des Ressorts Strahlenschutz war immer angemessen und ermöglichte es, die administrativen und technischen Schutz- und Überwachungsaufgaben 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. Allerdings hat das ENSI angemerkt, dass der KKL-Strahlenschutz von den anderen Abteilungen des Kernkraftwerkes über die geplanten Tätigkeiten sowie die damit verbundenen Arbeits- und Aufenthaltszeiten vor Ort im Strahlenfeld besser informiert werden muss.

Vorkommnis der INES-Stufe 2: Überschreitung der zulässigen Strahlenexposition eines Mitarbeiters bei Taucherarbeiten im Brennelement-Transferbecken.

Während der Jahreshauptrevision 2010 waren Instandhaltungsarbeiten im Brennelement-Transferbecken des Brennelement-Lagergebäudes geplant. An der Transfervorrichtung mussten zwei Seile unter Wasser durch Taucher ausgewechselt werden. Diese Vorrichtung dient dem Transport von Brennelementen und Materialien zwischen dem Brennelement-Transferbecken auf Kote +28m im Reaktorgebäude und demjenigen auf +6,5m im Brennelement-Lagergebäude. Die Instandhaltungsarbeiten wurden von erfahrenen Tauchern, die auch KKL-Anlagenkenntnisse besitzen, ausgeführt. Im Vorfeld wurden am Arbeitsort an drei verschiedenen Arbeitstagen Unterwasser-Dosisleistungsmessungen (-7m) im vorgesehenen Arbeitsbereich durchgeführt.

Die Messungen wurden entweder vom KKL-Strahlenschutz vom Beckenrand aus oder von einem Taucher unter Wasser durchgeführt. Die erhobenen Messwerte zeigten im Arbeitsbereich Dosisleistungen zwischen etwa 0,3 und 0,6 mSv/h. In der Bodennähe des Beckens konnten bis zu 13 mSv/h gemessen werden. Die letzten Messungen wurden am Vortag des Vorkommnisses durchgeführt. Parallel zu diesen Messungen wurden auch Luftproben erhoben. Es konnte keine luftgetragene Aktivität oberhalb der Nachweisgrenze festgestellt werden. Der Taucher war gemäss den geltenden KKL-internen Strahlenschutzvorschriften mit je zwei TL- und elektronischen Dosimetern ausgerüstet. Er trug zusätzlich noch Dosimeter an seinem linken Fuss, seinem linken Handgelenk sowie an einem Finger seiner rechten Hand. Mittels einer Gegensprechanlage stand er in konstanter Verbindung mit dem Supervisor am Beckenrand. Der Taucher war auch mit Helmkamera und -scheinwerfer ausgerüstet. Dank dieser Ausrüstung konnte der Supervisor, zu dessen Aufgaben auch die Überwachung und die Koordination der Versorgung und der Tätigkeiten des Tauchers gehörten, die Arbeiten an einem Monitor beobachten.

Der Taucher führte am 31. August den zweiten Tauchgang durch. Dabei hatte er das alte Seil gelöst und ausgewässert. Zwischen den Arbeitsgängen führte er eine Zustandserfassung von Komponenten durch und sammelte loses Material ein, welches er in einen Transportkorb legte.

Nach Abschluss des Tauchganges wurde beim Ausziehen seines Taucheranzuges der Alarm des elektronischen Dosimeters wahrgenommen, das unter dem Taucheranzug getragen wurde. Dieses Dosimeter zeigte eine akkumulierte Dosis von 40,1 mSv an. Der Supervisor informierte sofort den Strahlenschutz vor Ort. Gleichzeitig wurde der Transportkorb mit dem aufgesammelten Material vom Beckenboden hochgezogen. Vorschriftsgemäss verfolgte der anwesende Strahlenschützer laufend die Dosisleistung an der Wasseroberfläche. Während der Korb hochgezogen wurde, erhöhte sich an der Wasseroberfläche, oberhalb des hochgezogenen Korbes, die Dosisleistung plötzlich bis auf rund 55 mSv/h. Der Korb wurde sofort wieder auf den Beckenboden abgesenkt. Gleichzeitig wurden der optische und akustische Alarm der stationären Dosisleistungsüberwachung im Brennelementlagergebäude sowie der Alarm im Kommandoraum ausgelöst.

Die vom Taucher getragenen passiven TL-Dosimeter wurden sofort bei der Personendosimetriestelle KKL ausgewertet. Sein Ganzkörperdosimeter zeigte 18,9 mSv, sein Handdosimeter etwa 306 mSv und sein Fingerdosimeter 1'123 mSv.

Das Material im Werkzeugkorb wurde unter Wasser untersucht. Es wurde dabei festgestellt, dass es sich bei dem geborgenen etwa 30 cm langen, rohrähnlichen Gegenstand, um das Endstück eines ausgebauten, stark aktivierten Mantelrohrs der Reaktorkerninstrumentierung handelte. Weitere Untersuchungen ergaben, dass diese rund 14 Meter langen Mantelrohre im Jahr 2006 ausgetauscht und anschliessend im Reaktorbecken in Stücke geschnitten wurden, bevor sie über die Transportschleuse und das Transferbecken in das Brennelement-Lagerbecken gelangten. Beim Transfer hatte sich eines dieser Rohrstücke in der Transportschleuse verklemmt wobei – wie man erst heute weiss - ein Endstück unbemerkt abbrach.

Wie in der Strahlenschutzverordnung im Anhang 5 verlangt, hat das ENSI einen externen Experten mit den Abklärungen der vom Taucher akkumulierten Dosis beauftragt. In seinem Bericht kommt dieser zum Schluss, dass die rekonstruierte Handdosis des Tauchers etwa 7,5 Sv beträgt. Seine Ganzkörperdosis wird auf 28 mSv berechnet. Beide Dosiswerte überschreiten die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Jahresgrenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen. Das Vorkommnis wird deshalb auf der internationalen INES-Skala mit 2 bewertet.

Als Folge dieses Vorkommnisses hat das ENSI im KKL Verbesserungsbedarf festgestellt und Forderungen gestellt. Aus Sicht des Strahlenschutzes muss das KKL mehrere Massnahmen durchführen: Die akustischen Alarme und Warnungen des elektronischen Dosimeters müssen auch unter erschwerten Arbeitsbedingungen wahrgenommen werden können. Im erweiterten Arbeitsbereich des Tauchers muss das Strahlenfeld systematisch bestimmt werden. Die Taucher und deren Supervisor sind über die Topologie des ausgemessenen Bereichs genau zu informieren. Zusätzliche Messungen der Dosisleistungen müssen bei Bedarf unter Wasser vom Taucher durchgeführt werden können. Weiter muss im TQM-Prozess sichergestellt werden, dass ein Mitarbeiter des Strahlenschutzes alle Unterwasserarbeiten am Monitor permanent mitverfolgt. Sprechverbindungen, Videoüberwachung und ausreichende Beleuchtung sind bei Unterwasserarbeiten zwingend. Unbekannte Gegenstände dürfen nur mit Zustimmung des Strahlenschutzes und wenn immer möglich mit einem geeigneten Werkzeug geborgen werden.

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.

Das KKL hat zwei Geiger-Müller-Zählrohre, die in Räumen mit hohen Strahlenfeldern installiert sind, durch Ionisationskammern mit einer grösseren technischen Lebensdauer ersetzt.

Im Berichtsjahr hat das KKL die Elektronik und die Probenahmepumpen der Instrumentierung zur Überwachung der radioaktiven Edelgase in der Kaminfortluft ersetzt.

Ein neuen Freimessschrank zur Durchführung von Freimessungen von Materialien nach Art. 53 KEV wurde in Betrieb genommen.

Als Folge von Forderungen des ENSI im Rahmen der Periodischen Sicherheitsüberprüfung 2009 hat das KKL Konzepte zur Verbesserung der elektrischen Anspeisung der radiologischen Überwachung der Notkühlwassersysteme und der Kaminfortluftüberwachung bei Störfällen eingereicht.

Das ENSI war mit den vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen und den zugehörigen Umsetzungsterminplänen einverstanden. 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 Aerosol- und Jodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKL.
- 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 2010 wurden im KKM folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Zahlen aus dem Jahr 2009):

KKM		
Aktionen	Kollektivdosis in Pers.-mSv (EPD)	
	2010	2009
Revisionsstillstand	736	862
Leistungsbetrieb	370	346
Gesamte Jahreskollektivdosis	1106	1208

Im Berichtsjahr belief sich die Kollektivdosis im KKM auf 976 Pers.-mSv (TLD, 2009: 1130 Pers.-mSv). Die höchste im KKM ermittelte Individualdosis betrug 9,2 mSv (2009: 9,0 mSv). Die in der Strahlenschutzverordnung festgelegte Limite von 20 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen wurde eingehalten. Im Berichtszeitraum traten weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen auf.

Vom 15. August bis zum 7. September 2010 war die Anlage für die Jahresrevision abgestellt. Die Kollektivdosis aller Mitarbeitenden im Revisionsstillstand 2010 lag bei 735.5 Pers.-mSv (EPD), der vom KKM vor Beginn der Arbeiten geschätzte Wert lag bei 890 Pers.-mSv. Dank der schadensfreien Brennelemente war die Ausgangslage für die Revisionsarbeiten radiologisch gesehen auch dieses Jahr günstig. Für die niedrigen Aktivitätskonzentrationen des radioaktiven ¹³¹Iod war die geplante Unterbrechung der Wasserstoffeinspeisung rund 48 Stunden vor dem Abfahren der Anlage massgebend. Die Dosisleistungen an den Kerneinbauten und am Reaktorwasser-Reinigungssystem sind im Vergleich zum Vorjahr überwiegend zurück gegangen. Die mittlere Dosisleistung an den Umwälzschleifen betrug in dieser Revision 1,67 mSv/h und stieg im Vergleich zum Mittelwert des Jahres 2009 leicht um rund 4 % an, nachdem sie in den Jahren 2008 und 2007 um 14 bzw. 24 % gefallen war.

Während der Revision wurden im Drywell ausschliesslich Routinearbeiten durchgeführt. Zu erwähnen sind hier die wiederkehrenden Prüfungen an Rohrleitungsschweissnähten der Umwälzschleifen, an Abfahrkühlleitungen und Kernsprühleitungen. Die bei den Arbeiten im Drywell akkumulierte Kollektivdosis lag unter der geplanten. Die Dosisersparung gelang bei den Isolier- und Abschirmarbeiten, beim Gerüstbau und bei den mechanischen und elektrischen Arbeiten, da diese Arbeiten schneller durchgeführt werden konnten als geplant. Die grosse Zahl der unterschiedlichen Arbeiten innerhalb der kurzen Revisionszeit führte zu einer hohen Arbeitsdichte im Drywell. Die Vorbereitung zusätzlicher Strahlenschutzmassnahmen erforderte ein grosses Mass an Koordination durch den Strahlenschutz und die Flexibilität aller Beteiligten. Aufgrund der hohen Erfahrung des koordinierenden Strahlenschutzpersonals konnten diese Arbeiten sicher und ohne Verzögerung durchgeführt werden. Die durchgeführten Arbeiten mit signifikanter Inkorporationsgefahr, insbesondere Arbeiten in Zone IV, auf +29m und bei der Torusreinigung verliefen wie geplant und ohne relevante Personenkontaminationen oder Inkorporationen.

Vor der Revision hat das ENSI anlässlich einer Begehung des komplett erneuerten Zonenübergangs Übertritt Garderobe – Betriebsgebäude +8m sowie der sanierten Aktivwäscherei die Umsetzung der rechtlichen Vorgaben geprüft und die Freigabe für die Inbetriebnahme erteilt.

Die Edelmetalleinspeisung wurde fortgesetzt. Es wurde bereits zum sechsten 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. Das ENSI stellte im Berichtsjahr bei angemeldeten und nicht angemeldeten Inspektionen im KKM fest, dass ein gesetzeskonformer operativer 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 Kraftwerkpersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden, und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Mit der Fertigstellung des Betriebsgebäudes Nord wurde auch der Zonenzugang auf +8m umgebaut. Im Zusammenhang mit diesem Umbau wurden die Personenmonitore erneuert. Es wurden fünf Vormonitore, sechs Endmonitore sowie ein Inkorporationsmonitor neu installiert und in Betrieb genommen.

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 Aerosol- und Jodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKM.
- 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, Elementarteilchenphysik, Umwelt- und Energieforschung, Biowissenschaften sowie Strahlenmedizin. Der Nullleistungs-Forschungsreaktor PROTEUS, das 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.

Die Leckage eines mit aktinidenhaltiger Lösung gefüllten 20-Liter-Abfallfasses verursachte am 2. Dezember 2010 im Untergeschoss des Hotlabors eine nennenswerte Bodenkontamination. Die lokale Anpassung der kontrollierten Zone auf Typ III während mehr als 8 Stunden wurde als Vorkommnis gemeldet und als INES 0 eingestuft. Die Kontamination konnte am nächsten Arbeitstag entfernt werden. Sie bewirkte weder Personenkontaminationen noch Inkorporationen.

Im Jahr 2010 akkumulierten die 1491 beruflich strahlenexponierten Personen des PSI eine Kollektivdosis von 129,5 Pers.-mSv (2009: 85,9 Pers.-mSv). Davon stammen 14,3 Pers.-mSv aus dem Aufsichtsbereich des ENSI (2009: 11,7 Pers.-mSv) bei einer höchsten Individualdosis von 0,8 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 mit der Erneuerung der Dosisleistungsmessgeräte der ortsfesten Raumüberwachung im Hotlabor begonnen. Die Erneuerung der Fortluftüberwachung des Hochkamins im PSI-Ost hat sich infolge von Schwierigkeiten beim experimentellen Nachweis der Gesamtübertragungsraten für Partikel des Probenahmesystems verzögert und soll im Jahr 2011 abgeschlossen werden.

Die Anerkennung der Personendosimetriestelle des PSI wurde mit Auflagen verlängert. Verbesserungsbedarf wurde identifiziert beim Algorithmus zur Auswertung der Thermolumineszenzdosimeter bei tiefen Röntgen- und weicher Beta-Strahlung sowie bei der QM-Dokumentation für die Neutronendosimetrie, in der die Umstellung auf ein neues Detektormaterial nicht nachgeführt gewesen war.

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

2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)

In der Berichtsperiode wurde im ZZL eine Kollektivdosis von 18,6 Pers.-mSv akkumuliert. Der geschätzte Wert von 21,6 Pers.-mSv wurde dank guter administrativer und technischer Strahlenschutzmassnahmen unterschritten.

Die höchste registrierte Einzeldosis betrug 3,1 mSv. Im Berichtsjahr wurden weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen festgestellt. Die durch den Strahlenschutz regelmässig erhobenen Proben zeigten weder auf den Oberflächen noch in der Atemluft Hinweise auf unzulässige Kontaminationen.

Zu den im Berichtsjahr ausgeführten strahlenschutzrelevanten Tätigkeiten des ZZL-Betriebs zählen u.A. das Handling von Transport- und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente, die Anlieferung von radioaktiven Stoffen zur weiteren Verarbeitung im ZZL, die Konditionierung von radioaktiven Abfällen sowie die Verbrennungs- und Schmelzkampagnen in der Plasma-Anlage. Bei den Konditionierungsarbeiten kann insbesondere die Anlieferung der volumemässig umfangreichen Anzapfleitung von Niederdruck-Vorwärmern aus dem Kernkraftwerk Leibstadt erwähnt werden. Die Zerlegung, Dekontamination und Freimessung dieses Materials war für das ZZL ein Schwerpunkt. Seit der vollen Inbetriebnahme der Konditionierungsanlage konnten etwa 80% des angelieferten Materials freigemessen werden. Die Plasma-Anlage wurde auch in diesem Berichtsjahr erfolgreich betrieben. Bei den beiden durchgeführten Kampagnen wurden deutlich mehr Abfallfässer als geplant problemlos verarbeitet. Im Berichtsjahr wurde auch die Garderobe für den Zutritt in die kontrollierte Zone vergrössert und umgebaut.

Die Tätigkeiten in den Anlagen der ZWILAG wurden unter Einhaltung der gesetzlichen und internen Strahlenschutzvorgaben durchgeführt. Die Ergebnisse mehrerer ENSI-Inspektionen bestätigen, dass im ZZL ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz angewendet wird.

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des ZZL 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.

Ein neuer Freimessschrank zur Durchführung von Freimessungen von Materialien nach Art. 53 KEV wurde in Betrieb genommen.

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 Aerosolfiltern und Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des ZZL.

2.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

Die Kernanlagen der EPFL umfassen den Forschungsreaktor CROCUS, das Neutronenexperiment CARROUSEL, die Neutronenquelle LOTUS und die angegliederten Labors. Diese Anlagen sind dem Laboratoire de physique des Réacteurs et de comportement des Systèmes (LRS) zugeteilt, das dem Institut de Physique de l'Energie et des Particules (IPEP) angehört. Im Jahr 2010 stand der CROCUS-Reaktor Ingenieur- und Physikstudenten der EPFL, Kursteilnehmern der Reaktorschule des PSI sowie Studierenden der Ingenieurschule Genf (HEPIA), Studierenden des Departements für Maschinenbau und Verfahrenstechnik der ETHZ, Kursteilnehmenden des Fortbildungskurses Kerntechnik von Swiss nuclear und auch Studierenden des Swiss Nuclear Engineering Masterkurses der ETHZ/EPFL während 256,5 Stunden bei kleiner Leistung (unter 100 W) für Ausbildungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 534 Wh thermische Energie erzeugt. Das Experiment CARROUSEL wurde für Praktika verwendet. Die Neutronenquelle LOTUS war nicht in Betrieb.

Im Jahr 2010 traten keine meldepflichtigen Vorkommnisse von sicherheitstechnischer Bedeutung gemäss Richtlinie ENSI-B03 auf. Die Dosen des Personals lagen unterhalb der Nachweisgrenze. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend. Anlässlich einer Inspektion im November 2010 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 werden.

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 34,8 kWh (2009: 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 Studierende 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 2010 störungsfrei bei einer thermischen Leistung von rund 1 kW. Die Reaktorwasseraktivität wurde überprüft. Dabei wurden keine Abweichungen von den Vorgaben festgestellt. Anlässlich der Jahresinspektion wurde der Zustand der Brennelemente kontrolliert. Es gab keine Veränderungen gegenüber den früheren Kontrollen. Die Brennelementhüllen sind dicht und weisen keine weiteren Korrosionsspuren auf. Die Individualdosen sowie die Kollektivdosen des im Reaktor tätigen Personals (3 Personen) lagen unterhalb der Nachweisgrenze. Die Abgaben radioaktiver Stoffe über den Luft- und den Abwasserpfad waren unbedeutend.

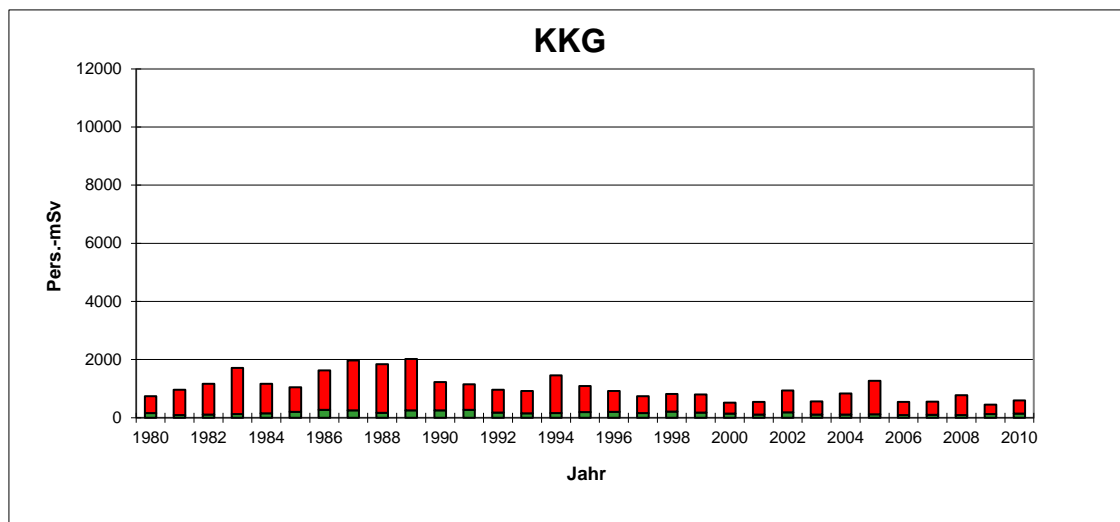
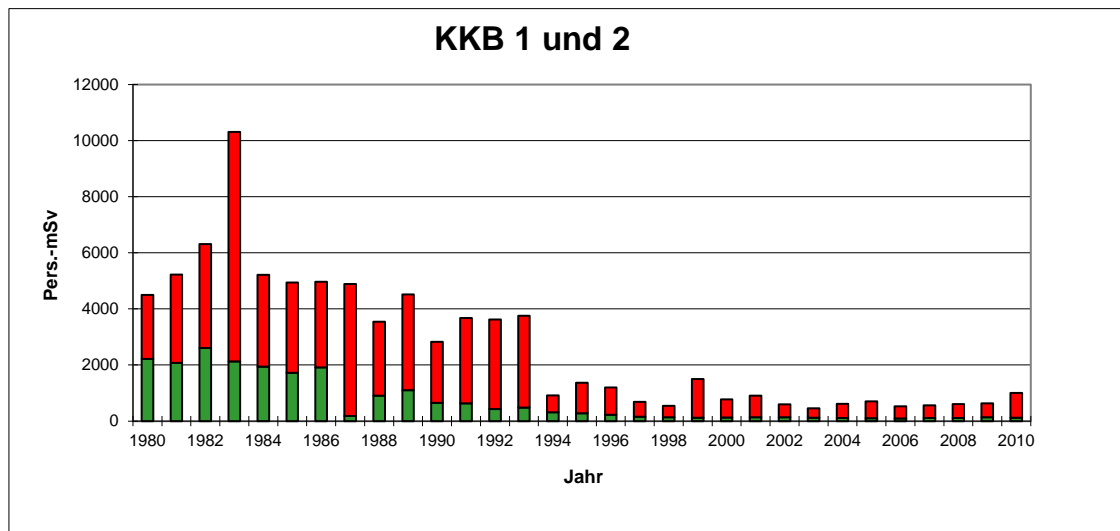
Das ENSI stellte fest, dass die vorgegebenen Betriebsbedingungen und die Vorschriften zum Strahlenschutz für das Personal und die Umwelt im Jahr 2010 eingehalten wurden.

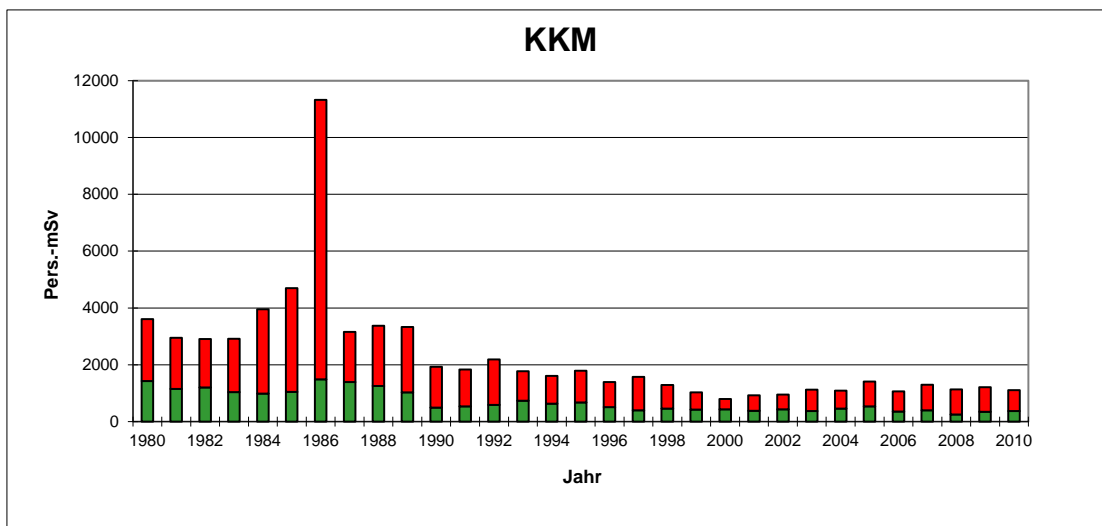
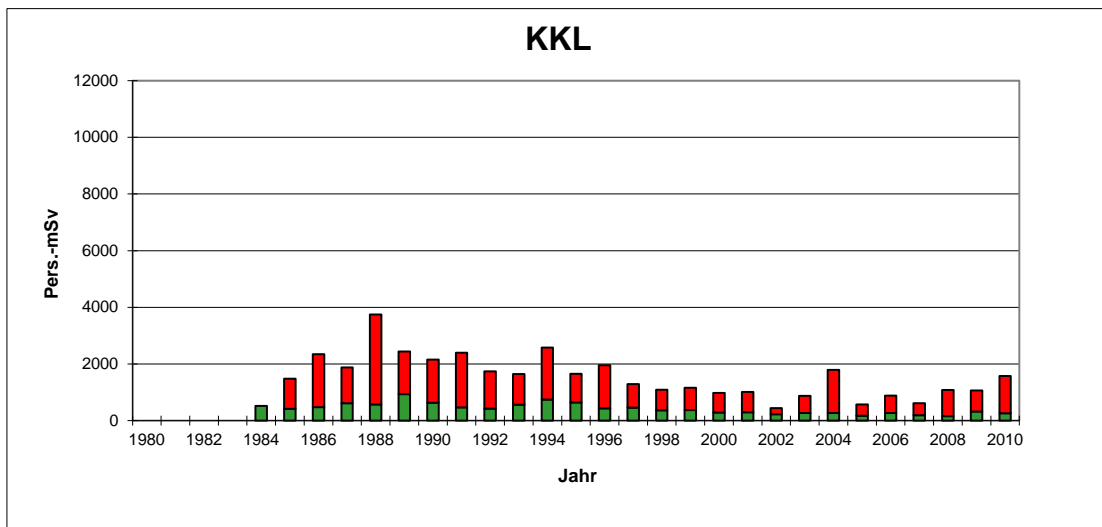
3. Grafische Darstellungen

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 beruflichen Lebensdosis von mehr als 200 mSv.

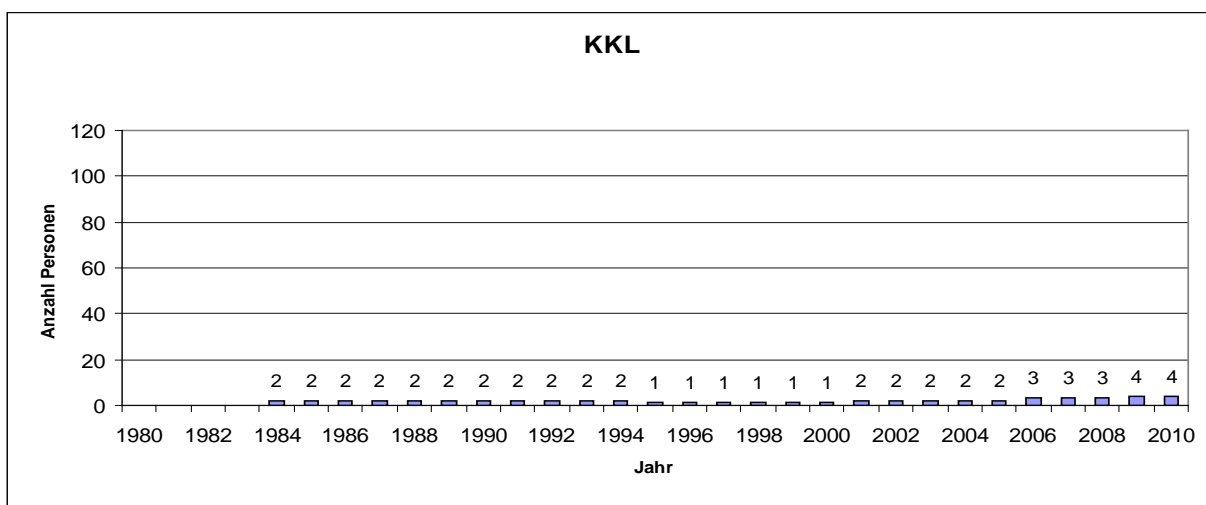
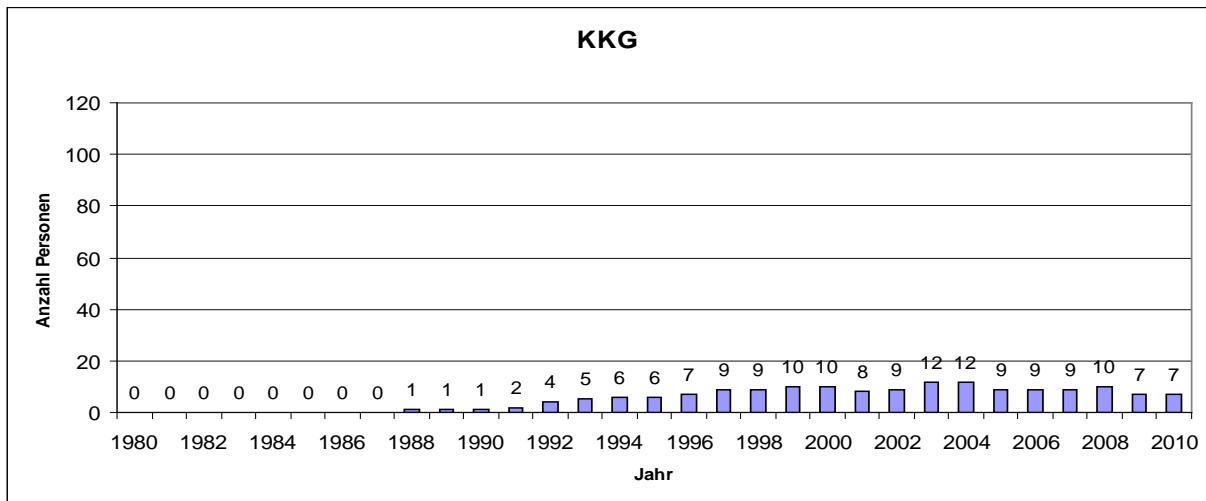
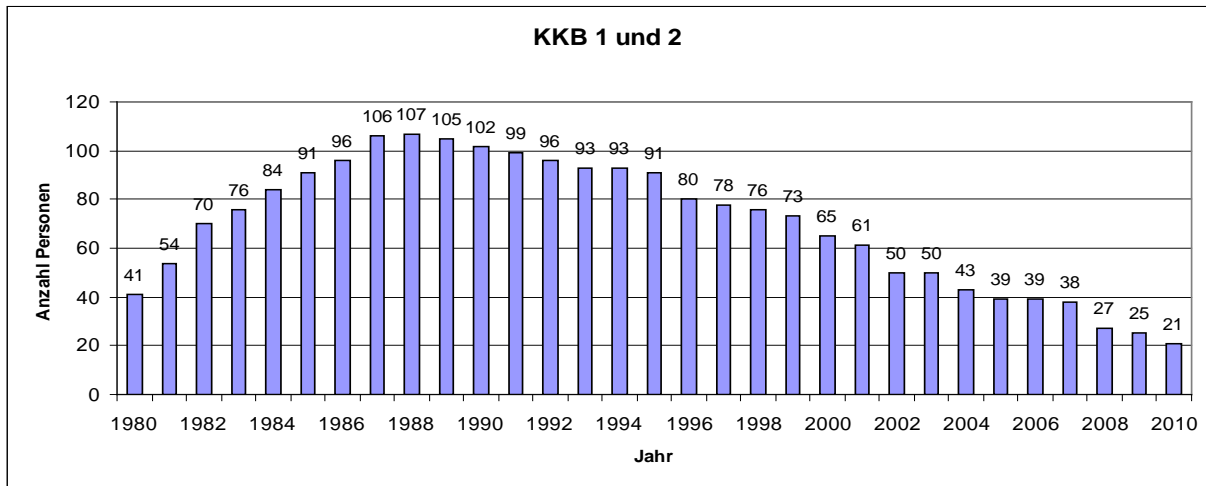
Darstellung A.3 gibt die Kollektivdosen in den Kernkraftwerken, im ZZL und im PSI seit Inbetriebnahme der Anlagen wieder.

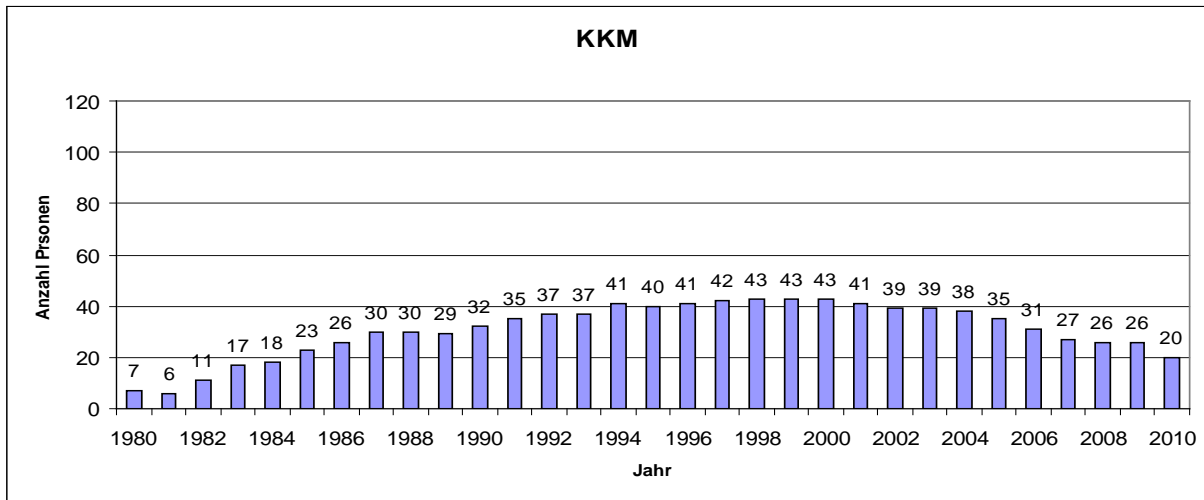
Darstellung A.1: Jahreskollektivdosen (Pers.-mSv) der Kernkraftwerke von 1980 bis 2010. Rot bezeichnet sind die Daten aus den Revisionsstillständen, grün diejenigen aus dem Leistungsbetrieb.



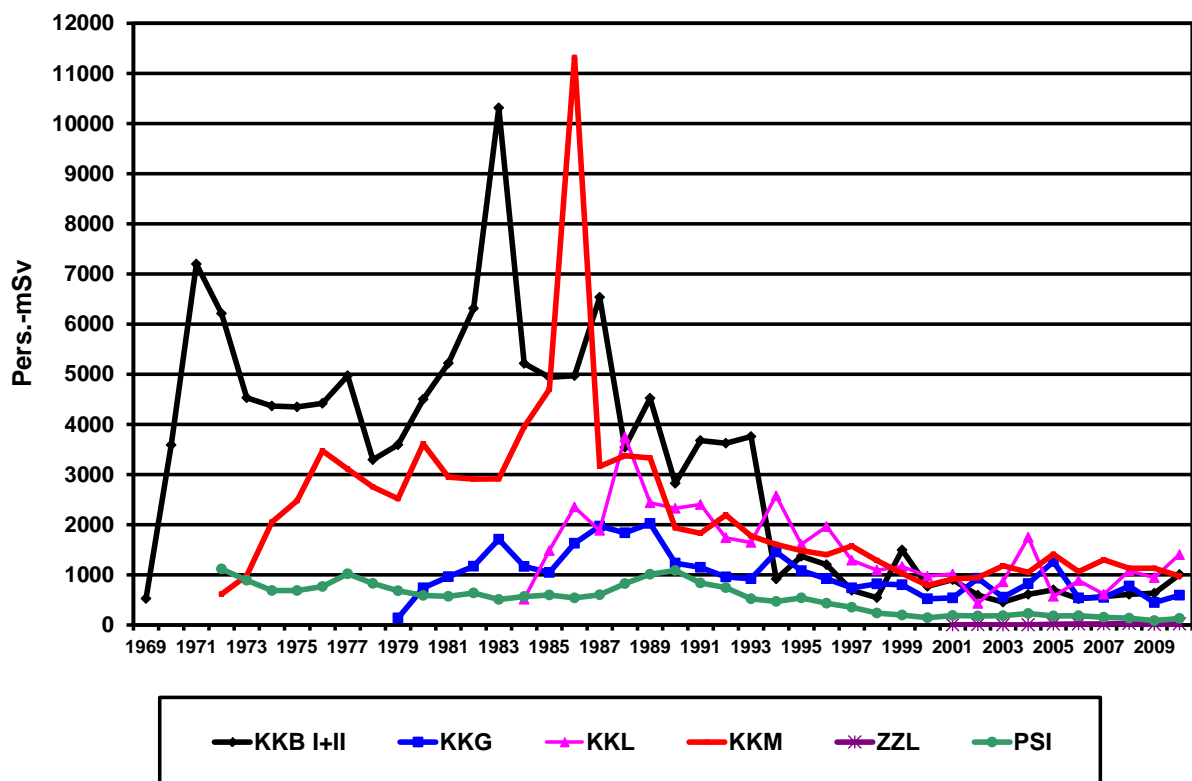


Darstellung A.2: Anzahl Personen mit einer beruflichen Lebensdosis über 200 mSv, Kernkraftwerke, 1980 bis 2010





Darstellung A.3: Entwicklung der Kollektivdosen (Pers.-mSv) in den Kernanlagen, 1968 bis 2010



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 weiter zu leiten.

Die Strahlenschutzverordnung schreibt vor, dass die maximale Exposition jeder einzelnen beruflich strahlenexponierten Person 20 mSv pro Jahr nicht überschreiten darf. In der 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 verlangte 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 von Dosiswerten nicht relevante Ungenauigkeiten. Für das Jahr 2010 haben die fünf vom ENSI anerkannten Dosimetriestellen (KKB, KKG, KKL, KKM und PSI) insgesamt 6713 beruflich strahlenexponierte Personen mit einer Kollektivdosis von 4112 Pers.-mSv gemeldet (Mehrfachbuchungen bereinigt). Die an den Universitäten verwendeten Dosimeter (für 16 Personen) werden entweder vom Institut Universitaire de Radiophysique (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 2010, Eigen- und Fremdpersonal

Bereich	Anzahl überwachte Personen	Kollektivdosis (Pers.-mSv)
KKB 1 und 2	1274	1008.1
KKG	1121	595.2
KKL	2149	1403.7
KKM	1256	975.6
ZZL	157	18.5
PSI	1491	129.5
Universitäten	16	0.0
Aufsichtsbereich des ENSI	6713	4111.9

Anzahl beruflich strahlenexponierte 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	FP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
0.0 - 1.0	355	629	984	341	611	952	383	1354	1737	228	718	946	1304	2773	4077
> 1.0 - 2.0	53	71	124	27	41	68	50	113	163	52	99	151	181	306	487
> 2.0 - 5.0	35	91	126	31	52	83	42	169	211	55	81	136	163	370	533
> 5.0 - 10.0	10	30	40	9	9	18	2	35	37	12	11	23	33	104	137
> 10.0 - 15.0														1	1
> 15.0 - 20.0															
> 20.0 - 50.0							1	1					1	1	
> 50.0															
Total Personen	453	821	1274	408	713	1121	477	1672	2149	347	909	1256	1681	3555	5236
Mittel pro Person [mSv]	0.7	0.8	0.8	0.6	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	1.0	0.7	0.8	0.7	0.8	0.7

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

Tabelle A.2b: Kernanlagen und Forschung

Dosisverteilung [mSv]	PSI			Universi- täten 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	1054	410	1464	16	1480	52	101	153	4077	5521
> 1.0 - 2.0	16	1	17		17	3		3	487	509
> 2.0 - 5.0	6		6		6	1		1	533	540
> 5.0 - 10.0	4		4		4				137	141
> 10.0 - 15.0									1	1
> 15.0 - 20.0										
> 20.0 - 50.0									1	1
> 50.0										
Total Personen	1080	411	1491	16	1507	56	101	157	5236	6713
Mittel pro Person [mSv]	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.3	0.0	0.2	0.7	0.6

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

2) EPF Lausanne und Universität Basel

Anzahl beruflich strahlenexponierte Personen

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	63.0	100.8	163.8	40.5	80.1	120.6	40.5	190.5	231.0	36.1	149.8	185.9	180.1	462.6	642.7
> 1.0 - 2.0	76.9	106.6	183.5	40.8	59.8	100.6	77.6	171.1	248.7	75.2	142.3	217.5	268.7	455.1	723.8
> 2.0 - 5.0	120.7	291.6	412.3	101.8	161.4	263.2	125.4	533.5	658.9	174.1	253.4	427.5	522.0	1178.2	1700.2
> 5.0 - 10.0	63.1	185.4	248.5	56.2	54.6	110.8	12.2	224.9	237.1	75.9	68.8	144.7	207.4	652.7	860.1
> 10.0 - 15.0														11.0	11.0
> 15.0 - 20.0															
> 20.0 - 50.0							28.0	28.0						28.0	28.0
> 50.0															
Total [Pers.-mSv]	323.7	684.4	1008.1	239.3	355.9	595.2	255.7	1148.0	1403.7	361.3	614.3	975.6	1178.2	2787.6	3965.8
Höchste Einzeldosis [mSv]	8.8	8.9	8.9	7.6	8.1	8.1	6.6	28.0	28.0	9.2	8.5	9.2	9.2	28.0	28.0

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.

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	49.8	15.9	65.7	0.0	65.7	8.3	2.7	11.0	642.7	714.1
> 1.0 - 2.0	22.7	1.2	23.9		23.9	4.4		4.4	723.8	754.6
> 2.0 - 5.0	16.7		16.7		16.7	3.1		3.1	1700.2	1720.9
> 5.0 - 10.0	23.2		23.2		23.2				860.1	883.3
> 10.0 - 15.0									11.0	11.0
> 15.0 - 20.0										
> 20.0 - 50.0									28.0	28.0
> 50.0										
Total [Pers.-mSv]	112.4	17.1	129.5	0.0	129.5	15.8	2.7	18.5	3965.8	4111.9
Höchste Einzeldosis [mSv]	7.0	1.2	7.0	0.0	7.0	3.1	0.9	3.1	28.0	28.0

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

Verteilung der beruflichen Lebensdosis des Eigenpersonals

Personen mit einer beruflichen Lebensdosis 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	27	6	13	18	64	6	56	126
> 150 - 200	16	6	5	11	38	2		40
> 200 - 250	5	5	3	8	21	1		22
> 250 - 300	5	2	1	6	14	2		16
> 300 - 350	7			1	8			8
> 350 - 400	2			2	4			4
> 400 - 450				1	1			1
> 450 - 500								
> 500 - 550				2	2			2
> 550 - 600	1				1			1
> 600	1				1			1
Total Personen	64	19	22	49	154	11	56	221

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	2	18	42	47	17	126
> 150 - 200			4	24	12	40
> 200 - 250			1	11	10	22
> 250 - 300			2	7	7	16
> 300 - 350			1	5	2	8
> 350 - 400				2	2	4
> 400 - 450				1		1
> 450 - 500						
> 500 - 550				1	1	2
> 550 - 600					1	1
> 600				1		1
Total Personen	2	18	50	99	52	221

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	
[mSv]															
0.0 - 1.0	25	1	97	8	917	107	1060	102	1432	91	1191	65	415	10	5521
> 1.0 - 2.0	3		10		96	2	97	3	159	1	114		24		509
> 2.0 - 5.0			6		107	1	121		174	1	103		27		540
> 5.0 - 10.0			1		34		34		46		25		1		141
> 10.0 - 15.0							1								1
> 15.0 - 20.0															
> 20.0 - 50.0									1						1
> 50.0															
Total Personen	28	1	114	8	1154	110	1313	105	1812	93	1433	65	467	10	6713
Mittel pro Person [mSv]	0.23	0.20	0.45	0.01	0.71	0.09	0.68	0.07	0.73	0.07	0.56	0.08	0.37	0.06	0.61
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	6.4	0.2	51.1	0.1	825.0	10.0	894.5	7.6	1322.7	6.9	807.6	5.2	174.0	0.6	4111.9

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	
[mSv]															
0.0 - 1.0	4		15	3	206	81	327	80	340	56	228	39	96	5	1480
> 1.0 - 2.0					2		6		5		3		1		17
> 2.0 - 5.0							2		4						6
> 5.0 - 10.0					1		3								4
> 10.0 - 15.0															
> 15.0 - 20.0															
> 20.0 - 50.0															
> 50.0															
Total Personen	4		15	3	209	81	338	80	349	56	231	39	97	5	1507
Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.01	0.00	0.09	0.02	0.13	0.01	0.11	0.01	0.07	0.07	0.08	0.00	0.09
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.2	0.0	18.0	1.5	42.9	0.9	38.2	0.6	16.3	2.9	8.0	0.0	129.5

1) Aufsichtsbereich des BAG mit einbezogen

Dosismittelwerte, Kollektivdosen und Anzahl Personen nach Alter und Geschlecht, 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	3		11	1	16	1	56	3	113	3	114	6	27	1	355
	> 1.0 - 2.0			1		3		15	1	21		10		2		53
	> 2.0 - 5.0					4		8		13		9		1		35
	> 5.0 - 10.0					1				6		3				10
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	3		12	1	24	1	79	4	153	3	136	6	30	1	453	
Mittel pro Person [mSv]	0.07		0.27	0.00	1.01	0.00	0.87	0.60	0.87	0.17	0.59	0.20	0.34	0.00	0.71	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.2		3.2	0.0	24.2	0.0	68.8	2.4	133.4	0.5	79.7	1.2	10.1	0.0	323.7	

Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0			7		113	6	126	4	165	3	157	3	43	2	629
	> 1.0 - 2.0			3		19		10		28		7		4		71
	> 2.0 - 5.0					24		21		30		15		1		91
	> 5.0 - 10.0					8		8		8		6				30
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen			10		164	6	165	4	231	3	185	3	48	2	821	
Mittel pro Person [mSv]			0.56		1.05	0.02	0.91	0.00	0.94	0.10	0.67	0.00	0.33	0.05	0.83	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]			5.6		171.4	0.1	149.7	0.0	216.8	0.3	124.7	0.0	15.7	0.1	684.4	

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	3		18	1	129	7	182	7	278	6	271	9	70	3	984
	> 1.0 - 2.0			4		22		25	1	49		17		6		124
	> 2.0 - 5.0					28		29		43		24		2		126
	> 5.0 - 10.0					9		8		14		9				40
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	3		22	1	188	7	244	8	384	6	321	9	78	3	1274	
Mittel pro Person [mSv]	0.07		0.40	0.00	1.04	0.01	0.90	0.30	0.91	0.13	0.64	0.13	0.33	0.03	0.79	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.2		8.8	0.0	195.6	0.1	218.5	2.4	350.2	0.8	204.4	1.2	25.8	0.1	1008.1	

Dosismittelwerte, Kollektivdosen und Anzahl Personen nach Alter und Geschlecht, Fortsetzung

Tabelle A.7: Kernkraftwerk Gösgen (KKG)

Eigenpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total	
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F		
	0.0 - 1.0	1	1	1	1	29	3	65	3	101	8	86	2	40			341
	> 1.0 - 2.0					1		9	1	4		9		3			27
	> 2.0 - 5.0							5		12		9		5			31
	> 5.0 - 10.0					1				6		2					9
	> 10.0 - 15.0																
	> 15.0 - 20.0																
	> 20.0 - 50.0																
	> 50.0																
Total Personen	1	1	1	1	31	3	79	4	123	8	106	2	48		408		
Mittel pro Person [mSv]	0.10	0.20	0.00	0.00	0.37	0.00	0.51	0.48	0.81	0.04	0.61	0.00	0.45		0.59		
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.10	0.2	0.0	0.0	11.6	0.0	40.2	1.9	99.3	0.3	64.3	0.0	21.4		239.3		

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	1		3		95	6	119	3	172	3	168	2	37	2		611
	> 1.0 - 2.0					12		9		8		11		1			41
	> 2.0 - 5.0					12		19		15		5		1			52
	> 5.0 - 10.0					3				2		4					9
	> 10.0 - 15.0																
	> 15.0 - 20.0																
	> 20.0 - 50.0																
	> 50.0																
Total Personen	1		3		122	6	147	3	197	3	188	2	39	2	713		
Mittel pro Person [mSv]	0.20		0.37		0.73	0.02	0.60	0.07	0.45	0.00	0.42	0.05	0.26	0.00	0.50		
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.2		1.1		88.6	0.1	88.2	0.2	89.2	0.0	78.2	0.1	10.0	0.0	355.9		

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	2	1	4	1	124	9	184	6	273	11	254	4	77	2		952
	> 1.0 - 2.0					13		18	1	12		20		4			68
	> 2.0 - 5.0					12		24		27		14		6			83
	> 5.0 - 10.0					4				8		6					18
	> 10.0 - 15.0																
	> 15.0 - 20.0																
	> 20.0 - 50.0																
	> 50.0																
Total Personen	2	1	4	1	153	9	226	7	320	11	294	4	87	2	1121		
Mittel pro Person [mSv]	0.15	0.20	0.28	0.00	0.65	0.01	0.57	0.30	0.59	0.03	0.48	0.03	0.36	0.00	0.53		
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.30	0.2	1.1	0.0	100.2	0.1	128.4	2.1	188.5	0.3	142.5	0.1	31.4	0.0	595.2		

Dosismittelwerte, Kollektivdosen und Anzahl Personen nach Alter und Geschlecht, Fortsetzung

Tabelle A.8: Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)

Eigenpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	2		4	1	16	1	76	5	79	15	135	7	42		383
	> 1.0 - 2.0					9		12		11		17		1		50
	> 2.0 - 5.0					7		8		8		18		1		42
	> 5.0 - 10.0									1		1				2
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	2		4	1	32	1	96	5	99	15	171	7	44		477	
Mittel pro Person [mSv]	0.15		0.08	0.00	1.19	0.10	0.54	0.02	0.56	0.02	0.58	0.00	0.23		0.54	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.3		0.3	0.0	38.2	0.1	51.8	0.1	55.2	0.3	99.3	0.0	10.1		255.7	

Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	9		50	2	367	7	239	6	352	5	232	5	78	2	1354
	> 1.0 - 2.0			5		34	1	18		31		19		5		113
	> 2.0 - 5.0			3		43	1	41		53	1	25		2		169
	> 5.0 - 10.0			1		9		14		8		3				35
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0									1						1
	> 50.0															
Total Personen	9		59	2	453	9	312	6	445	6	279	5	85	2	1672	
Mittel pro Person [mSv]	0.09		0.46	0.05	0.67	0.63	0.89	0.00	0.77	0.60	0.58	0.20	0.28	0.00	0.69	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.8		27.2	0.1	303.3	5.7	279.2	0.0	340.6	3.6	162.6	1.0	23.9	0.0	1148.0	

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	11		54	3	383	8	315	11	431	20	367	12	120	2	1737
	> 1.0 - 2.0			5		43	1	30		42		36		6		163
	> 2.0 - 5.0			3		50	1	49		61	1	43		3		211
	> 5.0 - 10.0			1		9		14		9		4				37
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0									1						1
	> 50.0															
Total Personen	11		63	3	485	10	408	11	544	21	450	12	129	2	2149	
Mittel pro Person [mSv]	0.10		0.44	0.03	0.70	0.58	0.81	0.01	0.73	0.19	0.58	0.08	0.26	0.00	0.65	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.1		27.5	0.1	341.5	5.8	331.0	0.1	395.8	3.9	261.9	1.0	34.0	0.0	1403.7	

Dosismittelwerte, Kollektivdosen und Anzahl Personen nach Alter und Geschlecht, 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	1		2		18	4	37	4	70	1	60	3	27	1	228
	> 1.0 - 2.0					5	1	4	1	23	1	13		4		52
	> 2.0 - 5.0					3		14		17		11		10		55
	> 5.0 - 10.0					2		1		5		4				12
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	1		2		28	5	56	5	115	2	88	3	41	1	347	
Mittel pro Person [mSv]	0.60		0.25		1.26	0.38	1.13	0.42	1.14	0.65	0.99	0.00	0.92	0.50	1.04	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.6		0.5		35.3	1.9	63.5	2.1	131.1	1.3	86.7	0.0	37.8	0.5	361.3	

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	3		9		142	5	132		204	5	155	5	56	2	718
	> 1.0 - 2.0	3		1		18		20		31		23		3		99
	> 2.0 - 5.0			3		24		14		25		9		6		81
	> 5.0 - 10.0					2		2		5		1		1		11
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	6		13		186	5	168		265	5	188	5	66	2	909	
Mittel pro Person [mSv]	0.70		1.01		0.77	0.12	0.66		0.79	0.00	0.51	0.00	0.56	0.00	0.68	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	4.2		13.1		143.0	0.6	111.4		210.0	0.0	95.1	0.0	36.9	0.0	614.3	

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	4		11		160	9	169	4	274	6	215	8	83	3	946
	> 1.0 - 2.0	3		1		23	1	24	1	54	1	36		7		151
	> 2.0 - 5.0			3		27		28		42		20		16		136
	> 5.0 - 10.0					4		3		10		5		1		23
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	7		15		214	10	224	5	380	7	276	8	107	3	1256	
Mittel pro Person [mSv]	0.69		0.91		0.83	0.25	0.78	0.42	0.90	0.19	0.66	0.00	0.70	0.17	0.78	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	4.8		13.6		178.3	2.5	174.9	2.1	341.1	1.3	181.8	0.0	74.7	0.5	975.6	

Dosismittelwerte, Kollektivdosen und Anzahl Personen nach Alter und Geschlecht, Fortsetzung

Tabelle A.10: Kernkraftwerke gesamt

Eigenpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	7	1	18	3	79	9	233	15	362	27	394	18	136	2	1304
	> 1.0 - 2.0			1		17	1	40	3	59	1	49		10		181
	> 2.0 - 5.0					14		35		50		47		17		163
	> 5.0 - 10.0					4		1		18		10				33
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	7	1	19	3	114	10	309	18	489	28	500	18	163	2	1681	
Mittel pro Person [mSv]	0.17	0.20	0.21	0.00	0.94	0.20	0.73	0.36	0.86	0.09	0.66	0.07	0.49	0.25	0.70	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.2	0.2	4.0	0.0	107.6	2.0	224.2	6.5	419.0	2.4	330.0	1.2	79.4	0.5	1178.2	

Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	13		69	1	640	20	503	9	732	10	575	10	187	4	2773
	> 1.0 - 2.0	3		9		76	1	51		92		61		13		306
	> 2.0 - 5.0			6		93	1	84		119	1	56		10		370
	> 5.0 - 10.0			1		29		30		28		15		1		104
	> 10.0 - 15.0							1								1
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0									1						1
	> 50.0															
Total Personen	16		85	1	838	22	669	9	972	11	707	10	211	4	3555	
Mittel pro Person [mSv]	0.33		0.55	0.00	0.83	0.30	0.93	0.02	0.88	0.35	0.65	0.11	0.41	0.03	0.78	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	5.2		47.0	0.0	699.1	6.5	622.7	0.2	854.8	3.9	460.5	1.1	86.5	0.1	2787.6	

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	20	1	87	4	719	29	736	24	1094	37	969	28	323	6	4077
	> 1.0 - 2.0	3		10		93	2	91	3	151	1	110		23		487
	> 2.0 - 5.0			6		107	1	119		169	1	103		27		533
	> 5.0 - 10.0			1		33		31		46		25		1		137
	> 10.0 - 15.0							1								1
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0									1						1
	> 50.0															
Total Personen	23	1	104	4	952	32	978	27	1461	39	1207	28	374	6	5236	
Mittel pro Person [mSv]	0.28	0.20	0.49	0.00	0.85	0.27	0.87	0.25	0.87	0.16	0.65	0.08	0.44	0.10	0.76	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	6.4	0.2	51.0	0.0	806.7	8.5	846.9	6.7	1273.8	6.3	790.5	2.3	165.9	0.6	3965.8	

Dosismittelwerte, Kollektivdosen und Anzahl Personen nach Alter und Geschlecht, 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	1	16	2	21		9		2		52
	> 1.0 - 2.0								3						3	
	> 2.0 - 5.0								1						1	
	> 5.0 - 10.0															
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen					1	1	16	2	25		9		2		56	
Mittel pro Person [mSv]					0.60	0.00	0.22	0.00	0.47		0.00		0.00		0.28	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]					0.6	0.0	3.5	0.0	11.7		0.0		0.0		15.8	

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	1		2		19		23	1	30		21		4		101
	> 1.0 - 2.0															
	> 2.0 - 5.0															
	> 5.0 - 10.0															
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	1		2		19		23	1	30		21		4		101	
Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.00		0.00		0.07	0.00	0.00		0.04		0.03		0.03	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.0		0.0		1.7	0.0	0.1		0.8		0.1		2.7	

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	1		2		20	1	39	3	51		30		6		153
	> 1.0 - 2.0								3							3
	> 2.0 - 5.0								1						1	
	> 5.0 - 10.0															
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	1		2		20	1	39	3	55		30		6		157	
Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.00		0.03	0.00	0.13	0.00	0.21		0.03		0.02		0.12	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.0	0.0	0.6	0.0	5.2	0.0	11.8		0.8		0.1		18.5	

Dosismittelwerte, Kollektivdosen und Anzahl Personen nach Alter und Geschlecht, Fortsetzung

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

Eigenpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	7	1	18	3	80	10	249	17	382	27	403	18	138	2	1355
	> 1.0 - 2.0			1		17	1	40	3	62	1	49		10		184
	> 2.0 - 5.0					14		35		50		47		17		163
	> 5.0 - 10.0					4		1		18		10				33
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	7	1	19	3	115	11	325	20	512	28	509	18	165	2	1735	
Mittel pro Person [mSv]	0.17	0.20	0.21	0.00	0.94	0.18	0.70	0.33	0.84	0.09	0.65	0.07	0.48	0.25	0.69	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.2	0.2	4.0	0.0	108.2	2.0	227.6	6.5	430.7	2.4	330.0	1.2	79.4	0.5	1193.9	

Fremdpersonal	Dosisverteilung	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	14		72	1	650	20	512	10	745	10	584	10	188	4	2820
	> 1.0 - 2.0	3		9		76	1	51		92		62		13		307
	> 2.0 - 5.0			6		93	1	84		119	1	56		10		370
	> 5.0 - 10.0			1		29		30		28		15		1		104
	> 10.0 - 15.0							1								1
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0									1						1
	> 50.0															
Total Personen	17		88	1	848	22	678	10	985	11	717	10	212	4	3603	
Mittel pro Person [mSv]	0.31		0.53	0.00	0.82	0.30	0.92	0.02	0.87	0.35	0.64	0.11	0.41	0.03	0.77	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	5.2		47.0	0.0	699.1	6.5	624.3	0.2	854.1	3.9	461.3	1.1	86.6	0.1	2789.4	

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	21	1	90	4	730	30	761	27	1127	37	987	28	326	6	4175
	> 1.0 - 2.0	3		10		93	2	91	3	154	1	111		23		491
	> 2.0 - 5.0			6		107	1	119		169	1	103		27		533
	> 5.0 - 10.0			1		33		31		46		25		1		137
	> 10.0 - 15.0							1								1
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0									1						1
	> 50.0															
Total Personen	24	1	107	4	963	33	1003	30	1497	39	1226	28	377	6	5338	
Mittel pro Person [mSv]	0.27	0.20	0.48	0.00	0.84	0.26	0.85	0.22	0.86	0.16	0.65	0.08	0.44	0.10	0.75	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	6.4	0.2	51.0	0.0	807.3	8.5	851.9	6.7	1284.8	6.3	791.3	2.3	166.0	0.6	3983.3	

Verteilung der Extremitätendosen 2010

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	7	7	14	1	7	8	9	11	20	25	26	51	75	5	80	0	0	0	131
> 25 - 50				2	2								2	2		1	1					3
> 50 - 75																						
> 75 - 100																						
> 100 - 125																						
> 125 - 150																						
> 150 - 175																						
> 175 - 200																						
> 200 - 300																						
> 300 - 400																						
> 400 - 500																						
> 500							1	1					1	1								1
Total Personen	8	1	9	7	9	16	1	8	9	9	11	20	25	29	54	76	5	81	0	0	0	135

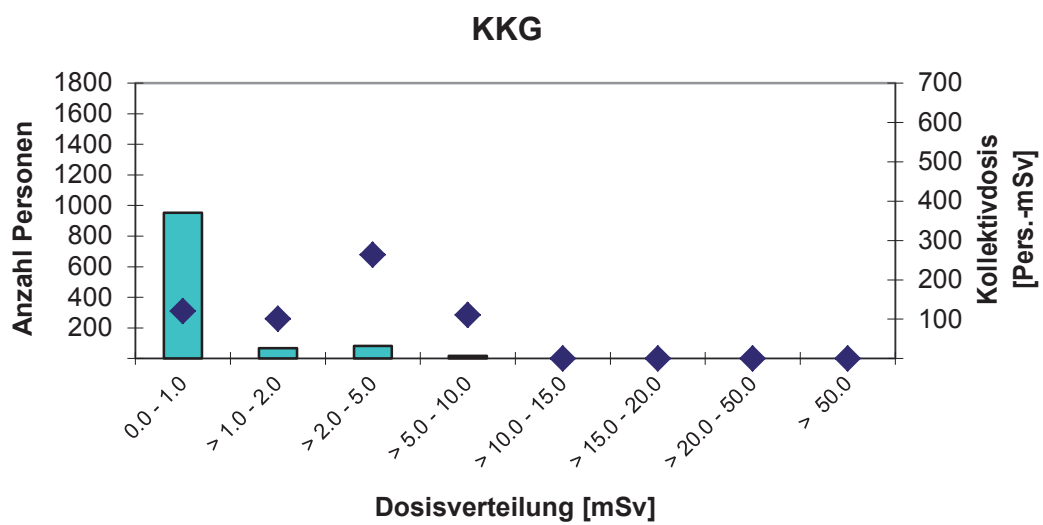
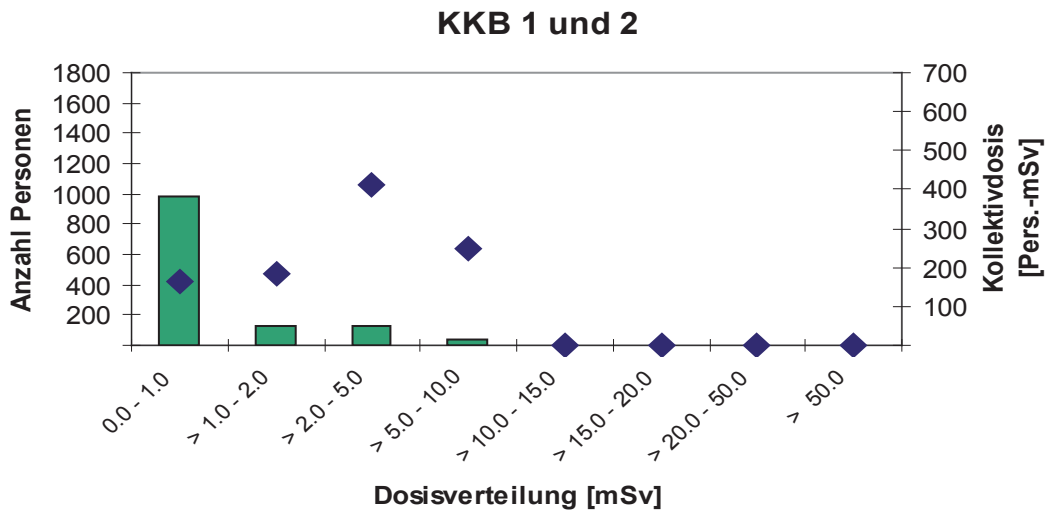
Folgedosis E_{50} des beruflich strahlenexponierten Personals durch Inkorporationen

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

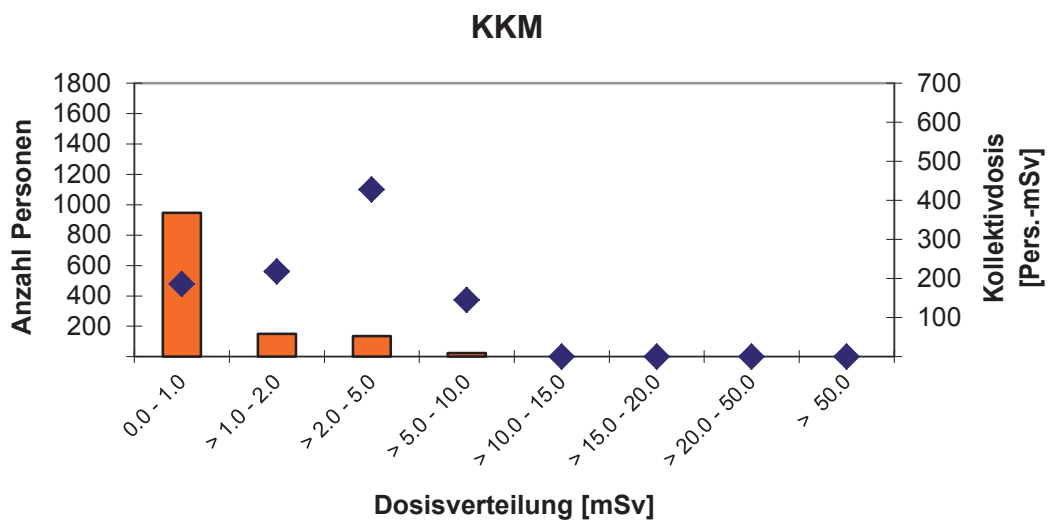
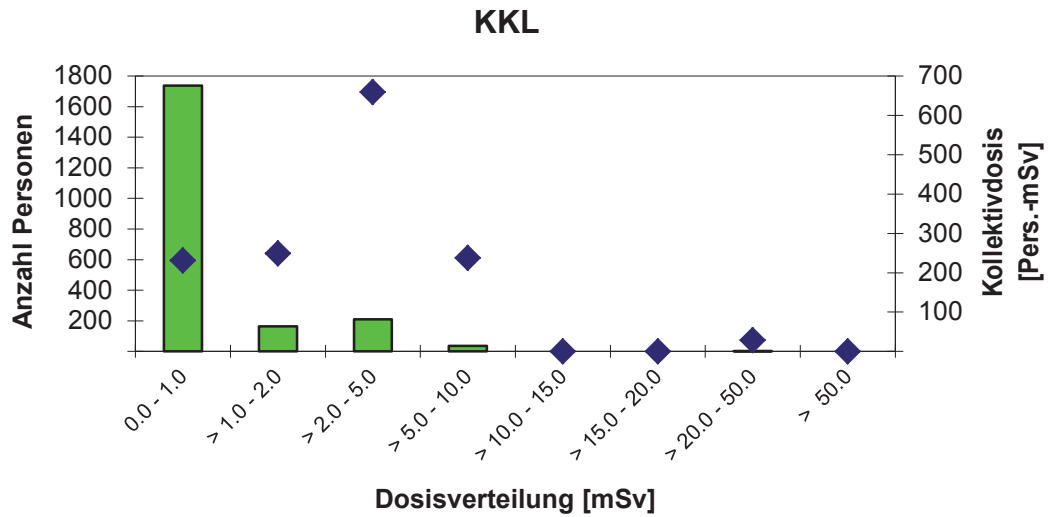
Folgedosis E_{50} Dosisverteilung	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW			PSI			ZZL			Summe Kernanlagen und PSI
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	
<= 1.0	395	723	1118	357	692	1049	492	1767	2259	347	909	1256	1591	4091	5682	250	15	265	57	109	166	6113
> 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	395	723	1118	357	692	1049	492	1767	2259	347	909	1256	1591	4091	5682	250	15	265	57	109	166	6113

Kollektivdosen und Anzahl dosimetrierter Personen 2010

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



Kollektivdosen und Anzahl dosimetrierter Personen 2010 , Fortsetzung



Messmethoden der Personendosimetriestellen im Aufsichtsbereich des ENSI 2010

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⁾
KKB 1 und 2	b, g, x	DIS	1274	β, γ, x	DIS	1274	b, g, x	TLD	9	γ	Nal	1118	γ	Nal	1118			
KKG	γ	DIS	1121	γ	DIS	1121				γ	PSC	1049	γ	PSC	1049			
KKL	β, γ	TLD	2270	β, γ	TLD	2270	β, γ	TLD	9	γ	Nal	2259	γ	Nal	2259	β, γ	Ge	1
KKM	γ	TLD	1256	β, γ	TLD	1256	γ	TLD	20	γ	Nal	1256	γ	Nal	1256			
PSI	b, g, x b, g, x n	TLD / DIS Cr-39	1491 1126	β, γ, x β, γ, x	TLD / DIS	1491	β, γ, x	TLD	81	γ	Ge	263	γ, x	Nal	17	α, β γ, x	LSC / Nal Ge	27
ZZL ⁴⁾	γ	DIS	157	β, γ, x	DIS	157	γ	TLD		γ	Nal	166	γ	Nal	166			

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
PSC = Plastikszintillator
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 2010 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
2010	123	885	142	453	259	1313	370	736	894	3387

Tabelle A.17: Aufteilung der Kollektivdosen auf Betrieb und Revisionsstillstand
1980 bis 2010 in Prozenten

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%
2010	12%	88%	24%	76%	16%	84%	33%	67%	21%	79%

Zusammenstellung der Kollektivdosen

Tabelle A.18: Kollektivdosen der Kernkraftwerke 2010

Anlage	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM	Total
Pers.-mSv	1008.1	595.2	1403.7	975.6	3965.8

Jahreskollektivdosen (TLD)

Anlage	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM	Total
Pers.-mSv	885.0	453.0	1313.0	736.0	3387.0

Kollektivdosen der Revisionsstillstände (EPD)

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
2010	1491	129.5	0.1

Tabelle A.20: Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL), Kollektivdosis des dosimetrierten Personals 2010

Kalender- jahr	Eigenpersonal			Fremdpersonal			Total		
	Anzahl Personen	Kollektiv- dosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person	Anzahl Personen	Kollektiv dosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person	Anzahl Personen	Kollektiv- dosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person
2001	21	1.3	0.1	35	0.9	0.0	56	2.2	0.0
2002	30	6.1	0.2	61	2.0	0.0	91	8.1	0.1
2003	29	1.8	0.1	59	0.9	0.0	88	2.7	0.0
2004	33	2.6	0.1	71	0.7	0.0	104	3.3	0.0
2005	29	4.9	0.2	79	10.1	0.1	108	15.0	0.1
2006	31	2.7	0.1	70	18	0.3	101	20.7	0.2
2007	40	7.1	0.2	85	15.2	0.2	125	22.3	0.2
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
2010	56	15.8	0.3	101	2.7	0.0	157	18.5	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 arbeits-spezifischen 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 strahlen-exponierten 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 Kernanlage liegt und die Freiheit zur Entwicklung eines für die spezifischen Gegebenheiten optimalen Systems offen bleiben soll. Computerbasierte, vernetzte Systeme haben sich bewährt und werden nun mehrheitlich auch eingesetzt.

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

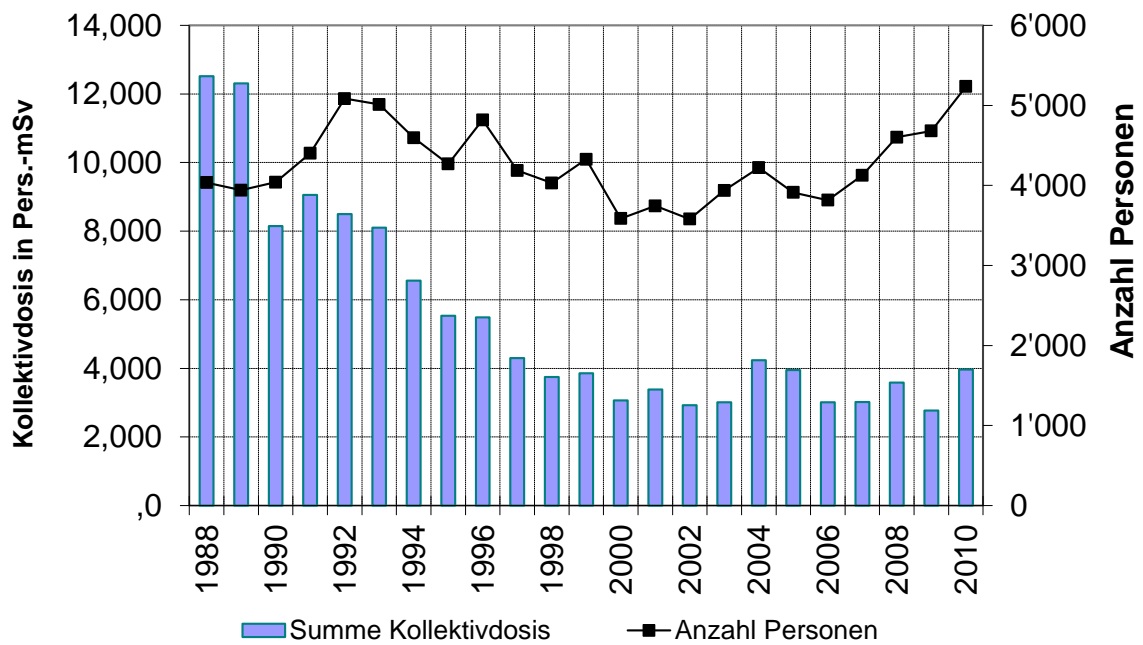
Die Kernkraftwerke in der Schweiz sind aufgrund ihrer Konstruktion (Siede- oder Druckwasseranlage) sowie ihres Alters nur bedingt miteinander vergleichbar. Zudem werden die Jobdosen unterschiedlich ermittelt und der Aufwand für Arbeiten im Strahlenfeld variiert in jeder Anlage von Jahr zu Jahr. Aussagen 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 in den Kernkraftwerken der Schweiz

Tabelle A.21: Summe der Kollektivdosen in Pers.-mSv und Anzahl beruflich strahlenexponiert 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
2010	3'966	5'236

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.

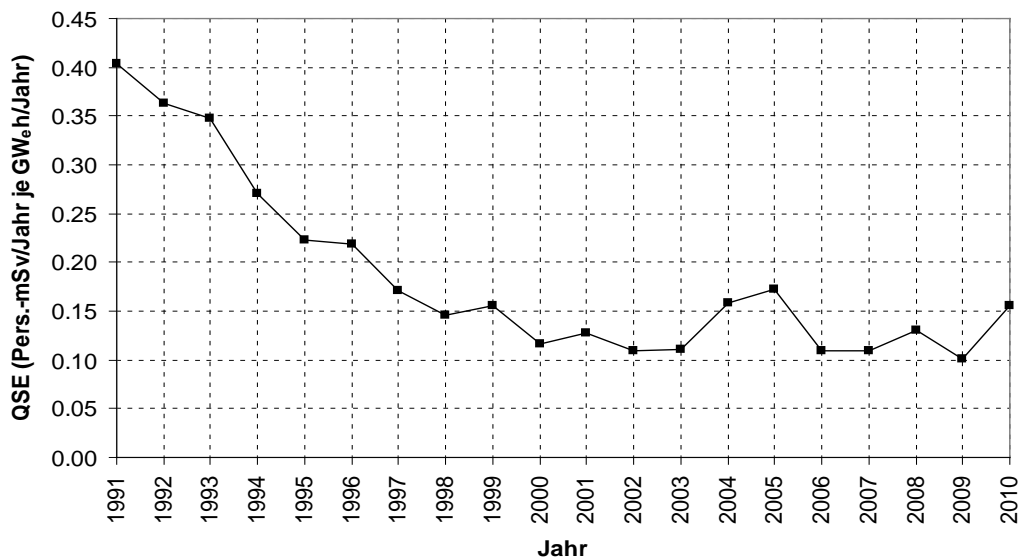


Grafische Darstellung der Werte aus Tabelle A.21

Verhältnis zwischen Dosisaufwand und Energieerzeugung

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

Jahr	Dosis	Energie	QSE
1991	9'056	22'438.1	0.404
1992	8'500	23'394.0	0.363
1993	8'100	23'290.8	0.348
1994	6'559	24'250.1	0.270
1995	5'535	24'783.6	0.223
1996	5'487	25'026.6	0.219
1997	4'297	25'190.8	0.171
1998	3'744	25'683.1	0.146
1999	3'859	24'835.0	0.155
2000	3'068	26'310.0	0.117
2001	3'380	26'556.1	0.127
2002	2'922	26'738.9	0.109
2003	3'013	27'233.8	0.111
2004	4'236	26'769.1	0.158
2005	3'954	22'851.6	0.173
2006	3'009	27'649.2	0.109
2007	3'017	27'751.9	0.109
2008	3'583	27'528.0	0.130
2009	2'770	27'514.0	0.101
2010	4'112	26'477.0	0.155



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 Abstellung der Anlage KKL im Jahr 2005 verursacht.

Der Anstieg im Jahr 2010 ergibt sich aus den umfangreichen Arbeiten in beiden Blöcken des KKB und aus der langen Revision im KKL.

Vergleich von TLD/DIS zu 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 der mit Dosimetern der anerkannten Dosimetriestellen ermittelten Kollektivdosen für das Kalenderjahr 2010

Werk	TLD*		EPD*		Verhältnis EPD/TLD*
	(Pers.-mSv)		(Pers.-mSv)		
KKB 1 und 2**	EP	324			
	FP	685			
	Summe	1008			
KKG**	EP	239			
	FP	356			
	Summe	595			
KKL***	EP	256	EP	306	EP 1.19
	FP	1148	FP	1267	FP 1.10
	Summe	1404	Summe	1572	EP und FP 1.12
KKM	EP	361	EP	382	EP 1.06
	FP	614	FP	723	FP 1.18
	Summe	976	Summe	1106	EP und FP 1.13

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	123	142	259	370
Geplanter Stillstand	885	453	1313	736
Ungeplante Stillstände	-	-	-	-
Summe	1008	595	1572	1106

Tabelle A.25: Kollektivdosisanteile (Pers.-mSv).

Personengruppe	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM
Strahlenschutz/Chemie	104	45	135	83
Reinig./Dekontamination	77	40	86	94
Mechanik	71	102	867	479
Elektrotechnik	27	18	106	52
Brennstoff	67	8	41	1
Gerüstbau	49	0	91	26
Isoleure	19	0	35	68
Betrieb (Schicht)	0	35	103	162
Behörden (SVTI, ENSI)	0	4	10	8
Übrige	578	344	97	134
Abschirmungen	17	0	0	0
Ausserordent. Unterhalt	0	0	0	0
Summe	1008	595	1572	1105

Darstellung A.5: Kollektivdosisanteile in Prozenten. Anteile kleiner als 1% sind nicht bezeichnet

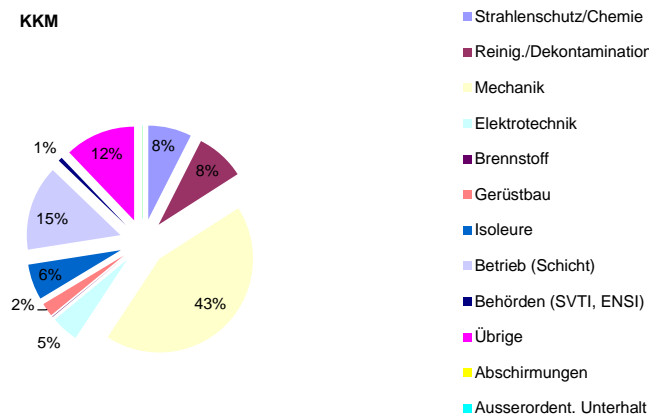
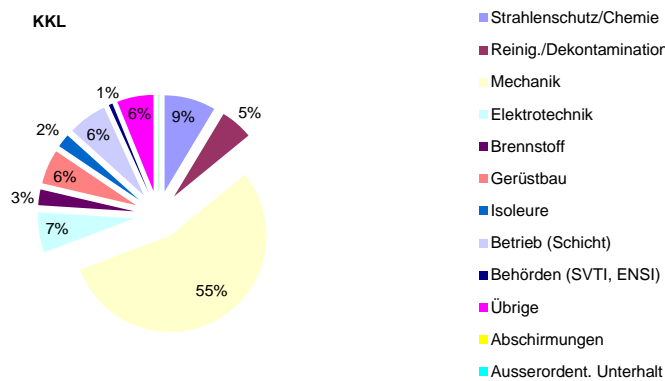
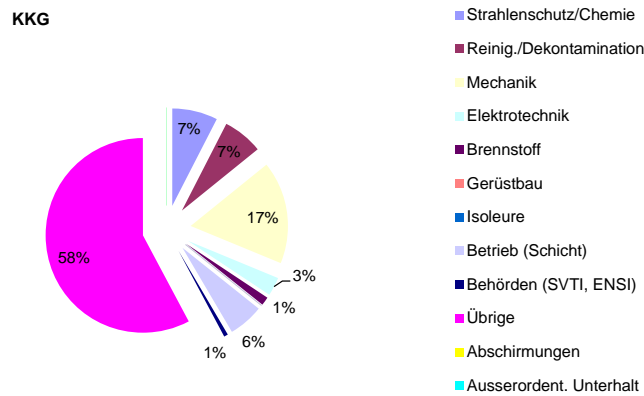
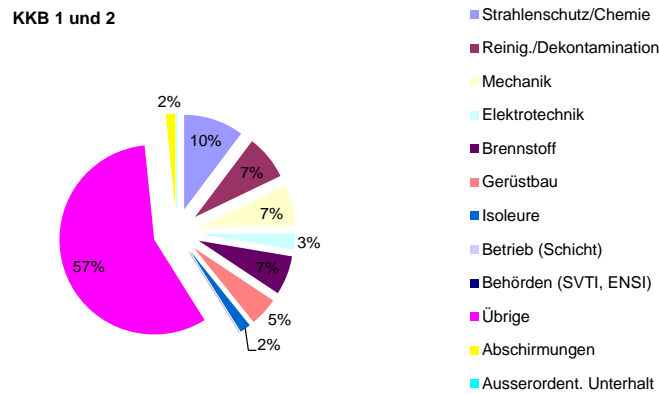


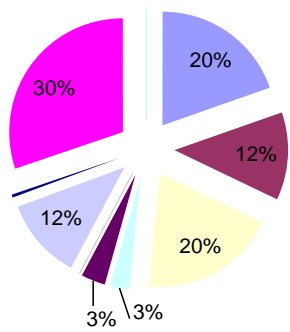
Tabelle A.26: Kollektivdosisanteile im Leistungsbetrieb (Pers.-mSv pro KKW im Berichtsjahr)

Personengruppen	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM
Strahlenschutz/Chemie	0	28	27	35
Reinigung / Dekontamination	0	18	23	35
Mechanik	0	28	70	99
Elektrotechnik	0	4	29	30
Brennstoff	0	5	7	1
Gerüstbau	0	0	8	12
Isloeuere	0	0	1	0
Betrieb (Schicht)	0	17	52	122
Behörden (SVTI / ENSI)	0	1	1	1
Übrige Personengruppen	123	42	41	35
Abschirmungen	0	0	0	0
Ausserordent. Unterhalt	0	0	0	0
Summe	123	142	259	370

KKB bestimmt während des Leistungsbetriebes keine Jobdosen

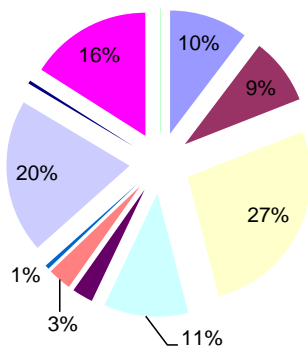
Darstellung A.6: Kollektivdosisanteile im Leistungsbetrieb in Prozenten.
 Anteile kleiner als 1% sind nicht bezeichnet.

KKG



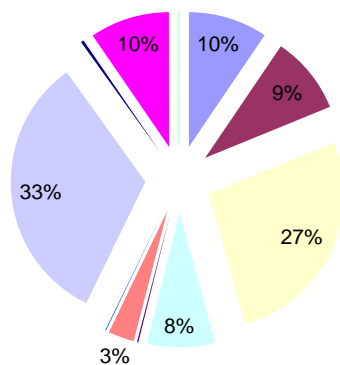
- Strahlenschutz/Chemie
- Reinigung / Dekontamination
- Mechanik
- Elektrotechnik
- Brennstoff
- Gerüstbau
- Isloeuere
- Betrieb (Schicht)
- Behörden (SVTI / ENSI)
- Übrige Personengruppen
- Abschirmungen
- Ausserordent. Unterhalt

KKL



- Strahlenschutz/Chemie
- Reinigung / Dekontamination
- Mechanik
- Elektrotechnik
- Brennstoff
- Gerüstbau
- Isloeuere
- Betrieb (Schicht)
- Behörden (SVTI / ENSI)
- Übrige Personengruppen
- Abschirmungen
- Ausserordent. Unterhalt

KKM



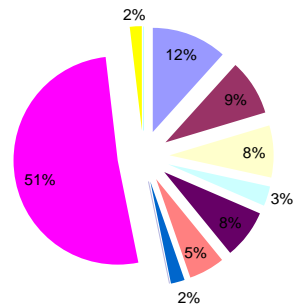
- Strahlenschutz/Chemie
- Reinigung / Dekontamination
- Mechanik
- Elektrotechnik
- Brennstoff
- Gerüstbau
- Isloeuere
- Betrieb (Schicht)
- Behörden (SVTI / ENSI)
- Übrige Personengruppen
- Abschirmungen
- Ausserordent. Unterhalt

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

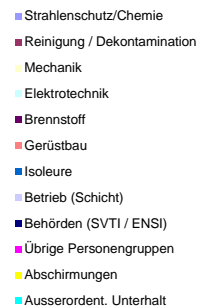
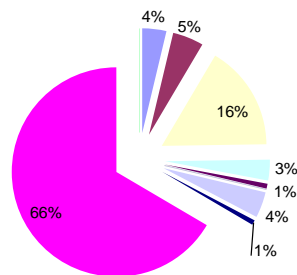
Personengruppe	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM
Strahlenschutz/Chemie	104	17	109	48
Reinigung / Dekontamination	77	22	63	59
Mechanik	71	74	798	380
Elektrotechnik	27	15	78	22
Brennstoff	67	3	34	0
Gerüstbau	49	0	83	14
Isoleure	19	0	34	67
Betrieb (Schicht)	0	18	51	41
Behörden (SVTI / ENSI)	0	3	9	6
Übrige Personengruppen	454	302	55	99
Abschirmungen	17	0	0	0
Ausserordent. Unterhalt	0	0	0	0
Summe	885	454	1313	736

Darstellung A.7: Kollektivdosisanteile; geplanter Stillstand.
 Anteile kleiner als 1% sind nicht bezeichnet.

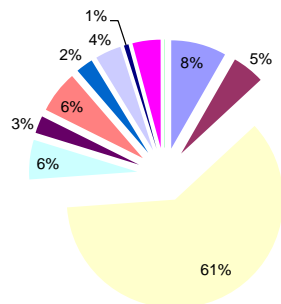
KKB 1 und 2



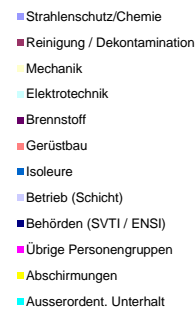
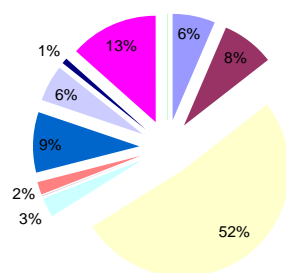
KKG



KKL



KKM



4.4 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen

Die Kollektivdosis konnte in den vergangenen Jahren deutlich verringert 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 neuen. 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 gefallen. Im Jahr 1991 betrug der Wert 0,404 Pers.-mSv pro GWh_{el}. Gegenwärtig erfolgt eine Stabilisierung zwischen 0,1 bis 0,17 Pers.-mSv pro GWh_{el}, der im Jahr 2010 erreichte Wert liegt bei 0,155 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 von 20 mSv für die Individualdosis des beruflich strahlenexponierten Personals im Aufsichtsbereich des ENSI durch eine ungeplante Exposition von einem Mitarbeiter überschritten. Im Jahr 2009 gab es eine Überschreitung bei zwei Mitarbeitern. Seit Inkrafttreten der neuen Strahlenschutzverordnung im Jahr 1994 sind dies die einzigen Grenzwertverletzungen der 20 mSv pro Jahr im Aufsichtsbereich des ENSI.

Das 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. Ungeplante Expositionen sind sicher zu vermeiden durch konsequente Ausbildung des Personals im Strahlenschutz, Planung der Tätigkeiten und deren Abfolgen, Absperrungen von Gebieten mit hoher Ortsdosisleistung sowie durch den Einsatz von zusätzlichen Dosisleistungsmess- und Warngeräten.

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 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 ^{64}Zn vorher abgereichert wurde, die Dosisleistungen an Komponenten des Primärkreislaufes halbiert. Das Zink verdrängt dabei ^{60}Co aus den Korrosionsschichten.

In der Schweiz wird das Verfahren vom KKG seit Ende 2004 angewendet. Im Durchschnitt lag die 2010 gemessene Dosisleistung an ausgewählten Primärkomponenten um 39 % unter dem Wert zu Beginn der Zinkdosierung. Die auf der Innenseite des RDB-Deckels gemessene Oberflächendosisleistung lag mit 117 mSv/h etwas unter dem Bereich der Vorjahre (2009: 135 mSv/h; 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 Verringerungen der Oberflächendosisleistungen sind erfreulich und tragen zur Minimierung der Kollektiv- und Individualdosen bei.

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

Die beiden Kobaltnuklide ^{60}Co und ^{58}Co können dadurch effizient aus dem Primärkreislauf entfernt werden. Im KKB 2 ist besonders die Aktivitätskonzentration des ^{58}Co zurückgegangen, was zum Rückgang der Ortsdosisleistung auf der heissen Seite des Hauptkühlmittelkreislaufs 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. Im KKB 1 zeigte die Entwicklung der Ortsdosisleistungen in der Anlage kein einheitliches Bild: Während an den Hauptkühlmittelleitungen Closure Legs A und B ein mittlerer Anstieg von 18 % gegenüber dem Vorjahr gemessen wurde, sind die entsprechenden Werte an den Dampferzeuger-Mänteln praktisch gleich geblieben. Die Dosisleistung an der Innenoberfläche des Reaktordeckels blieb in den letzten Jahren ebenfalls 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 28 % gegenüber dem Vorjahr. Allerdings sind die ODL-Werte in diesem Block weiterhin auf einem tiefen Niveau. Im KKM wurde im Januar 2010 ca. 200 g Platin 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 der Umwälzschleifen eine im Vergleich zum Vorjahr um durchschnittlich ca. 4,2 % höhere Dosisleistung von 1,67 mSv/h gemessen. Die Tendenz zu niedrigeren Ortsdosisleistungen an den Umwälzschleifen nach der Einspeisung von Platin im KKM scheint damit gestoppt zu sein. Der Trend wurde seit dem Jahr 2006 beobachtet und wird auf die Edelmetalleinspeisung zurück geführt. Im Jahr 2004 war die mittlere ODL an den Umwälzschleifen noch ca. 4 mSv/h. Das KKL hat im Jahr 2010 zum dritten Mal eine umfangreiche Einspeisung einer Platinverbindung durchgeführt, während des gesamten Zyklus wurde Wasserstoff in den Primärkreislauf zu dosiert. 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 1,14 mSv/h und war im Vergleich zum Vorjahr rund 17 % 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 (2009) und im KKL (2010) nicht wiederholen.

Die Ausbildung des Personals im Strahlenschutz, das Versperren von Gebieten mit hoher Ortsdosisleistung und der Einsatz von Messgeräten, deren Anzeige und Alarmierung auch ausserhalb des Arbeitsbereichs noch wahrgenommen wird, kann noch verbessert werden.

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 2010 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-Abgabegrenzen. 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-Piketeningenieur 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 Sondenelektronik 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 Atomwaffentests 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.

Detaillierte Messresultate zu diesem Probenahme- und Messprogramm können aus dem BAG Jahresbericht 2010 über „Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz“ entnommen werden.

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, 10-jährige Kinder und Kleinkinder in der Umgebung der betreffenden Anlage im Jahr 2010. 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 170 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 KKB 0,004 mSv und beim KKL und KKM ungefähr 0,005 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung betragen somit im Jahr 2010 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.

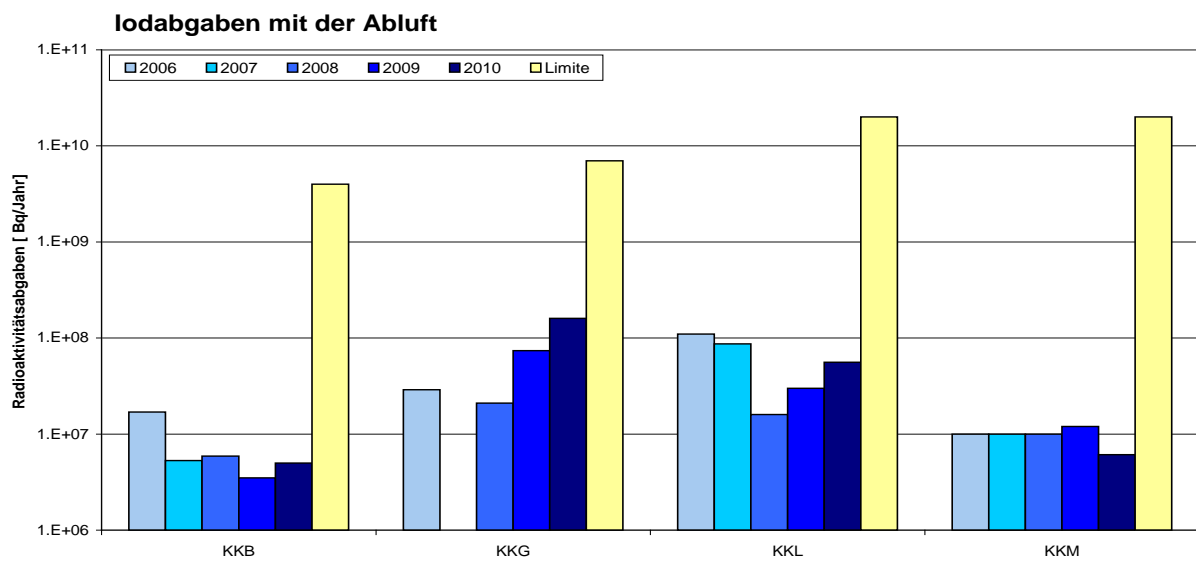
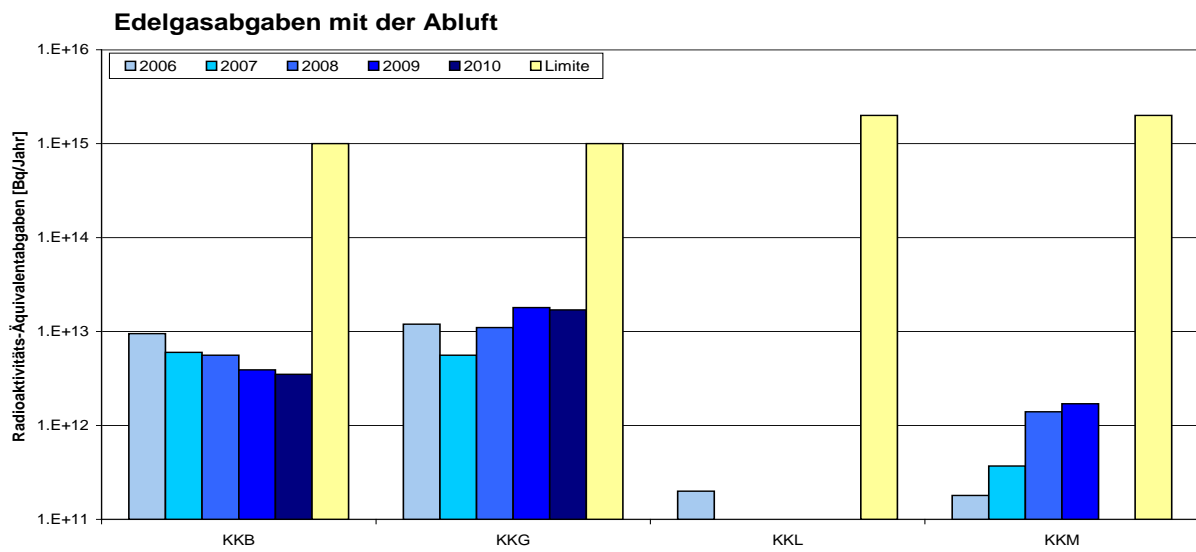
Mitte 1998 wurde die Apparatur des KKL zur Messung von ^{14}C aufgrund der Resultate einer internationalen Vergleichsmessung neu kalibriert, was dazu führte, dass die für Einzelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis seit 1998 etwas höher ist. Das KKG führt seit Ende 2001 Messungen der ^{14}C -Abgaben 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 2010 die ^{14}C - und die ^3H -Messungen auch nach Abschluss der geforderten einjährigen Messperiode auf freiwilliger Basis fort. Somit konnten auch 2010 zur Ermittlung des jeweiligen Dosisbeitrags von ^{14}C die gemessenen Werte herangezogen werden.

Das PSI ist aufgrund der Bewilligung für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung verpflichtet, sowohl für die einzelnen Anlagen als auch für die Gesamtanlage des PSI die aus den Abgaben resultierende Dosis in der Umgebung zu berechnen. Beim PSI errechnet das ENSI eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von weniger als 0,006 mSv. Beinahe die gesamte Dosis ergibt sich im PSI durch die Abgabe von kurzlebigen radioaktiven Edelgasen aus den Teilchenbeschleunigern im West-Areal des Institutes.

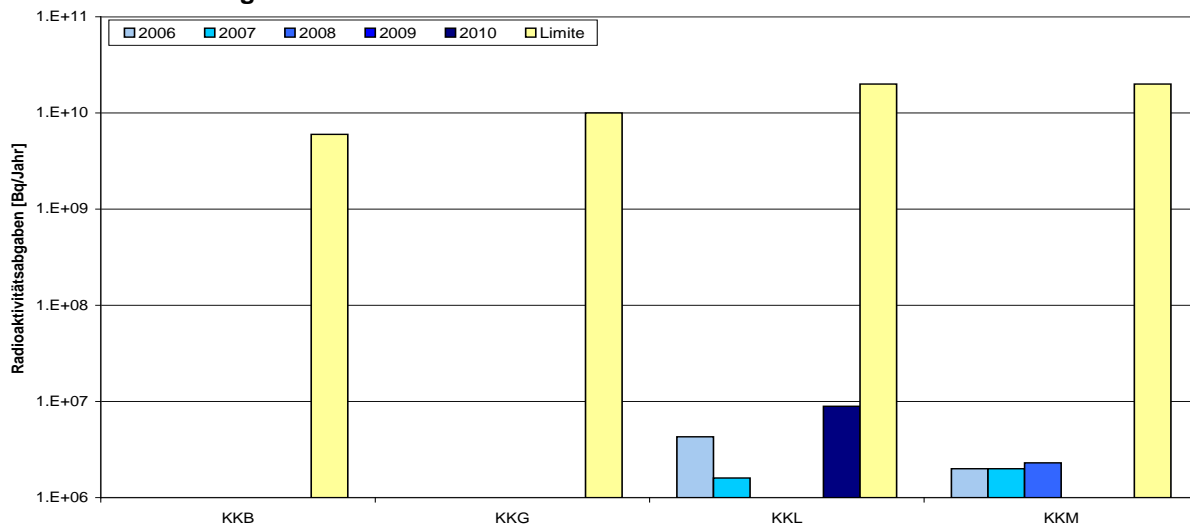
Die vom PSI und vom ENSI unabhängig voneinander durchgeführten Berechnungen zeigen, dass unter ungünstigen Annahmen die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung deutlich unterhalb des für das PSI bewilligten Anteils von 0,15 mSv pro Jahr am quellenbezogenen Dosisrichtwert für den gemeinsamen Standort des PSI und des ZZL liegt. Für das ZZL beträgt der Anteil 0,05 mSv pro Jahr.

Im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) erfolgten im Berichtsjahr weitere Einlagerungen in die Lagergebäude für hoch- und mittelaktive Abfälle und im Hochregallager der Konditionieranlage. In der Plasma-Anlage fanden wiederum eine Frühjahres- und eine Herbstverbrennungskampagne statt. Die für das Jahr 2010 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 unterhalb 0,001 mSv.

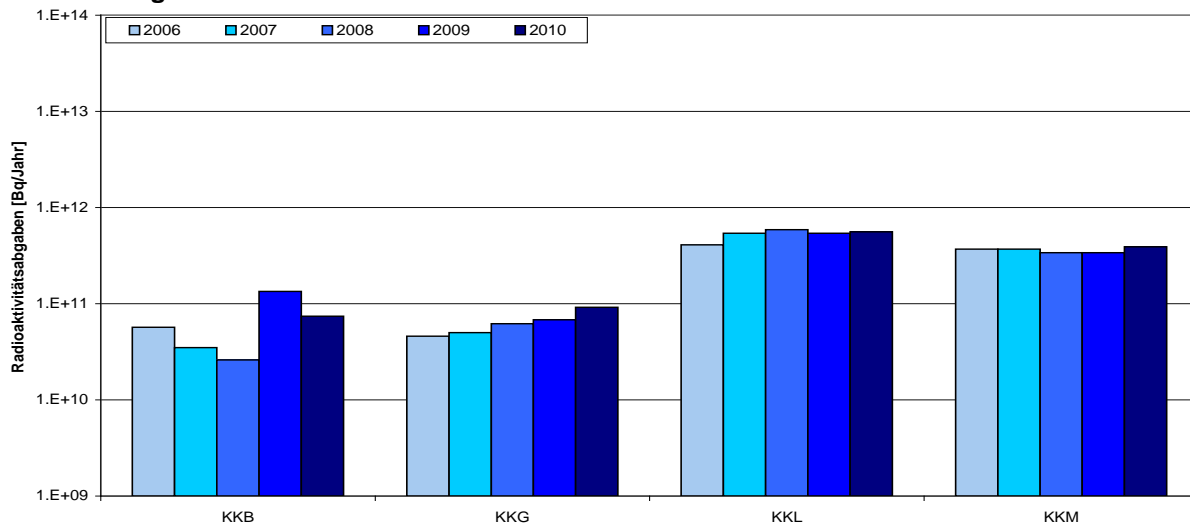
Darstellung B.1: Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre in den letzten fünf Jahren (2006 bis 2010) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten



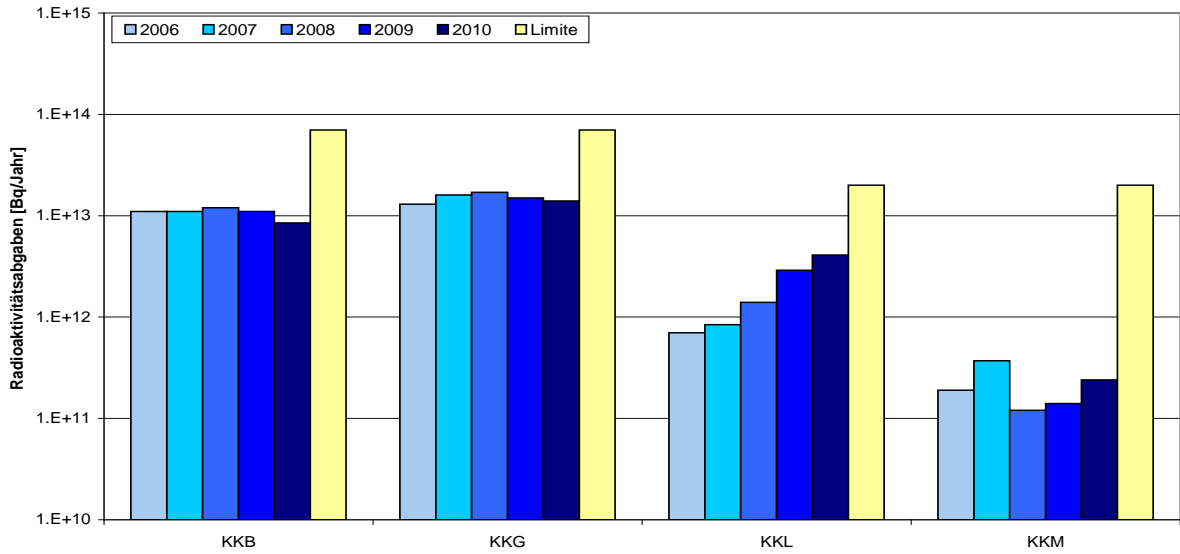
Aerosolabgaben mit der Abluft



Abgabe von Kohlenstoff-14 mit der Abluft



Tritiumabgaben mit dem Abwasser



Aktivitätsabgabe mit dem Abwasser (ohne Tritium)

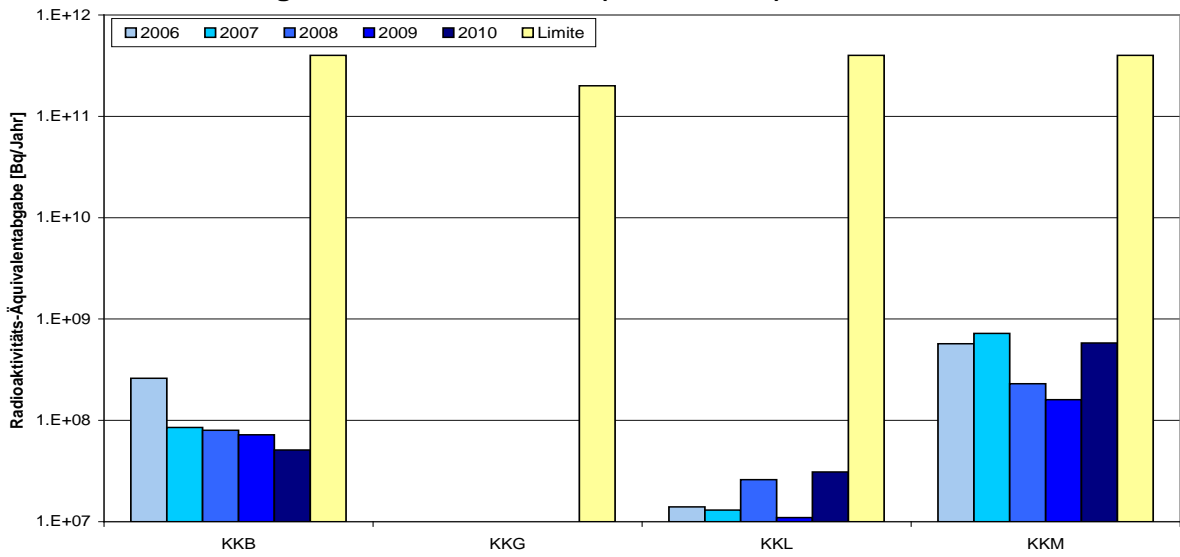


Tabelle B.1: Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2010 für die Kernkraftwerke und das Zentrale Zwischenlager Würenlingen und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung

Ort	Medium	Art der Abgaben ⁴	Limiten ¹	Tatsächliche Abgaben ^{2,4}			Berechnete Jahresdosis ³		
				Aequivalentabgaben			Erw. mSv/Jahr	10j Kind mSv/Jahr	1j Kind mSv/Jahr
			Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Prozent der Limite	Bq pro Jahr			
KKB1 + KKB2	Abwasser	Nuklidgemisch ohne Tritium	4·10 ¹¹	-	<0,1%	3,5·10 ⁸	<0,001	<0,001	<0,001
	3'700 m ³	Tritium	7·10 ¹³	8,5·10 ¹²	12%	8,5·10 ¹²	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	1·10 ¹⁵	3,5·10 ¹²	0,4%	4,0·10 ¹²	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	6·10 ⁹	-	<0,1%	3,0·10 ⁵	<0,001	<0,001	<0,001
		lod: ¹³¹ I Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	4·10 ⁹ - -	5,0·10 ⁶ - -	0,13% - -	5,0·10 ⁶ 7,4·10 ¹⁰	<0,001 0,0015	<0,001 0,002	<0,001 0,0034
Dosis total						0,0016	0,0021	0,0035	
KKM	Abwasser	Nuklidgemisch ohne Tritium	4·10 ¹¹	5,8·10 ⁸	0,15%	5,9·10 ⁹	<0,001	<0,001	<0,001
	5'451 m ³	Tritium	2·10 ¹³	2,4·10 ¹¹	1,2%	2,4·10 ¹¹	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	2·10 ¹⁵	-	<0,1%	7,0·10 ¹⁰	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	2·10 ¹⁰	-	<0,1%	1,0·10 ⁶	0,0031	0,003	0,0028
		lod: ¹³¹ I Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	2·10 ¹⁰ - -	- - -	<0,1% - -	6,1·10 ⁶ 3,9·10 ¹¹	<0,001 0,001	<0,001 0,0013	<0,001 0,0021
Dosis total						0,004	0,0042	0,0049	
KKG	Abwasser	Nuklidgemisch ohne Tritium	2·10 ¹¹	-	<0,1%	1,6·10 ⁷	<0,001	<0,001	<0,001
	7'561 m ³	Tritium	7·10 ¹³	1,4·10 ¹³	20%	1,4·10 ¹³	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	1·10 ¹⁵	<1,7·10 ¹³	<1,7%	<1,5·10 ¹³	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1·10 ¹⁰	-	<0,1%	1,2·10 ⁵	<0,001	<0,001	<0,001
		lod: ¹³¹ I Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	7·10 ⁹ - -	1,6·10 ⁸ - -	2,3% - -	1,6·10 ⁸ 9,2·10 ¹⁰	<0,001 <0,001	<0,001 <0,001	<0,001 0,001
Dosis total						<0,001	<0,001	0,0013	
KKL	Abwasser	Nuklidgemisch ohne Tritium	4·10 ¹¹	-	<0,1%	2,2·10 ⁸	<0,001	<0,001	<0,001
	14'713 m ³	Tritium	2·10 ¹³	4,1·10 ¹²	21%	4,1·10 ¹²	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	2·10 ¹⁵	-	<0,1%	4,6·10 ¹⁰	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	2·10 ¹⁰	-	<0,1%	8,9·10 ⁶	<0,001	<0,001	<0,001
		lod: ¹³¹ I Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	2·10 ¹⁰ - -	5,6·10 ⁷ - -	0,3% - -	5,6·10 ⁷ 5,6·10 ¹¹	<0,001 0,0021	<0,001 0,0028	<0,001 0,0047
Dosis total						0,0022	0,0029	0,0048	
ZZL	Abwasser	Nuklidgemisch ohne Tritium	2·10 ¹¹	2,7·10 ⁸	0,14%	1,1·10 ⁹	<0,001	<0,001	<0,001
	526 m ³	Tritium	-	-	-	2,2·10 ¹¹	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	β-γ-Aerosole	1·10 ⁹	-	<0,1%	1,7·10 ⁴	<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	1·10 ¹²	-	<0,1%	1,2·10 ⁸	<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 2010 und der daraus berechneten Dosen für Einzelpersonen der Bevölkerung

	PSI Ost				
	Hochkamin	Saphir, Proteus	Forschungs- labor	Betriebs- Gebäude radioaktive Abfälle	Bundes-zwischen-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	$6,6 \cdot 10^5$	-	-	-	$6,2 \cdot 10^4$
α -Aerosole	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	$9,8 \cdot 10^7$	-	-	-	-
Tritium als HTO	$4,4 \cdot 10^{10}$	$1,5 \cdot 10^7$	-	$1,1 \cdot 10^{10}$	$1,4 \cdot 10^{10}$
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 1348 m ³	Abluft	Aequivalent-abgaben
Abgaben im Abwasser^{2,4} [Bq/a]						
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	-	$6,7 \cdot 10^7$	-	$5,2 \cdot 10^6$
Tritium	-	-	-	$7,0 \cdot 10^{10}$	-	-
Abgaben über die Abluft^{2,4} [Bq/a]						
Edelgase und andere Gase	$1,7 \cdot 10^{14}$	$8,5 \cdot 10^{10}$	-	-	$1,7 \cdot 10^{14}$	$3,6 \cdot 10^{14}$
β/γ -Aerosole ⁴ , ohne Iod	$2,2 \cdot 10^{10}$	$3,5 \cdot 10^6$	$4,7 \cdot 10^3$	-	$2,2 \cdot 10^{10}$	-
α -Aerosole	-	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	$4,0 \cdot 10^7$	-	-	-	$1,4 \cdot 10^8$	$7,7 \cdot 10^7$
Tritium als HTO	$1,1 \cdot 10^{12}$	-	-	-	$1,2 \cdot 10^{12}$	-
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	-	-	-	-	-	-
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:						
Erwachsene	0,0055	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,0060	
Kind 10j	0,0056	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,0060	
Kleinkinder	0,0056	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,0060	
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert¹	3,7 %	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<4,0%	

Tabelle B.3a: Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2010: Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben²⁾

Nuklid	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
³ H	8,5·10 ¹²	1,4·10 ¹³	4,1·10 ¹²	2,4·10 ¹¹	7,0·10 ¹⁰	2,2·10 ¹¹
⁷ Be					9,2·10 ⁶	
²² Na					4,7·10 ⁶	1,5·10 ⁷
²⁴ Na	8,3·10 ⁶					
³⁵ S					2,4·10 ⁷	
⁴⁶ Sc					7,6·10 ³	
⁵¹ Cr				1,6·10 ⁸		
⁵² Mn						
⁵⁴ Mn	1,7·10 ⁶		3,3·10 ⁷	2,1·10 ⁹	3,9·10 ⁶	1,2·10 ⁵
⁵⁶ Mn						
⁵⁹ Fe				2,9·10 ⁶		
⁵⁶ Co					7,8·10 ⁴	
⁵⁷ Co	2,9·10 ⁵				2,9·10 ⁵	
⁵⁸ Co	8,0·10 ⁷		1,0·10 ⁷	1,0·10 ⁹	1,2·10 ⁵	
⁶⁰ Co	4,8·10 ⁷	4,9·10 ⁵	1,4·10 ⁸	2,5·10 ⁹	1,3·10 ⁶	1,3·10 ⁷
⁶⁵ Zn			3,1·10 ⁷	1,1·10 ⁸	3,9·10 ⁵	
⁸³ Rb					1,3·10 ⁴	
⁸⁵ Sr						
⁸⁸ Y					4,5·10 ⁵	
⁸⁹ Sr	3,5·10 ⁶	7,8·10 ⁵		1,3·10 ⁷		
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	4,4·10 ⁵			1,0·10 ⁶		1,5·10 ⁶
⁹⁵ Nb	3,4·10 ⁴					
^{99m} Tc						
¹⁰³ Ru					4,1·10 ⁴	
¹⁰⁶ Ru/Rh						1,1·10 ⁷
^{110m} Ag	4,1·10 ⁵			9,8·10 ⁵		
¹¹³ Sn					6,3·10 ⁵	
¹²² Sb	1,1·10 ⁶					
¹²⁴ Sb	5,5·10 ⁷			2,4·10 ⁶	1,2·10 ⁵	1,1·10 ⁶
¹²⁵ Sb	9,0·10 ⁶					1,2·10 ⁷
^{123m} Te	1,5·10 ⁷	7,9·10 ⁵				
¹³² Te	9,2·10 ⁵	2,5·10 ⁵				
¹²⁵ I					9,2·10 ⁶	
¹²⁶ I						
¹³¹ I	2,4·10 ⁷	1,3·10 ⁷			1,0·10 ⁴	
¹³³ I	3,6·10 ⁶	2,6·10 ⁵				
¹³⁴ Cs	1,7·10 ⁶				2,7·10 ⁵	2,7·10 ⁷
¹³⁶ Cs						
¹³⁷ Cs	1,0·10 ⁸		1,0·10 ⁶	3,1·10 ⁷	4,5·10 ⁶	1,0·10 ⁹
¹³³ Ba					1,4·10 ⁴	
¹⁴⁰ Ba						
¹⁴⁰ La						
¹⁴¹ Ce					6,1·10 ³	
¹⁷⁷ Lu					8,4·10 ⁶	
^{177m} Lu					1,6·10 ⁴	
α-Strahler	*)	<2,2·10 ⁵	6,1·10 ⁵	1,4·10 ⁵		*)
^{234/238} U					3,6·10 ⁵	
^{239/240} Pu	1,0·10 ⁴				1,0·10 ⁴	5,5·10 ⁴
²³⁸ Pu/ ²⁴¹ Am	2,0·10 ⁴				8,0·10 ³	1,7·10 ³
²⁴² Cm	1,9·10 ⁴					1,9·10 ³
^{243/244} Cm						5,5·10 ²
²³⁹ Np					8,7·10 ⁴	

*) Angabe umfasst für das KKB und ZZL das 4. Quartal 2009 bis und mit dem 3. Quartal 2010

Tabelle B.3b: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Edelgase und Iod 2010: Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben

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

Tabelle B.3c: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Aerosole 2010: Summe der bei Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben

Nuklid β/γ-Aerosole	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
⁷ Be					1,6·10 ⁶	
²² Na						
²⁴ Na					5,6·10 ⁵	
³⁸ S					1,4·10 ⁹	
³⁸ Cl						
³⁹ Cl					9,1·10 ⁸	
⁵¹ Cr				2,2·10 ⁵		
⁵⁴ Mn			1,6·10 ⁶	5,2·10 ⁴		
⁵⁸ Co			1,2·10 ⁵	4,2·10 ⁴		
⁶⁰ Co		8,7·10 ⁴	2,6·10 ⁶	5,1·10 ⁵	9,8·10 ⁵	5,3·10 ³
⁶⁵ Zn			2,5·10 ⁶			
⁷⁵ Se					6,2·10 ³	
⁷⁷ Br					1,4·10 ⁶	
⁸² Br					5,3·10 ⁸	
⁸⁹ Sr		4,8·10 ³				
⁹⁰ Sr		2,8·10 ⁴				
⁹⁵ Zr						
⁹⁵ Nb		3,6·10 ³				
^{99m} Tc					2,0·10 ⁷	
¹⁰³ Ru						
^{110m} Ag						
^{123m} Te						
¹²⁵ Sb						
¹³¹ I (Aerosol)			1,8·10 ⁶	2,9·10 ⁴		
¹³⁴ Cs						
¹³⁷ Cs				1,2·10 ⁵		1,1·10 ⁴
¹⁴⁰ Ba			3,2·10 ⁵	4,9·10 ⁴		
¹⁴⁰ La			3,5·10 ⁵			
¹⁸¹ Re					8,1·10 ⁷	
¹⁸² Re					2,1·10 ⁸	
^{182m} Re					5,1·10 ⁶	
¹⁸³ Re					2,4·10 ⁶	
¹⁸³ Os					2,5·10 ⁸	
^{183m} Os					6,4·10 ⁸	
¹⁸⁵ Os					1,9·10 ⁷	
¹⁹¹ Os					3,3·10 ⁴	
¹⁸⁵ W					3,2·10 ⁹	
¹⁹¹ Pt					4,1·10 ⁷	
¹⁹² Au					2,6·10 ⁹	
¹⁹³ Au					1,8·10 ⁸	
¹⁹⁴ Au					3,7·10 ⁵	
¹⁹⁵ Au					3,5·10 ⁷	
¹⁹² Hg					1,1·10 ⁹	
¹⁹³ Hg						
^{193m} Hg					3,4·10 ⁸	
¹⁹⁴ Hg					3,7·10 ⁵	
¹⁹⁵ Hg					1,2·10 ¹⁰	
^{195m} Hg					1,4·10 ⁸	
¹⁹⁷ Hg						
^{197m} Hg					1,4·10 ⁸	
²⁰³ Hg					6,5·10 ⁶	
Nicht spezifizierte	3,0·10 ⁵					
α-Aerosole	5,0·10 ³	4,9·10 ⁴	7,2·10 ⁴	8,2·10 ⁴		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. Abgaben kleiner tausend Bq werden nicht ausgewiesen.

³ Die **Jahresdosis** ist für Personen berechnet, die sich dauernd am kritischen Ort aufhalten, ihre gesamte Nahrung von diesem Ort beziehen und ihren gesamten Trinkwasserbedarf aus dem Fluss unterhalb der Anlage decken. Die Dosis wird mit den in der Richtlinie ENSI-G14 angegebenen Modellen und Parametern ermittelt.

Dosiswerte kleiner als 0,001 mSv - entsprechend einer Dosis, die durch natürliche externe Strahlung in ca. zehn Stunden akkumuliert wird - werden in der Regel nicht angegeben. Beim PSI wird die Jahresdosis der Gesamtanlage als Summe über die Abgabestellen gebildet.

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

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

Edelgase: Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-CA-Wert von $2 \cdot 10^5$ Bq/m³ angegeben. Die CA-Werte für die Edelgasnuklide sind dem Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Ein CA-Wert von $2 \cdot 10^5$ Bq/m³ entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Immersions-Dosisfaktor von $4.4 \cdot 10^{-7}$ (Sv/Jahr)/(Bq/m³). Die unnormierte Summe der Edelgasabgaben ist in einer weiteren Spalte angegeben.

Beim KKG wird für die Bilanzierung der Edelgase eine β -total-Messung durchgeführt; für die Äquivalent-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 Gesamtabgabe wird zudem auch ein ¹³¹Iod-Äquivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben, wobei sich der Gewichtungsfaktor aus dem Verhältnis des Ingestionsdosisfaktors des jeweiligen Nuklides zum Ingestionsdosisfaktor von 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 relevante ist, angegeben. Die für ¹⁴C angegebenen Werte basieren bei allen Werken auf aktuellen Messungen.

1.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen

Die Ortsdosis, respektive die Ortsdosisleistung durch externe Strahlung werden in der Umgebung der Kernanlagen und des PSI mit dem MADUK-Messnetz (siehe Kapitel B.2), und mit Thermolumineszenzdosimetern (TLD) in der Umgebung 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 weitern 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 $0,38 \mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Auf ein Jahr hochgerechnet würde basierend auf diesen Momentanwerten am meist exponierten Ort eine Dosiserhöhung von ca. $2,6 \text{ mSv}$ (ohne natürlichen Untergrund) resultieren. Die vom KKM ausgewerteten Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun ergeben für das Berichtsjahr nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes 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 Leistungsbetriebes Ortsdosisleistungen zwischen $0,06 \mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und $0,17 \mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes und unter Berücksichtigung der Betriebszeit am meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von ca. $0,9 \text{ mSv}$ pro Jahr. Die höchste, mit den TLD am Zaun ermittelte Jahresdosis (nach Abzug des natürlichen Untergrundes von $0,6 \text{ mSv}$) beträgt $0,7 \text{ mSv}$.

Auf Grund der stichprobenweise vom ENSI gemessenen Ortsdosisleistung am Zaun des Paul Scherrer Instituts, Areal Ost ergibt sich hochgerechnet auf ein Jahr eine Ortsdosis von $0,7 \text{ mSv}$ ohne natürlichen Untergrund. Im Jahr 2010 betrug der höchste, mit einem Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun des PSI ermittelte Wert ca. $0,2 \text{ mSv}$ (ohne natürlichem Untergrund von ca. $0,6 \text{ mSv}$). Der zugehörige Messpunkt liegt beim Betriebsgebäude für Radioaktive Abfälle des PSI-Ost.

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

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

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

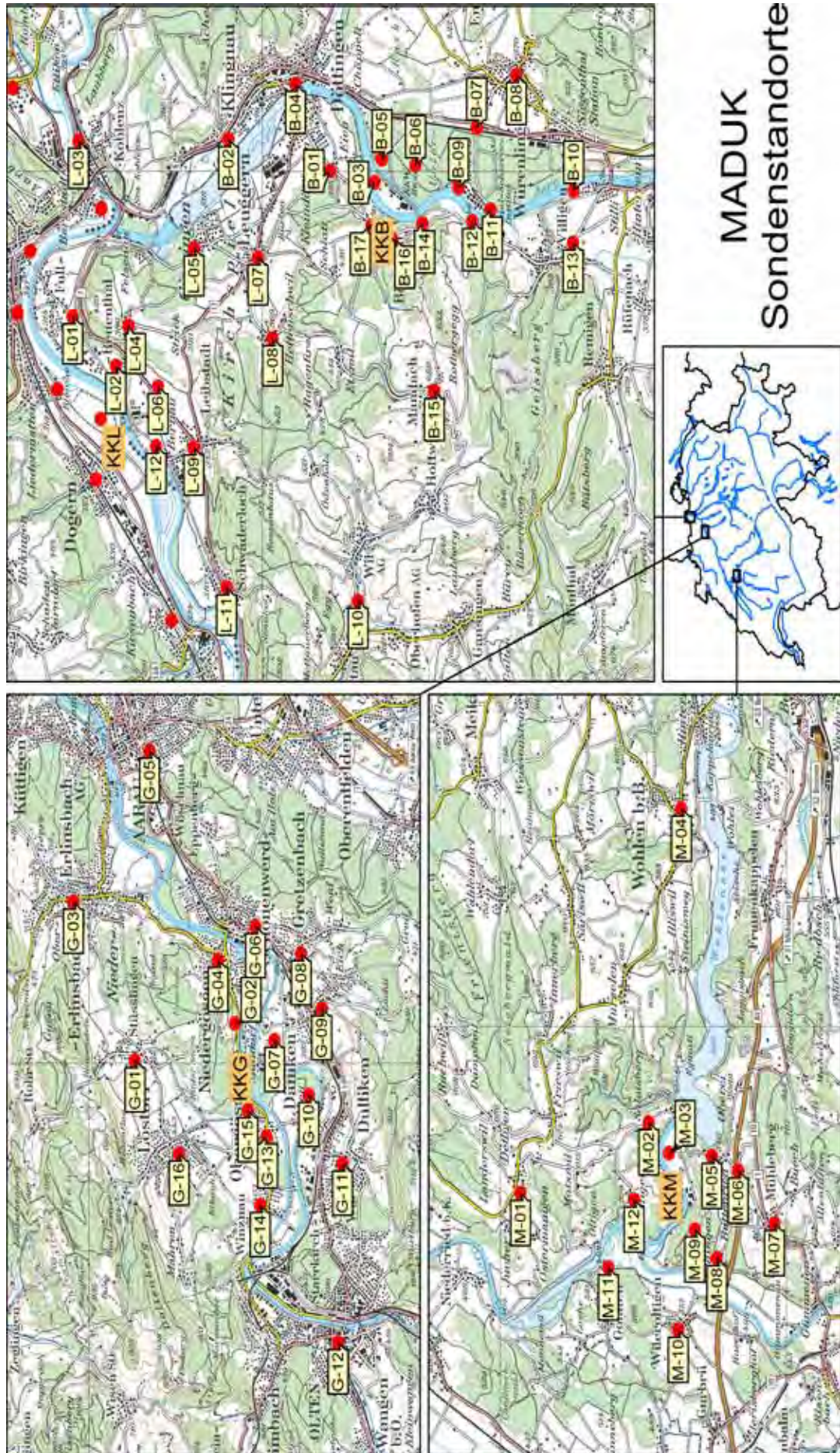
2.1 Übersicht

Das MADUK-System (Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke) inklusive der Einrichtungen zur Übernahme von Anlageparametern (ANPA) und Emissionswerten 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 63 Messstationen zählen kann. Die Geiger-Müller-Zählrohre in den Sonden ermitteln die Gamma-Dosisleistung im Messbereich von 10 nSv/h (Niederdosiszählrohre) bis 10 Sv/h (Hochdosiszählrohr). 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 die Systeme ADAM und ADPIC im ENSI. Die Darstellung B.2 auf der nächsten Seite zeigt die Standorte der Messsonden in der Umgebung der Kernkraftwerke.

Darstellung B.2: Die vier Messringe von MADUK. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.



MADUK Sondenstandorte

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 Notfallschutz/Messnetz MADUK/Messwerte Radioaktivität sind die Tages-, Stunden- und Zehnminutenmittelwerte aller MADUK Stationen abrufbar.

2.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung

Anfangs 2010 erfolgte der Umzug des ENSI von Villigen nach Brugg. Dabei wurde in Brugg ein redundanter Anschluss an die IPSS-Netze von MADUK über zwei unterschiedliche Kommunikationszentralen realisiert. Damit konnte die Ausfallsicherheit erhöht werden. Beim Umzug wurde auch Hardware von Subsystemen ersetzt. Insgesamt konnte der Umzug ohne nennenswerte Unterbrüche im Betrieb bewältigt werden, indem das zentrale Rechner-Doppelsystem für den Zeitraum des Umzugs aufgeteilt wurde und somit zwei Systeme parallel betrieben werden konnten.

Im Verlauf des ersten Halbjahres wurde beim Datenexport an die NAZ und ans KFÜ Baden-Württemberg die verwendeten Datenformate auf den aktuellen Versionsstand gebracht. Vor der Operationalisierung wurden die neuen Formate im Parallelbetrieb erfolgreich getestet.

In der zweiten Jahreshälfte wurden die Datenflüsse der Anlageparameter und Emissionswerte aus den Kernkraftwerken so angepasst, dass bereits auf den Erfassungsrechnern in den Werken die Daten in einem einheitlichen Datenformat abgelegt und dann von der Zentrale aus abgeholt werden. Damit konnte die Netzwerksicherheit verbessert und die Datenverarbeitung in der Zentrale vereinheitlicht werden. Nachdem im 2009 die Normberechnungen von ADPIC als Ersatz für die TIS/ADP-Berechnungen für den Pikett in der MADUK-Bedienoberfläche integriert worden war, erfolgte nun 2010 die Integration der ADPIC-Berechnungen im Ereignisfall. Damit stehen nun die Daten in einem GIS-fähigen Format zur Verfügung, womit rasch zusätzliche Informationen aus den vorhandenen Daten extrahiert werden können.

In einem Detailkonzept wurde die Migration des heutigen Zentralsystems auf UNIX-Basis in die Windows-Welt beschrieben. Damit wurde die Grundlage für die komplette Erneuerung der MADUK-Zentrale in den nächsten Jahren geschaffen.

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 99,7% (Verfügbarkeit der ANPA- und EMI-Daten eingerechnet).

Die permanente Übertragung der Anlageparameter erreichte wiederum eine sehr hohe Verfügbarkeit. Bei KKB1 und KKB2 wurden am Jahresbeginn aufgrund einer fehlerhaften Konfiguration auf Seiten MADUK die Daten nicht archiviert. Im zweiten Quartal führte eine fehlerhafte Zeitsynchronisation bei KKM zu einem Unterbruch von rund sechs Stunden. Bei KKG wurde nach der Revision kurzzeitig für einen Parameter der Wert Null anstelle des korrekten Wertes geliefert. Während der Jahresrevision in KKL kam es aufgrund des Umbaus an Rechnerschränken und Wartungsarbeiten an einem ANIS-Server zu Ausfällen von insgesamt 118,6 Stunden. Bei KKG führte ein Umbau im Netzwerk zu einem kurzen Unterbruch von drei Stunden. Nach der Übertragung von Testtelegrammen und einer folgenden Zuschaltung der Echtdaten kam es aufgrund eines Softwarefehlers im ANPA-Erfassungstreiber zu diversen Unterbrüchen bei KKG von insgesamt 136 Stunden. Der Softwarefehler konnte inzwischen behoben werden. Im Weiteren waren keine nennenswerten Unterbrüche in der Übertragung festzustellen.

Die Tabelle B.4 gibt eine Übersicht über die Störungen an den Messstationen mit Störungsdauer, permanentem Datenverlust und Ursache der Störung.

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

Station	Störungsdauer [h]	Permanenter Datenverlust [h]	Ursache
B-11	9,0	9,0	Ausfall Datenlogger
M-10	5,0	-	Blockierter Funkrouter
B-03, B-05, B-06, B-09, B-11, B-12	2,0	-	Grossstörung Swisscom-Netz Raum Würenlingen
L-03	120,5	-	Beschädigung Kommunikationskabel bei Umbauarbeiten
G-03	6,5	-	Kommunikationsunterbruch
L-10	1,7	-	Kommunikationsunterbruch
B-14	1,2	-	Kommunikationsunterbruch
M-03, M-05, M-06, M-07, M-09	1,0	-	Grossstörung Swisscom-Netz Raum Mühleberg
G-03	1,8	-	Kommunikationsunterbruch
L-10	5,7	-	Kommunikationsunterbruch
M-12	149,2	149,2	Stromunterbruch infolge Besitzerwechsels am Standort
G-03	2,2	-	Kommunikationsunterbruch
M-12	6,0	-	Kommunikationsunterbruch
L-01	13,2	-	Defekter DSL-Router infolge Blitzschlags
M-12	7,2	-	Kommunikationsunterbruch
M-04	4,2	-	Kommunikationsunterbruch
G-05	1,2	-	Kommunikationsunterbruch
B-04	1,5	-	Datenlogger
B-05	2,5	-	Umbauarbeiten
B-07	17,0	17,0	Stromausfall
B-04	104,8	104,8	Verlegung Sondenstandort

Die im 2008 eingebrachte neue Stationselektronik lief im 2010 äusserst zuverlässig. Gerade ein blockierter Datenlogger war zu verzeichnen, der einen Datenverlust von 9 Stunden verursachte. An den Stationen L-12 (defektes Niederdosiszählrohr) und L-09 (defektes Hochdosiszählrohr) mussten die Sonden ausgetauscht werden.

Beim Umzug der MADUK-Zentrale vom Standort Villigen nach Brugg kam es im Februar zu zwei kurzen Unterbrüchen von insgesamt 2,4 Stunden. In der übrigen Zeit stand MADUK der internen Notfallorganisation zur Verfügung. Wartungsarbeiten und eine defekte Festplatte des zentralen Disksystems verursachten Ausfälle der MADUK-Zentrale von insgesamt 24,6 Stunden. Ein Problem bei der Vorbelegung des Kurzzeitarchivs verhinderte Ende Jahr während 121 Stunden die Archivierung der ANPA-Daten im MADUK-Archiv. Die Daten standen aber für das Analyse-Tool ADAM jederzeit zur Verfügung.

Ein Systemproblem mit dem Paged Pool auf dem KOMPC1 führte im dritten und vierten Quartal zu diversen Ausfällen beim Datenimport und -export von insgesamt rund 7 Stunden. Das Problem konnte inzwischen gelöst werden. Weitere relevante Störungen waren beim Datenimport vom KFÜ Baden-Württemberg (2 x 9 Stunden, 1 x 23 Stunden, 1 x 26,5 Stunden) zu verzeichnen, die teilweise auf die Umstellung des Datenpfades zurückzuführen waren.

2.4 Qualitätssicherung

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

In Anlehnung an die „Empfehlungen zur Sicherstellung der Messdatenqualität von Umgebungsdosimetriesystemen“ der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität vom 24. November 2004 werden die MADUK Sonden vor einem ersten Einsatz geeicht. Die Eichung hat eine dreijährige Gültigkeit. Das Messverhalten der Sonden wird zwischen den Eichungen mit halbjährlichen Genauigkeitstests geprüft. Bei den Genauigkeitstests werden mit Hilfe einer Prüfquelle die Resultate der Niederdosis- und Hochdosis-Zählrohre überprüft. Mit einer 460 kBq 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 2010 wurden zwei Funktionskontrollen durchgeführt. Diese zeigten die einwandfreie Funktion aller Sonden. Die Archivierung funktionierte ebenfalls einwandfrei. Bei der Alarmierung konnten am frühen Morgen des 20. August keine Pager-Meldungen abgesetzt werden. Die Meldungen im restlichen Zeitraum der Funktionsprüfungen wurden korrekt abgesetzt.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme werden Messungen mittels in-situ-Gammaspektrometrie im Feld durchgeführt. 2010 wurden Messungen an den Sondenstandorten um Beznau und Mühleberg durchgeführt. Die Messwerte lagen im Bereich der früheren Jahre.

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 3,27 µSv/h. An den übrigen NADAM-Standorten, an denen sich auch MADUK-Sonden befinden, wird eine Ringquelle für die Überprüfung benutzt. Diese verursacht keine wesentlichen Erhöhungen an den MADUK-Sonden.

In der Tabelle B.5 sind alle Ereignisse aufgelistet, bei denen der Nettodosisleistungsschwellwert von 50 nSv/h überschritten wurde. Alle registrierten Erhöhungen mit Ausnahme der Erhöhung vom 29. Juli bei der Station M-04 waren auf Washout-Effekte in der Folge lokal begrenzter Starkregen zurückzuführen. Ein Zusammenhang mit dem Betriebsverhalten der Kernanlagen konnte nicht hergestellt werden.

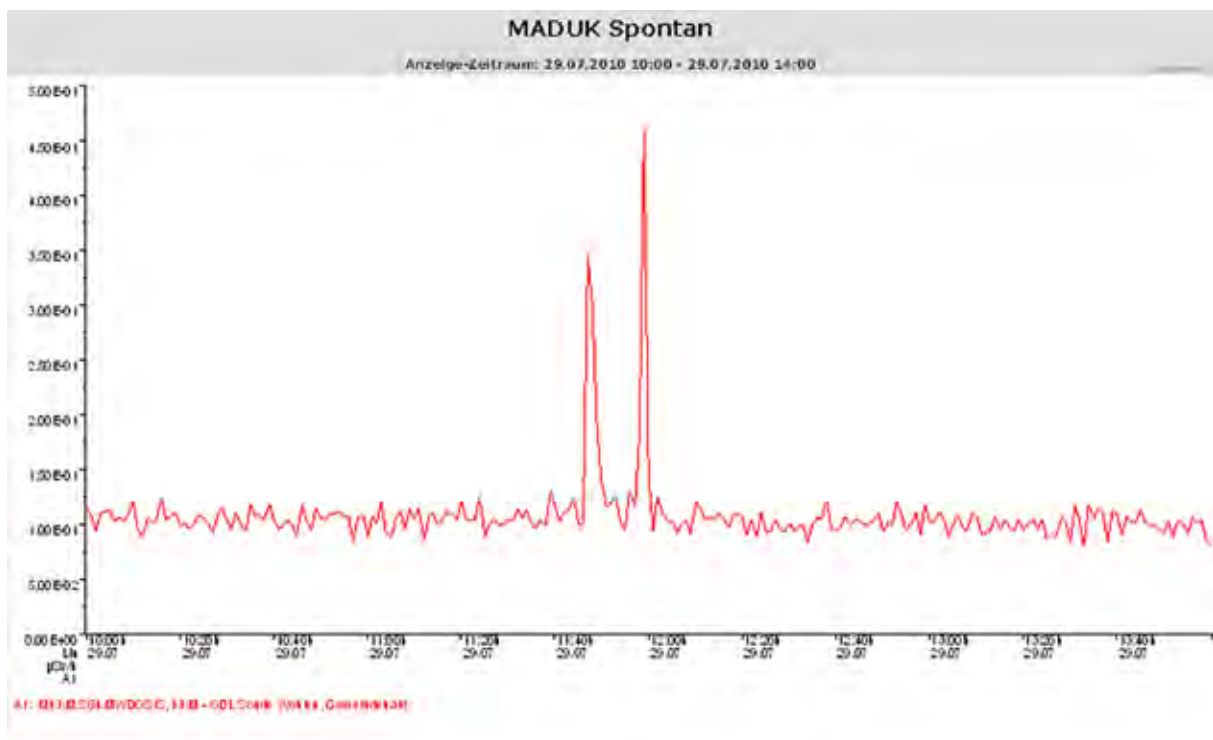
Tabelle B.5: Auflistung der Nettodosisleistungsschwellwertüberschreitungen im Jahr 2010

Datum	Station	Dauer [h]	Max. NDL [nSv/h]	Max. ODL [nSv/h]
25. Jan. 17:50	L-06	0,7	63	160
09. Feb. 23:00	L-06	0,2	51	152
13. Mai 19:40	L-06	0,3	55	148
04. Jul. 04:00	B-11	0,5	78	206
04. Jul. 04:00	B-12	0,5	83	215
12. Jul. 18:50	M-04	0,5	60	163
22. Jul. 00:20	L-03	0,8	56	189
29. Jul. 11:50	M-04	0,3	63	162

Am 29. Juli zwischen 11:50 und 12:00 Uhr wurde an der Station M-04 während 20 Minuten der Nettodosisleistungsschwellwert von 50 nSv/h verletzt. Die maximale Nettodosisleistung betrug 63 nSv/h und die maximale Ortsdosisleistung 162 nSv/h. Der Verlauf der Ortsdosisleistung wies nicht auf einen Washouteffekt hin.

Eine Analyse der 1-Minutenmesswerte zeigte (Darstellung B.3) zwei sehr kurze Peaks um 11:47-11:48 (343 bzw. 301 nSv/h) und 11:59 Uhr (461 nSv/h). Da sich die Sonde in der Nähe eines Parkplatzes befindet, könnte die Ursache der Erhöhung in den Bewegungen auf dem Parkplatz zu finden sein (Radioaktiver Transport, Person aus Radiotherapie).

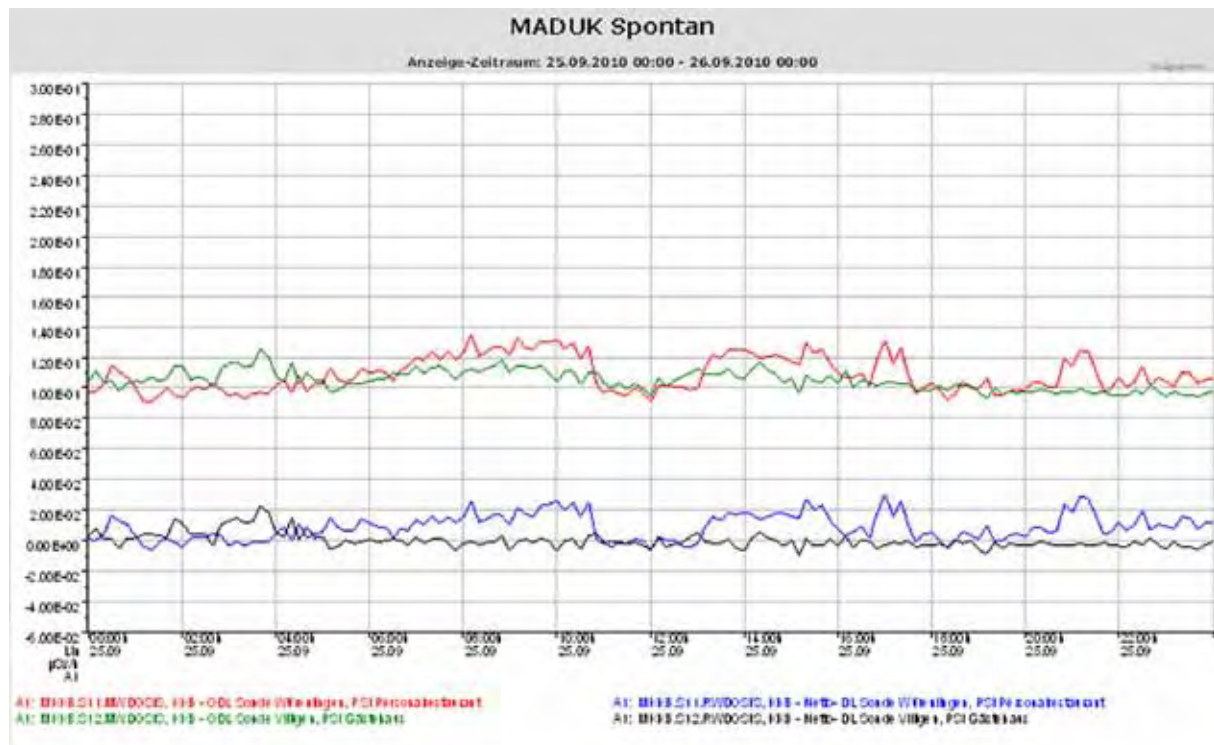
Darstellung B.3: Verlaufskurve der 1-Minutenwerte der Station M-04



Bei den Stationen B-11 (PSI Personalrestaurant Oase) und B-12 (PSI Gästehaus) wurden aufgrund der besseren Sondentechnik vermehrt bei bestimmten Wetterlagen erhöhte Ortsdosisleistungen gemessen (Darstellung B.4). Die entsprechenden Nettodosisleistungen erreichten teilweise mehr als 20 nSv/h. Die Erhöhungen sind nicht auf Washout natürlicher Radionuklide zurückzuführen.

Zusätzliche Messungen des PSI mit einer Reuter-Stokes Ionisationskammer und hochauflösender Gammaspektrometrie bestätigten die Messwerte. Mit diesen Messungen konnten die Abgaben über die Fortluftanlage des PSI-West anhand der Gammalinie bei 511 keV als Ursache für die Erhöhungen identifiziert werden (TM-96-09-10). Diese Gammalinie tritt bei den kurzlebigen Positronenstrahlern auf, die den Hauptanteil der Abgaben beim PSI-West ausmachen.

Darstellung B.4: Die rote und die grüne Kurve zeigen den Verlauf der Ortsdosisleistung der Stationen B-11 bzw. B-12, die blaue und die schwarze Kurve den Verlauf der entsprechenden Nettodosisleistungen

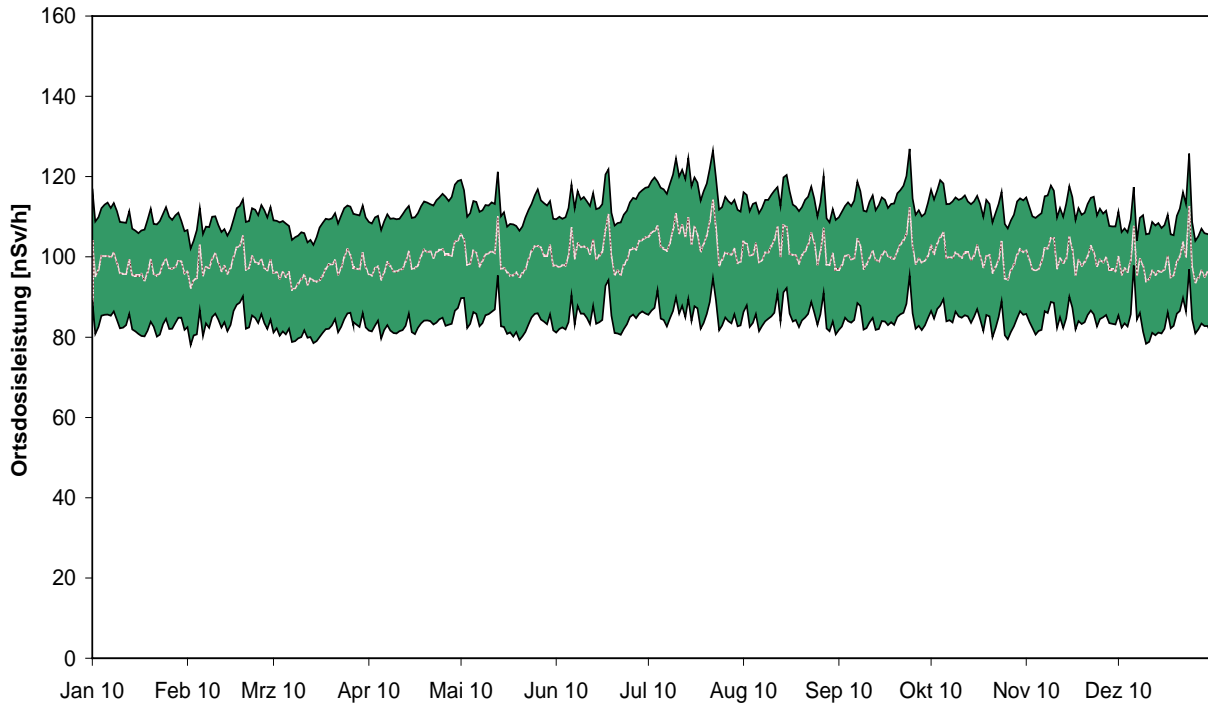


Das Beispiel zeigt, dass mit der Methode der Nettodosisleistung bereits geringe und aus der Sicht des Strahlenschutzes unbedeutende Erhöhungen erkannt werden können.

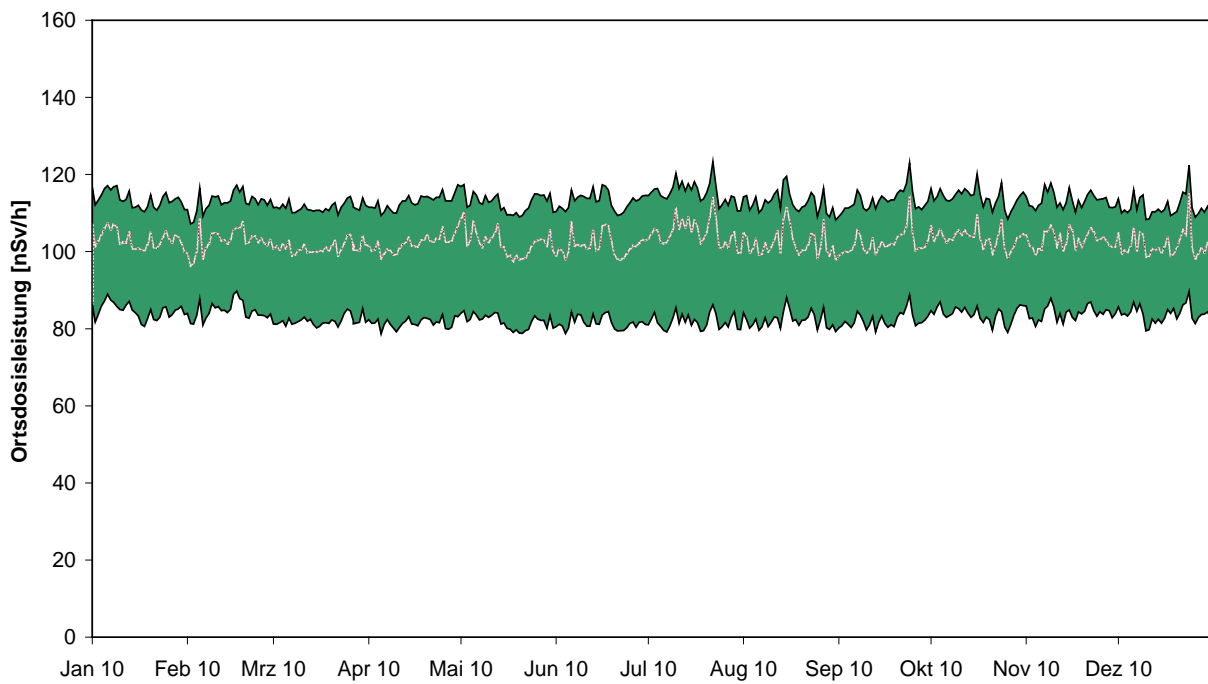
Die Darstellungen B.5 und B.6 zeigen die Maxima, die Minima und die Mediane der Tagesmittelwerte im Berichtsjahr in den Umgebungen der Kernkraftwerke. Die Werte liegen im normalen Schwankungsbereich.

Darstellung B.5: Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKB, KKG

Messring KKB

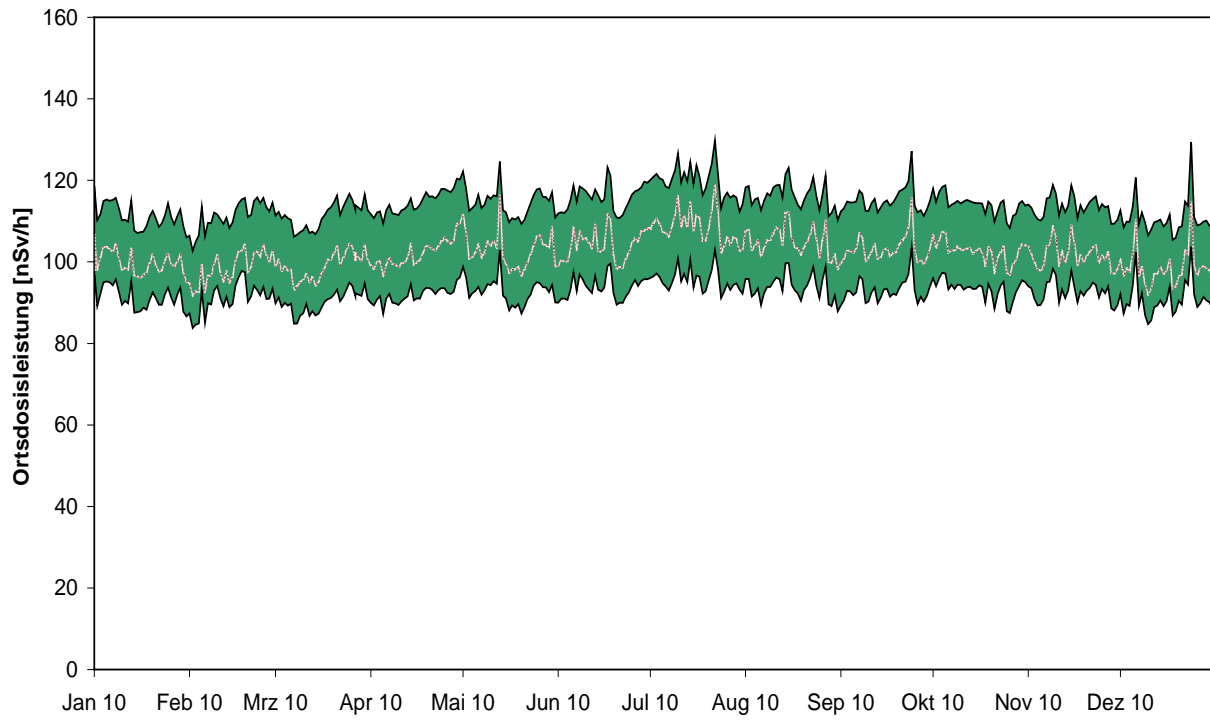


Messring KKG

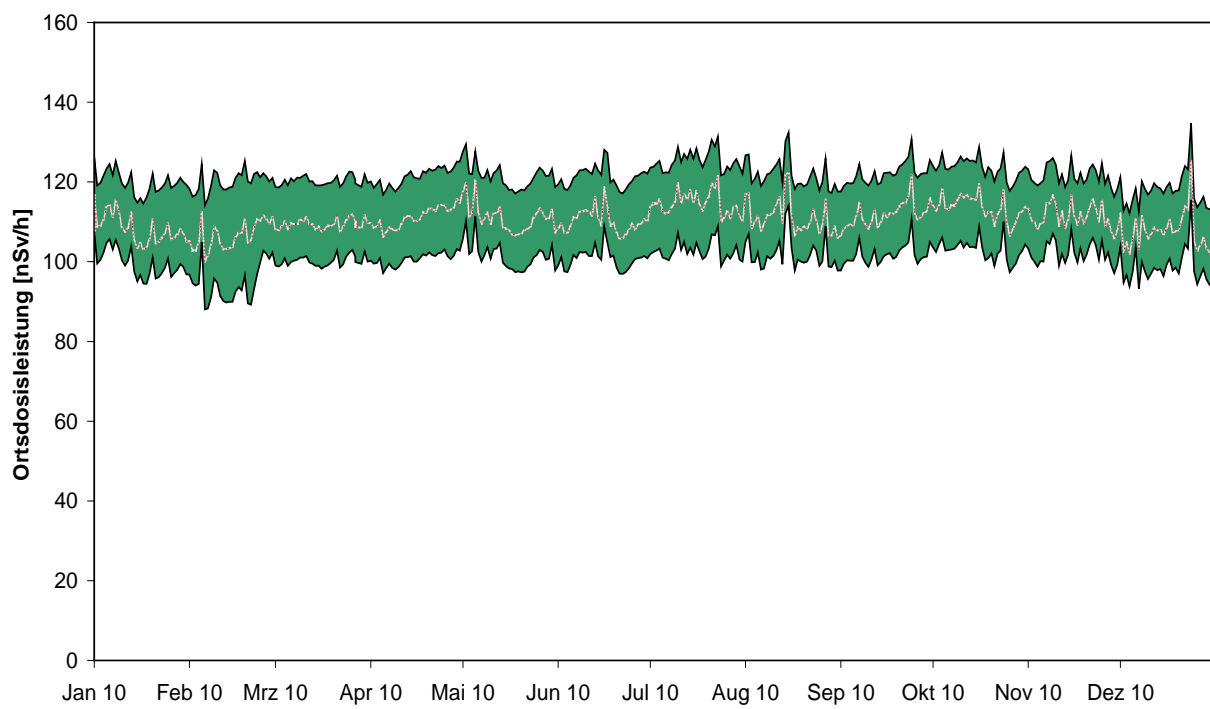


Darstellung B.6: Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKL, KKM

Messring KKL



Messring KKM



3. Atmosphärische Ausbreitung

3.1 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 den Notfallschutz in der Umgebung von Kernanlagen (Notfallschutzverordnung, NFSV) und in der Verordnung über die Organisation von Einsätzen bei ABC- und Naturereignissen (ABCN-Einsatzverordnung) 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 den Bundesstab ABCN und die Nationale Alarmzentrale (NAZ) über die Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung.

Die Eidgenössische Kommission für ABC-Schutz (KomABC) 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 auf Grund der aktuellen Situation in der Anlage und der vorherrschenden Wetterbedingungen in der Umgebung abgeschätzt werden. Modellrechnungen dienen insbesondere dazu, das potenziell gefährdete Gebiet abzugrenzen, die notwendigen Schutzmassnahmen festzulegen und die Messstrategie zu optimieren.

3.2 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 meteorologischen Prognosedaten aus dem CN-MET Projekt bzw. aus dem neu eingeführten COSMO 2 Modell wurden beim ENSI im Jahr 2010 operationell eingeführt. Die Erfahrung aus dem vergangenen Jahr hat die hohe Anforderung an die Verfügbarkeit des Datenstroms bestätigt.

3.3 Atmosphärisches Ausbreitungsmodell ADPIC/WINDBANK

Im Ereignisfall wird das komplexe atmosphärische Ausbreitungsmodell ADPIC (Atmospheric Diffusion Particle-In-Cell Model), welches Topographie und lokale Windverhältnisse berücksichtigt, eingesetzt. Für Anwendungen in der unmittelbaren Umgebung der schweizerischen Kernanlagen werden standardmässig die 3D-Windfelder aus der WINDBANK verwendet (ADPIC/WINDBANK). Neu erlaubt ADPIC auch die direkte Verwendung von 3D-Windfeldern aus dem COSMO2 Modell (sog. grosse Prognosen). Dabei werden die 3D-Winddaten mit einem massenkonsistenten Windfeldmodell auf die vom Ausbreitungsmodell benötigten Auflösungen heruntergerechnet (ADPIC/COSMO).

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

Aktueller Stand

Das Ausbreitungsmodell ADPIC ist hinsichtlich Meteorologie für diagnostische und prognostische Berechnungen für alle Kernanlagen operationell:

- Routinemässige Berechnungen mit einer Einheitsquelle (1 Bq/s ^{137}Cs) werden automatisch rund um die Uhr im Stundentakt und für drei verschiedene Freisetzungshöhen durchgeführt.
- 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 auf Grund 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.

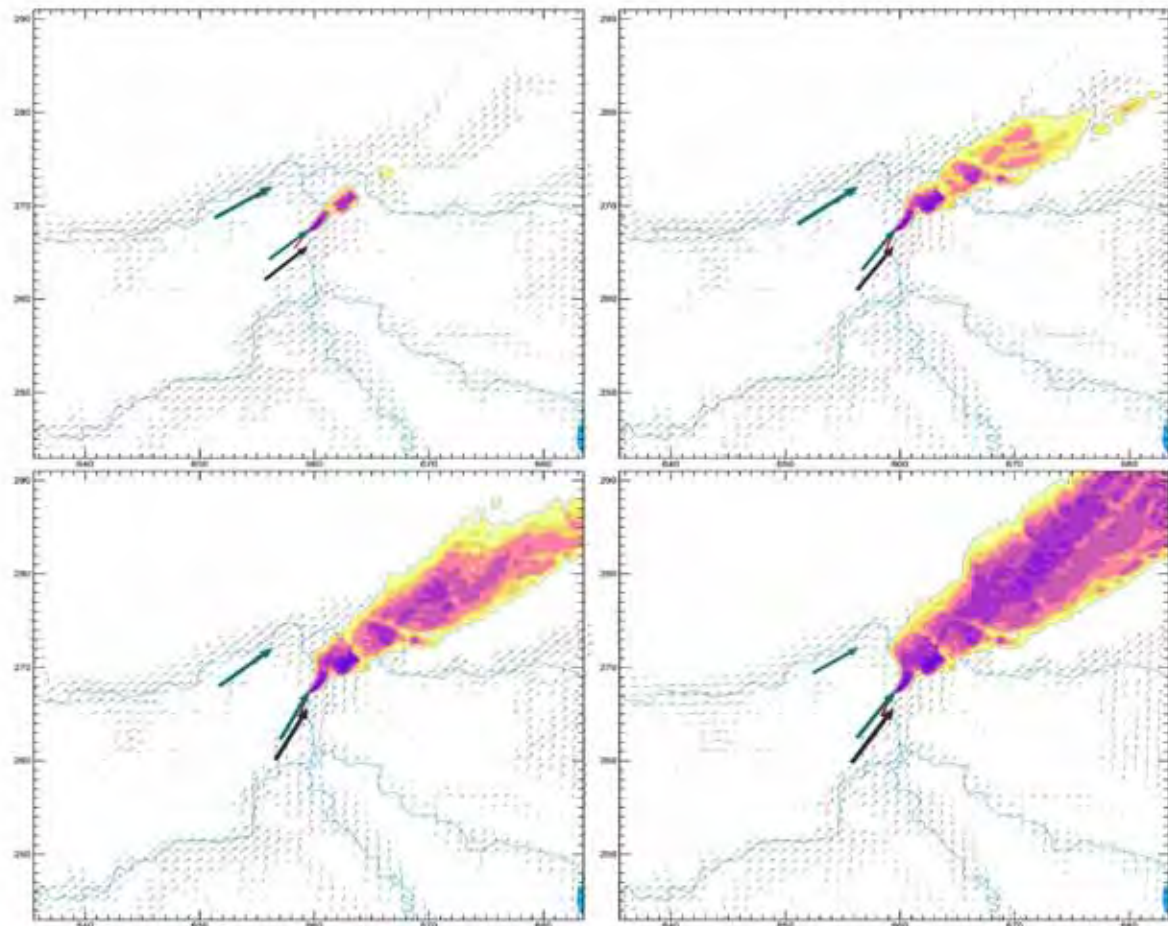
Für die Sicherstellung der Notfallbereitschaft im Ereignisfall muss neben der technischen Verfügbarkeit auch die personelle Bedienung des Systems gewährleistet sein.

Beispiele von ADPIC/COSMO-Berechnungen

Das Ausbreitungsmodell ADPIC ermöglicht im Ereignisfall auf Grund 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 COSMO2 der MeteoSchweiz eingesetzt.

Neu können bei Prognosen die 3D-Winddaten aus dem COSMO2 Modell auch direkt, d.h. ohne WINDBANK, in ADPIC verwendet werden. In den Darstellungen B.7 und B.8 werden zwei Beispiele von ADPIC/COSMO-Simulationen dargestellt. Die Darstellungen zeigen die berechneten Luftaktivitäten als Funktion der Zeit für eine Wetterlage mit konstanten (Darstellung B.7) und für eine Wetterlage mit wechselnden (Darstellung B.8) Windverhältnissen. Der Einfluss der Topographie ist in beiden Fällen deutlich sichtbar.

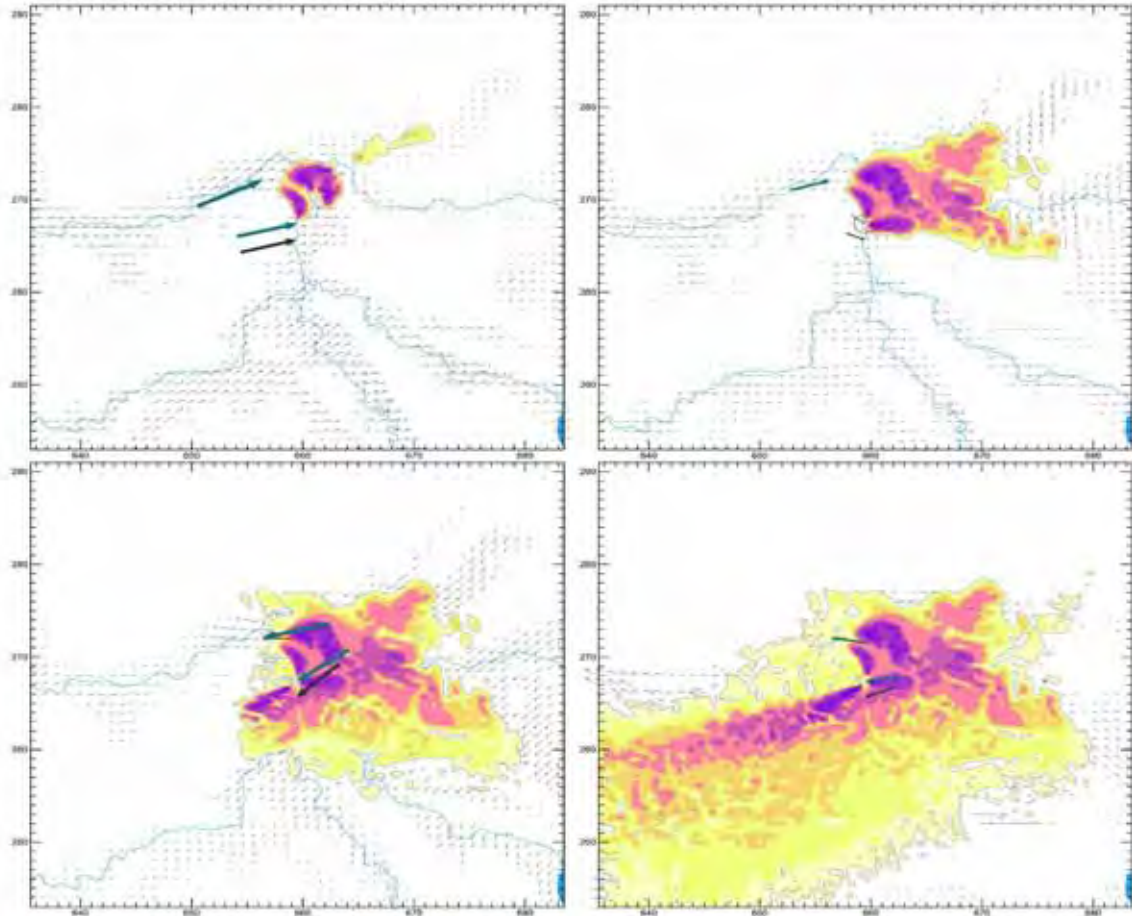
Darstellung B.7: Beispiel einer ADPIC/COSMO-Simulation
(Berechnungen mit prognostizierten 3D-Winddaten aus dem COSMO2 Modell)



*Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 11. Januar 2011 um 17:30 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 70 m über Boden, Dauer der Freisetzung 1 Stunde
Ausbreitungssituation um 17:50 Uhr (links oben), 18:10 Uhr (rechts oben), 18:30 Uhr (links unten) und 19:30 Uhr (rechts unten) Lokalzeit*

*Vordergrund: Integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit
Hintergrund: 3D-Windfeld auf 450 m über Meer*

Darstellung B.8: Beispiel einer ADPIC/COSMO-Simulationen
(Berechnungen mit prognostizierten 3D-Winddaten aus dem COSMO2 Modell)



*Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 9. Januar 2011 um 22:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 70 m über Boden, Dauer der Freisetzung 4 Stunden
Ausbreitungssituation um 23:30 Uhr (links oben), 00:30 Uhr (rechts oben), 01:30 Uhr (links unten) und 04:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit*

*Vordergrund: Integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit
Hintergrund: 3D-Windfeld auf 450 m über Meer*

4 Aeroradiometrische Messungen

4.1 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 Industrieunfälle mit radioaktivem Material, KKW-Störfälle, Abstürze von Satelliten mit Nuklearreaktoren und «Dirty Bombs» im Vordergrund. Die jährlichen Messprogramme werden durch die Fachgruppe Aeroradiometrie zusammengestellt, die sich aus Mitgliedern der beteiligten Stellen zusammensetzt. Der Einsatz erfolgt unter der Regie der Nationalen Alarmzentrale (NAZ). Unterhalt und Bereitstellung des Messsystems erfolgen seit 2004 durch das Paul Scherrer Institut (PSI).

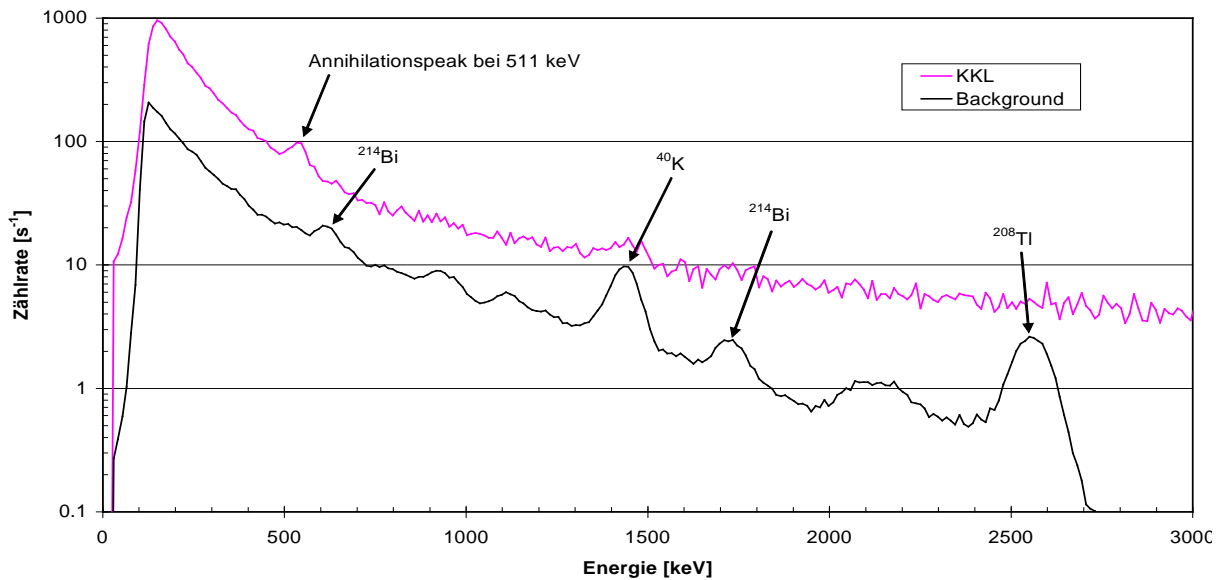
Während der Jahre 2004 und 2005 wurden die Messsysteme erneuert und dabei die online Datenauswertungs- und Kartierungssoftware im Messsystem integriert. 2006 wurde ein zweiter Detektor mit 16,8 l Volumen beschafft, kalibriert und bei den Messflügen 2007 erstmals eingesetzt.

4.2 Messungen und Messresultate 2010

Bei den Messflügen im Juli 2010 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie des Zwischenlagers in Würenlingen (ZWILAG) und der Forschungseinrichtung des Paul Scherrer Instituts (PSI) abgedeckt. Nach dem Jahr 1999 wurde 2010 zum zweiten Mal auch die Umgebung von KKL auf deutschem Gebiet aeroradiometrisch vermessen. Weiter wurden ergänzende Profile durch die Schweiz gelegt und Referenzpunkte für das BAG befliegen. Im Folgenden werden nur die Resultate der Messungen in der Umgebung der Kernanlagen diskutiert.

Die Messresultate in den Messgebieten KKB, KKL, PSI und ZWILAG zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. KKB mit seinen Druckwasserreaktoren konnte aeroradiometrisch nicht erkannt werden. KKB1 befand sich zum Zeitpunkt der Messflüge im Revisionsstillstand. Das KKL mit seinem Siedewasserreaktor konnte anhand gestreuter, hochenergetischer Photonenstrahlung erkannt werden (Darstellung B.9). Diese Strahlung wird durch das Aktivierungsprodukt ¹⁶N 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 ¹⁶N aus der Luft gut gemessen werden. Im Spektrum ist ein Annihilationspeak bei 511 keV zu erkennen, der eine Folge der Paarbildung aufgrund der hochenergetischen Photonenstrahlung darstellt. Ausserhalb des Betriebsareals sind keine erhöhten Werte erkennbar.

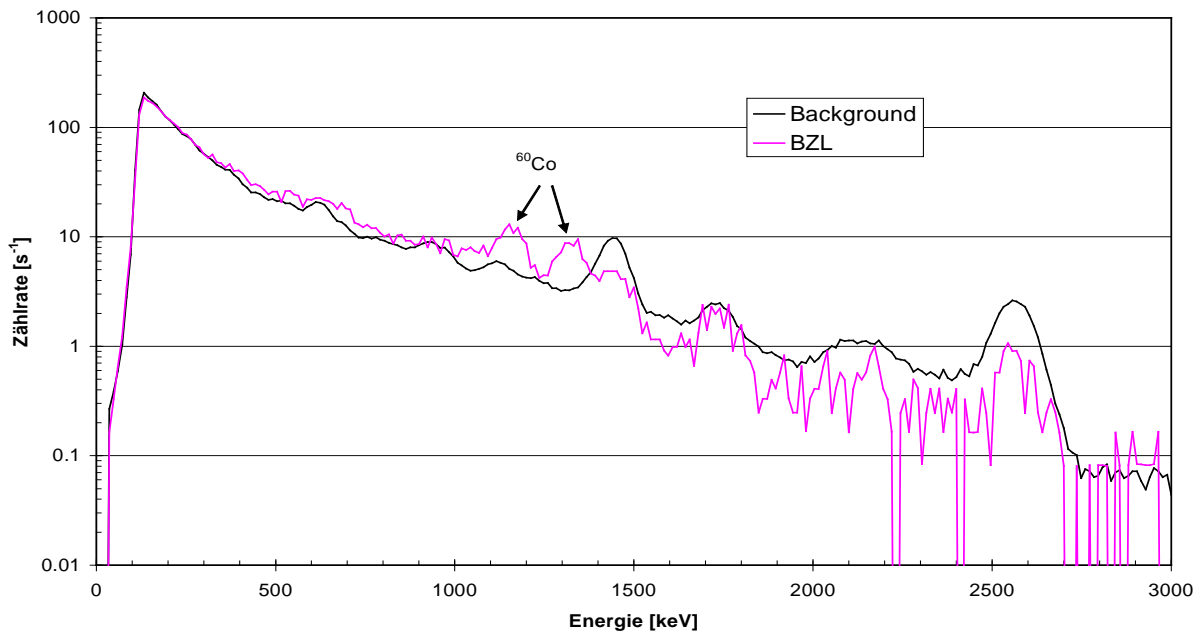
Darstellung B.9: Photonenspektrum über dem KKL im Vergleich zum Background ausserhalb des Betriebsareals



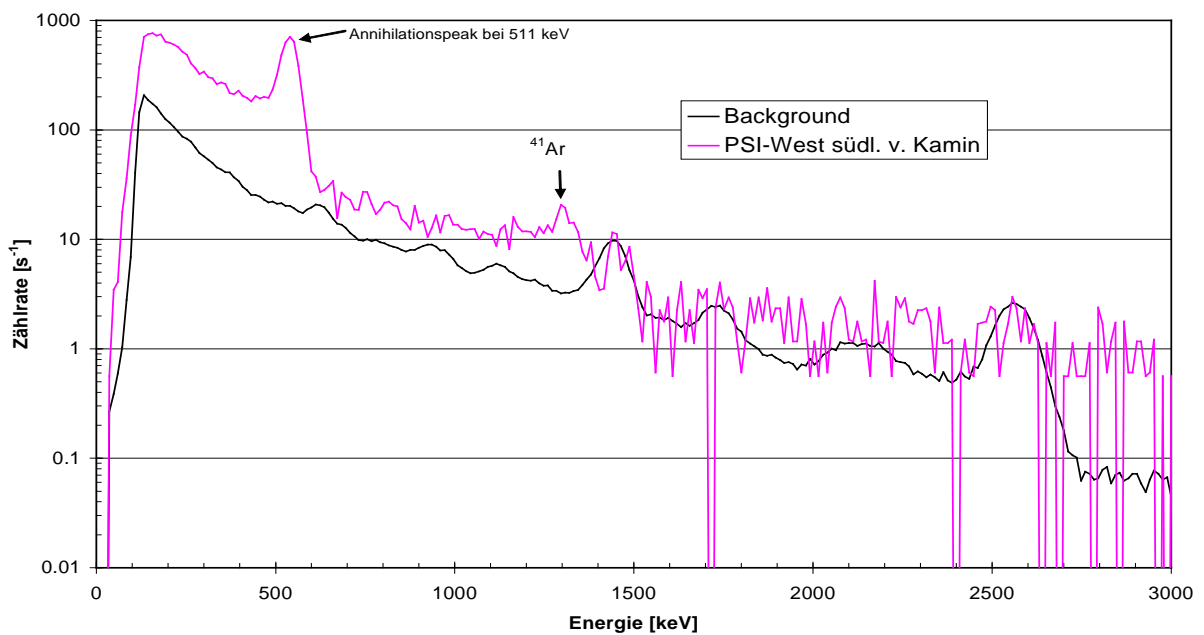
Über dem ZWILAG konnten wie in den früheren Jahren keine künstlichen Radionuklide identifiziert werden. Beim PSI Ost hingegen sind die Abfälle des Bundeszwischenlagers (BZL) anhand des Nuklids ^{60}Co klar detektierbar (Darstellung B.10). Beim PSI West waren dieses Jahr aufgrund der ausgeprägten Schwachwindlage die Abgaben über die Fortluftanlage deutlich erkennbar. Bei den Abgaben handelt es sich hauptsächlich um Positronenstrahler mit sehr kurzer Halbwertszeit, die im Bereich der Beschleunigeranlage entstehen.

Diese manifestieren sich im Spektrum durch die Gammalinie bei 511 keV (Darstellung B.11). In der Darstellung B.11 ist ebenfalls schwach die Gammalinie des ^{41}Ar (bei 1'291 keV) zu erkennen, das ebenfalls über die Fortluftanlage des Beschleunigers abgegeben wird.

Darstellung B.10: Photonenspektrum über dem PSI Ost im Bereich des BZL im Vergleich zum Backgroundspektrum



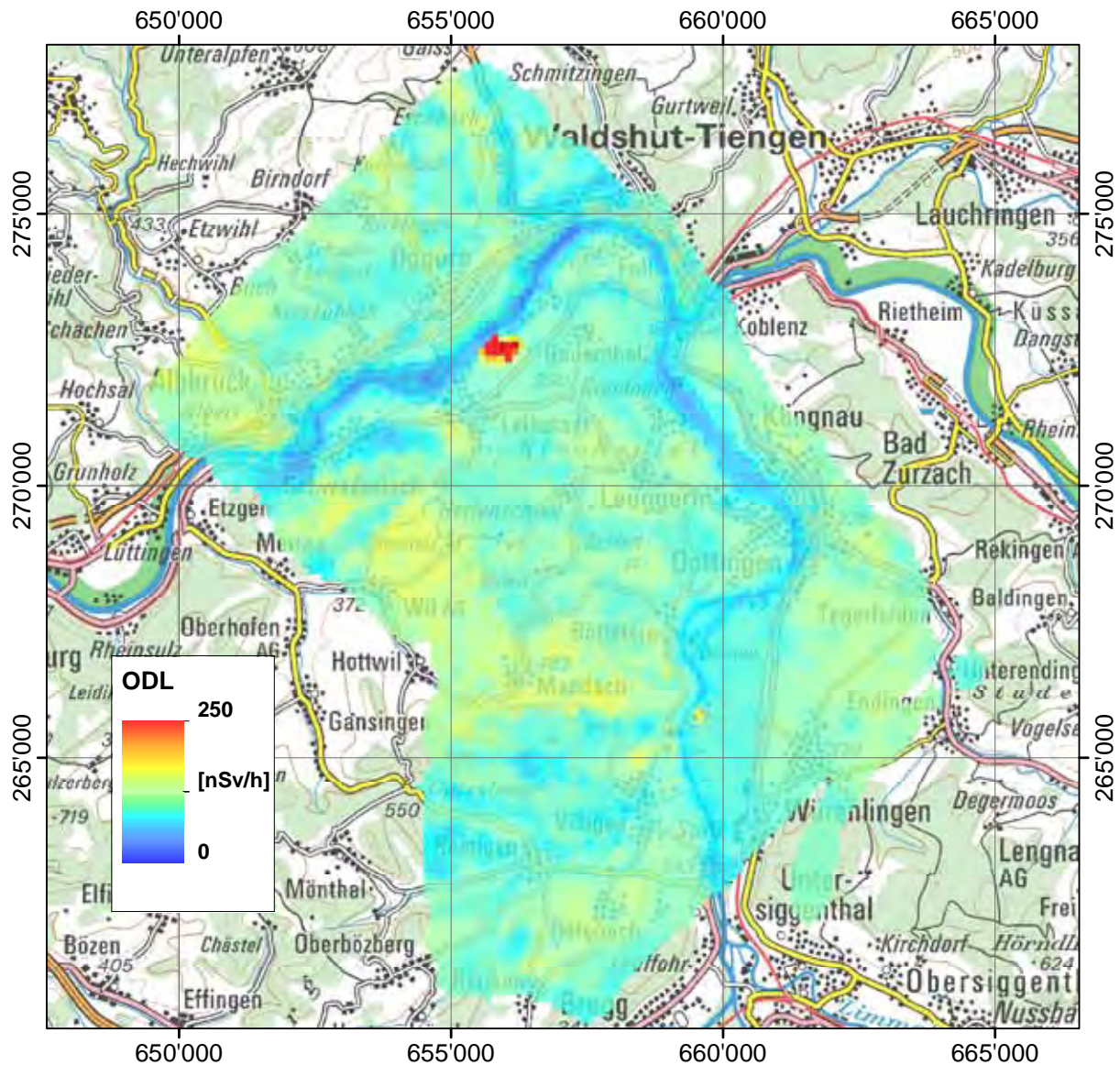
Darstellung B.11: Photonenspektrum über dem PSI West südlich des Kamins der Fortluftanlage im Vergleich zum Backgroundspektrum



In der Karte der Ortsdosisleistung (Darstellung B.12) ist KKL deutlich anhand erhöhter Werte erkennbar. Ausserhalb des umzäunten Werkareals sind keine erhöhten Werte erkennbar. Über dem PSI Ost (BZL) ist im Vergleich zur Umgebung eine leichte Erhöhung erkennbar.

Die Wertevariation ausserhalb der Anlagenareale 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.

Darstellung B.12: Karte der Ortsdosisleistung im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG.
Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie



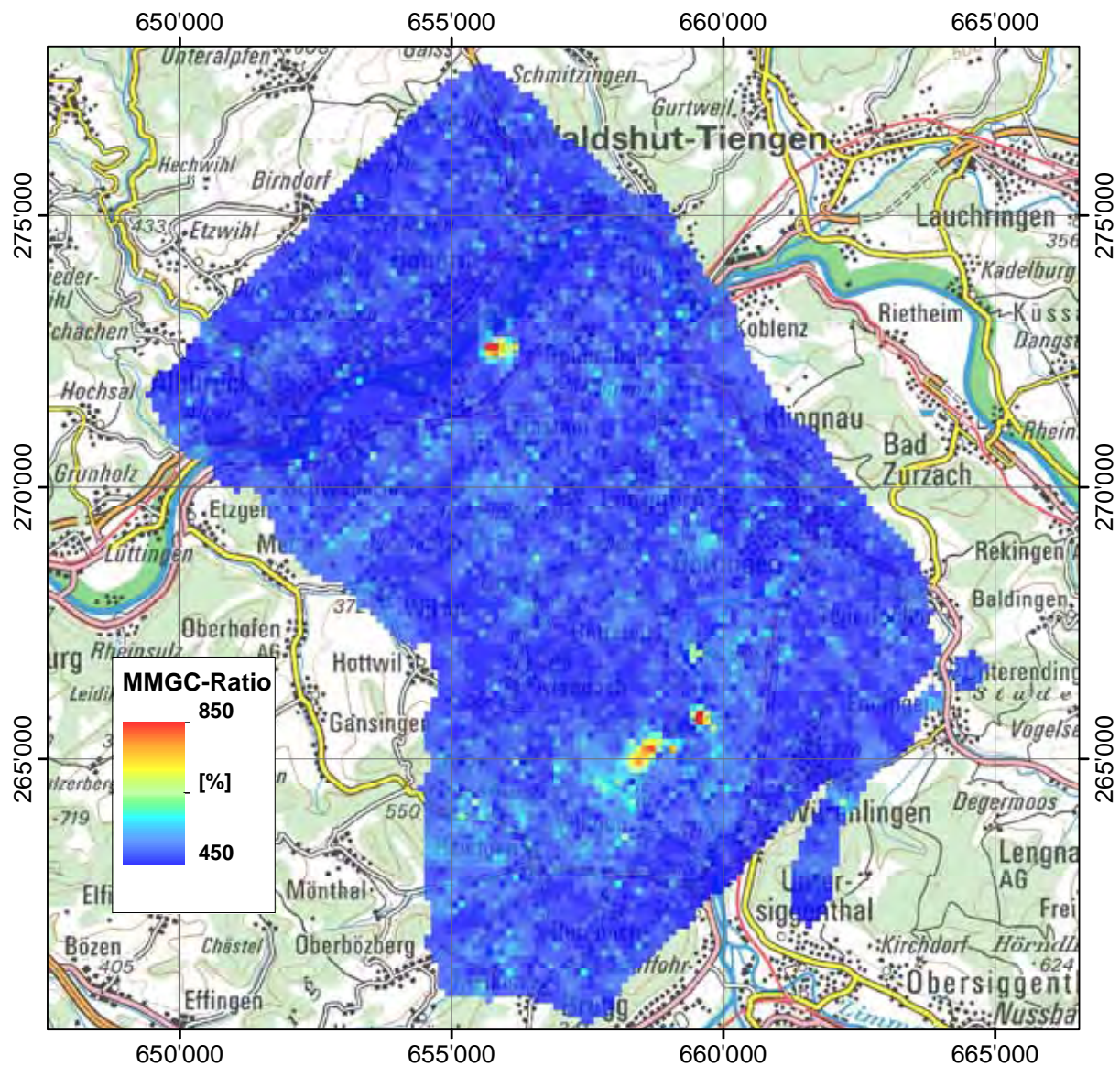
Der MMGC-Ratio steht für das Verhältnis der Anzahl niederenergetischer zur Anzahl hochenergetischer Photonen und ist ein sehr empfindliches Mass zur Eingrenzung von Gebieten, in welchen sich eine detaillierte Analyse der Daten empfiehlt. In der Darstellung B.13 ist der MMGC-Ratio für das Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG dargestellt.

Darauf sind erhöhte Werte an den Standorten von KKL und PSI Ost zu erkennen. Zudem weist ein Gebiet südwestlich vom PSI West zwischen PSI und Villigen erhöhte Werte auf. Diese „Fahne“ wurde durch die Positronenstrahler in der Abluft des PSI-West verursacht, die aufgrund der Gammalinie bei 511 keV identifiziert werden konnten.

Aufgrund der stabilen Wetterlage mit schwachem Wind war die Verdünnung der Abluft gering. Ausbreitungsrechnungen mit dem ENSI-eigenen ADPIC-System basierend auf den gemessenen Wetterdaten für den entsprechenden Zeitraum liessen eine Ausbreitung in südlicher Richtung erwarten.

Der Block 1 des KKB befand sich zum Zeitpunkt der Messflüge in Revision. Im Zuge der Revisionsarbeiten wurden aktivierte Komponenten im Areal verschoben, die schwach aus der Luft detektiert werden konnten.

Darstellung B.13: : Karte des MMGC-Ratio im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.



4.3 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

Impressum

ENSI Strahlenschutzbericht 2010

Herausgeber

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI
Informationsdienst
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 weiteren jährlichen Berichten aus seinem Arbeits- und Aufsichtsgebiet.

unter:
www.ensi.ch

ENSI-AN-7502
ISSN 1661-2914

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