



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 2012

Strahlenschutzbericht 2012

Rapport sur la radioprotection 2012

Radiological Protection report 2012

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4
Préface	5
Preface	6
A: Strahlenschutz in den Kernanlagen	7
1. Kernkraftwerke	7
1.1 Kernkraftwerk Beznau (KKB)	7
1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)	9
1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)	11
1.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)	12
2. Weitere Kernanlagen	15
2.1 Paul Scherrer Institut (PSI)	15
2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)	15
2.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)	16
2.4 Universität Basel	16
3. Grafische Darstellungen	19
4. Dosimetrie	23
4.1 Einleitung	23
4.2 Personendosimetrie	23
4.3 Jobdosimetrie	45
4.4 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen	48
4.5 Erwartete Entwicklung der Exposition	49

B: Umweltradioaktivität bei Kernanlagen, Überwachung	51
1. Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen	51
1.1 Emissionen aus den Kernanlagen	51
1.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung am Perimeter der Kernanlagen	62
2. Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)	63
2.1 Übersicht	63
2.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung	63
2.3 Systemverfügbarkeit und Störungen	63
2.4 Qualitätssicherung	65
2.5 Messergebnisse	66
3. Atmosphärische Ausbreitung	71
3.1 Modellberechnungen im Ereignisfall	71
3.2 Atmosphärisches Ausbreitungsmodell ADPIC	71
3.3 Projekt RADUK	77
4. Aeroradiometrische Messungen	79
4.1 Einleitung	79
4.2 Messungen und Messresultate 2012	80
4.3 Literatur	82

Vorwort

Auch nach zwei Jahren beschäftigen die massiven Radioaktivitätsabgaben aus den Kernkraftwerken von Fukushima Dai-ichi die Strahlen- und Notfallschutz-Community national wie auch international. Die Schweiz ist intensiv an der Bearbeitung der 56 Aufträge aus dem IDA NOMEX Bericht (http://static.ensi.ch/1312522250/hintergrund-information_fukushima.pdf). Das ENSI hat zudem zusätzliche Massnahmen im Rahmen des EU-Stresstests und seines eigenen Aktionsplans Fukushima eingeleitet.

Im vorliegenden neunten Jahresbericht des ENSI ist der Strahlenschutz in den schweizerischen Kernanlagen thematisiert. Der Mittelwert der Individualdosen hat sich gegenüber den letzten Jahren nicht wesentlich geändert. Er liegt mit 0,7 mSv weit unterhalb des Grenzwerts für beruflich strahlenexponierte Personen (20 mSv) und der mittleren jährlichen Strahlendosis der Bevölkerung in der Schweiz (5,5 mSv). Bei den Kollektivdosen ist im KKL infolge ausgedehnter Revisionsarbeiten etwa eine Verdoppelung gegenüber den letzten Jahren zu verzeichnen; in den anderen Kernanlagen haben sie sich nicht wesentlich verändert. Die höchste Individualdosis von 13,3 mSv hat eine Person akkumuliert, die Arbeiten in mehreren Kernanlagen ausführte. Damit liegen 2012 alle Strahlendosen der beruflich strahlenexponierten Personen im Aufsichtsbereich des ENSI unter dem Grenzwert.

Den Arbeiten in hohen und variablen Strahlenfeldern sowie bei schwierigen Bedingungen (Lärm etc.) wird noch vermehrt Beachtung geschenkt. Dies zeigt beispielsweise der Einsatz von Funk- und Teledosimetern sowie das Üben an «Mock-Ups», d.h. an massstäblich gefertigten Modellen. Das ENSI kommt zum Schluss, dass in den schweizerischen Kernanlagen nach wie vor ein konsequenter Strahlenschutz betrieben wird.

Messmittel spielen im Strahlenschutz eine sehr wichtige Rolle. Das ENSI hat sich mittels Inspektionen und Vergleichsmessungen von Aerosol-

Jodfiltern und Abwasserproben sowie im Bereich der Personendosimetrie davon überzeugt, dass die nötigen Strahlenschutzmessmittel vorhanden sind, dass diese korrekt eingesetzt werden und verlässliche Messwerte abgeleitet werden. Das ENSI unterhält eine nach ISO 17025 akkreditierte Prüfstelle, welche Proben aus Kernanlagen und aus deren Umgebung analysiert und auch Messungen im Feld durchführt. Die Daten der Umweltüberwachung werden auch vom Bundesamt für Gesundheit BAG im Jahresbericht *Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz* veröffentlicht.

Zur Überwachung der Umweltradioaktivität betreibt das ENSI seit vielen Jahren ein Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK). Die aktuell ermittelten Dosisleistungen sind auf www.ensi.ch öffentlich zugänglich. Sie werden auch der Nationalen Alarmzentrale, dem Umweltministerium Baden-Württemberg und der «European Radiological Data Exchange Platform» EURDEP des Joint Research Centre der Europäischen Kommission in Ispra (I) zur Verfügung gestellt.

Die Emissionen und Immissionen der schweizerischen Kernanlagen sind mit den Vorjahren vergleichbar und führen in der unmittelbaren Umgebung von Kernanlagen jährlich zu einer Dosis von weniger als 10 µSv. Im Gegensatz zu den anderen Kernanlagen sind die radioaktiven Abgaben des Kernkraftwerks Mühleberg über das Wasser weiterhin so hoch, dass noch weitere Optimierungsmassnahmen nötig sind.

Im Bereich der Ausbreitungsrechnungen erfolgen stündlich Simulationsrechnungen für alle Kernkraftwerksstandorte anhand der aktuellen 3D-Windfelder von MeteoSchweiz mit einer räumlichen Auflösung von 2 km. Zusammen mit den jährlichen Aeroradiometrie-Messflügen stehen damit jederzeit einsetzbare, wertvolle und genaue Instrumente für die aktuelle Beurteilung und eine Prognose der radiologischen Lage zur Verfügung.

Préface

Même après deux ans, les rejets massifs de radioactivité issus des centrales nucléaires de Fukushima Dai-ichi occupent toujours la communauté chargée de la radioprotection et de la protection en cas d'urgence tant au niveau national qu'international. La Suisse travaille de manière intensive sur les 56 missions du rapport IDA NOMEX (<http://static.ensi.ch/1312522250/hintergrundinformation-fukushima.pdf>). L'IFSN a par ailleurs introduit des mesures supplémentaires dans le cadre du test de résistance de l'UE et de son propre plan d'action Fukushima.

Le neuvième et présent rapport annuel de l'IFSN traite du thème de la radioprotection dans les installations nucléaires suisses. La valeur moyenne des doses individuelles n'a guère changé par rapport aux dernières années. Avec 0,7 mSv, elle reste largement inférieure à la valeur limite fixée pour les personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession (20 mSv) ainsi qu'à la dose d'irradiation annuelle moyenne de la population en Suisse (5,5 mSv). Suite à d'importants travaux de révision, la centrale nucléaire de Leibstadt a enregistré un quasi doublement des doses collectives par rapport aux années précédentes, doses qui n'ont guère changé dans les autres installations nucléaires. La dose individuelle la plus élevée de 13,3 mSv a été accumulée par une personne ayant réalisé des travaux dans plusieurs installations nucléaires. Toutes les doses d'irradiation des personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession dans le domaine de surveillance de l'IFSN sont restées en 2012 au-dessous de la valeur limite.

Les travaux dans des champs de rayonnement élevés et variables ainsi que dans des conditions difficiles (bruit, etc.) font l'objet d'encore plus d'attention. C'est ce que montrent par exemple l'utilisation de dosimètres radio et de télé-détecteurs ainsi que les exercices sur «Mock-Ups», c'est-à-dire sur des maquettes à l'échelle 1:1. L'IFSN en conclut qu'on continue de procéder à une radioprotection ciblée dans les installations nucléaires suisses.

Les instruments de mesure jouent un rôle très important en matière de radioprotection. Suite à des

inspections et des mesures comparatives de filtres aérosols et iode et d'échantillons d'eau usée ainsi que dans le domaine de la dosimétrie des personnes, l'IFSN est convaincue qu'on dispose des instruments de mesure de la radioprotection nécessaires, que ces derniers sont correctement utilisés et que des valeurs de mesure fiables en sont déduites. L'IFSN entretient un laboratoire de contrôle accrédité selon la norme ISO 17025, qui analyse des échantillons des installations nucléaires et de leur environnement et réalise aussi des mesures sur le terrain. Les données de la surveillance de l'environnement sont publiées également par l'Office fédéral de la santé publique (OFSP) dans le rapport annuel Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse.

Pour surveiller la radioactivité de l'environnement, l'IFSN exploite depuis de nombreuses années un réseau automatique de mesures du débit de dose pour la surveillance dans l'environnement des centrales nucléaires (MADUK). Les débits de dose mesurés sont accessibles au public sur www.ensi.ch. Ils sont aussi mis à la disposition de la Centrale nationale d'alarme, du Ministère de l'environnement du Bade-Wurtemberg et du «European Radiological Data Exchange Platform» EURDEP du Joint Research Centre de la Commission européenne à Ispra (I).

Les émissions et immissions des installations nucléaires suisses sont toujours comparables à celles des années précédentes et conduisent à une dose annuelle de moins de 10 micro-Sv au voisinage immédiat des installations nucléaires. Contrairement aux autres installations nucléaires, les rejets radioactifs de la centrale nucléaire de Mühleberg par le biais de l'eau restent si élevés que d'autres mesures d'optimisation sont encore nécessaires.

Dans le domaine des calculs de propagation, des simulations horaires sont produites pour tous les sites de centrale nucléaire au moyen des champs actuels de vent 3D de MétéoSuisse avec une résolution spatiale de 2 km. Les vols de mesure d'aéroradiométrie effectués chaque année permettent de disposer à tout moment d'instruments adaptables, précieux et précis pour l'évaluation actuelle et une prévision de la situation radiologique.

Preface

Even two years after the massive release of radiation from the nuclear power plants of Fukushima Dai-ichi, the repercussions continue to preoccupy the radiological and emergency protection community, both in Switzerland and internationally. For its part, Switzerland is working hard to progress the 56 recommendations contained in the IDA NOMEX report (http://static.ensi.ch/1312522250/hintergrundinformation_fukushima.pdf). In addition, ENSI has initiated additional measures as part of the EU Stress Tests and has its own Fukushima Action Plan.

In this 9th Annual Report, ENSI focusses on radiological protection in Swiss nuclear facilities. The average individual dose has changed little compared with previous years. At 0.7 mSv, it is significantly below the limit both for persons exposed to radiation during their work (20 mSv) and the annual average rate of exposure for the population in Switzerland as a whole (5.5 mSv). In terms of collective doses, the extensive maintenance work at KKL resulted in a doubling of rates compared with recent years. However, in the remaining nuclear facilities the rates have not changed significantly. The highest individual dose during the year under review was 13 mSv. This affected a person who had worked in several nuclear facilities. This meant that exposure rates in 2012 for all those exposed to radiation during work in facilities subject to ENSI surveillance were below the maximum limit.

Even greater attention is now being given to work in high and variable radiation fields and in difficult conditions (noise, etc.). This is evident, for example from the use of wireless dosimetry and teledosimetry and the use of mock-ups (scale models) for practice drills. ENSI has concluded that Swiss nuclear facilities continue to operate a consistent radiological protection approach.

Measuring equipment plays an extremely important role in radiological protection. Having conducted a range of inspections and comparative measurements of aerosol-iodine filters and wastewater

sampling together with measurements in the field of personal dosimetry, ENSI has concluded that the required measuring equipment for radiological protection exists, that this equipment is correctly used and provides reliable test data. ENSI maintains a test laboratory accredited under ISO 17025 that analyses samples from nuclear facilities and their immediate vicinity and also conducts field measurements. In addition, the Swiss Federal Office of Public Health publishes environmental monitoring data in its Annual Report Umwelt-radioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz (Environmental Radioactivity and Radiation Exposure in Switzerland).

For the purpose of monitoring environmental radioactivity, ENSI has for many years operated a network that automatically monitors dose rates in the vicinity of nuclear power plants (MADUK). Current dose rates are displayed on the ENSI website at www.ensi.ch. The rates are also made available to the Swiss National Emergency Operations Centre, the Ministry of the Environment in Baden-Württemberg and EURDEP, the European Radiological Data Exchange Platform operated by the Joint Research Centre of the European Commission in Ispra (I).

Emissions from Swiss nuclear facilities are similar to those in previous years and in the immediate vicinity of nuclear facilities the annual dose is less than 10 µSv. However, the water-borne releases of radiation from the Mühleberg nuclear power station, unlike those at other nuclear facilities, continue to be so high that further remedial measures are required.

In the field of dispersion, hourly simulations are calculated for all locations with a nuclear power station. They are based on current 3D wind speeds as provided by MeteoSwiss with a spatial resolution of 2 km. These calculations, together with the annual aero-radiometric test flights, are a valuable and precise tool that can be used at any time to analyse the current situation and forecast the development of radiation.

A: Strahlenschutz in den Kernanlagen

Die physikalische Überwachung der im Aufsichtsbereich des ENSI tätigen strahlenexponierten Personen erfolgt überwiegend mit Thermolumineszenz-Dosimetern (TLD) und Direct Ion Storage Dosimetern (DIS), welche von den anerkannten Dosimetriestellen monatlich an die Personen ausgegeben werden.

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, wenn sie Dosiswerte über der Nachweisgrenze von 0,2 mSv zeigen.

In den nachstehenden Kapiteln werden die Resultate der Auswertungen des ENSI dargestellt. Die Meldungen der Kollektivdosen erfolgen nach Vorgabe aus der Richtlinie ENSI-B09 «Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen».

1. Kernkraftwerke

1.1 Kernkraftwerk Beznau (KKB)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2012 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:

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv		
	2012	2011	2010
Brennelementwechsel (2011)		104	
Revisionsstillstand (2010, 2012)	544		691
Leistungsbetrieb	40	39	63
Gesamte Jahreskollektivdosis	584	143	754

KKB 1

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv		
	2012	2011	2010
Revisionsstillstand (2011)		399	
Brennelementwechsel (2010, 2012)	56		194
Zwischenabstellung	55		
Leistungsbetrieb	41	35	60
Gesamte Jahreskollektivdosis	153	434	254

KKB 2

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv		
	2012	2011	2010
Revisionsstillstand, Zwischenabstellung und BE-Wechsel	709	503	885
Leistungsbetrieb	81	74	123
Gesamte Jahreskollektivdosis	790	577	1008

Im Berichtsjahr wurde in den beiden Blöcken des KKB eine Kollektivdosis von 790,3 Pers.-mSv verzeichnet. Die höchste im KKB registrierte Individualdosis betrug 8,0 mSv und lag deutlich unterhalb des Dosisgrenzwerts der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Das entsprechende betriebseigene Planungsziel von maximal 10 mSv pro Person und pro Jahr wurde ebenfalls eingehalten. Es wurden keine Personenkontaminationen, die nicht mit herkömmlichen Mitteln entfernt werden konnten, festgestellt. Weder beim Eigenpersonal noch beim Fremdpersonal wurden Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle von 1200 Bq für ^{60}Co nachgewiesen. Im Block 1 wurde die Anlage am 18. Mai 2012 zur geplanten Revisionsabstellung abgefahren und am 10. Juli erstmals wieder kritisch. Die Stillstandsdauer war mit 48 Tagen geplant und musste um rund 5 Tage verlängert werden. Diese Verzögerung wurde hauptsächlich durch Reparaturarbeiten am RDB-Deckel bedingt, die aufgrund von Rissanzeigen notwendig wurden und nicht in der ursprünglichen Planung enthalten waren. Das Abfahren der Anlage verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Wie in den Jahren zuvor sind die Ortsdosisleistungen (ODL) an den Komponenten des Primärkreislaufs im Vergleich zum Vorjahr an den Hauptkühlmittelleitungen Closure Legs A und B im Mittel um ca. 13 % angestiegen. Der jährliche Anstieg ist somit seit 2005 fast konstant. Hingegen zeigen die mittleren Ortsdosisleistungen (ODL) an den Mänteln der Dampferzeuger KKB 1 wie in den vergangenen Jahren weiterhin niedrige Werte. Trotz eines Anstiegs um 10 und 13 % liegen die ODL-Werte an den Hot Legs A und B auf einem tiefen Niveau. Die nuklidspezifischen Messungen der Kontamination an relevanten Leitungen im KKB 1 stellen ein sehr uneinheitliches Bild dar. Bei den nachgewiesenen Nuklidgemischen kann zwischen jüngeren und älteren Kontaminationen unterschieden werden. Bei den jüngeren Nuklidgemischen dominiert nun das Aktivierungsprodukt ^{124}Sb mit bis zu 50 % der Oberflächenkontamination; ^{60}Co trägt ca. 40 % bei. Die übrigen nachweisbaren Aktivierungs- und Spaltprodukte Cr, Mn, Co, Zn, Nb, Ru, Ag, Sn und

Te tragen in Summe weniger als 10 % bei. Bei den älteren Nuklidgemischen dominieren ^{60}Co und ^{137}Cs . Alphastrahler konnten an frei zugänglichen Orten nirgends nachgewiesen werden.

Als Schutzmassnahmen wurden für die Revisionsarbeiten vermehrt temporäre Abschirmungen, Absperrungen, erhöhte Zonentypen und Strahlenschutzinseln eingerichtet. Insbesondere für die Reparaturschweissung an der Deckeldurchführung wurde das Abschirmkonzept optimiert. Des Weiteren wurden verstärkt Mock-Up-Übungen und eine enge Dosisüberwachung durchgeführt.

Die während der Revision akkumulierte Kollektivdosis betrug 544 Pers.-mSv. Die Planungs-dosis von 433 Pers.-mSv wurde somit um 26 % überschritten. Die hauptsächliche Ursache hierfür waren die befundbedingten Reparaturarbeiten am RDB-Deckel mit 82 Pers.-mSv. Im Rahmen der Prognosegenauigkeit entsprachen bei den meisten Arbeiten die effektiv akkumulierten Jobdosen den Planungswerten. Die wenigen Abweichungen wurden durch KKB analysiert. Dabei handelte es sich überwiegend um unvorhersehbare, zusätzliche Arbeiten. In zwei Fällen waren die Optimierungsmassnahmen wirksamer als vorangehend abgeschätzt. Beispielsweise trug der Einsatz von Teledosimetern bei der RDB-Deckelreparatur erheblich zur Dosisreduzierung bei. Das ENSI hat während der Revisionsabstellung im Block 1 mehrere Inspektionen zum Thema Strahlenschutz durchgeführt. Dabei konnten in den meisten Fällen die Beobachtungen und Feststellungen als «Normalität» bewertet werden. Als «gute Praxis» wurde der vorbildliche Dosisleistungsatlas beurteilt. Das ENSI kann bestätigen, dass das verantwortliche Strahlenschutzpersonal kontinuierlich nach Verbesserungsmöglichkeiten sucht, bei der Revisionsplanung eng mitarbeitet und für eine gute Koordination der Tätigkeiten sorgt.

Der Block 2 wurde am 23. März 2012 unplanmässig für eine notwendig gewordene Reparatur der Reaktorhauptpumpe A mittels Reaktortrip von Hand abgestellt. Nach einer Stillstandsdauer von 23 Tagen wurde am 16. April 2012 wieder Vollast erreicht. Insgesamt wurden rund 2800 Eintritte in die Kontrollierte Zone registriert und rund 6200

Arbeitsstunden geleistet. Für die Reparatur der Reaktorhauptpumpe A wurden 16,4 Pers.-mSv, für den Aus- und Einbau der Brennelemente 17,8 Pers.-mSv, für die Reinigung der Reaktorgrube und der Anlage 12,0 Pers.-mSv und für Strahlenschutz und Abschirmung Jobdosen von 5,6 Pers.-mSv akkumuliert. Sämtliche Werte liegen unter den geplanten Jobdosen, da geeignete Massnahmen zur Dosiseinsparung ergriffen wurden. Die Abstell-dosis verteilt sich zu 64% auf Eigen- und zu 36% auf Fremdpersonal. Die höchsten Individualdosen im laufenden Kalenderjahr per Ende der ungeplanten Abstellung sind für das Eigenpersonal 1,8 mSv und für das Fremdpersonal 1,9 mSv. Unter Einbezug aller Arbeiten ergibt sich eine Kollektivdosis von 55,4 Pers.-mSv für die ungeplante Abstellung. Im Berichtsjahr wurde im Block 2 zwischen dem 28. August und 18. September die geplante Abstellung für einen Brennelementwechsel durchgeführt. Das Abfahren der Anlage verlief ebenfalls ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Nach einer Stillstandsdauer von 21 Tagen wurde der Leistungsbetrieb mit 10 Tagen Verzögerung auf die Planung wegen Prüfarbeiten an beiden Reaktorhauptpumpen wieder aufgenommen.

Die akkumulierte Kollektivdosis betrug 55,6 Pers.-mSv. Die Planungs-dosis von 69 Pers.-mSv wurde damit um 19% unterschritten. Für den Brennelementwechsel wurden 18 mSv weniger Dosis (45%) akkumuliert als erwartet. Ursache für die Unterschreitung ist der frühzeitige Einsatz des Balduf-Filters zur Beckenwasserreinigung, der zu einem niedrigeren Strahlenpegel auf der Bedienebene führte. Für die Reinigung ergab sich mit 8 mSv eine um 4 mSv niedrigere Dosis (33%) als geplant, welche ebenfalls auf den frühzeitigen Einsatz des Balduf-Filters zurückzuführen ist. Für die übrigen Arbeiten wurde mit 24 mSv eine um 33% höhere Dosis akkumuliert als geplant, da die Arbeiten an den Dichtungspartien der Reaktorhauptpumpen noch nachträglich hinzu kamen.

Die mittleren Ortsdosisleistungen (ODL) an den Mänteln der Dampferzeuger sind im Vergleich zum Vorjahr um 8% angestiegen, liegen aber immer noch auf einem sehr tiefen Niveau. Die ODL an den Hauptkühlmittelleitungen auf der kalten Seite (Closure Legs) sind im Vergleich zum Vorjahr im Durchschnitt um 20% angestiegen, auf der heissen Seite (Hot Legs) dagegen um 16% gesunken. Für die ODL ist das Nuklid ⁶⁰Co zu circa 95% verantwortlich. Damit zeigt sich der gleiche Trend wie im KKB 1, allerdings bei niedrigeren ODL-Ausgangswerten.

Die Feststellungen und Beobachtungen des ENSI anlässlich der Inspektionen mit strahlenschutzrelevanten Prüfpunkten haben gezeigt, dass der Strahlenschutz im KKB gut funktioniert.

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKB wurde im Rahmen der 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.

Damit die radiologischen Kaminfortluftüberwachungen von KKB 1 und KKB 2 die Anforderungen der Richtlinie HSK-G13 vollumfänglich erfüllen, hat KKB im Berichtsjahr schwerpunktmässig an deren Ertüchtigung gearbeitet. Das KKB plant diese Arbeiten bis Mitte 2013 abzuschliessen.

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 externe Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des KKB den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2012 wurden im KKG folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Werte aus dem Jahr 2011):

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv	
	2012	2011
Revisionsstillstand	426	393
Leistungsbetrieb	67	107
Gesamte Jahreskollektivdosis	493	500

Im Kalenderjahr 2012 belief sich die Kollektivdosis im KKG auf 493 Pers.-mSv (2011: 500 Pers.-mSv). Die höchste im KKG registrierte Individualdosis betrug 6,5 mSv (2011: 6,2 mSv). Der Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr wurde somit deutlich unterschritten. Es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, die sich nicht mit einfachen Mitteln entfernen liessen.

Zwischen dem 2. und 22. Juni 2012 war die Anlage für die Revision abgestellt. Bei den Arbeiten während des Revisionsstillstands wurden 426 Pers.-mSv akkumuliert, geplant waren 481 Pers.-mSv. Somit wurde der Planwert um 14 % unterschritten.

Die Anlage zeigte sich in einem radiologisch sehr sauberen und zonenkonformen Zustand. Die Dosierung von abgereichertem Zink in den Primärkreis wirkt sich auf den Dosisleistungspegel und die akkumulierten Personendosen positiv aus. Im Durchschnitt lag die Dosisleistung an ausgewählten Primärkomponenten um 48 % unter dem Wert, der zu Beginn der Zinkdosierung im Jahr 2005 ermittelt worden ist. Im Vergleich zum Vorjahreswert (44 %) konnte also eine weitere Reduktion festgestellt werden.

Der immer noch erhöhte Trampurananteil im Kreislauf als Folge der Brennelementdefekte in den letzten Jahren erforderte auch in dieser Revision spezielle radiologische Schutzmassnahmen. Beispielsweise wurde das gesamte Containment vor dem Ziehen des RDB-Deckels präventiv geräumt und die Hauptverkehrswege wurden gereinigt.

Das KKG berichtet, dass beim Abheben des Reaktordeckels die maximale Luftkontamination in den Betriebsräumen des Containments innerhalb von etwa einer Stunde auf rund 65 Bq/m³ für das Nuklid ⁶⁰Co (0,13 CA) stieg. Die Konzentration von ¹³²I stieg kurzfristig auf 1440 Bq/m³ (0,04 CA). Die Konzentration von ¹³²I konnte aber mit Hilfe der beiden erweiterten Spülluftstränge innerhalb von 5 Stunden auf weniger als 30 Bq/m³ gesenkt werden. Kurz danach wurde sogar weniger als 10 Bq/m³ erreicht. Die kontinuierliche Messung und Überwachung der ¹³¹I-Konzentration in der Luft zeigte keine Messwerte über 2 Bq/m³ (0,002 CA). Dies ist laut dem KKG auf die intakten Brennelemente im Betriebsjahr zurückzuführen.

Die Edalgaskonzentration erreichte bereits beim Entspannen des Reaktordeckels einen Maximalwert von ca. 1,2 E+04 Bq/m³ (0,006 CA).

Die radiologischen Schwerpunkte während der Revision 2012 wurden u.a. auf die Heizrohrprüfungen an den drei Dampferzeugern, das Abdrehen

der Aussenkonturen der Druckhalter-Stützen, die Inneninspektionen an den Druckspeichern und das Öffnen und Schliessen des Reaktordruckbehälters mit den Brennelement-Servicearbeiten gesetzt. Die Prüfungen an den Heizrohren der drei Dampferzeuger konnten alle deutlich unter den geschätzten Kollektivdosen von je 55 Pers.-mSv erfolgreich abgeschlossen werden. Für die Arbeiten Brennelementwechsel, Beladen und Schliessen des Reaktor-druckbehälters und Reaktorgrubenreinigung entsprachen die akkumulierten Kollektivdosen den geschätzten Kollektivdosen oder lagen unter diesen Werten.

Andere erwähnenswerte Schutzmassnahmen sind z.B. der Einsatz eines neuen Kommunikationssystems mit Lärmunterdrückung bei der Grubenreinigung sowie die neuen beta- und gamma-empfindlichen Personenmonitore für Kontaminationskontrollen beim Verlassen der kontrollierten Zone. Die Monitore dienen auch als Triagemonitore für das Erkennen von Inkorporationen.

Die vom KKG im Vorfeld ergriffenen Massnahmen waren erfolgreich und haben zu einem unter den gegebenen Umständen guten radiologischen Zustand in der Anlage beigetragen. Insgesamt wurde mit rund 27 Tonnen Blei sehr umfangreiche Abschirmmassnahmen durchgeführt. Das KKG hat den Verlauf der Revision 2012 unter dem Gesichtspunkt der Optimierung gemäss Strahlenschutzverordnung als gut bezeichnet.

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

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKG 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 Kontrollen der Messgeräte durch das Kraftwerkspersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden, und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Neben den ENSI-Inspektionen wurden bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmes-

sungen, 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 externe Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des KKG den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeit erbracht.

1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2012 wurden im KKL folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Zahlen aus dem Jahr 2011):

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv	
	2012	2011
Revisionsstillstand	1914	598
Leistungsbetrieb	212	416
Gesamte Jahreskollektivdosis	2126	1014

Im Berichtsjahr belief sich die im KKL akkumulierte Kollektivdosis auf 2126 Pers.-mSv. Die höchste registrierte Jahresindividualdosis betrug 11,0 mSv. Alle Individualdosen lagen unter dem Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, die sich nicht mit einfachen Mitteln entfernen liessen. Inkorporationen von radioaktiven Stoffen oberhalb der Triageschwelle gab es ebenfalls keine.

Die im Zyklus 28 durchgeführten Abgas- und die Reaktorwasseranalysen ergaben deutliche Hinweise auf einen Brennelementschaden. Im Vorfeld der Revision 2012 wurde das defekte Brennelement identifiziert und es wurden Massnahmen ergriffen, um eine Auswaschung von Brennstoff zu verhindern. Um im Kern lokal die Leistung zu reduzieren und die Menge der Spaltprodukte klein zu halten, wurde zuerst der Steuerstab der betroffenen Zelle und später zusätzlich ein benachbarter Steuerstab eingefahren. Ausserdem wurde die Anlage auch nach einem vorgängig ausgearbeiteten modifizierten Abfahrprogramm für die Revision abgefahren, damit sich die verschiedenen Werkstoffe während längerer Zeit abkühlen konnten.

Während des 28. Zyklus stieg die ⁶⁰Co-Aktivität im Reaktorwasser und lag vor dem Abfahren bei 1,5E+07 Bq/m³, diejenige des ¹³¹I bei 6E+05 Bq/m³. An den Messpunkten der Recirc-Schleife waren die Dosisleistungen im Vergleich zur Revision 2011 trotzdem geringer und lagen im Bereich derjenigen aus den Jahren 2004 und 2009, was als positiver Effekt der erhöhten Einspeiserate von Zink gewertet wird.

Die Jahreshauptrevision dauerte vom 6. August bis zum 30. Oktober 2012 (85 Tage). Im Vergleich zur Planung benötigte das KKL 36 Tage mehr, weil aufgrund eines Befundes die Reparatur einer Schweissnaht an einem RDB-Stutzen notwendig wurde. Die Planungs-Kollektivdosis von 1900 Pers.-mSv wurde mit 1955 Pers.-mSv in Anbetracht der umfangreichen und teilweise nicht planbaren Arbeiten nur wenig überschritten.

Insgesamt waren für die Revision 2012 mehrere Arbeiten mit Kollektivdosen von mehr als 50 Pers.-mSv geplant. Das KKL reichte diese Planungen dem ENSI fristgerecht ein. Die geplanten Kollektivdosen wurden in keinem Fall überschritten.

In der Revision 2010 musste die Reinigung der Steuerstab-Führungsrohre «von unten» mittels der so genannten Vortex-Methode nach 14 Stück abgebrochen werden, weil die Strahlenschutzvorgaben ausgeschöpft waren. Das damals eingesetzte Werkzeug wurde von der Herstellerfirma modifiziert und in der Revision 2012 erfolgreich eingesetzt. Die für diese Arbeiten geplante Kollektivdosis von 30 Pers.-mSv wurde mit 10 Pers.-mSv deutlich unterschritten, obwohl mehr Zeit als geplant aufgewendet wurde.

Im Verlauf einer zerstörungsfreien Prüfung wurde an einer Schweissnaht an einem RDB-Stutzen N5 (Speisewasserzuführung) ein bewertungspflichtiger Riss festgestellt. Das KKL entschloss sich zu einer Reparatur mit Overlay-Schweissung, was zu einer Verlängerung des Revisionsstillstandes führte. Das ENSI prüfte die vorgängig eingereichte Strahlenschutzplanung. Von den geplanten 122 Pers.-mSv für dieses im KKL erstmals angewendete Verfahren wurden 74 Pers.-mSv tatsächlich akkumuliert. Sehr positiv haben sich hier die konsequent durchgeführten Mock-Up-Arbeiten erwiesen, welche an insgesamt 5 Versuchsaufbauten (Mock-Ups) stattfanden.

Der Einsatz von Funkdosimetern hat sich besonders bei Taucherarbeiten und bei den Vortex-Arbeiten bewährt. So war es möglich, die Entwicklung der jeweiligen Individualdosen sowie die Ortsdosisleistungen am Arbeitsort an einem Kommandopult

ausserhalb des Strahlenfeldes kontinuierlich zu überwachen.

Das KKL beschränkte die Anzahl der sich gleichzeitig im Drywell aufhaltenden Personen auf 50, die Zutritte wurden vor Ort kontrolliert. Insgesamt wurden für die Revision 2012 63 Tonnen Abschirmungen angebracht, davon befanden sich 27 Tonnen im Drywell.

Bei mehreren Inspektionen hat sich das ENSI davon überzeugt, dass der Strahlenschutz im KKL gut funktioniert und die gesetzlichen und internen Vorgaben konsequent umgesetzt. Die vom KKL getroffenen Strahlenschutzmassnahmen haben sich auch in Bezug auf die zusätzlich angefallenen Arbeiten gut bewährt.

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.

Als Folge von Forderungen des ENSI im Rahmen der Periodischen Sicherheitsüberprüfung 2009 hat das KKL in der Jahreshauptrevision 2012 die Stromversorgungen der Messeinrichtungen zur radiologischen Überwachung des Notkühlwassers und der Kaminfortluft geändert. Mit diesen Änderungen wurde die Verfügbarkeit der Messeinrichtungen bei Störfällen erhöht.

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 bis auf eine Abweichung bei einem Jodfilter Übereinstimmung mit den Werten des KKL. Die detaillierten Abklärungen ergaben, dass die Abweichung auf eine Kontaminationsverschleppung auf den Bechern, in die das Adsorbermaterial des Jodfilters für das ENSI und das BAG abgefüllt wurde, zurückzuführen ist. Das KKL wurde vom ENSI aufgefordert, Verbesserungen zu treffen, damit in Zukunft keine Kontaminationsverschleppungen auf Bilanzierungsproben möglich sind.

- An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des KKL den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeit erbracht.

1.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2012 wurden im KKM folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Zahlen aus dem Jahr 2011):

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv	
	2012	2011
Revisionsstillstand	596	786
Leistungsbetrieb	263	105
Gesamte Jahreskollektivdosis	859	891

Im Berichtsjahr belief sich die Kollektivdosis im KKM auf 859 Pers.-mSv. Die höchste im KKM ermittelte Individualdosis betrug 8,0 mSv (2011: 8,5 mSv). Die in der Strahlenschutzverordnung festgelegte Jahreslimite von 20 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen wurde somit deutlich unterschritten. Im Berichtszeitraum traten weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen auf.

Vom 5. August bis zum 3. September 2012 war die Anlage für die geplante Jahresrevision abgestellt. Die Kollektivdosis aller Mitarbeitenden im Revisionsstillstand 2012 lag bei 596 Pers.-mSv, der vom KKM vor Beginn der Arbeiten geschätzte Wert lag bei 908,0 Pers.-mSv. Dabei ist zu beachten, dass der mit fast 50 Pers.-mSv eingeplante Teilersatz der Druckleitungen von den Clean-Up-Pumpen zu den Kühlern nicht vorgenommen wurde. Dank der auch im letzten Betriebszyklus schadenfreien Brennelemente war die Ausgangslage für die Revisionsarbeiten radiologisch gesehen günstig. Die Dosisleistungen an den Kerneinbauten und am Reaktorwasser-Reinigungssystem sind im Vergleich zum Vorjahr etwa gleich geblieben. Die mittlere Dosisleistung an den beiden Umwälzschleifen ist mit 1,71 mSv/h im Vergleich zum Vorjahr (1,67 mSv/h) praktisch gleich geblieben. Als Vergleich dazu betrug der bislang höchste Wert im Jahr 1994 6,4 mSv/h.

Der erneuerte Zonenzugang am Posten 2 und die erneuerte Aktivwäscherei haben sich auch wäh-

rend der Revision 2012 bewährt. Das ENSI inspizierte die Wartungen an diversen Erstabsperrearmaturen im Hilfskühlwassersystem, das Abfahren des KKM zur Jahresrevision aus radiologischer Sicht, die Situation auf +29 m, den Drywellzugang, das Verhalten von Eigen- und Fremdpersonal und den operationellen Strahlenschutz. Schwerpunkte bei einer unangemeldeten Inspektion waren die Strahlenschutzaspekte bei den Ultraschallprüfungen im Drywell, die Präsenz des Strahlenschutzpersonals, die Entwicklung der Individual- und Kollektivdosen, die Wäscherei und der radiologische Zustand der Anlage.

Es standen genügend tragbare und stationäre Dosisleistungsmessgeräte, Aerosol-, Edelgas- und Iodmonitore, tragbare Luftprobensammler sowie Kontaminationsmessenrichtungen für Wischtests zur Verfügung. Radiologische Schutzmassnahmen wie temporäre Zonen, Abschirmungen, Absperrungen, Zelte und Abdeckungen waren vorbereitet und wurden fachgerecht eingesetzt. Das Verhalten der in der kontrollierten Zone arbeitenden Personen war bei den Inspektionen des ENSI immer korrekt. Das KKM verfügt über qualifiziertes und erfahrenes Eigen- und Fremdpersonal, um die radiologische Überwachung während einer Jahresrevision effizient ausführen zu können. Zusätzlich kann sich das KKM auf eine grosse Anzahl erfahrener und mit der Anlage vertrauter Personen aus dem Bereich des Fremdpersonals abstützen.

Der KKM-Strahlenschutz hat in der Revision 2012 auf +29 m das Schichtbuch zum ersten Mal elektronisch mit einem Computersystem statt auf Papier geführt. Die Testphase hat sehr gut funktioniert. Das ENSI wird diese positive Neuentwicklung weiter verfolgen.

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKM wurde im Rahmen von Inspektionen und Fachgesprächen 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.

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 bis auf eine Abwasserprobe, die im 3. Quartal erhoben wurde, Übereinstimmung mit den Werten des KKM. Abklärungen ergaben, dass die unterschiedlichen Messwerte höchstwahrscheinlich auf unterschiedliche Probenaufbereitungen im KKM und im ENSI zurückzuführen sind. Das KKM wurde aufgefordert, die Probenerhebung, Probenaufbereitung, Probengeometrie und Anforderungen an die Messkette zu überprüfen und zu verbessern.
- An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des KKM den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

2. Weitere Kernanlagen

2.1 Paul Scherrer Institut (PSI)

Das PSI ist eine eidgenössische Einrichtung und das grösste Forschungsinstitut für Natur- und Ingenieurwissenschaften in der Schweiz. Seine Mitarbeitenden forschen in den Bereichen Materie und Material, Mensch und Gesundheit sowie Energie und Umwelt. Der Anfang 2011 abgeschaltete Nulleistungsforschungsreaktor PROTEUS, das Hotlabor, die Anlagen für die Behandlung radioaktiver Abfälle, das Bundeszwischenlager sowie die im Rückbau befindlichen Forschungsreaktoren SA-PHIR und DIORIT sind Kernanlagen und werden durch das ENSI beaufsichtigt.

An Behältern, in denen tritiumhaltige Abfälle aus der Uhrenindustrie enthalten waren, wurden im Dezember 2011 vom PSI bei visuellen Inspektionen schadhafte Stellen entdeckt. Bei den Behältern handelte es sich um verschweisste Stahlzylinder vom Abfallgebindetyp (AGT) J-P-1241. Zusätzliche Inspektionen und Tests brachten bei einem der Zylinder eine Undichtigkeit zutage, welche auch zu lokaler Kontamination führten. Das PSI weitete seine Untersuchungen aus und fand weitere undichte Behälter. Das PSI hat den Vorfall dem ENSI gemeldet und setzt die geforderten Massnahmen im Bereich Strahlenschutz und bei der Messung der Abluft um. Es bestand keine Gefahr für die Bevölkerung oder für die Umwelt.

Im Jahr 2012 akkumulierten die 1449 beruflich strahlenexponierten Personen des PSI eine Kollektivdosis von 90,2 Pers.-mSv (2011: 100,7 Pers.-mSv). Davon stammen 12,3 Pers.-mSv aus dem Aufsichtsbereich des ENSI mit 120 beruflich strahlenexponierten Personen (2011: 11,7 Pers.-mSv) bei einer höchsten Individualdosis von 1,2 mSv (2011: 0,7 mSv).

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des PSI 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 Personal konform mit den Vorgaben der Richt-

linie ENSI-G13 durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Anfang 2012 hat das PSI die Ertüchtigung der radiologischen Fortluftüberwachung des Hochkamins PSI Ost abgeschlossen. Die Messeinrichtungen erfüllen nun die Anforderungen der Richtlinie ENSI-G13.

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 externe Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des PSI den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht. Im Bewertungszeitraum hat die Sektion Messwesen des PSI im Auftrag des BAG und im Einvernehmen des ENSI die jährliche Vergleichsmessung für die interne Personendosimetrie organisiert. Als Veranstalter der Vergleichsmessung hat das PSI nur informell teilgenommen.

2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)

Im Jahr 2012 wurde im ZZL eine Kollektivdosis von 19,0 Pers.-mSv akkumuliert. Der geplante Wert von 25,2 Pers.-mSv wurde dank guter administrativer und technischer Strahlenschutzmassnahmen deutlich unterschritten.

Die höchste registrierte Einzeldosis betrug 1,3 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 strahlenschutzrelevanten Arbeiten im Berichtsjahr zählt unter anderem der Betrieb der

Plasma-Anlage, die erfolgreich zur Endkonditionierung brennbarer und schmelzbarer radioaktiver Abfälle betrieben wurde. Im Zeitraum vom 10. April bis zum 29. Juni 2012 wurde die Frühjahrs-Kampagne durchgeführt. Die Vorgabe von 500 Stück zu verarbeitenden Abfallfässern wurde mit total 733 Stück übertroffen. Die Herbst-Kampagne wurde am 24. September 2012 gestartet und endete am 14. Dezember 2012. Mit 691 verarbeiteten Gebinden wurde die Vorgabe von 500 zu verarbeitenden Gebinden ebenfalls übertroffen. Es wurde ein relativ hoher Anteil an Schlämmen verarbeitet, darunter versuchsweise auch erstmalig Fässer mit Konzentraten aus dem KKG. Während der beiden Kampagnen konnten die Abfallfässer ohne Probleme verarbeitet werden.

Weitere Aufgaben des Strahlenschutzes umfassten Dekontaminationen und Freimessungen diverser Metallteile.

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

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des ZZL 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 Personal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

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 Kernanlage der EPFL umfasst den Forschungsreaktor CROCUS, das Neutronenexperiment CAR-

ROUSEL, 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 2012 stand der CROCUS-Reaktor Ingenieur- und Physikstudenten der EPFL, Kursteilnehmern der Reaktorschule des PSI und Studenten des Swiss Nuclear Engineering Masterkurses der ETHZ/EPFL während 143,3 Stunden bei kleiner Leistung (unter 100 W) für Ausbildungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 251,1 Wh thermische Energie erzeugt. Da im Berichtsjahr keine grösseren Unterhaltsarbeiten ausgeführt wurden, lag die Betriebsdauer über dem Wert des Vorjahres. Das Experiment CARROUSEL wurde für Praktika verwendet.

Von den insgesamt 10 beruflich strahlenexponierten Personen akkumulierte nur eine Person eine Dosis von 0,1 mSv. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend. Im November 2012 hat das ENSI seine Jahresinspektion durchgeführt. Dabei wurden technische, organisatorische und personelle Änderungen besprochen und es wurden die Anlagengeräume inspiziert. Das ENSI kommt zum Schluss, dass die bewilligten Betriebsbedingungen im Jahr 2012 eingehalten wurden.

2.4 Universität Basel

Der Forschungsreaktor AGN-211-P des Departements für Physik und Astronomie der Universität Basel dient vorwiegend der Ausbildung von Studenten und der Anwendung in Kursen der Neutronenaktivierungsanalytik (NAA).

Die Nutzung des Reaktors hat sich gegenüber den Vorjahren kaum verändert. Im Berichtsjahr betrug die produzierte Energie 29,5 kWh (2011: 31,7 kWh). Die Nutzung verteilt sich auf die Neutronenaktivierungsanalytik (NAA) für die Universitäten Bern und Basel, die Kurse der Reaktorschule und der Strahlenschutzkurse sowie auf etliche Vorführungen für Besuchergruppen und Schulklassen. Der Reaktorbetrieb erfolgte im Kalenderjahr 2012 störungsfrei bei einer thermischen Leistung von rund 1 kW. Vom Bewilligungsinhaber wurden zwei umfassende Kontrollen der Reaktor-schutzinstrumentierung durchgeführt und die Reaktorwasseraktivität überprüft, wobei keine Abweichungen von den Vorgaben festgestellt wurden.

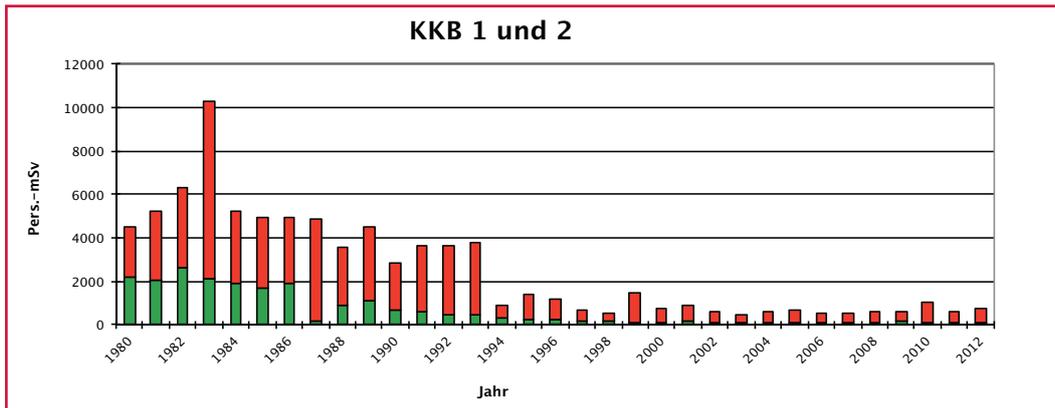
Im Jahr 2012 traten keine meldepflichtigen Vorkommnisse von sicherheitstechnischer Bedeutung gemäss Richtlinie ENSI-B03 auf. Die Dosen des Personals lagen unterhalb der Nachweisgrenze. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und den Abwasserpfad war unbedeutend. Im November 2012 hat das ENSI seine Jahresinspektion

durchgeführt. Dabei wurden technische, organisatorische und personelle Änderungen besprochen und es wurden die Anlagenräume begangen. Das ENSI stellte fest, dass die vorgegebenen Betriebsbedingungen und die Vorschriften zum Strahlenschutz für das Personal und die Umwelt im Jahr 2012 eingehalten wurden.

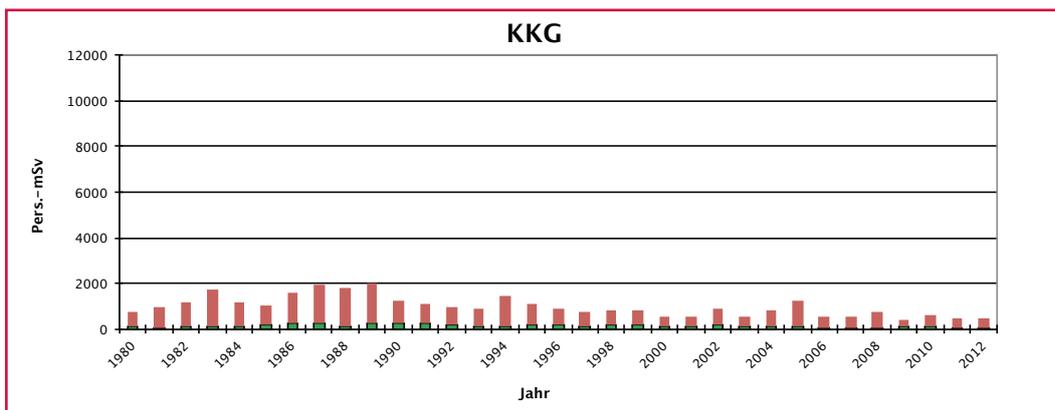
3. Grafische Darstellungen

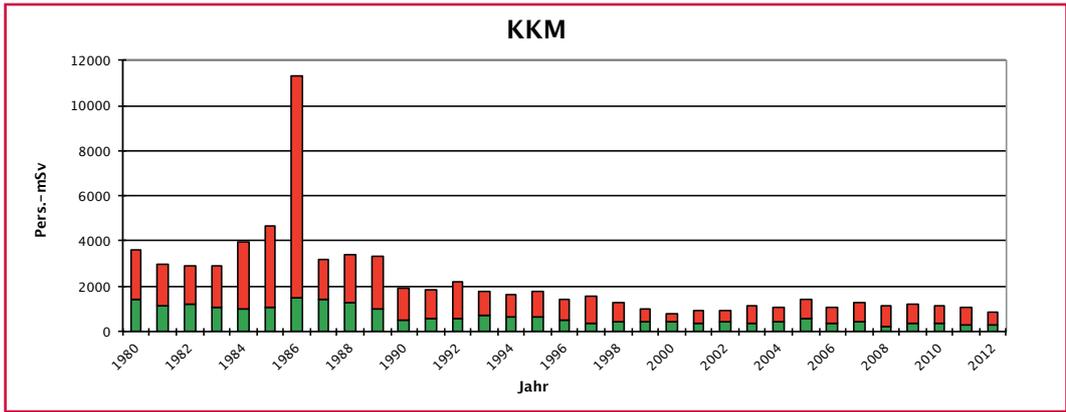
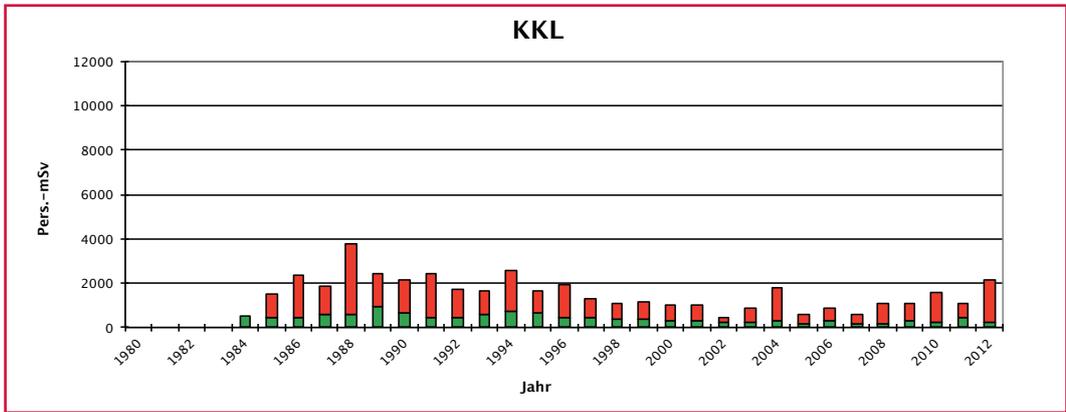
In der Darstellung A.1 sind die Jahreskollektivdosen der Kernkraftwerke seit 1980 enthalten. Die Darstellung A.2 zeigt den Verlauf der Anzahl Personen mit einer beruflichen Lebensdosis von mehr

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

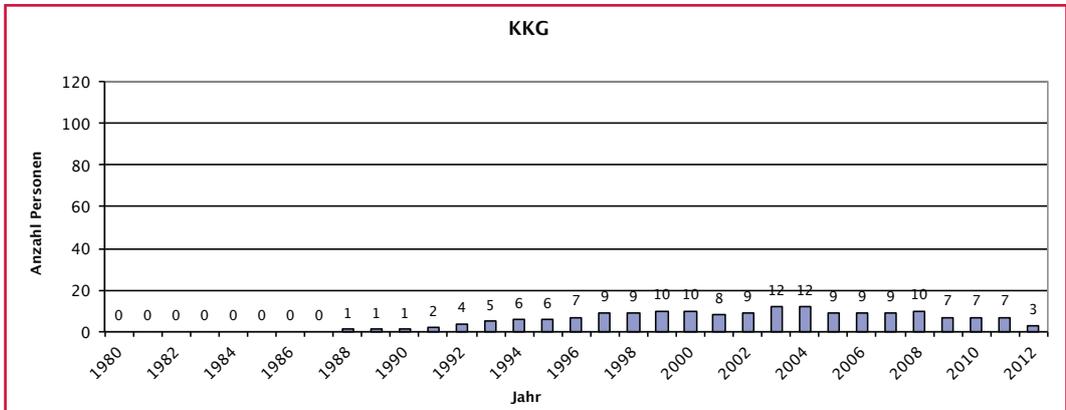
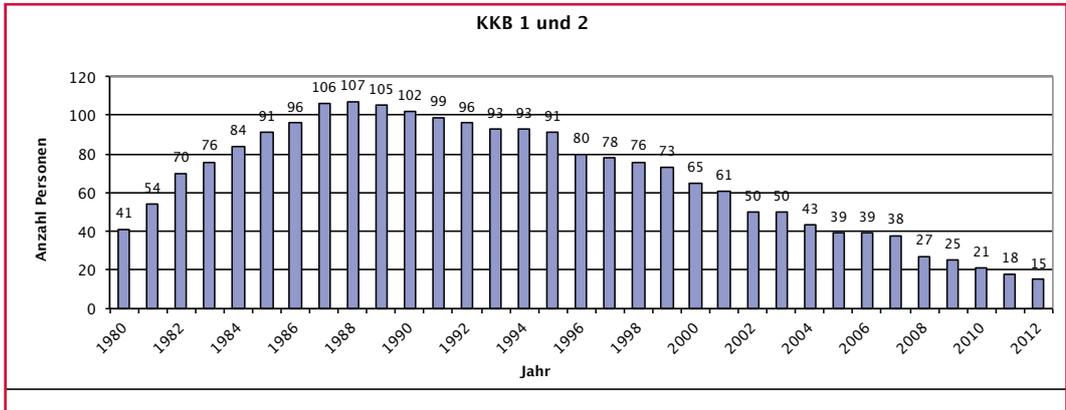


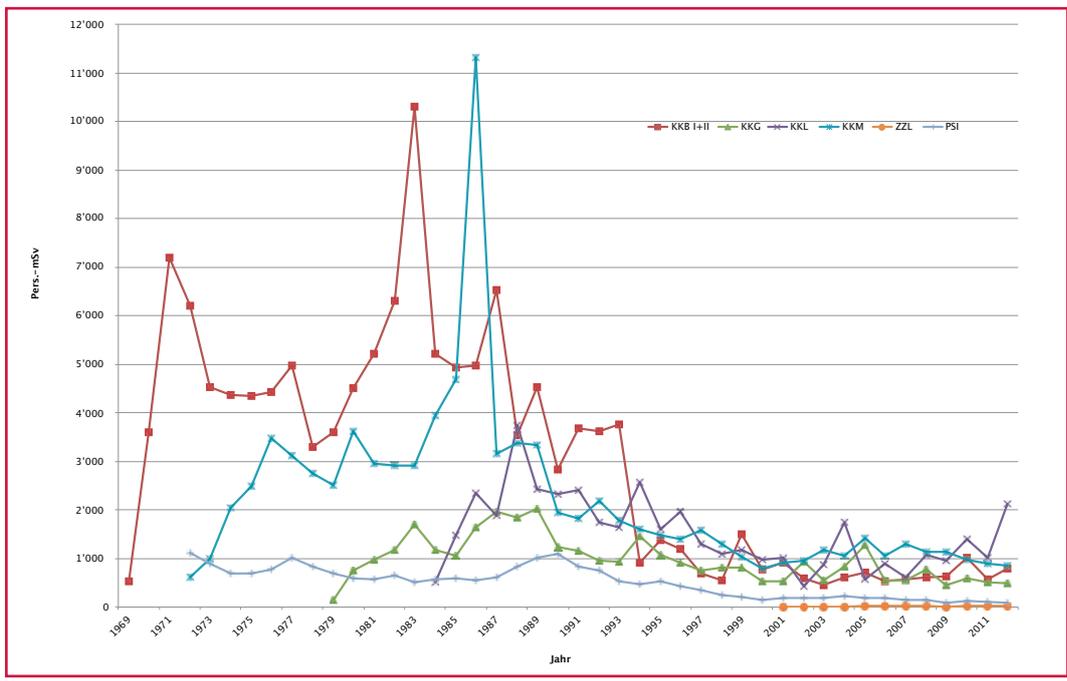
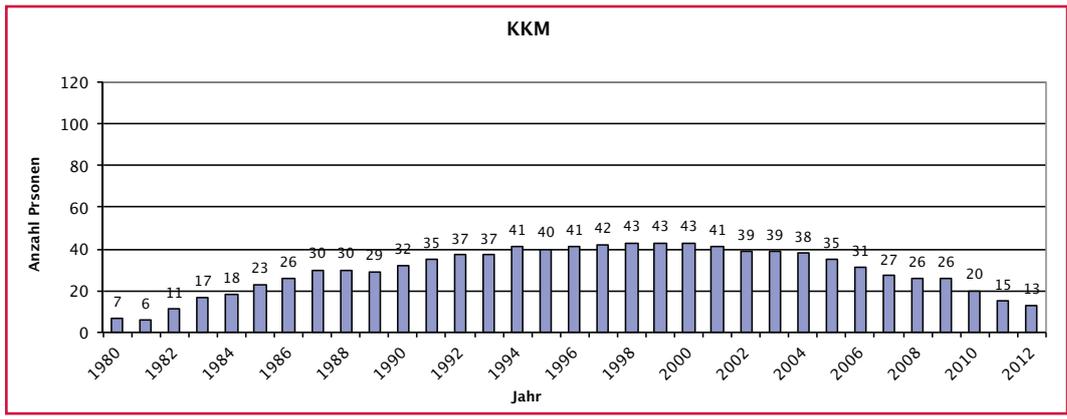
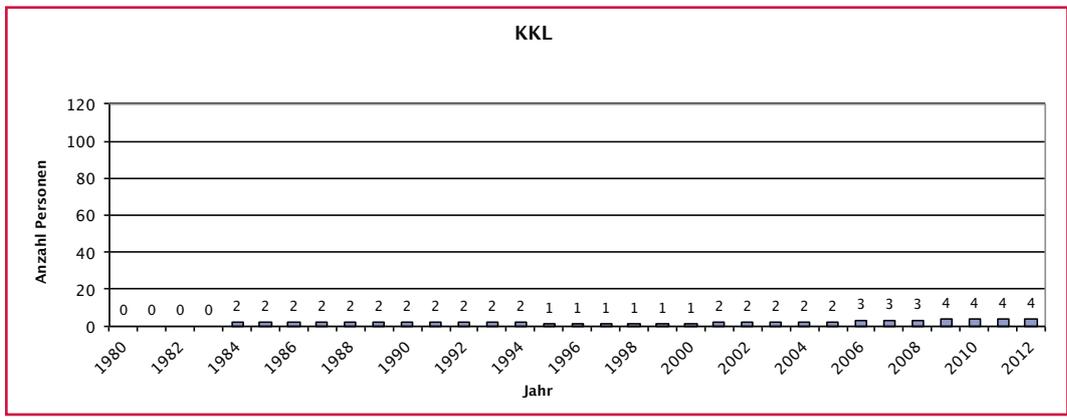
Darstellung A.1: Jahreskollektivdosen (Pers.-mSv) der Kernkraftwerke von 1980 bis 2012. Rot bezeichnet sind die Daten aus den Revisionsstillständen, grün diejenigen aus dem Leistungsbetrieb.





Darstellung A.2:
 Anzahl Personen
 mit einer beruflichen
 Lebensdosis über
 200 mSv, Kernkraft-
 werke, 1980 bis 2012





Darstellung A.3:
 Entwicklung der
 Kollektivdosen
 (Pers.-mSv) in
 den Kernanlagen,
 1969 bis 2012

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 ENSI-B09 «Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen» 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 zentrale Dosisregister beim 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. Damit wird auch der in der Strahlenschutzverordnung verlangten Optimierung der radiologischen Schutzmassnahmen Folge geleistet.

In der Richtlinie ENSI-G15 «Strahlenschutzziele für Kernanlagen» ist für die jährliche Kollektivdosis einer Anlageneinheit (Block) ein Wert von maximal 1500 Pers.-mSv festgelegt. Bei einer Überschreitung dieses Werts, wie zum Beispiel im Jahr 2012 im KKL, prüft das ENSI die Optimierungsmassnahmen des Betreibers im Detail.

Zur Ermittlung der Dosen und zum Nachweis der Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben betreibt jedes Kernkraftwerk und das PSI eine vom ENSI anerkannte Personendosimetriestelle, die die Dosimeter des Eigen- und des Fremdpersonals auswertet und die akkumulierten Dosen regis-

triert. 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 Personendosimetriestelle vorübergehend in den Überwachungsbereich einer anderen Personendosimetriestelle wechselt und dort als Fremdpersonal geführt wird. Durch die Regelungen in der Richtlinie ENSI-B09 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 vom ENSI bereinigt. Dabei können sich in den nachfolgenden Tabellen Unterschiede ergeben. Beispielsweise entspricht die Anzahl der gemeldeten Personen aus den einzelnen Kraftwerken nicht immer der Gesamtsumme der Personen. Ausserdem ergeben sich durch Rundungen nicht relevante Ungenauigkeiten.

Für das Jahr 2012 haben die fünf vom ENSI anerkannten Personendosimetriestellen (KKB, KKG, KKL, KKM und PSI) insgesamt 7321 beruflich strahlenexponierte Personen mit einer Kollektivdosis von 4375 Pers.-mSv gemeldet (Mehrfachverbuchungen bereinigt). Die an den Universitäten verwendeten Dosimeter (für 13 Personen) werden entweder vom Institut Universitaire de Radio-physique (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, 2012, Ei-
gen- und Fremdpersonal

Kernanlage	Anzahl überwachte Personen	Kollektivdosis [Pers.mSv]
KKB 1 und 2	1460	790.3
KKG	1194	493.5
KKL	2440	2126.0
KKM	1265	859.1
ZZL	204	19.0
PSI	1449	90.2
Universitäten	13	0.1
Aufsichtsbereich des ENSI	7321	4375.4

Anzahl beruflich strahlenexponierte Personen

Tabelle A.2a:
Kernkraftwerke

Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
0.0 – 1.0	382	832	1214	382	661	1043	402	1443	1848	258	728	986	1417	3062	4479
> 1.0 – 2.0	50	78	128	24	44	68	41	181	222	55	82	137	170	364	534
> 2.0 – 5.0	33	65	98	25	52	77	55	223	278	36	89	125	150	432	582
> 5.0 – 10.0	5	15	20	2	4	6	7	84	91	12	5	17	26	109	135
> 10.0 – 15.0								1	1					6	6
> 15.0 – 20.0															
> 20.0 – 50.0															
> 50.0															
Total Personen	470	990	1460	433	761	1194	505	1932	2440	361	904	1265	1763	3973	5730
Mittel pro Person [mSv]	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.7	0.9	0.9	0.8	0.6	0.7	0.6	0.8	0.7

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

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

- Individualdosen können sich aus den in verschiedenen Anlagen akkumulierten Dosen zusammensetzen.

Tabelle A.2b:
Kernanlagen
und Forschung

Dosisbereich [mSv]	PSI			Univer- sitäten ¹	Total Forschung	ZZL			Total KKW EP+FP	Total Kernanlagen und Forschung
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP		
0.0 – 1.0	1097	334	1431	13	1444	61	137	198	4479	6040
> 1.0 – 2.0	9		9		9	6		6	534	548
> 2.0 – 5.0	9		9		9				582	592
> 5.0 – 10.0									135	135
> 10.0 – 15.0									6	6
> 15.0 – 20.0										
> 20.0 – 50.0										
> 50.0										
Total Personen	1115	334	1449	13	1462	67	137	204	5736	7321
Mittel pro Person [mSv]	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1	0.7	0.6

- 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.

- Individualdosen können sich aus den in verschiedenen Anlagen akkumulierten Dosen zusammensetzen.

¹ EPF Lausanne und Universität Base

Kollektivdosis pro Dosisbereich der beruflich strahlenexponierten Personen

Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	FP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
0.0 – 1.0	68.2	92.3	160.5	39.4	76.3	115.7	53.3	226.9	280.2	46.1	137.0	183.1	206.1	473.1	679.2
> 1.0 – 2.0	73.1	119.0	192.1	35.8	64.0	99.8	58.3	268.1	326.4	85.1	124.6	209.7	252.5	546.0	798.5
> 2.0 – 5.0	107.3	206.8	314.1	84.5	159.9	244.4	178.5	715.0	893.5	100.9	259.2	360.1	471.2	1366.5	1837.7
> 5.0 – 10.0	32.3	91.3	123.6	11.9	21.7	33.6	44.0	570.9	614.9	73.8	32.4	106.2	162.0	719.9	881.9
> 10.0 – 15.0								11.0	11.0					69.3	69.3
> 15.0 – 20.0															
> 20.0 – 50.0															
> 50.0															
Total [Pers.-mSv]	280.9	509.4	790.3	171.6	321.9	493.5	334.1	1791.9	2126.0	305.9	553.2	859.1	1091.8	3174.8	4266.6
Höchste Einzeldosis [mSv]	8.0	7.4	8.0	6.5	5.8	6.5	7.4	11.0	11.0	7.9	8.0	8.0	8.0	13.3	13.3

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

- 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.

Dosisbereich [mSv]	PSI			Universitäten	Total Forschung	ZZL			Total KKW EP+FP	Total Kernanlagen und Forschung ¹
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP		
0.0 – 1.0	39	9	48.0	0.1	48.1	6.7	4.8	11.5	679.2	737.7
> 1.0 – 2.0	12.1		12.1		12.1	7.5		7.5	798.5	816.1
> 2.0 – 5.0	30.1		30.1		30.1				1837.7	1870.4
> 5.0 – 10.0									881.9	881.9
> 10.0 – 15.0									69.3	69.3
> 15.0 – 20.0										
> 20.0 – 50.0										
> 50.0										
Total [Pers.-mSv]	81.2	9.0	90.2	0.1	90.3	14.2	4.8	19.0	4266.6	4375.4
Höchste Einzeldosis [mSv]	4.8	0.9	4.8	0.1	4.8	1.3	0.9	1.3	13.3	13.3

Tabelle A.3b:
Kernanlagen
und Forschung

- 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.

¹EPF Lausanne und Universität Basel

Verteilung der beruflichen Lebensdosis des Eigenpersonals

Tabelle A.4a:
Kernanlagen

Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM	KKW Total	PSI	ZZL	Kernanlagen und PSI Total
> 100 – 150	22	5	12	18	57	4	0	61
> 150 – 200	14	4	5	6	29	3		32
> 200 – 250	4	2	3	6	15	1		16
> 250 – 300	3	1	1	2	7	1		8
> 300 – 350	5			1	6			6
> 350 – 400	1			1	2			2
> 400 – 450				1	1			1
> 450 – 500								
> 500 – 550				2	2			2
> 550 – 600	1				1			1
> 600	1				1			1
Total Personen	51	12	21	37	121	9		130

Personen mit einer beruflichen Lebensdosis von weniger als 100 mSv sind nicht aufgeführt

Tabelle A.4b:
Kernanlagen und
PSI, Einteilung
in Altersklassen

Dosisbereich [mSv]	21–30 Jahre	31–40 Jahre	41–50 Jahre	51–60 Jahre	> 60 Jahre	Kernanlagen und PSI Total
> 100 – 150			5	40	16	61
> 150 – 200			2	16	14	32
> 200 – 250			2	8	6	16
> 250 – 300			1	5	2	8
> 300 – 350				2	4	6
> 350 – 400				1	1	2
> 400 – 450					1	1
> 450 – 500						
> 500 – 550					2	2
> 550 – 600					1	1
> 600				1		1
Total Personen			10	73	47	130

Dosismittelwerte, Kollektivdosen und Anzahl Personen nach Alter und Geschlecht

Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
0.0 – 1.0	43	3	75	1	952	101	1199	126	1510	106	1396	64	453	11	6040
> 1.0 – 2.0	2		4		106	2	105	2	168	2	117		40		548
> 2.0 – 5.0	1		3		131		127		180		123		27		592
> 5.0 – 10.0			1		29		35		40		26		4		135
> 10.0 – 15.0					2		3				1				6
> 15.0 – 20.0															
> 20.0 – 50.0															
> 50.0															
Total Personen	55	5	83	1	1220	103	1469	128	1898	108	1663	64	524	11	7332
Mittel pro Person [mSv]	0.17	0.00	0.39	0.00	0.72	0.08	0.68	0.06	0.68	0.05	0.55	0.06	0.40	0.05	0.60
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	9.3	0.0	32.3	0.0	882.9	8.0	1002.6	7.1	1294.4	5.2	921.7	3.7	207.7	0.5	4375.4

Tabelle A.5a:
Kernanlagen und Forschung (PSI¹, EPFL, UNI Basel), Eigen- und Fremdpersonal

Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
0.0 – 1.0	7	1	6		182	74	332	85	325	59	236	37	95	5	1444
> 1.0 – 2.0							2		5		1		1		9
> 2.0 – 5.0					1		2		3		2		1		9
> 5.0 – 10.0															
> 10.0 – 15.0															
> 15.0 – 20.0															
> 20.0 – 50.0															
> 50.0															
Total Personen	7	1	6		183	74	336	85	333	59	239	37	97	5	1462
Mittel pro Person [mSv]	0.00	0.00	0.00		0.04	0.04	0.06	0.02	0.08	0.01	0.09	0.06	0.08	0.10	0.06
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0	0.0	0.0		6.6	2.6	20.5	1.3	28.1	0.4	20.7	2.2	7.4	0.5	90.3

Tabelle A.5b:
Forschung (PSI¹, EPFL, UNI Basel), Eigen- und Fremdpersonal

¹ Aufsichtsbereich des BAG mit einbezogen.

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2012

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

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 – 1.0	5	1	9		24		62	6	113	6	124	4	28		382
	> 1.0 – 2.0					7		13		23		5		2		50
	> 2.0 – 5.0					3		5		14		10		1		33
	> 5.0 – 10.0							1		3		1				5
	> 10.0 – 15.0															
	> 15.0 – 20.0															
	> 20.0 – 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	5	1	9		34		81	6	153	6	140	4	31		470	
Mittel pro Person [mSv]	0.16	0.00	0.04		0.66		0.74	0.15	0.79	0.12	0.45	0.10	0.35		0.60	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.8	0.0	0.4		22.5		59.6	0.9	121.5	0.7	63.2	0.4	10.9		280.9	

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 – 1.0	1		6		130	4	178	4	224	7	213	4	59	2	832
	> 1.0 – 2.0					19		18		24		14		3		78
	> 2.0 – 5.0					16		16		23		10				65
	> 5.0 – 10.0					3		7		2		3				15
	> 10.0 – 15.0															
	> 15.0 – 20.0															
	> 20.0 – 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	1		6		168	4	219	4	273	7	240	4	62	2	990	
Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.02		0.65	0.00	0.66	0.03	0.55	0.03	0.40	0.00	0.15	0.00	0.51	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.1		109.2	0.0	144.5	0.1	150.5	0.2	95.4	0.0	9.4	0.0	509.4	

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 – 1.0	6	1	15		154	4	240	10	337	13	337	8	87	2	1214
	> 1.0 – 2.0					26		31		47		19		5		128
	> 2.0 – 5.0					19		21		37		20		1		98
	> 5.0 – 10.0					3		8		5		4				20
	> 10.0 – 15.0															
	> 15.0 – 20.0															
	> 20.0 – 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	6	1	15		202	4	300	10	426	13	380	8	93	2	1460	
Mittel pro Person [mSv]	0.13	0.00	0.03		0.65	0.00	0.68	0.10	0.64	0.07	0.42	0.05	0.22	0.00	0.54	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.8	0.0	0.5		131.7	0.0	204.1	1.0	272.0	0.9	158.6	0.4	20.3	0.0	790.3	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2012

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 – 1.0				6		31	3	74	4	112	13	98	2	39	
> 1.0 – 2.0						1		6	1	7		5		4		24
> 2.0 – 5.0								7		13		5		1		26
> 5.0 – 10.0								1		1						2
> 10.0 – 15.0																
> 15.0 – 20.0																
> 20.0 – 50.0																
> 50.0																
Total Personen				6		32	3	88	5	133	13	108	2	44		434
Mittel pro Person [mSv]				0.05		0.23	0.17	0.49	0.34	0.56	0.02	0.28	0.00	0.33		0.40
Kollektivdosis [Pers.-mSv]				0.3		7.2	0.5	43.1	1.7	73.9	0.3	30.2	0.0	14.4		171.6

Tabelle A.7:
Kernkraftwerk
Gösgen (KKG)

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 – 1.0	1			9		93	2	137	7	176	3	187	5	39	
> 1.0 – 2.0						10		9		15		8		2		44
> 2.0 – 5.0						18		13		7		12		1		51
> 5.0 – 10.0						2				2						4
> 10.0 – 15.0																
> 15.0 – 20.0																
> 20.0 – 50.0																
> 50.0																
Total Personen		1		9		123	2	159	7	200	3	207	5	42	2	760
Mittel pro Person [mSv]		0.00		0.10		0.72	0.00	0.44	0.00	0.39	0.00	0.36	0.00	0.24	0.00	0.42
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.0		0.9		89.0	0.0	69.6	0.0	77.9	0.0	74.5	0.0	10.0	0.0	321.9

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 – 1.0	1			15		124	5	211	11	288	16	285	7	78	
> 1.0 – 2.0						11		15	1	22		13		6		68
> 2.0 – 5.0						18		20		20		17		2		77
> 5.0 – 10.0						2		1		3						6
> 10.0 – 15.0																
> 15.0 – 20.0																
> 20.0 – 50.0																
> 50.0																
Total Personen		1		15		155	5	247	12	333	16	315	7	86	2	1194
Mittel pro Person [mSv]		0.00		0.08		0.62	0.10	0.46	0.14	0.46	0.02	0.33	0.00	0.28	0.00	0.41
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.0		1.2		96.2	0.5	112.7	1.7	151.8	0.3	104.7	0.0	24.4	0.0	493.5

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2012

Tabelle A.8:
Kernkraftwerk
Leibstadt (KKL)

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 – 1.0	4		5		26	1	81	4	84	11	131	10	46		403
	> 1.0 – 2.0					7		7		11		13		3		41
	> 2.0 – 5.0					7		5		17		21		5		55
	> 5.0 – 10.0					2		1		2		2				7
	> 10.0 – 15.0															
	> 15.0 – 20.0															
	> 20.0 – 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	4		5		42	1	94	4	114	11	167	10	54		506	
Mittel pro Person [mSv]	0.05		0.14		1.06	0.00	0.53	0.05	0.86	0.06	0.68	0.00	0.47		0.66	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.2		0.7		44.4	0.0	49.9	0.2	98.6	0.7	114.1	0.0	25.3		334.1	

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 – 1.0	26	1	31	1	376	10	262	7	359	6	269	4	92	1	1445
	> 1.0 – 2.0	1		3		44	2	33		46		41		11		181
	> 2.0 – 5.0	1		2		58		60		61		34		7		223
	> 5.0 – 10.0					21		23		21		16		3		84
	> 10.0 – 15.0							1								1
	> 15.0 – 20.0															
	> 20.0 – 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	28	1	36	1	499	12	379	7	487	6	360	4	113	1	1934	
Mittel pro Person [mSv]	0.24	0.00	0.48	0.00	0.90	0.33	1.21	0.07	0.96	0.00	0.89	0.25	0.58	0.00	0.93	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	6.7	0.0	17.2	0.0	446.7	4.0	460.0	0.5	469.9	0.0	320.1	1.0	65.8	0.0	1791.9	

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 – 1.0	30	1	36	1	402	11	343	11	443	17	400	14	138	1	1848
	> 1.0 – 2.0	1		3		51	2	40		57		54		14		222
	> 2.0 – 5.0	1		2		65		65		78		55		12		278
	> 5.0 – 10.0					23		24		23		18		3		91
	> 10.0 – 15.0							1								1
	> 15.0 – 20.0															
	> 20.0 – 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	32	1	41	1	541	13	473	11	601	17	527	14	167	1	2440	
Mittel pro Person [mSv]	0.22	0.00	0.44	0.00	0.91	0.31	1.08	0.06	0.95	0.04	0.82	0.07	0.55	0.00	0.87	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	6.9	0.0	17.9	0.0	491.1	4.0	509.9	0.7	568.5	0.7	434.2	1.0	91.1	0.0	2126.0	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2012

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 – 1.0					26	4	34	8	74	2	78	2	29	1	258
	> 1.0 – 2.0					3		13	1	16	1	16		5		55
	> 2.0 – 5.0					4		5		10		14		3		36
	> 5.0 – 10.0					2		2		5		2		1		12
	> 10.0 – 15.0															
	> 15.0 – 20.0															
	> 20.0 – 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen					35	4	54	9	105	3	110	2	38	1	361
	Mittel pro Person [mSv]					1.02	0.00	1.08	0.27	0.89	0.60	0.82	0.00	0.66	0.00	0.85
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]					35.7	0.0	58.1	2.4	93.0	1.8	90.0	0.0	24.9	0.0	305.9

Tabelle A.9:
Kernkraftwerk
Mühleberg (KKM)

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 – 1.0			7		122	4	148	6	182	6	183	3	63	4	728
	> 1.0 – 2.0	1		1		15		10		25	1	21		8		82
	> 2.0 – 5.0			1		24		18		27		12		7		89
	> 5.0 – 10.0			1		1				1		2				5
	> 10.0 – 15.0															
	> 15.0 – 20.0															
	> 20.0 – 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	1		10		162	4	176	6	235	7	218	3	78	4	904
	Mittel pro Person [mSv]	1.60		1.27		0.76	0.23	0.55	0.00	0.71	0.16	0.51	0.03	0.51	0.00	0.61
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.6		12.7		123.6	0.9	96.0	0.0	167.0	1.1	110.6	0.1	39.6	0.0	553.2

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 – 1.0			7		148	8	182	14	256	8	261	5	92	5	986
	> 1.0 – 2.0	1		1		18		23	1	41	2	37		13		137
	> 2.0 – 5.0			1		28		23		37		26		10		125
	> 5.0 – 10.0			1		3		2		6		4		1		17
	> 10.0 – 15.0															
	> 15.0 – 20.0															
	> 20.0 – 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	1		10		197	8	230	15	340	10	328	5	116	5	1265
	Mittel pro Person [mSv]	1.60		1.27		0.81	0.11	0.67	0.16	0.76	0.29	0.61	0.02	0.56	0.00	0.68
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.6		12.7		159.3	0.9	154.1	2.4	260.0	2.9	200.6	0.1	64.5	0.0	859.1

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2012

Tabelle A.10:
Kernkraftwerke gesamt

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 – 1.0	9	1	20		106	8	249	22	380	32	429	18	142	1	1417
	> 1.0 – 2.0					18		39	2	57	1	39		14		170
	> 2.0 – 5.0					14		22		54		50		10		150
	> 5.0 – 10.0					4		5		11		5		1		26
	> 10.0 – 15.0															
	> 15.0 – 20.0															
	> 20.0 – 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	9	1	20		142	8	315	24	502	33	523	18	167	1	1763	
Mittel pro Person [mSv]	0.11	0.00	0.07		0.77	0.06	0.67	0.22	0.77	0.11	0.57	0.02	0.45	0.00	0.62	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.0	0.0	1.4		109.8	0.5	210.7	5.2	386.6	3.5	297.2	0.4	75.5	0.0	1091.8	

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 – 1.0	27	1	49	1	652	19	592	19	764	16	695	9	213	5	3062
	> 1.0 – 2.0	2		4		87	2	64		102	1	77		25		364
	> 2.0 – 5.0	1		3		116		103		122		71		16		432
	> 5.0 – 10.0			1		25		30		29		21		3		109
	> 10.0 – 15.0					2		3				1				6
	> 15.0 – 20.0															
	> 20.0 – 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	30	1	57	1	882	21	792	19	1017	17	865	9	257	5	3973	
Mittel pro Person [mSv]	0.28	0	0.54	0.00	0.87	0.23	0.97	0.03	0.85	0.08	0.69	0.12	0.49	0.00	0.80	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	8.3	0.0	30.9	0.0	765.2	4.9	768.9	0.6	868.2	1.3	600.6	1.1	124.8	0.0	3174.8	

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 – 1.0	36	2	69	1	758	27	841	41	1144	48	1124	27	355	6	4479
	> 1.0 – 2.0	2		4		105	2	103	2	159	2	116		39		534
	> 2.0 – 5.0	1		3		130		125		176		121		26		582
	> 5.0 – 10.0			1		29		35		40		26		4		135
	> 10.0 – 15.0					2		3				1				6
	> 15.0 – 20.0															
	> 20.0 – 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	39	2	77	1	1024	29	1107	43	1519	50	1388	27	424	6	5736	
Mittel pro Person [mSv]	0.24	0	0.42	0.00	0.85	0.19	0.88	0.13	0.83	0.10	0.65	0.06	0.47	0.00	0.74	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	9.3	0.0	32.3	0.0	875.0	5.4	979.6	5.8	1254.8	4.8	897.8	1.5	200.3	0.0	4266.6	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2012

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total	
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F		
	0.0 – 1.0					2	1	16	1	23	1	15			2		61
	> 1.0 – 2.0					1				5							6
	> 2.0 – 5.0																
	> 5.0 – 10.0																
	> 10.0 – 15.0																
	> 15.0 – 20.0																
	> 20.0 – 50.0																
	> 50.0																
Total Personen					3	1	16	1	28	1	15			2		67	
Mittel pro Person [mSv]					0.43	0.00	0.16	0.00	0.33	0.00	0.07			0.00		0.21	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]					1.3	0.0	2.6	0.0	9.3	0.0	1.0			0.0		14.2	

Tabelle A.11:
Zentrales
Zwischenlager (ZZL)

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total	
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F		
	0.0 – 1.0					15		28	1	40		46			6	1	137
	> 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					15		28	1	40		46			6	1	137	
Mittel pro Person [mSv]					0.00		0.01	0.00	0.06		0.05			0.00	0.00	0.04	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]					0.0		0.3	0.0	2.3		2.2			0.0		4.8	

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total	
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F		
	0.0 – 1.0					17	1	44	2	63	1	61			8	1	198
	> 1.0 – 2.0					1				5							6
	> 2.0 – 5.0																
	> 5.0 – 10.0																
	> 10.0 – 15.0																
	> 15.0 – 20.0																
	> 20.0 – 50.0																
	> 50.0																
Total Personen					18	1	44	2	68	1	61			8	1	204	
Mittel pro Person [mSv]					0.07	0.00	0.07	0.00	0.17	0.00	0.05			0.00	0.00	0.09	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.0		1.3	0.0	2.9		11.6	0.0	3.2	0.0		0.0		19.0	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2012

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

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 – 1.0	9	1	20		107	9	265	23	403	33	444	18	144	1	1477
	> 1.0 – 2.0					19		39	2	62	1	39		14		176
	> 2.0 – 5.0					14		22		54		50		10		150
	> 5.0 – 10.0					4		5		11		5		1		26
	> 10.0 – 15.0															
	> 15.0 – 20.0															
	> 20.0 – 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	9	1	20		144	9	331	25	530	34	538	18	169	1	1829
	Mittel pro Person [mSv]	0.11	0.00	0.07		0.77	0.06	0.64	0.208	0.75	0.10	0.55	0.02	0.447	0.00	0.60
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.0	0.0	1.4		111.1	0.5	213.3	5.2	395.9	3.5	298.2	0.4	75.5	0.0	1106.0

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 – 1.0	2		4		87	2	64		101	1	77		25		363
	> 1.0 – 2.0	1		3		116		103		123		71		16		433
	> 2.0 – 5.0			1		25		30		29		21		3		109
	> 5.0 – 10.0					2		3				1				6
	> 10.0 – 15.0															
	> 15.0 – 20.0															
	> 20.0 – 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	30	1	57	1	893	21	804	19	1037	17	890	9	259	5	4043
	Mittel pro Person [mSv]	0.28	0	0.54	0.00	0.857	0.23	0.96	0.03	0.84	0.08	0.68	0.12	0.482	0.00	0.79
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	8.3	0.0	30.9	0.0	765.2	4.9	768.9	0.6	870.4	1.3	602.8	1.1	124.8	0.0	3179.2

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 – 1.0	36	2	69	1	770	28	869	42	1187	49	1164	27	359	6	4609
	> 1.0 – 2.0	2		4		106	2	103	2	163	2	116		39		539
	> 2.0 – 5.0	1		3		130		125		177		121		26		583
	> 5.0 – 10.0			1		29		35		40		26		4		135
	> 10.0 – 15.0					2		3				1				6
	> 15.0 – 20.0															
	> 20.0 – 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	39	2	77	1	1037	30	1135	44	1567	51	1428	27	428	6	5872
	Mittel pro Person [mSv]	0.24	0.00	0.42	0.00	0.85	0.18	0.87	0.132	0.81	0.09	0.63	0.06	0.468	0.00	0.73
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	9.3		32.3		876.3	5.4	982.2	5.8	1266.3	4.8	901.0	1.5	200.3	0.0	4285.2

Verteilung der Extremitätendosen 2012

Dosis-intervall [mSv]	Haut			Extremitäten			Dosis-intervall [mSv]	Augenlinse		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen				Anzahl Personen		
	Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total		Eigen-personal	Fremd-personal	Total
0 – 25	470	990	1460	17	71	88	0 – 25	0	0	0
> 25 – 50							> 25 – 50			
> 50 – 75							> 50 – 75			
> 75 – 100							> 75 – 100			
> 100 – 125							> 100 – 125			
> 125 – 150							> 125 – 150			
> 150 – 175							> 150			
> 175 – 200										
> 200 – 300										
> 300 – 400										
> 400 – 500										
> 500										
Summe	470	990	1460	17	71	88	Summe	0	0	0

Tabelle A.13a:
Kernkraftwerk
Beznau (KKB)

Dosis-intervall [mSv]	Haut			Extremitäten			Dosis-intervall [mSv]	Augenlinse		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen				Anzahl Personen		
	Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total		Eigen-personal	Fremd-personal	Total
0 – 25	55	99	154	5	9	14	0 – 25	9	11	20
> 25 – 50					2	2	> 25 – 50			
> 50 – 75							> 50 – 75			
> 75 – 100							> 75 – 100			
> 100 – 125							> 100 – 125			
> 125 – 150							> 125 – 150			
> 150 – 175							> 150			
> 175 – 200										
> 200 – 300										
> 300 – 400										
> 400 – 500										
> 500										
Summe	55	99	154	5	11	16	Summe	9	11	20

Tabelle A.13b:
Kernkraftwerk
Gösgen (KKG)

Tabelle A.13c:
Kernkraftwerk
Leibstadt (KKL)

Dosis- intervall [mSv]	Haut			Extremitäten			Dosis- intervall [mSv]	Augenlinse		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen				Anzahl Personen		
	Eigen- personal	Fremd- personal	Total	Eigen- personal	Fremd- personal	Total		Eigen- personal	Fremd- personal	Total
0 – 25	506	1934	2440	1	7	8	0 – 25	0	0	0
> 25 – 50							> 25 – 50			
> 50 – 75							> 50 – 75			
> 75 – 100							> 75 – 100			
> 100 – 125							> 100 – 125			
> 125 – 150							> 125 – 150			
> 150 – 175							> 150			
> 175 – 200										
> 200 – 300										
> 300 – 400										
> 400 – 500										
> 500										
Summe	506	1934	2440	1	7	8	Summe	0	0	0

Tabelle A.13d:
Kernkraftwerk
Mühleberg (KKM)

Dosis- intervall [mSv]	Haut			Extremitäten			Dosis- intervall [mSv]	Augenlinse		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen				Anzahl Personen		
	Eigen- personal	Fremd- personal	Total	Eigen- personal	Fremd- personal	Total		Eigen- personal	Fremd- personal	Total
0 – 25	103	176	279	9	11	20	0 – 25	0	0	0
> 25 – 50							> 25 – 50			
> 50 – 75							> 50 – 75			
> 75 – 100							> 75 – 100			
> 100 – 125							> 100 – 125			
> 125 – 150							> 125 – 150			
> 150 – 175							> 150			
> 175 – 200										
> 200 – 300										
> 300 – 400										
> 400 – 500										
> 500										
Summe	103	176	279	9	11	20	Summe	0	0	0

Dosis-intervall [mSv]	Haut			Extremitäten			Dosis-intervall [mSv]	Augenlinse		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen				Anzahl Personen		
	Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total		Eigen-personal	Fremd-personal	Total
0 - 25	1134	3199	4333	32	98	130	0 - 25	9	11	20
> 25 - 50					2	2	> 25 - 50			
> 50 - 75							> 50 - 75			
> 75 - 100							> 75 - 100			
> 100 - 125							> 100 - 125			
> 125 - 150							> 125 - 150			
> 150 - 175							> 150			
> 175 - 200										
> 200 - 300										
> 300 - 400										
> 400 - 500										
> 500										
Summe	1134	3199	4333	32	100	132	Summe	9	11	20

Tabelle A.13e:
Alle Kernkraftwerke

Dosis-intervall [mSv]	Haut			Extremitäten			Dosis-intervall [mSv]	Augenlinse		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen				Anzahl Personen		
	Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total		Eigen-personal	Fremd-personal	Total
0 - 25	1115	334	1449	79	7	86	0 - 25	0	0	0
> 25 - 50				1		1	> 25 - 50			
> 50 - 75							> 50 - 75			
> 75 - 100							> 75 - 100			
> 100 - 125							> 100 - 125			
> 125 - 150							> 125 - 150			
> 150 - 175							> 150			
> 175 - 200										
> 200 - 300										
> 300 - 400										
> 400 - 500										
> 500										
Summe	1115	334	1449	80	7	87	Summe	0	0	0

Tabelle A.13f:
Paul Scherrer Institut (PSI)

Tabelle A.13g:
Zentrales
Zwischenlager (ZZL)

Dosis- intervall [mSv]	Haut			Extremitäten			Dosis- intervall [mSv]	Augenlinse		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen				Anzahl Personen		
	Eigen- personal	Fremd- personal	Total	Eigen- personal	Fremd- personal	Total		Eigen- personal	Fremd- personal	Total
0 – 25	0	0	0	0	0	0	0 – 25	0	0	0
> 25 – 50							> 25 – 50			
> 50 – 75							> 50 – 75			
> 75 – 100							> 75 – 100			
> 100 – 125							> 100 – 125			
> 125 – 150							> 125 – 150			
> 150 – 175							> 150			
> 175 – 200										
> 200 – 300										
> 300 – 400										
> 400 – 500										
> 500										
Summe	0	0	0	0	0	0	Summe	0	0	0

Tabelle A.13h:
Alle Kernanlagen
(KKW, ZZL und PSI)

Dosis- intervall [mSv]	Haut			Extremitäten			Dosis- intervall [mSv]	Augenlinse		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen				Anzahl Personen		
	Eigen- personal	Fremd- personal	Total	Eigen- personal	Fremd- personal	Total		Eigen- personal	Fremd- personal	Total
0 – 25	2249	3460	5709	111	105	216	0 – 25	9	11	20
> 25 – 50					2	2	> 25 – 50			
> 50 – 75							> 50 – 75			
> 75 – 100							> 75 – 100			
> 100 – 125							> 100 – 125			
> 125 – 150							> 125 – 150			
> 150 – 175							> 150			
> 175 – 200										
> 200 – 300										
> 300 – 400										
> 400 – 500										
> 500										
Summe	2249	3460	5709	111	107	218	Summe	9	11	20

Triagemessungen des beruflich strahlenexponierten Personals

Resultat der Messungen	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	FP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
alle negativ	412	893	1305	395	660	1055	497	1819	2316	361	904	1265	1665	4276	5941
mind. eine positiv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle A.14a:
Kernanlagen und im
PSI, Anzahl Personen

Resultat der Messungen	PSI			ZZL			Total Kernanlagen und Forschung		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
alle negativ	73	26	99	0	0	0	1738	4302	6040
mind. eine positiv	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Folgedosis E_{50} des beruflich strahlenexponierten Personals durch Inkorporationen

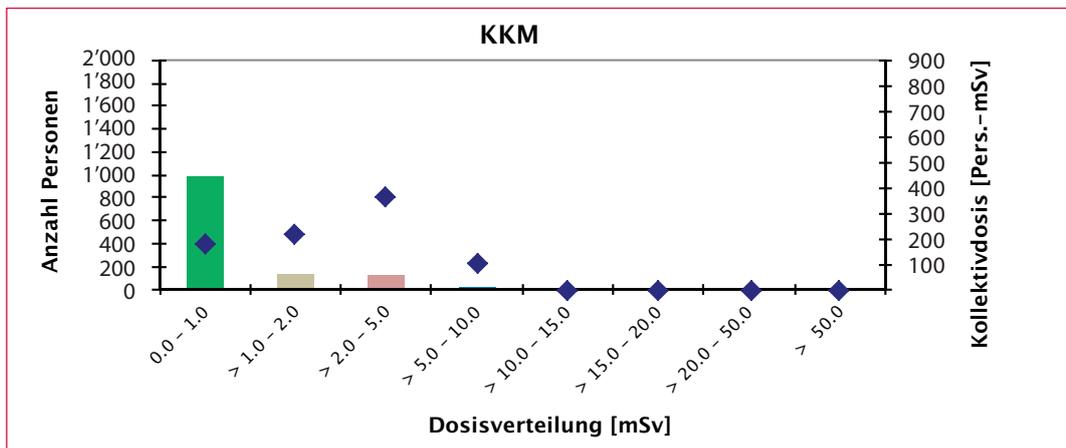
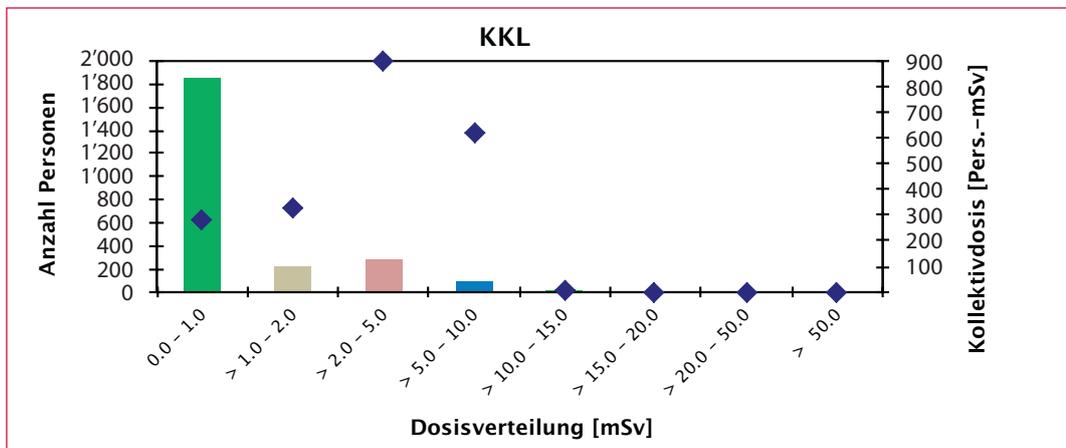
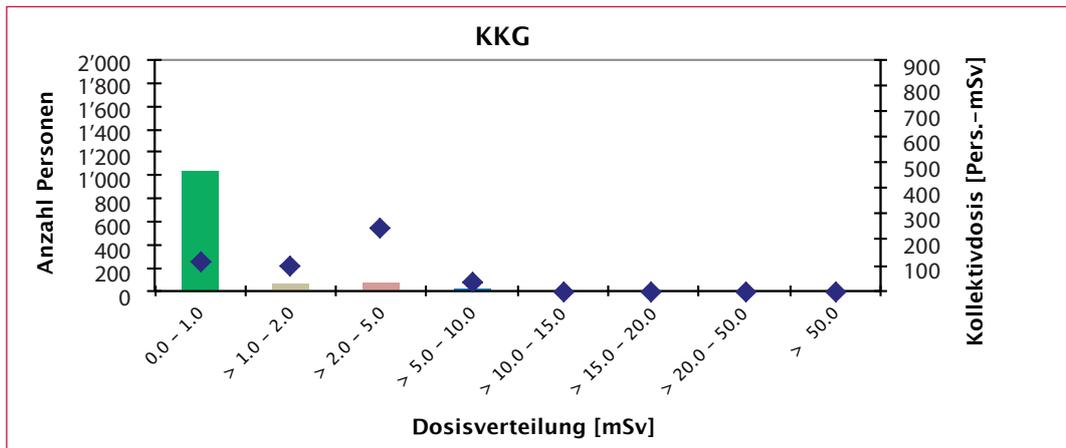
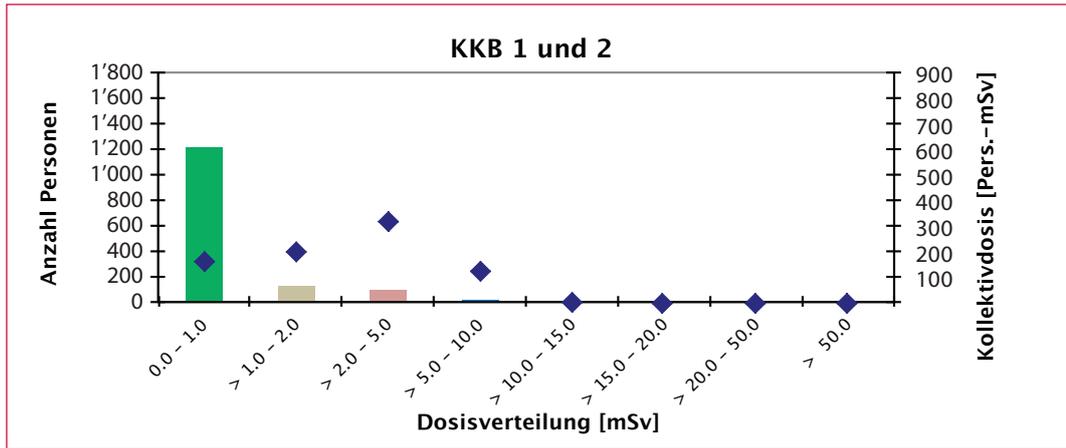
Folgedosis E_{50} Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	FP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
<= 1.0	412	893	1305	0	0	0	497	1819	2316	361	904	1265	1270	3616	4886
>1.0 – 2.0															
>2.0 – 5.0															
>5.0 – 10.0															
>10.0 – 15.0															
>15.0 – 20.0															
>20.0 – 50.0															
>50.0															
Total Personen	412	893	1305	0	0	0	497	1819	2316	361	904	1265	1270	3616	4886

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

Folgedosis E_{50} Dosisbereich [mSv]	PSI			ZZL			Summe Kernanlagen und PSI
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP+FP
<= 1.0	265	12	277	67	160	227	5390
>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	265	12	277	67	160	227	5390

Kollektivdosen und Anzahl dosimetrierter Personen 2012

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



Messmethoden der Personendosimetriestellen im Aufsichtsbereich des ENSI 2012

Mess- stelle	Überwachung der äusseren Bestrahlung									Überwachung der Inkorporationen								
	Ganzkörper			Haut			Extremitäten			Ganzkörper			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	β, γ, x	DIS	1723	β, γ, x	DIS	1723	β, γ, x	TLD	71	γ	Nal	1305	γ	Nal	1305			
KKG	γ	DIS	1194	γ	DIS	1194	γ	TLD	16	γ	PSC	1055	γ	PSC	1055			
KKL	β, γ	TLD	2511	β, γ	TLD	2511	β, γ	TLD	8	γ	Nal	2421	γ	Nal	2421			
KKM	γ	TLD	1265	β, γ	TLD	1265	γ	TLD	20	γ	Nal	1265	γ	Nal	1265			
PSI	β, γ, x	TLD/	1449	β, γ, x	TLD/	1449	β, γ, x	TLD	87	γ	Ge	274	γ, x	Nal	16	α, β, γ, x	LSC/ Nal Ge	32
	β, γ, x n	DIS PADC	1143	β, γ, x n	DIS													
ZZL ⁴	γ	DIS	254	β, γ, x	DIS	254	γ	TLD	0	γ	Nal	227	γ	Nal	227			

Tabelle A.15:
Vom ENSI anerkannte
Personendosimetrie-
stellen und deren
Messmethoden

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

² m = Messmethode: TLD = Thermolumineszenzdosimeter
DIS = Direct ion Storage
LSC = Flüssigkeitsszintillator
Ge = Reinstgermanium-Detektor
Nal = Nal (Tl)-Szintillator
PADC = Polyallyldiglycolcarbonat, Saltpurdosimeter (Cr-39)

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 Revisions-
stillstand 1980 bis
2012 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
2011	75	503	86	413	471	604	289	787	921	2306
2012	82	709	67	426	212	1914	263	596	625	3645

Ab 2012 wurden die Dosimetriedaten entsprechend der Vorgaben der Richtlinie ENSI-B09 verarbeitet.

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%
2011	13%	87%	17%	83%	44%	56%	27%	73%	29%	71%
2012	10%	90%	14%	86%	10%	90%	31%	69%	15%	85%

Tabelle A.17:
Aufteilung der Kollektivdosen auf Betrieb und Revisionsstillstand 1980 bis 2012 in Prozenten

Tabelle A.18:
Kollektivdosen der
Kernkraftwerke 2012

Anlage	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM	Total
Pers.-mSv	790.3	493.5	2126.0	859.1	4266.6

Jahreskollektivdosen (TLD)

Anlage	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM	Total
Pers.-mSv	708.6	426.2	1914	596.4	3644.9

Kollektivdosen der Revisionsstillstände (EPD)

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

Kalenderjahr	PSI-Gesamtpersonal		
	Anzahl Personen	Kollektivdosis [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
2011	1397	100.7	0.1
2012	1449	90.2	0.1

Kalenderjahr	Eigenpersonal			Fremdpersonal			Total		
	Anzahl Personen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person	Anzahl Personen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person	Anzahl Personen	Kollektivdosis [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
2011	60	12.4	0.2	99	2.8	0.0	159	15.2	0.1
2012	67	14.2	0.2	137	4.8	0.0	204	19.0	0.1

Tabelle A.20:
Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL), Kollektivdosen des dosimetrierten Personals 2001 bis 2012

4.3 Jobdosimetrie

Die Jobdosimetrie dient der Optimierung von Arbeiten im Hinblick auf den Strahlenschutz. Eine Arbeit in einem bestimmten Jahr kann mit der gleichen Arbeit in früheren Jahren verglichen werden. Daraus ergeben sich wertvolle Erkenntnisse für den Strahlenschutz, die hauptsächlich für eine Anlage relevant sind. Die Meldungen der Kernkraftwerke über die arbeitsspezifischen Dosen (Jobdosen) im Berichtsjahr sind in diesem Kapitel dargestellt und durch Trendentwicklungen ergänzt. Bewertungen der Entwicklungen im Strahlenschutz befinden sich am Ende des Kapitels 4.

Die Systeme, mit denen in den Kernkraftwerken die Jobdosen ermittelt werden, sind stetig verbessert worden. Die Richtlinie ENSI-B09 «Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen» 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 in den meisten Fällen 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 Gegeben-

heiten 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.

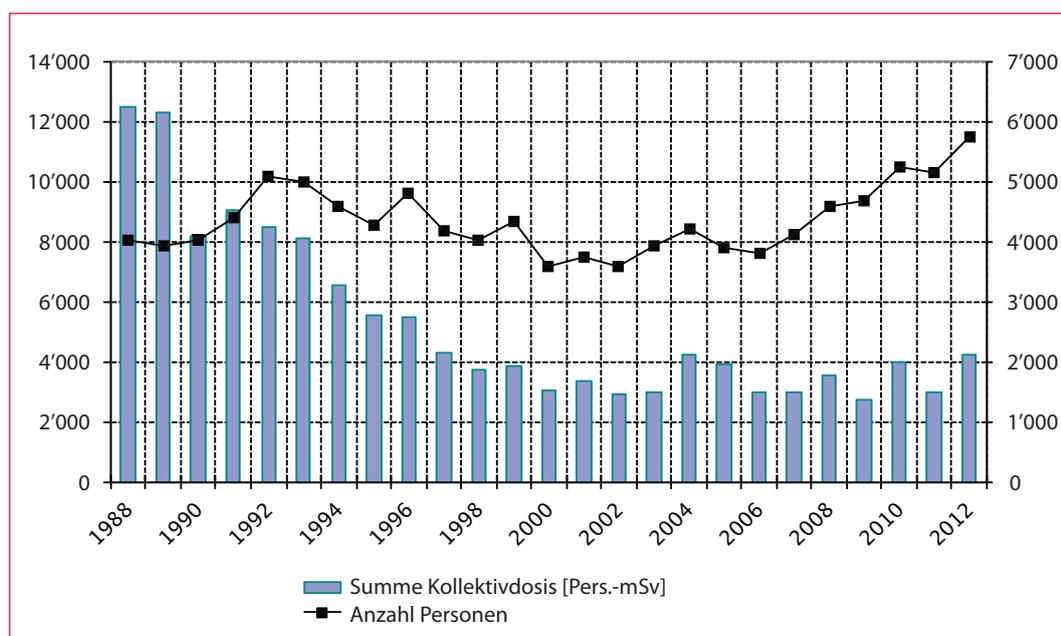
Jahreskollektivdosen in den Kernkraftwerken in der Schweiz

Tabelle A.21:
Summe der Kollektivdosen in Pers.-mSv und Anzahl beruflich strahlenexponierte Personen

Kalenderjahr	Summe Kollektivdosis [Pers.-mSv]	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
2011	2'976	5'150
2012	4'267	5'736

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 4.2 Personendosimetrie zu finden.

Grafische Darstellung der Daten aus Tabelle A.21

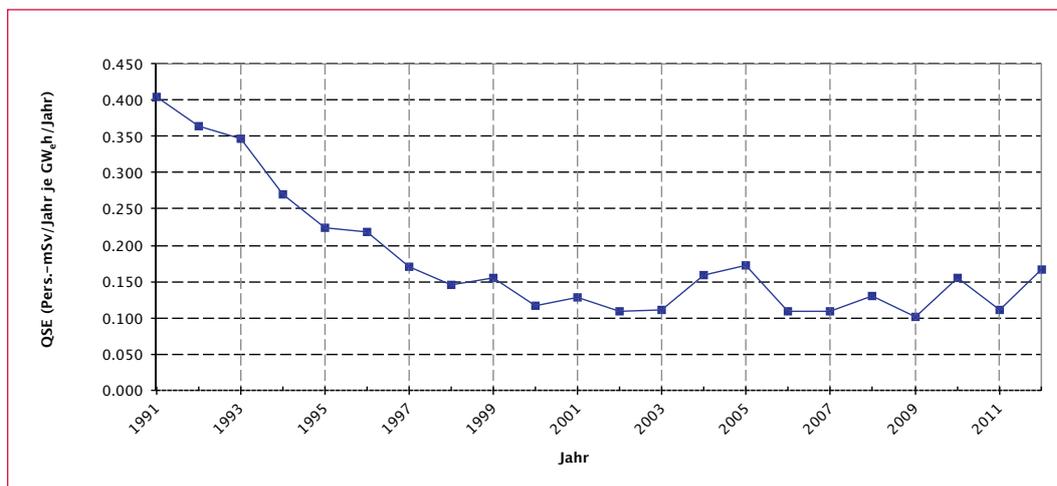


Verhältnis zwischen Dosisaufwand und Energieerzeugung

Kalenderjahr	Dosis [Pers.-mSv]	Energie [GWh]	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
2011	2'976	26'911.0	0.111
2012	4'267	25'567.1	0.167

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

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



Grafische Darstellung
der Daten aus
Tabelle A.22

Der Anstieg des QSE in den Jahren 2004 und 2005 wurde durch umfangreiche und dosisintensive Revisionsarbeiten im KKL und im KKG sowie durch die verlängerte Abstimmung der Anlage KKL im Jahr 2005 verursacht. Der Anstieg im Jahr 2010 ergibt sich aus den umfangreichen Arbeiten in beiden Blöcken des KKB und aus der langen Revision im KKL. Der Anstieg im Jahr 2012 leitet sich aus einer

Zwischenabstellung im KKB2 und einer auf 85 Tage verlängerten Revision im KKL ab.

Vergleich von TLD- oder DIS-Daten mit EPD-Daten

Die elektronischen Personendosimeter (EPD) liefern Messwerte, die von TLD- und DIS-Messwerten der behördlich anerkannten Personendosimetriestellen

abweichen können. Diese Abweichungen sind vom EPD-Typ sowie von den Eigenschaften des Strahlungsfeldes abhängig. Ausserdem führt die Rundung bei den anerkannten Dosimetern im niedrigsten Dosis-

bereich zu geringeren Kollektivdosen gegenüber den mit EPD ermittelten, die grundsätzlich nicht gerundet werden.

Tabelle A.23:
Zusammenstellung der mit EPD und der mit Dosimetern der anerkannten Personendosimetriestellen ermittelten Kollektivdosen für das Kalenderjahr 2012

Kernkraftwerk	TLD/DIS* [Pers.-mSv]		EPD* [Pers.-mSv]		Verhältnis TLD/DIS zu EPD*	
	EP	FP	EP	FP	EP und FP	
KKB 1 und 2**	EP	284	EP	264	EP	1.08
	FP	506	FP	469	FP	1.08
	Summe	790	Summe	733	EP und FP	1.08
KKG**	EP	172	EP	176	EP	0.97
	FP	322	FP	355	FP	0.91
	Summe	494	Summe	532	EP und FP	0.93
KKL***	EP	334	EP	377	EP	0.89
	FP	1792	FP	1849	FP	0.97
	Summe	2126	Summe	2226	EP und FP	0.96
KKM	EP	306	EP	378	EP	0.81
	FP	553	FP	697	FP	0.79
	Summe	859	Summe	1075	EP und FP	0.80

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, die mit den entsprechenden Verhältnissen aus dieser Tabelle umgerechneten 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.

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 oder grössere Reparaturen vorgenommen wurden, kann eine neuere Anlage eine höhere Jahreskollektivdosis aufweisen.

Der Quotient aus Dosis pro erzeugter elektrischer Energie QSE hat sich in den vergangenen Jahren aufgrund der erreichten Dosisreduktionen, der zeitlich verkürzten Stillstände und aufgrund der Leistungserhöhungen auf einem tiefen Wert eingependelt. Betrug der Wert im Jahr 1991 noch 0,404 Pers.-mSv pro GWh_(e), so erfolgt aktuell eine Stabilisierung zwischen 0,1 und 0,12 Pers.-mSv

pro GWh_(e), der im Jahr 2012 erreichte Wert liegt bei 0,167 Pers.-mSv pro GWh_(e).

Ähnlich verhält es sich mit den mittleren Individualdosen. Über die letzten Jahre konnten die mittleren Individualdosen deutlich gesenkt werden, während sich die Zahl der beruflich strahlenexponierten Personen über einige Jahre konstant verhielt und dann aber wieder steigende Tendenz zeigte. Im Jahr 2012 lag die Zahl der strahlenexponierten Personen mit 5736 gegenüber dem Vorjahr mit 5150 deutlich höher, während die Kollektivdosis einen geringeren Anstieg zeigte. Die mittlere Exposition des Eigen- und Fremdpersonals liegt im Jahr 2012 für alle Kernkraftwerke und das ZZL unter 0,7 mSv. Die maximalen Individualdosen, die von einigen Spezialisten an Arbeitsorten mit relativ hoher Ortsdosisleistung akkumuliert werden können, bieten eine stete Herausforderung für den operationellen Strahlenschutz. Im Berichtsjahr 2012 wurde der Jahresgrenzwert von 20 mSv für die Individualdosis des beruflich strahlenexponierten Personals im

Aufsichtsbereich des ENSI in allen Kernanlagen deutlich unterschritten, die höchste akkumulierte Individualdosis lag bei 13,3 mSv. Seit Inkrafttreten der neuen Strahlenschutzverordnung im Jahr 1994 gab es im Aufsichtsbereich des ENSI drei Grenzwertüberschreitungen, die aber in jedem Fall unter 50 mSv blieben.

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 können 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 Dosisleistungsmessgeräten mit Alarmierungsfunktionen und Fernablesung vermieden werden.

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 schnelleres Auf- und Rückbauen der Abschirmungen, Verfeinerungen beim Design und bei der Planung und ähnliche 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 im DWR wie auch im SWR* können zu einer Dosisreduktion beitragen. Durch das Einspeisen von Zink, dessen Isotop ^{64}Zn vorher abgereichert wurde (DZO: depleted zinc oxide), kann die Dosisleistungen an Komponenten des Primärkreislaufes reduziert wer-

den. Das Zink wird anstatt ^{60}Co in die Korrosionsschichten eingelagert.

Das Verfahren wird vom KKG seit Anfang 2005 mit Erfolg angewendet. Die Dosisleistung verringerte sich an ausgewählten Primärkomponenten im Jahr 2012 um durchschnittlich 48% gegenüber den Werten zu Beginn der Zinkdosierung. Die auf der Innenseite des RDB-Deckels gemessene Oberflächendosisleistung lag unter dem Bereich der Vorjahre. Diese Verringerungen der Oberflächendosisleistungen sind erfreulich und tragen zur Minimierung der Kollektiv- und Individualdosen bei.

Das KKB stützt sich zur Dosisreduktion 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 Kobaltisotope ^{60}Co und ^{58}Co können dadurch effizient aus dem Primärkreislauf entfernt werden.

Trotz dieser optimierten Abfahrchemie ist ein stetiger Anstieg der Dosisleistungen an den Closure Legs in Block 1 und 2 zu verzeichnen. Ursache ist eine zunehmende Ablagerung von ^{60}Co auf der inneren Oberfläche dieser Rohrleitungsabschnitte. Die mittlerweile recht hohen ODL-Werte an den Closure Legs in Block 1 machen es erforderlich zu handeln. Im Jahr 2011 wurde deshalb vom KKB die Fahrweise auf einen konstanten pH_{300} -Wert von 7,2 über den gesamten Zyklus umgestellt (Block 1: Juni 2011, Block 2: Oktober 2011), um die Korrosionsraten zu verringern. Bisher ist allerdings noch kein messbarer Effekt zu erkennen, so dass weitere Massnahmen in Ausarbeitung sind.

Im KKM wurde im Januar 2012 insgesamt 199 g Platin über zehn Tage lang kontinuierlich in das Primärwasser eingespeist. Während des Leistungsbetriebs erfolgte nahezu kontinuierlich die Zudosierung von Wasserstoff. In diesem Jahr betrug die mittlere Dosisleistung 1,71 mSv/h. Im Vergleich zu den beiden Vorjahren, bei denen dieser Wert bei 1,67 mSv/h lag, ist demzufolge ein Anstieg um 2,2% festzustellen. 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 zurückgeführt. Im Jahr 2004 lag die mittlere ODL an den Umwälzschleifen noch bei ca. 4 mSv/h. Der Einsatz der seit vielen Jahren im KKM verwendeten Funkdosimeter, z.B. bei der Reinigung der Reaktorgrube zur «Fernüberwachung» des Personals, hat sich wiederum zur Dosisminimierung bewährt.

Das KKL führte zu Beginn des Jahres zwei Miniapplikationen mit je 150 g Platin durch. Während nahezu des gesamten Zyklus wurde Wasserstoff in den Primärkreislauf zu dosiert. Der Mittelwert der an insgesamt 16 Messpunkten erfassten Dosisleistungen betrug 1,43 mSv/h. Dies ist gegenüber dem Vorjahr 2011 mit 2,43 mSv/h eine Reduktion um etwa 40%. Die ergriffene Gegenmassnahme, die Zinkkonzentration im Speisewasser zu erhöhen, hatte somit Erfolg.

Der Einsatz von Funkdosimetern bewährt sich zunehmend bei Arbeiten in wechselnden Strahlenfeldern. Mit diesen Geräten kann eine erhöhte Strahlenexposition einer Person vermieden werden, ohne dass sich der Strahlenschutz selbst ins Strahlenfeld begeben muss.

Zusammenfassend erwartet das ENSI für den Strahlenschutz, dass sich der sehr gute Zustand in den schweizerischen Kernkraftwerken halten und viel-

leicht sogar noch leicht verbessern wird. Für das Anlagenpersonal bedeutet dies eine weitere, wenn auch im Durchschnitt nur geringe Reduktion der überwiegend geringen 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 Absperren von Gebieten mit hoher Ortsdosisleistung, die Verwendung von Funkdosimetern, die Einführung der Zinkeinspeisung und der Einsatz von Messgeräten mit Anzeigen sowie Warneinrichtungen ausserhalb von Strahlenfeldern könnten möglicherweise in einigen Anlagen noch zu Verbesserungen beitragen.

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 2012 für die vier Schweizer Kernkraftwerke Beznau (KKB 1 und KKB 2), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) und Mühleberg (KKM) sowie für das Paul Scherrer Institut (PSI) und das am gleichen Standort gelegene Zentrale Zwischenlager Würenlingen (ZZL) deutlich unterhalb der Jahres- und Kurzzeit-Abgabelimiten. Die aus den tatsächlichen Abgaben und der Direktstrahlung aus der jeweiligen Anlage errechnete Strahlenexposition liegt selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren für Erwachsene, zehnjährige Kinder 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 Ortsdosisleistungs-Messsonden in einem Abstand von bis zu ca. 5 km um die Anlagen in Betrieb. Die Messwerte dieser MADUK-Sonden werden alle 10 Minuten in die ENSI-Zentrale übertragen und automatisch analysiert. Allfällige Abweichungen vom Schwankungsbereich der natürlichen Strahlung werden signalisiert und automatisch dem ENSI-Pikettingenieur gemeldet. Die im Berichtsjahr registrierten Nettodosisleistungserhöhungen bei MADUK-Sonden waren alle durch meteorologische Einflüsse wie z.B. Starkregen bedingt und hatten keinen Zusammenhang mit dem Betrieb der Werke.

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-, Wasserpflanzen- und Sedimentproben Spuren von künstlichen Radionukliden, wie ^{54}Mn , ^{58}Co und ^{60}Co , 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 2012 über «Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz» entnommen werden.

1.1 Emissionen aus den Kernanlagen

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser und der Abluft lagen im Jahr 2012 für die vier Schweizer Kernkraftwerke Beznau (KKB 1 und KKB 2), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) und Mühle-

berg (KKM) sowie für das Paul Scherrer Institut (PSI) und das am gleichen Standort gelegene Zentrale Zwischenlager Würenlingen (ZZL) deutlich unterhalb der Jahres- und Kurzzeit-Abgabelimite. Die aus den tatsächlichen Abgaben und der Direktstrahlung aus der jeweiligen Anlage errechnete Strahlenexposition liegt selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren für Erwachsene, 10-jährige Kinder und Kleinkinder weit unterhalb des für Standorte von Kernanlagen festgelegten quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr.

Die Abgaben von radioaktiven Stoffen mit der Abluft und dem Abwasser der schweizerischen Kernkraftwerke sind in der Figur 1 für die letzten fünf Jahre zusammen mit den entsprechenden Jahreslimiten dargestellt. Tabelle 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 2012. Die Abgaben des Paul Scherrer Instituts und die daraus in gleicher Weise berechneten Dosiswerte sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Eine nuklid-spezifische Aufschlüsselung der Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser ist in Tabelle 3a, mit der Abluft in den Tabellen 3b und 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 Abgaberegimente 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 weniger als 0,001 mSv, beim KKB etwa 0,002 mSv, beim KKM etwa 0,004 mSv und beim KKL ungefähr 0,005 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung betragen somit im Jahr 2012 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 radioak-

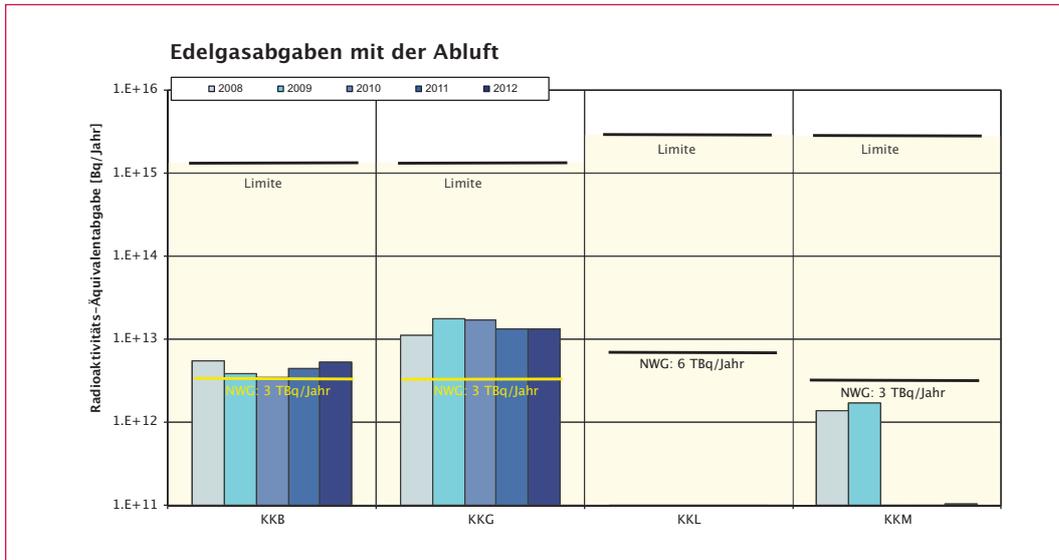
tive Kohlenstoffisotop ^{14}C entsteht im Reaktor durch Kernreaktionen von Neutronen mit Stickstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff. Die ^{14}C -Abgaben der Kernkraftwerke sind systembedingt begrenzt, weil die Abgaberate primär von der Reaktorleistung abhängig ist. Die Kernkraftwerke haben in den letzten 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 2012 die ^{14}C - und die ^3H -Messungen auch nach Abschluss der geforderten einjährigen Messperiode auf freiwilliger Basis fort. Der Dosisbeitrag von ^{14}C wurde aus den Messwerten ermittelt.

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 0,007 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.

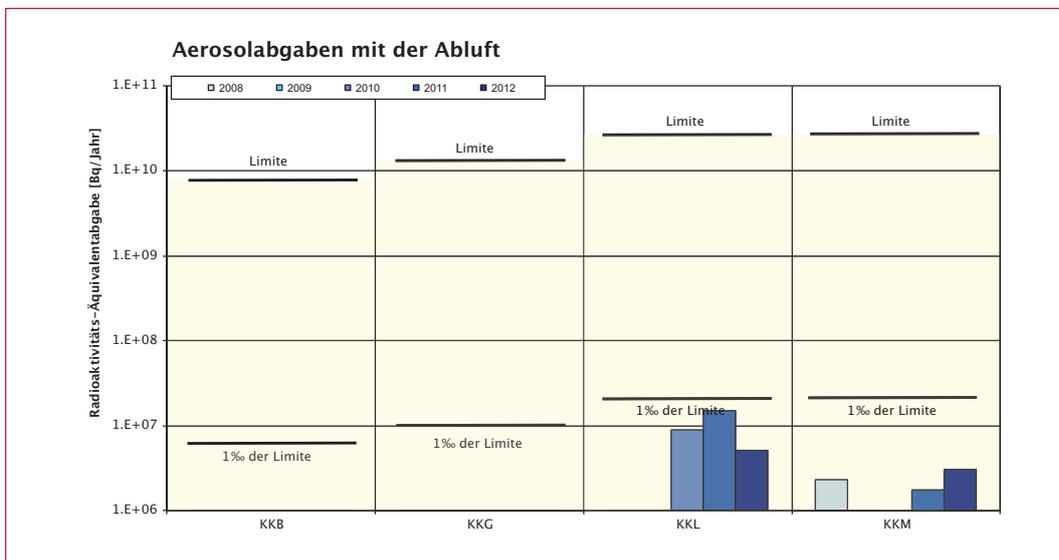
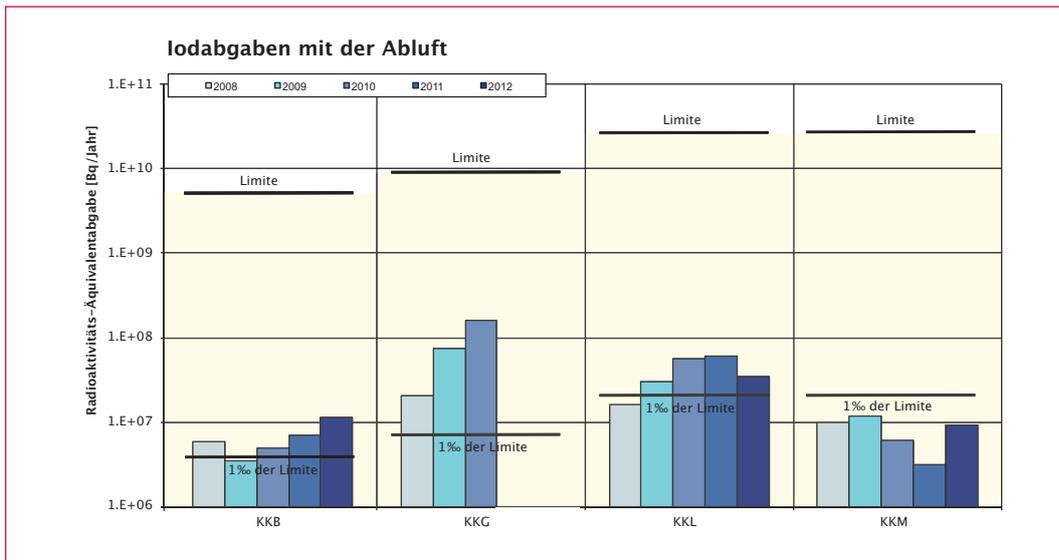
Im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) erfolgten im Berichtsjahr weitere Einlagerungen in die Lagergebäude für hoch- und mittelaktive Abfälle und im Hochregallager der Konditionieran-

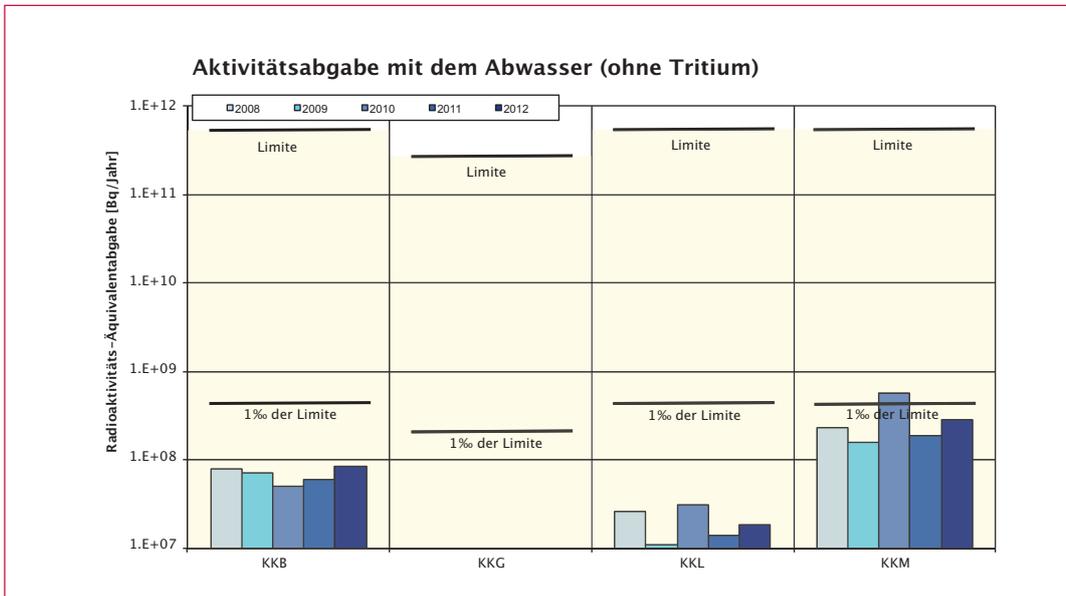
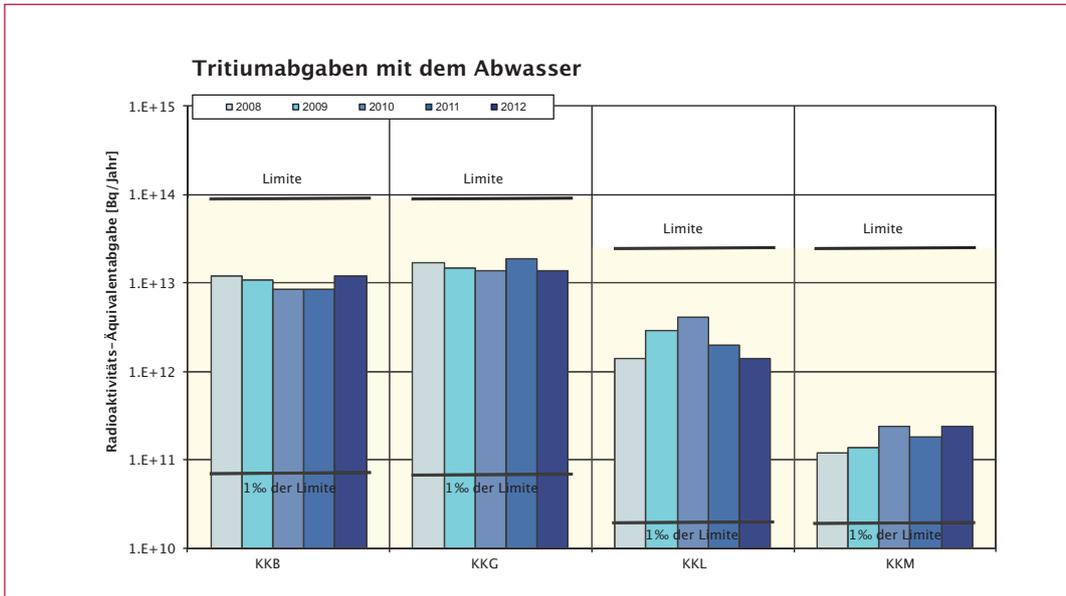
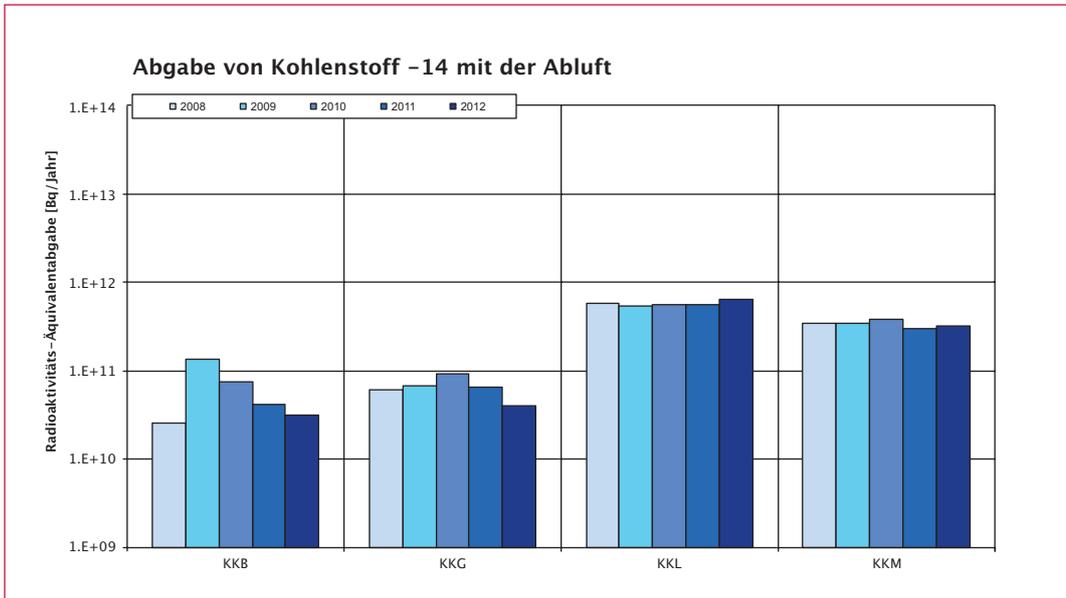
lage. In der Plasma-Anlage fanden wiederum eine Frühjahres- und eine Herbstverbrennungskampagne statt. Die für das Jahr 2012 bilanzierten Abgaben des ZZL sind in den Tabellen 1 und 3a bis 3c zu-

sammengestellt. Die aufgrund der Abgaben unter ungünstigen Annahmen berechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Umgebungsbevölkerung lag unterhalb von 0,001 mSv.



Darstellung B.1:
 Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre in den letzten fünf Jahren (2008 bis 2012) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten





Erläuterungen zur Darstellung B.1

Edelgas- resp. Iodabgaben

Edelgasabgaben unterhalb der eingezeichneten Jahres-Nachweisgrenzen (NWG) der bilanzierenden Messung resp. Iodabgaben unterhalb von 1 Promille der Jahresabgabelimite geben die Summe aller mittels Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben an. Die tatsächlich abgegebenen jährlichen Totalabgaben können in diesem Fall oberhalb der dargestellten Werte liegen, sind aber radiologisch gesehen nicht relevant. Die Edelgasbilanzierung im KKB und im KKG basieren auf Beta-Totalmessungen. Für die Umrechnung in die für den Vergleich mit den Abgabelimite notwendigen Edelgas-Abgabeäquivalente wurde in diesen Fällen ein konservatives Nuklidgemisch angesetzt. Das KKL und das KKM bilanzieren die Edelgase dagegen nuklidspezifisch mittels Gamma-Spektrometriemessungen.

Aerosol- resp. ^{14}C -Abgaben

Aerosolabgaben unterhalb von 1 Promille der Jahres-Abgabelimite geben die Summe aller mittels Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben an. Die tatsächlich abgegebenen jährlichen Aerosolabgaben können in diesem Fall oberhalb der dargestellten Werte liegen, sind aber radiologisch gesehen nicht relevant. Für ^{14}C besteht keine Abgabelimite.

Aktivitätsabgabe mit dem Abwasser (ohne Tritium)

Abgabewerte unterhalb von 1 Promille der Jahres-Abgabelimite geben die Summe aller mittels Einzelmessungen nachgewiesenen Aktivitätsabgaben an. Die tatsächlich abgegebenen jährlichen flüssigen Abgaben können in diesem Fall oberhalb der dargestellten Werte liegen, sind aber radiologisch gesehen nicht relevant.

Tabelle B.1:
Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2012 für die Kernkraftwerke und das Zentrale Zwischenlager Würenlingen und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung

Ort	Medium	Art der Abgaben ¹	Bilanzierte Abgaben ²				Berechnete Jahresdosis ³		
			Messung	Normiert ^{1,2}	Limiten ⁴		Erw. mSv/Jahr	10j Kind mSv/Jahr	1j Kind mSv/Jahr
			Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Prozent der Limite			
KKB1 + KKB2	Abwasser 4'400 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	4,3·10 ⁸	-	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,2·10 ¹³	1,2·10 ¹³	7·10 ¹³	17%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	6,2·10 ¹²	5,3·10 ¹²	1·10 ¹⁵	0,5%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	3,9·10 ⁵	-	6·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	5,1·10 ⁶	1,2·10 ⁷	4·10 ⁹	0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,2·10 ¹⁰	-	-	-	<0,001	<0,001	0,0015
	Dosis total						<0,001	0,001	0,0016
KKG	Abwasser 7'272 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,1·10 ⁷	-	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,4·10 ¹³	1,4·10 ¹³	7·10 ¹³	20%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	<1,2·10 ¹³	<1,4·10 ¹³	1·10 ¹⁵	<1,4%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	2,6·10 ³	-	1·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	7,9·10 ⁵	-	7·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	4,1·10 ¹⁰	-	-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total						<0,001	<0,001	<0,001
KKL	Abwasser 15'487 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,3·10 ⁸	-	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,4·10 ¹²	1,4·10 ¹²	2·10 ¹³	7%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	1,3·10 ¹¹	-	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	5,1·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	3,5·10 ⁷	3,5·10 ⁷	2·10 ¹⁰	0,2%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	6,4·10 ¹¹	-	-	-	0,0024	0,0032	0,0054
	Dosis total						0,0024	0,0032	0,0054
KKM	Abwasser 4'332 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	3,0·10 ⁹	-	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	2,4·10 ¹¹	2,4·10 ¹¹	2·10 ¹³	0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	9,3·10 ¹⁰	-	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	3,1·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0,1%	0,0028	0,0027	0,0026
		Iod: ¹³¹ I	9,4·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,2·10 ¹¹	-	-	-	<0,001	0,001	0,0017
	Dosis total						0,0036	0,0037	0,0043
ZZL	Abwasser 526 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,9·10 ⁸	-	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	3,1·10 ⁷	-	-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	β/γ-Aerosole	3,4·10 ⁴	-	1·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		α-Aerosole	1,3·10 ⁴	-	3·10 ⁷	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	4,5·10 ⁸	-	1·10 ¹²	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	8,8·10 ⁹	-	1·10 ¹⁴	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total						<0,001	<0,001	<0,001

	PSI Ost				
	Hochkamin	Saphir, Proteus	Forschungs-labor	Betriebs-Gebäude radioaktive Abfälle	Bundes-zwischen-lager
Abgaben im Abwasser ^{1,2} [Bq/a]					
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	-	-	-
Tritium	-	-	-	-	-
Abgaben über die Abluft ^{1,2} [Bq/a]					
Edelgase und andere Gase	2,8·10 ¹¹	-	-	-	-
β/γ-Aerosole, ohne Iod	2,7·10 ⁸	-	2,0·10 ⁵	-	3,0·10 ⁵
α-Aerosole	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	2,0·10 ⁸	-	-	-	5,9·10 ³
Tritium als HTO	1,2·10 ¹⁰	1,2·10 ⁶	-	6,1·10 ⁹	1,4·10 ¹⁰
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	-	-	-	-	-
Jahresdosis ³ [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 Dosisrichtwert ⁴	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%

Tabelle B.2:
Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2012 und der daraus berechneten Dosen für Einzelpersonen der Bevölkerung

	PSI West			Gesamtanlage des PSI ^{1,2}		
	Zentrale Fortluftanlagen	Injektor II	C-Labor	Abwasser 1583m ³	Abluft	Aequivalent-abgaben
Abgaben im Abwasser ^{1,2} [Bq/a]						
Nuklidgemisch ohne Tritium				3,1·10 ⁷	-	3,8·10 ⁶
Tritium				1,2·10 ¹⁰	-	
Abgaben über die Abluft ^{1,2} [Bq/a]						
Edelgase und andere Gase	2,0·10 ¹⁴	7,5·10 ⁹	-	-	2,0·10 ¹⁴	4,3·10 ¹⁴
β/γ-Aerosole, ohne Iod	2,5·10 ¹⁰	3,5·10 ⁶	-	-	2,5·10 ¹⁰	-
α-Aerosole	-	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	5,5·10 ⁷	-	-	-	1,1·10 ⁸	1,5·10 ⁸
Tritium als HTO	1,1·10 ¹²	-	-	-	1,2·10 ¹²	-
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	-	-	-	-	-	-
Jahresdosis ³ [mSv/Jahr] für:						
Erwachsene	0,0065	<0,00015	<0,00015	<0,00015		<0,007
Kind 10j	0,0067	<0,00015	<0,00015	<0,00015		<0,007
Kleinkinder	0,0066	<0,00015	<0,00015	<0,00015		<0,007
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert ⁴	4,4%	<0,1%	<0,1%	<0,1%		<5,0%

Tabelle B.3a:
 Flüssige Abgaben der
 Kernanlagen an die
 Aare oder den Rhein,
 2012: Summe der bei
 Einzelmessungen der
 Betreiber nachgewiese-
 nen Aktivitätsabgaben

Nuklid	Angaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
β/γ-Strahler						
³ H	1,2·10 ¹³	1,4·10 ¹³	1,4·10 ¹²	2,4·10 ¹¹	1,2·10 ¹⁰	3,1·10 ¹⁰
⁷ Be					4,2·10 ⁶	
²² Na					1,5·10 ⁵	6,4·10 ⁵
²⁴ Na	4,1·10 ⁶					
⁴⁴ Sc					1,7·10 ⁴	
⁴⁴ Ti					1,7·10 ⁴	
⁵¹ Cr			7,3·10 ⁶	7,6·10 ⁸		
⁵⁴ Mn	2,3·10 ⁶		8,7·10 ⁶	5,1·10 ⁸	2,1·10 ⁵	1,9·10 ³
⁵⁷ Co					1,4·10 ⁴	
⁵⁸ Co	1,4·10 ⁷		2,7·10 ⁶	3,5·10 ⁸		
⁵⁹ Fe				1,7·10 ⁷		
⁶⁰ Co	3,4·10 ⁷	1,0·10 ⁶	8,2·10 ⁷	1,3·10 ⁹	5,5·10 ⁵	1,5·10 ⁶
⁶⁵ Zn			2,7·10 ⁷	5,7·10 ⁷	2,6·10 ⁴	
⁶⁷ Ga					2,8·10 ⁵	
⁸⁸ Zr					2,5·10 ⁵	
⁸⁸ Y					6,3·10 ⁴	
⁸⁹ Sr	1,7·10 ⁶	1,4·10 ⁶		9,1·10 ⁴		
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	4,7·10 ⁵			6,1·10 ⁵	3,5·10 ⁵	
⁹⁵ Nb	2,0·10 ⁴			1,5·10 ⁶		
⁹⁷ Zr	3,1·10 ⁵					
⁹⁹ Mo	1,2·10 ⁵					
^{99m} Tc	3,4·10 ⁵	7,9·10 ⁵		4,2·10 ⁵		
¹⁰³ Ru						
¹⁰⁶ Ru						6,8·10 ⁵
^{110m} Ag	7,4·10 ⁶			4,5·10 ⁵	1,1·10 ⁴	
¹¹¹ In					2,6·10 ⁴	
¹²² Sb	2,9·10 ⁶					
¹²⁴ Sb	4,5·10 ⁷			1,0·10 ⁷		1,1·10 ⁴
¹²⁵ Sb	1,7·10 ⁷					1,6·10 ⁵
^{123m} Te	1,9·10 ⁷	9,8·10 ⁵				
¹³² Te	2,6·10 ⁶	1,4·10 ⁶				
¹²⁵ I					3,3·10 ⁶	
¹³¹ I	2,0·10 ⁷				5,9·10 ⁵	
¹³³ I	4,2·10 ⁶	1,1·10 ⁵				
¹³⁴ Cs	9,2·10 ⁶	1,2·10 ⁶			2,5·10 ⁵	5,1·10 ⁶
¹³⁷ Cs	2,4·10 ⁸	3,2·10 ⁶		1,1·10 ⁷	6,3·10 ⁶	1,8·10 ⁸
¹⁴⁰ Ba		1,0·10 ⁶				
¹⁶¹ Tb					6,1·10 ⁵	
¹⁷² Lu					1,8·10 ⁴	
¹⁷⁷ Lu					1,3·10 ⁷	
¹⁸⁵ Os					8,8·10 ³	
¹⁹⁵ Au					3,1·10 ⁵	
²⁰⁷ Bi					6,4·10 ³	
²⁰⁸ Po					1,3·10 ⁴	
²³⁹ Np	9,5·10 ⁴					
α-Strahler	*	1,3·10 ⁵	3,2·10 ⁵	5,3·10 ⁴		*
^{234/238} U					1,3·10 ⁵	
^{239/240} Pu	2,6·10 ³				7,4·10 ³	1,0·10 ³
²³⁸ Pu/ ²⁴¹ Am	6,7·10 ⁴				4,8·10 ³	1,9·10 ³
²⁴² Cm	4,1·10 ³					4,7·10 ²
^{243/244} Cm	9,1·10 ³					1,9·10 ²

* Angabe umfasst für das KKB und ZZL das 4. Quartal 2011 bis und mit dem 3. Quartal 2012

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

Tabelle B.3b:
Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Edelgase und Iod 2012: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben

Tabelle B.3c:
 Abgaben mit der
 Abluft, Aerosole 2012:
 Summe der bei Einzel-
 messungen der Betrei-
 ber nachgewiesenen
 Aktivitätsabgaben

Nuklid	Angaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
β/γ-Aerosole						
⁷ Be						
²⁴ Na					8,4·10 ⁵	
³⁸ S					1,2·10 ⁹	
³⁹ Cl					5,9·10 ⁹	
⁵⁴ Mn			5,9·10 ⁵	2,5·10 ⁵		
⁵⁸ Co				6,5·10 ⁵		
⁶⁰ Co			2,3·10 ⁶	1,6·10 ⁶	1,3·10 ⁶	1,8·10 ³
⁶⁵ Zn			3,7·10 ⁵	1,3·10 ⁵		
⁷⁷ Br					3,4·10 ⁶	
^{80m} Br					2,9·10 ⁹	
⁸² Br					5,7·10 ⁸	
⁸⁹ Sr		1,7·10 ³	1,3·10 ⁵			
^{99m} Tc					2,7·10 ⁸	
¹³¹ I (Aerosol)			1,4·10 ⁶	3,0·10 ⁴		
¹³⁷ Cs				5,2·10 ⁴		3,2·10 ⁴
¹⁴⁰ Ba			2,3·10 ⁵	3,7·10 ⁵		
¹⁴⁰ La			3,6·10 ⁴			
¹⁸¹ Re					7,6·10 ⁷	
^{182m} Re					2,2·10 ⁸	
¹⁸³ Re					1,5·10 ⁷	
¹⁸³ Os					2,5·10 ⁸	
^{183m} Os					6,5·10 ⁸	
¹⁸⁵ Os					4,0·10 ⁷	
¹⁸⁵ W					4,1·10 ⁹	
¹⁹¹ Pt					1,1·10 ⁶	
¹⁹² Au					1,2·10 ⁹	
¹⁹³ Au					3,3·10 ⁶	
¹⁹⁴ Au					1,6·10 ⁶	
¹⁹² Hg					7,1·10 ⁸	
^{193m} Hg					2,4·10 ⁸	
¹⁹⁴ Hg					1,6·10 ⁶	
¹⁹⁵ Hg					1,4·10 ¹⁰	
^{195m} Hg					1,0·10 ⁸	
^{197m} Hg					1,2·10 ⁸	
²⁰³ Hg					6,3·10 ⁶	
Nicht spezifizierte	3,9·10 ⁵					
α-Aerosole	4,8·10 ³	1,4·10 ³	9,9·10 ³	7,1·10 ⁴		1,3·10 ⁴

Fussnoten zu den Tabellen B.1 bis B.3

- 1 Bei der **Art der Abgaben** resp. den **Bilanzierten 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 der Spalte «Messung» 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 der Spalte «Messung» 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 normierte Abgabe aufgeführt.

Aerosole: Hier ist in jedem Fall die Summe der Radioaktivität ohne Normierung auf einen Referenzwert angegeben.

Der Dosisbeitrag von Aerosolen mit Halbwertszeiten kleiner 8 Tagen ist bei den Kernkraftwerken vernachlässigbar.

Beim KKM ergibt sich der Hauptbeitrag zur Dosis durch die Strahlung der abgelagerten Aerosole, die im Jahre 1986 durch eine unkontrollierte Abgabe in die Umgebung gelangten. Der Dosisbeitrag der Aerosole, welche im Berichtsjahr abgegeben wurden, ist demgegenüber vernachlässigbar und liegt in der Grössenordnung der anderen schweizerischen Kernkraftwerke.

Iod: Bei den Kernkraftwerken ist die Abgabe von ¹³¹I limitiert; somit ist bei den bilanzierten Abgaben nur dieses Iod-Isotop angegeben.

Beim PSI, bei dem andere Iod-Isotope nachgewiesen werden, ist die Abgabe für die einzelnen Abgabestellen und die Gesamtanlage als Summe der Aktivität der gemessenen Iod-Nuklide angegeben. Für die Gesamtanlage wird zudem auch ein ¹³¹Iod-Äquivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben, wobei sich der Gewichtsfaktor 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 ¹³¹I berücksichtigt.

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

- 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 und werden in der Spalte «Normiert» nicht ausgewiesen (-). Abgaben kleiner tausend Bq werden in der Tabelle B3 nicht aufgeführt.

- 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 **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.

1.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung am Perimeter 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 8.3), 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 gemessenen Maximalwerte lagen allesamt unter den Immissionsgrenzwerten 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.

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. Desweitern können Abfalllager zu einer erhöhten Ortsdosis am Zaun beitragen.

Am Zaun des KKM wurden bei stichprobenweise vierteljährlich vom ENSI durchgeführten Messungen Dosisleistungen zwischen etwa $0,07 \mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und $0,30 \mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Auf ein Jahr hochgerechnet würde basierend auf diesen Momentanwerten am meist exponierten Ort eine Dosiserhöhung von ca. $2,0 \text{ mSv}$ (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 $0,9 \text{ mSv}$.

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 $0,6 \text{ mSv}$. 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 2012 betrug der höchste, mit einem Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun des PSI ermittelte Wert beim Areal Ost 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 resp EDIS 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 (**M**essnetz zur **a**utomatischen **D**osisleistungsüberwachung in der **U**mgebung der **K**ernkraftwerke) inklusive der Einrichtungen zur Übernahme von **A**nlageparametern (ANPA) und Kaminemissionswerten aus den Kernkraftwerken wurde im Laufe des Jahres 1993 aufgebaut und ab Frühling 1994 in den operationellen Betrieb überführt. Da das System die Dosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke ganzjährig rund um die Uhr misst und überwacht, dient es der Beweissicherung für die Behörden und gegenüber der Öffentlichkeit. Ebenso ermöglicht es das Erkennen von Betriebsstörungen und Unfällen, da Erhöhungen gegenüber den natürlichen Dosiswerten im ENSI automatisch angezeigt werden. Bei einem Störfall unterstützt MADUK die Notfallorganisation bei der Bestimmung des betroffenen Gebietes und bei der Einschätzung der möglichen Massnahmen. Zudem trägt MADUK mit einem schnellen Datenaustausch zur erfolgreichen Zusammenarbeit mit den involvierten Behörden bei.

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 externen und internen Partnern: Nationale Alarmzentrale (NAZ) in Zürich, Kernreaktorfernüberwachung Baden-Württemberg sowie die Systeme ADAM und ADPIC im ENSI. Die Darstellung B.2 zeigt die Standorte der Messsonden in der Umgebung der Kernkraftwerke.

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

2.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung

Im Jahre 2012 wurde die Erneuerung der MADUK-Zentrale weitergeführt. Bis Ende Jahr konnten sämtliche zentrale Softwaredienste implementiert und in den Testbetrieb überführt werden.

Die Software auf den Datenloggern der MADUK-Stationen wurde durch eine neue Version ersetzt, so dass nun die Funktionsprüfung auch ohne Zugang zum Messkasten remote gestartet und gestoppt werden kann. Das Softwaretool für die Remotebedienung wurde intern erstellt und erfolgreich getestet. Die Funktionsprüfung im 2. Halbjahr konnte auf diese Weise weiter optimiert werden.

2.3 Systemverfügbarkeit und Störungen

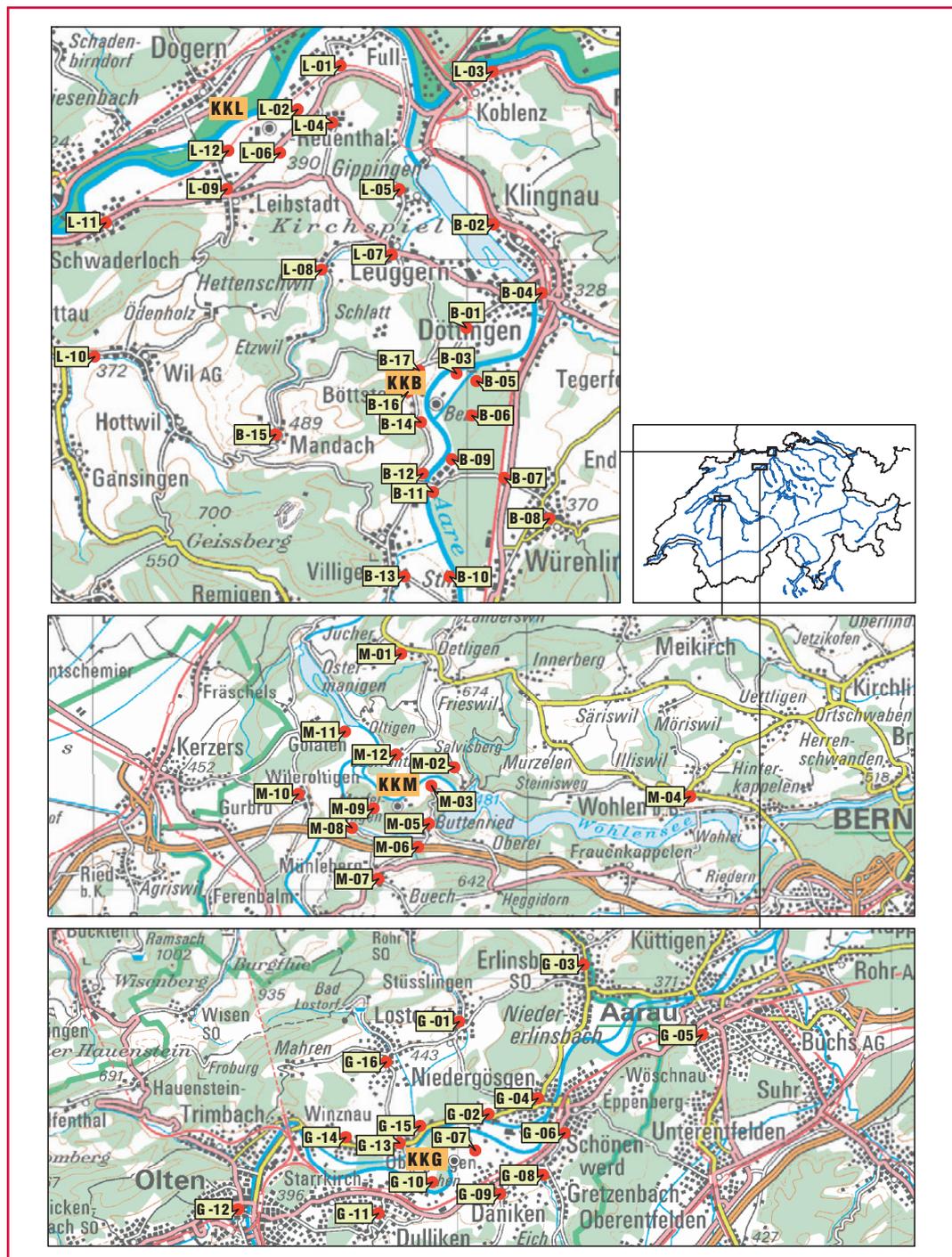
Die Systemverfügbarkeit ist bei MADUK von besonderer Bedeutung, da das System eine kontinuierliche Überwachung gewährleisten muss, die auch von der Öffentlichkeit wahrgenommen werden soll. Mit der Kenngrösse «Systemverfügbarkeit» wird die Einsatztauglichkeit des Gesamtsystems MADUK beurteilt: Systemstörungen, die zu wesentlichen

Nutzungseinschränkungen des Systems geführt haben, werden als Ausfallzeit in Stunden erfasst. Die permanente Übertragung der Anlageparameter erreichte insgesamt wiederum eine sehr hohe Verfügbarkeit. Bei KKB, KKG und KKL fiel bei der Zeitumstellung von Sommer- auf Winterzeit die Datenübertragung während einer Stunde aus. Bei KKB fiel im zweiten Quartal aufgrund von Arbeiten während des Revisionsstillstands die Datenübertragung während 4,3 Stunden aus. Bei KKG kam es im ersten Quartal aufgrund von geplanten Arbeiten an der Übertra-

gungsleitung zu einem Unterbruch von 5 Stunden. Ein weiterer Unterbruch dauert 2,75 Stunden. Während des Revisionsstillstands kam es zu einem Unterbruch der Datenübertragung von 15,8 Stunden. Bei KKM führten angekündigte Änderungsarbeiten bei der Stromversorgung der Erfassungsrechner im Werk zu einem kurzen Unterbruch von 0,25 Stunden. Die Tabelle B.4 gibt eine Übersicht über die Störungen an den Messstationen mit Störungsdauer, permanentem Datenverlust und Ursache der Störung.

MADUK-Sondenstandorte

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



Station	Störungsdauer [h]	Permanenter Datenverlust [h]	Ursache
B-11	69.0	-	Bauarbeiten am Stationsstandort
G-06, L-05, M-05	1.0	-	Kommunikationsausfall
B-05, L-10	2.0	-	Kommunikationsausfall
M-07	4.0	-	Kommunikationsausfall
B-02, B-04, B-17, L-05, L-07	1.3	-	Kommunikationsausfall
L-01	4.2	-	Kommunikationsausfall
B-10	25.0	-	Routerausfall
B-08	6.2	6.2	Datenlogger blockiert
B-11	8.0	8.0	Datenlogger blockiert
M-01	29.0	-	Defekte Messsonde
G-02, G-05	3.0	-	Kommunikationsausfall
L-01	20.5	20.5	Defekte Messsonde
B-12	61.0	61.0	Defekte Messsonde
L-03	74.8	-	Routerausfall
G-10	8.2	-	Routerausfall
M-01	2.1	-	Ungültige Messwerte aufgrund Plausibilitätstests
L-12	12.3	12.3	Datenlogger blockiert
L-01	21.0	21.0	Defekte Messsonde
M-04	87.5	87.5	Kommunikationsausfall und Datenlogger blockiert
G-03	13.8	13.8	Stationskasten musste versetzt werden
L-03	28.5	-	Routerausfall
G-13, G-14	7.1	7.1	Blockierte Datenlogger nach Softwareupdate
L-06, L-12	24.0	-	Routerausfall
B-08	80.8	-	Defektes Hochdosiszählrohr
L-07	3.25	-	Routerausfall

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

Die Stationselektronik lief auch im Jahr 2012 grösstenteils zuverlässig. Mehrere Datenlogger zeigten Probleme bei der Aufzeichnung der Daten, welche jeweils zu einem permanenten Datenverlust führten. Bei zwei Stationen trat der Fehler beim Aufspielen eines Software-Updates auf. Bei der Station L-01 wurde innerhalb kurzer Zeit die Messsonde zwei Mal beim Rasenmähen beschädigt. Die defekten Messsonden wurden repariert und anschliessend einer Funktionsprüfung unterzogen.

Probleme beim zentralen Datenbanksystem führten sieben Mal zu einem Ausfall des Zentralsystems mit einer gesamten Ausfallzeit von 7 Stunden. Trotz intensiver Suche konnte die Ursache für die Probleme nicht gefunden werden.

Im Berichtsjahr lag die gemäss Managementhandbuch des ENSI bestimmte Systemverfügbarkeit bei 99,8% (Verfügbarkeit der ANPA- und EMI-Daten eingerechnet). Die Verfügbarkeit der Dosisleistungsdaten aller MADUK-Stationen im Archiv betrug 99,95%.

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 Umgebungs-dosimetriesystemen» 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 2012 wurde im ersten Halbjahr in Absprache mit der Eichstelle eine Eichung der Sonden im Feld durchgeführt. Es konnten alle Sonden erfolgreich geeicht werden. Im zweiten Halbjahr erfolgte eine Funktionsprüfung. Bei sechs Sonden bestand eines der beiden Niederdosiszählrohre die Funktionsprüfung nicht. Die übrigen Sonden funktionierten einwandfrei. Die Archivierung der Messdaten funktionierte ebenfalls einwandfrei.

Im Managementhandbuch ist für den Fall einer nicht bestandenen Funktionsprüfung eine Reparatur der Sonde beim Hersteller vorgesehen. Die Nachfrage beim Hersteller ergab, dass in diesem Fall beim Bestehen der Eichkriterien, ohne einen Eingriff an der Hardware, nur neue Referenzwerte angelegt werden. Bei einer genaueren Analyse der Daten aus den Funktionsprüfungen der letzten drei Jahre zeigte sich ein allgemeiner Trend hin zu höheren Empfindlichkeiten bei den Niederdosiszählrohren. Sollte sich dieser Trend fortsetzen, sind die Häufungen nicht bestandener Funktionsprüfungen absehbar. Als Massnahme wird zusammen mit dem Hersteller abgeklärt, wie in Zukunft die Funktionsprüfung angewandt wird und was dieser allgemeine Trend für weitere Massnahmen nach sich zieht. Bis zur Entscheidung über das weitere Vorgehen bleiben die sechs Sonden im Einsatz, da die Eichung erst ein halbes Jahr zurückliegt und die Eichkriterien auch aufgrund der Resultate der Funktionsprüfung immer noch eingehalten werden.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme werden Messungen mittels in-situ-Gammaspektrometrie im Feld durchgeführt. 2012 wurden Messungen bei den Sonden der Messringe Beznau und Mühleberg durchgeführt. Die Messwerte lagen im

Bereich der früheren Jahre. Bei der Station M-03 lagen die ODL-Ergebnisse der Reuter-Stokes-Ionisationskammer deutlich unterhalb der Ergebnisse der in-situ-Gammaspektrometrie und der MADUK-Station. Bei den übrigen Stationen stimmten die Ergebnisse wie in den früheren Jahren gut überein. Die Ursache für die Abweichung konnte bisher nicht geklärt werden.

2.5 Messergebnisse

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

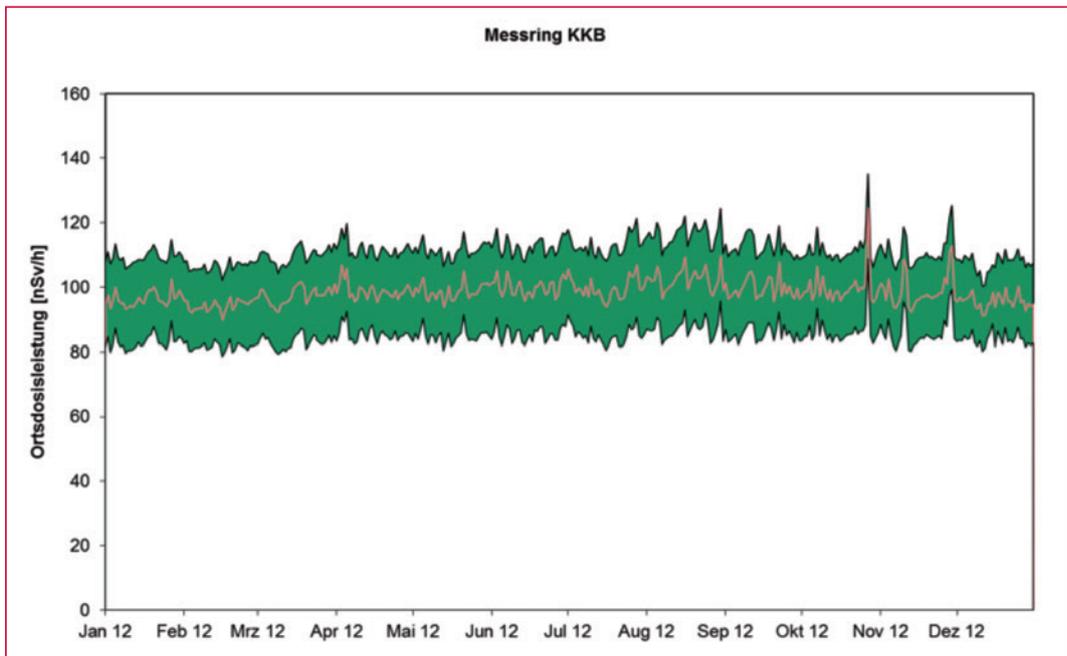
Die jährliche Überprüfungskampagne der NADAM-Sonden an den Standorten, an denen auch eine MADUK-Station in Betrieb ist, führte 2012 bei keiner MADUK-Sonde zu wesentlichen Erhöhungen der Messwerte.

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

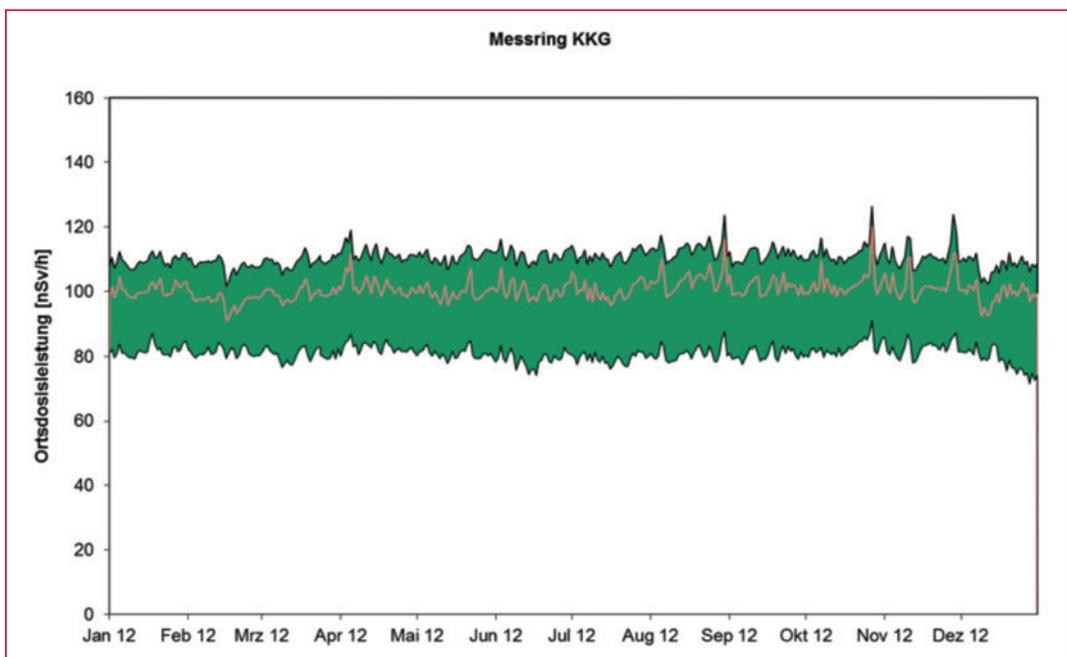
Die Darstellungen B.3 und B.4 zeigen die Maxima, die Minima und die Mediane der Tagesmittelwerte der jeweiligen Messringe im Berichtsjahr in den Umgebungen der Kernkraftwerke. Am 27. Oktober sind in allen Messringen markante maximale Tagesmittelwerte zu erkennen. Betrachtet man die entsprechenden 10-Minuten-Daten für die verschiedenen Messringe, zeigt sich für die Stationen bei KKB, KKL und KKM ein fast identischer Verlauf (Darstellung B.5). Bei den Stationen um KKG fielen die Messwerte weniger hoch aus. Der Beginn der Erhöhungen mit Einsetzen des Niederschlags und das für Radonfolgeprodukte typische Abklingverhalten deuten klar auf Washout natürlicher Radionuklide hin. Der maximale Niederschlag betrug 0.9 mm in 10 Minuten.

Tabelle B.5:
Auflistung der Nettodosisleistungsschwellwertüberschreitungen im Jahr 2012.

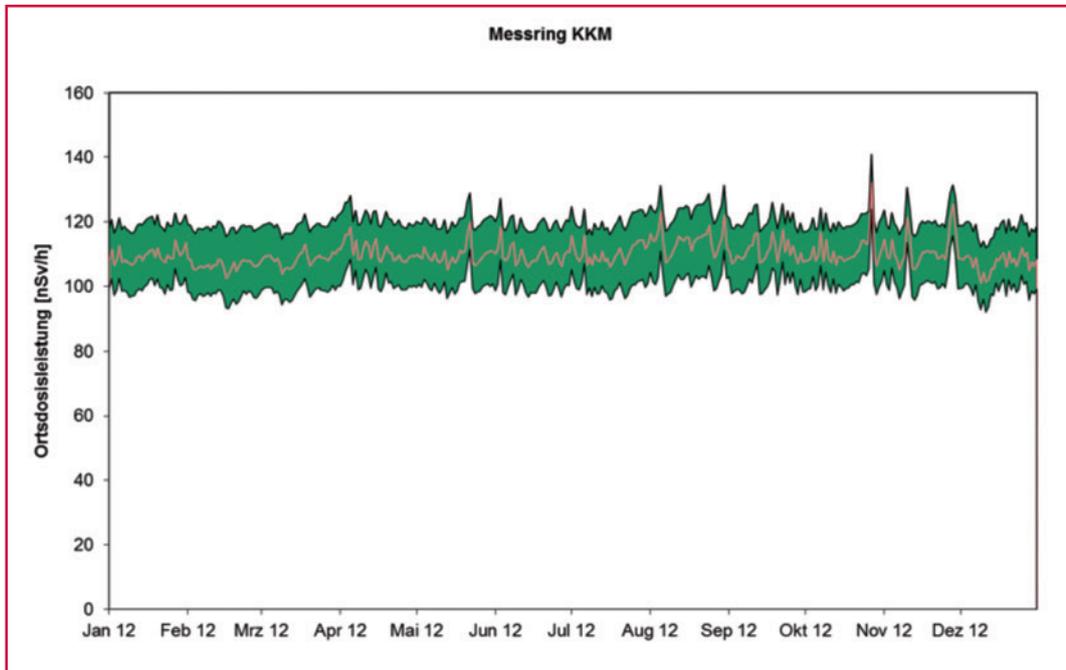
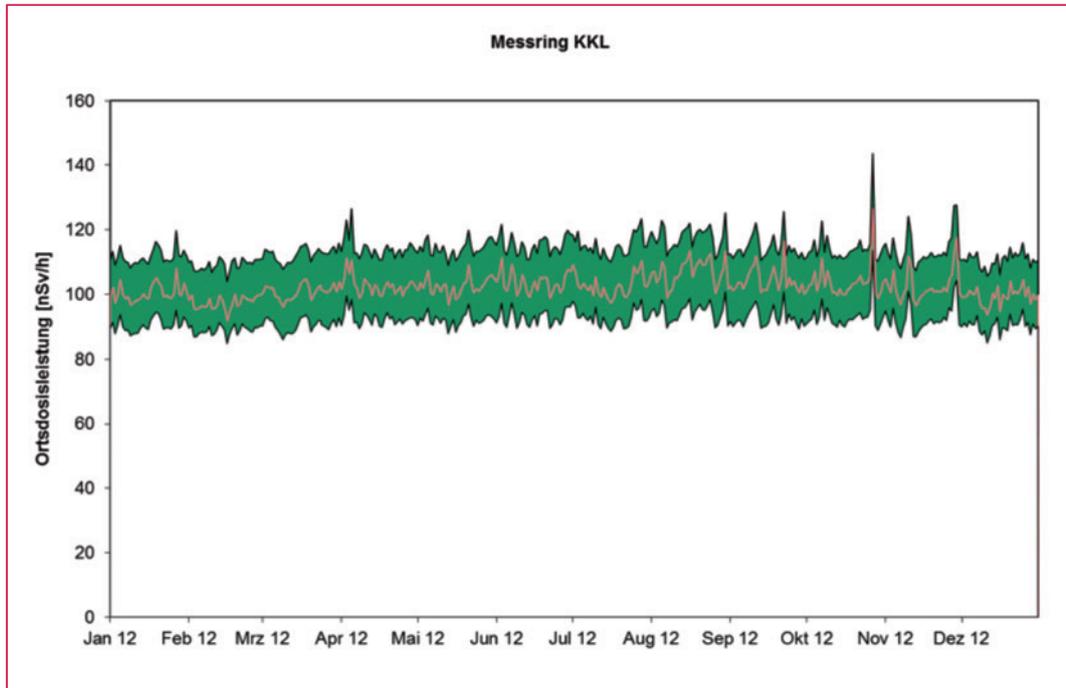
Datum	Station	Dauer [h]	Max. NDl [nSv/h]	Max. ODL [nSv/h]
27. Jan. 14:00	L-02	1.8	75	197
30. Jan. 18:20	L-02	0.7	58	166
30. Jan. 23:10	L-12	0.8	61	164
06. Apr. 07:40	L-12	2.5	70	170
06. Apr. 10:10	L-12	1.5	102	206
03. Jul. 07:20	L-04	0.8	62	178
03. Jul. 11:40	L-04	1.7	108	216



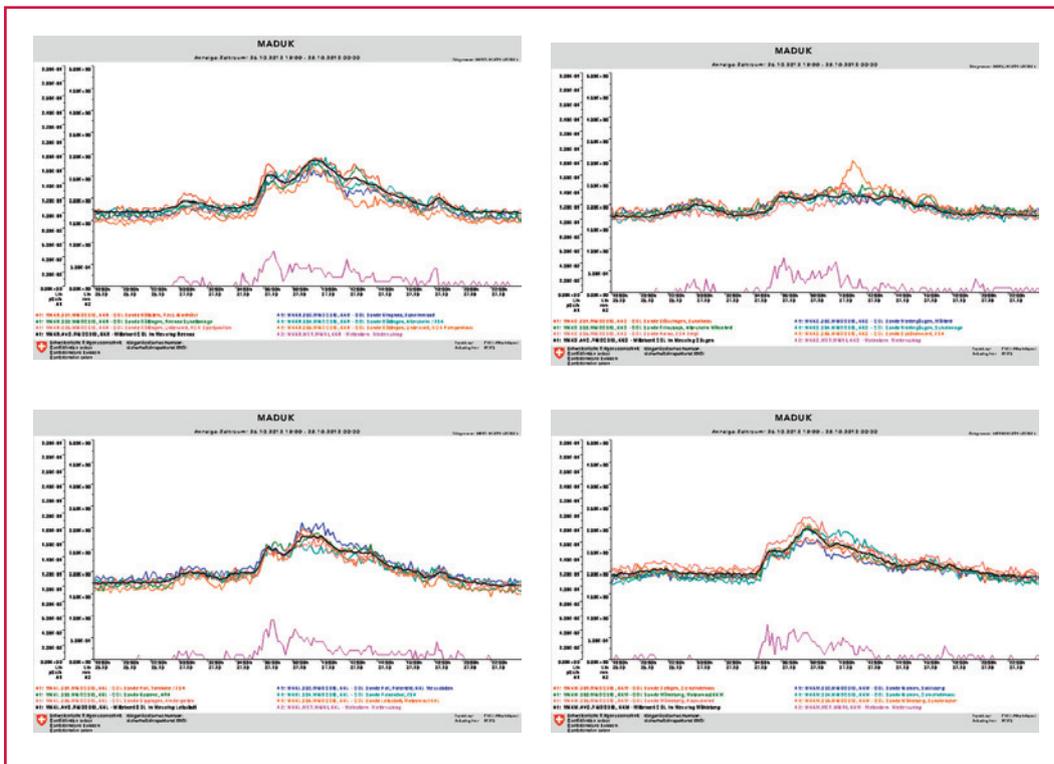
Darstellung B.3:
 Wertebereiche aus
 Tagesmittelwerten
 für die Messringe KKB,
 KKG.



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



Darstellung B.5:
 Verlauf der 10-Minuten
 ODL-Daten für jeweils
 sechs MADUK-Stationen
 und den Niederschlag
 (Linie in Pink) der
 Messringe Bezau (oben
 links), Gösgen (oben
 rechts), Leibstadt (unten
 links) und Mühleberg
 (unten rechts).



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 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 den Einsatz der benötigten Modelle festgelegt. Da die Anforderungen der Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität nicht durch ein einziges Ausbreitungsmodell erfüllt werden können, sind spezifische Modelle für den lokalen (Zonen 1 und 2), regionalen (Zone 3 und grenznahe Ausland) und grossräumigen (fernes Ausland) Bereich notwendig.

Die Beurteilung der radiologischen Gefährdung bildet die Grundlage für die Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung. Schutzmassnahmen sollten wenn möglich vorsorglich angeordnet werden. In der Vorphase, d.h. vor Freisetzungsbeginn, kann jedoch nicht auf Radioaktivitätsmessungen in der Umgebung 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 Atmosphärisches Ausbreitungsmodell ADPIC

Im Ereignisfall wird das komplexe atmosphärische Ausbreitungsmodell ADPIC (Atmospheric Diffusion Particle-In-Cell Model), welches Topographie und lokale Windverhältnisse berücksichtigt, eingesetzt. Seit Mitte 2011 werden für Anwendungen in der unmittelbaren Umgebung der schweizerischen Kernanlagen standardmässig die 3D-Windfelder des COSMO-2-Modells verwendet (ADPIC/COSMO).

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

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 störfall-spezifische 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 (Prognosen über die nächsten 6 Stunden). 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 Wolkendurchzugsgebietes als Grundlage für die Optimierung der Messstrategie bei.

Für die Sicherstellung der Notfallbereitschaft im Ereignisfall muss neben der technischen Verfüg-

barkeit auch die personelle Bedienung des Systems gewährleistet sein.

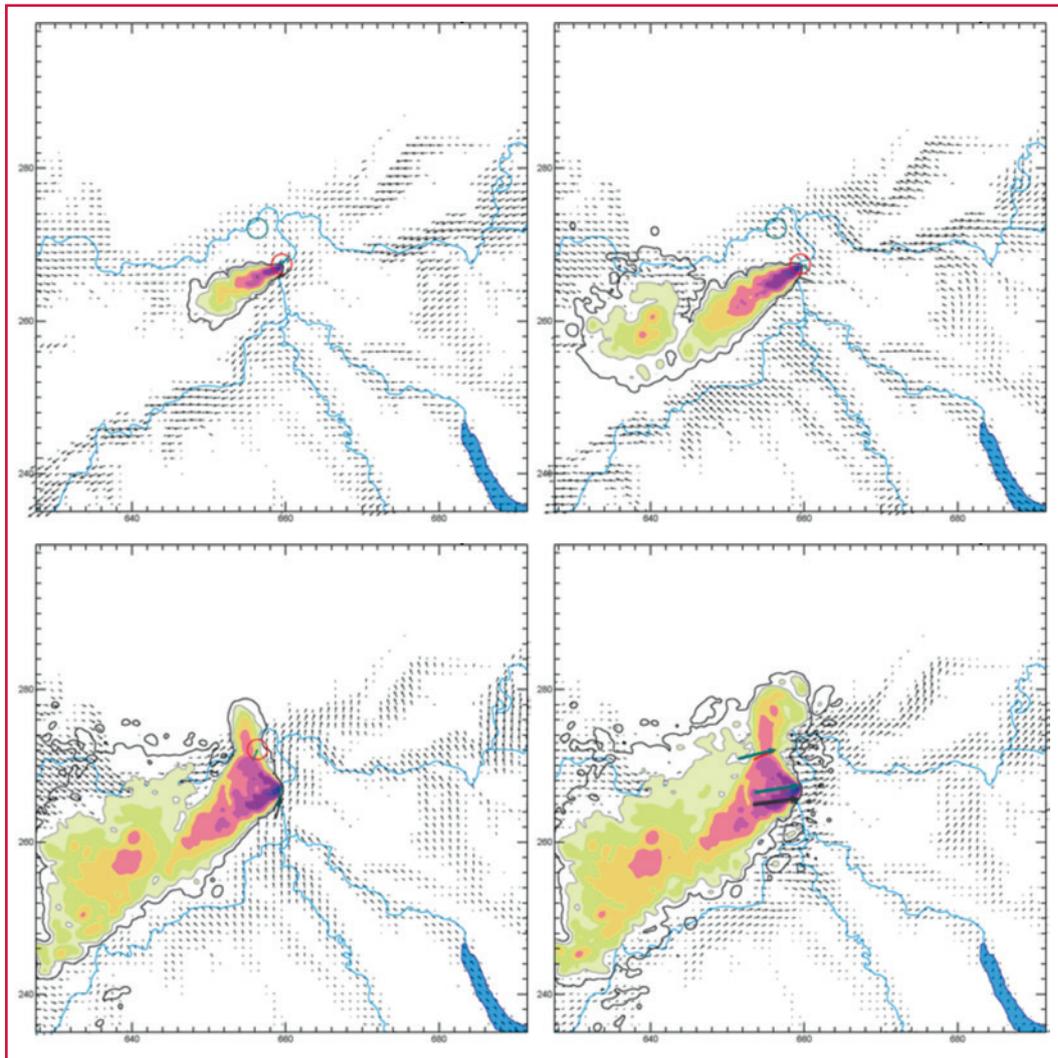
ADPIC wird seit 2012 nicht mehr weiterentwickelt und soll gemäss Planung ab 2015 durch das System RADUK (siehe Kapitel 3.3) abgelöst werden.

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 COSMO-2 der MeteoSchweiz eingesetzt.

In den Darstellungen B.6 bis B.9 werden Beispiele von ADPIC/COSMO-Simulationen für die vier KKW-Standorte dargestellt. Die Darstellungen stammen aus zur Überprüfung der Referenzszenarien im Rahmen der IDA NOMEX durchgeführten Ausbreitungssimulationen mit den (aktuellen) Referenzszenarien A2 und A3 und zeigen die berechneten externen Dosen aufgrund der Wolkenstrahlung als Funktion der Zeit für verschiedene ausgewählte, nicht repräsentative Wetterlagen.

Darstellung B.6:
Beispiel einer ADPIC/
COSMO-Simulation
für KKB
(Berechnungen mit
prognostizierten 3D-
Winddaten aus dem
COSMO-2-Modell)



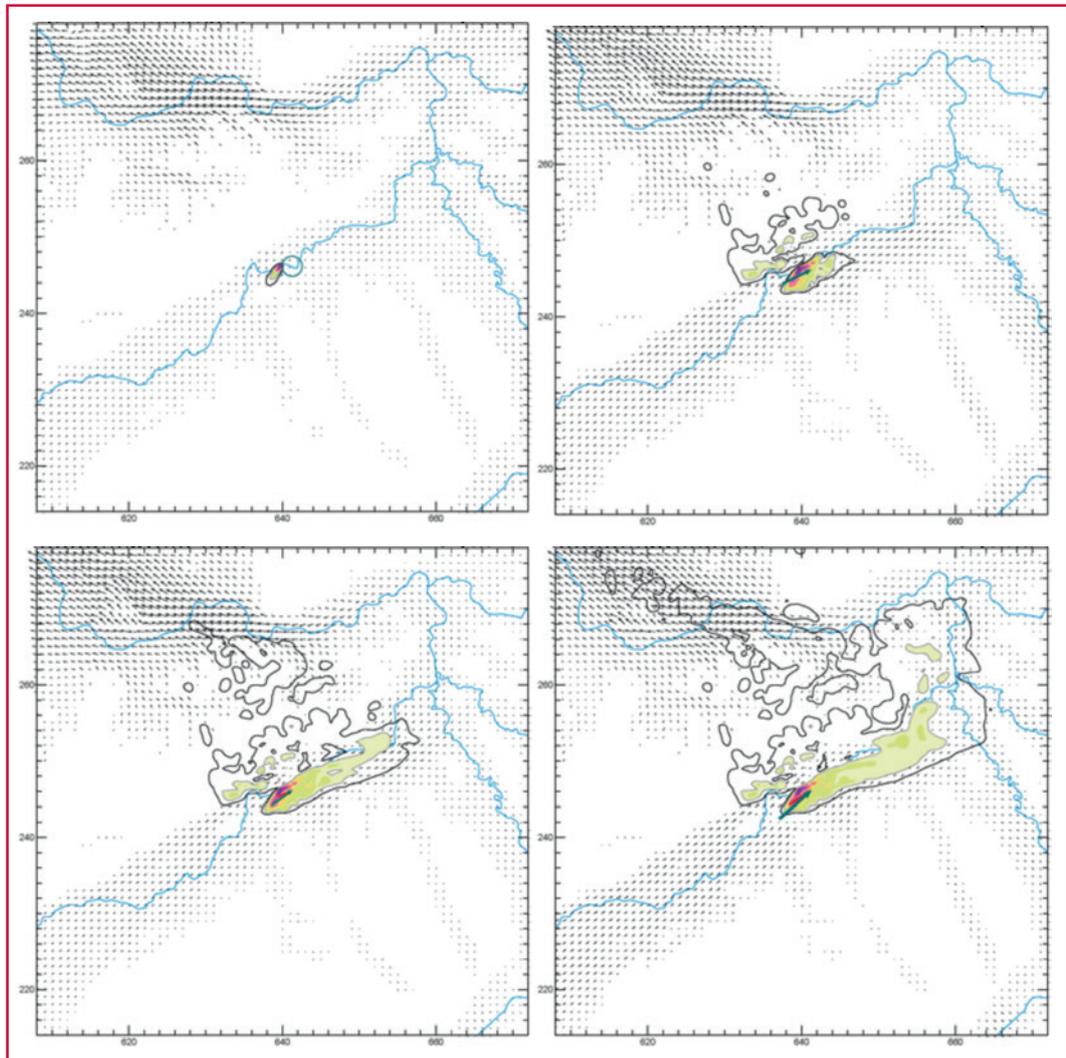
Ausbreitungsrechnung mit dem Referenzszenario A2 am 1. Dezember 2012 um 13:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhen 10 m und 70 m über Boden, Dauer der Freisetzung 2 Stunden.

Ausbreitungssituation um 14:00 Uhr (links oben), 15:00 Uhr (rechts oben), 17:00 Uhr (links unten) und 19:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

Vordergrund: Externe Dosis aufgrund der Wolkenstrahlung als Funktion der Zeit

Hintergrund: 3D-Windfeld auf 450 m über Meer

Darstellung B.7:
Beispiel einer ADPIC/
COSMO-Simulationen
für KKG
(Berechnungen mit
prognostizierten
3D-Winddaten aus
dem COSMO-2-Modell)

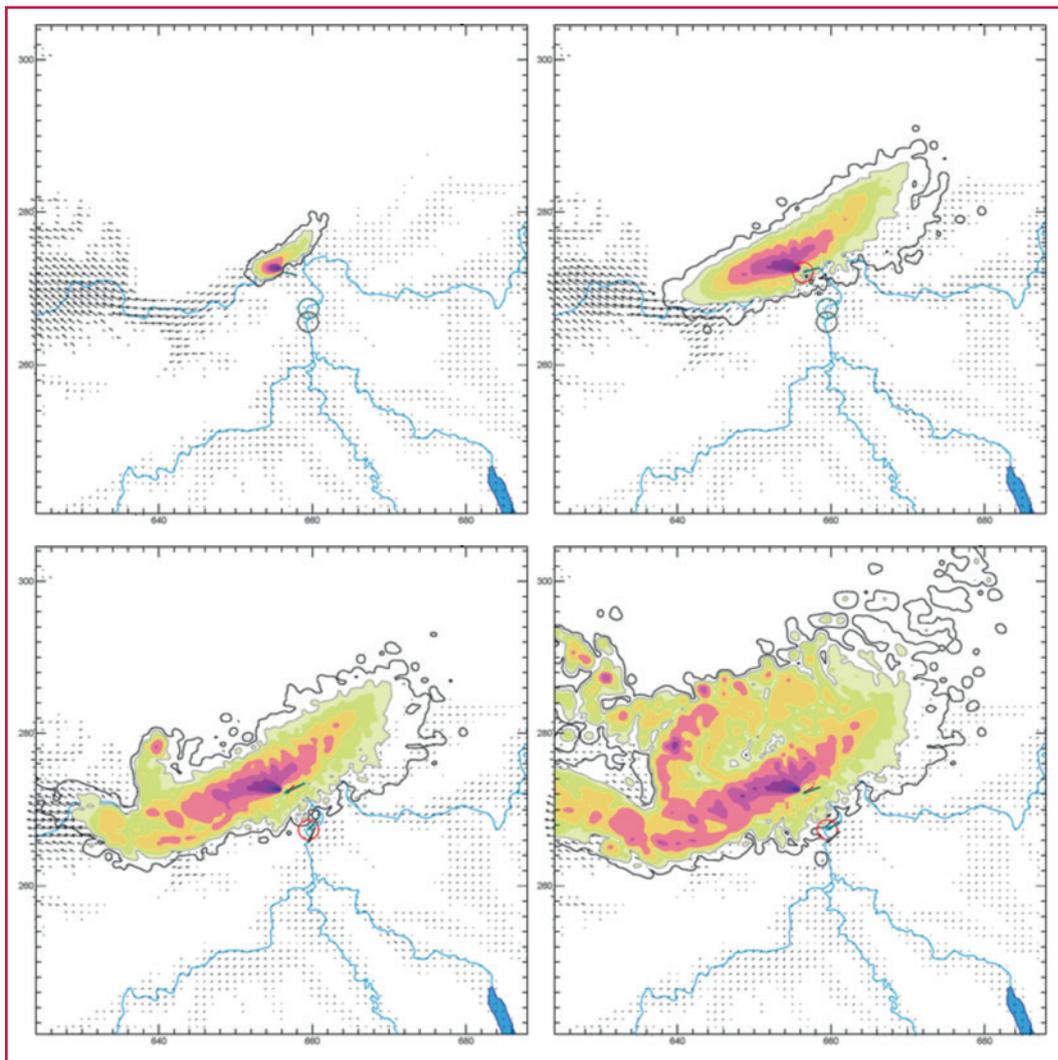


Ausbreitungsrechnung mit dem Referenzszenario A3 am 20. November 2012 um 22:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhen 10 m und 100 m über Boden, Dauer der Freisetzung 2 Stunden.

Ausbreitungssituation um 23:00 Uhr (links oben), 21. November 1:00 Uhr (rechts oben), 2:00 Uhr (links unten) und 4:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

Vordergrund: Externe Dosis aufgrund der Wolkenstrahlung als Funktion der Zeit

Hintergrund: 3D-Windfeld auf 500 m über Meer



Darstellung B.8:
 Beispiel einer ADPIC/
 COSMO-Simulationen
 für KKL
 (Berechnungen mit
 prognostizierten
 3D-Winddaten aus dem
 COSMO-2-Modell)

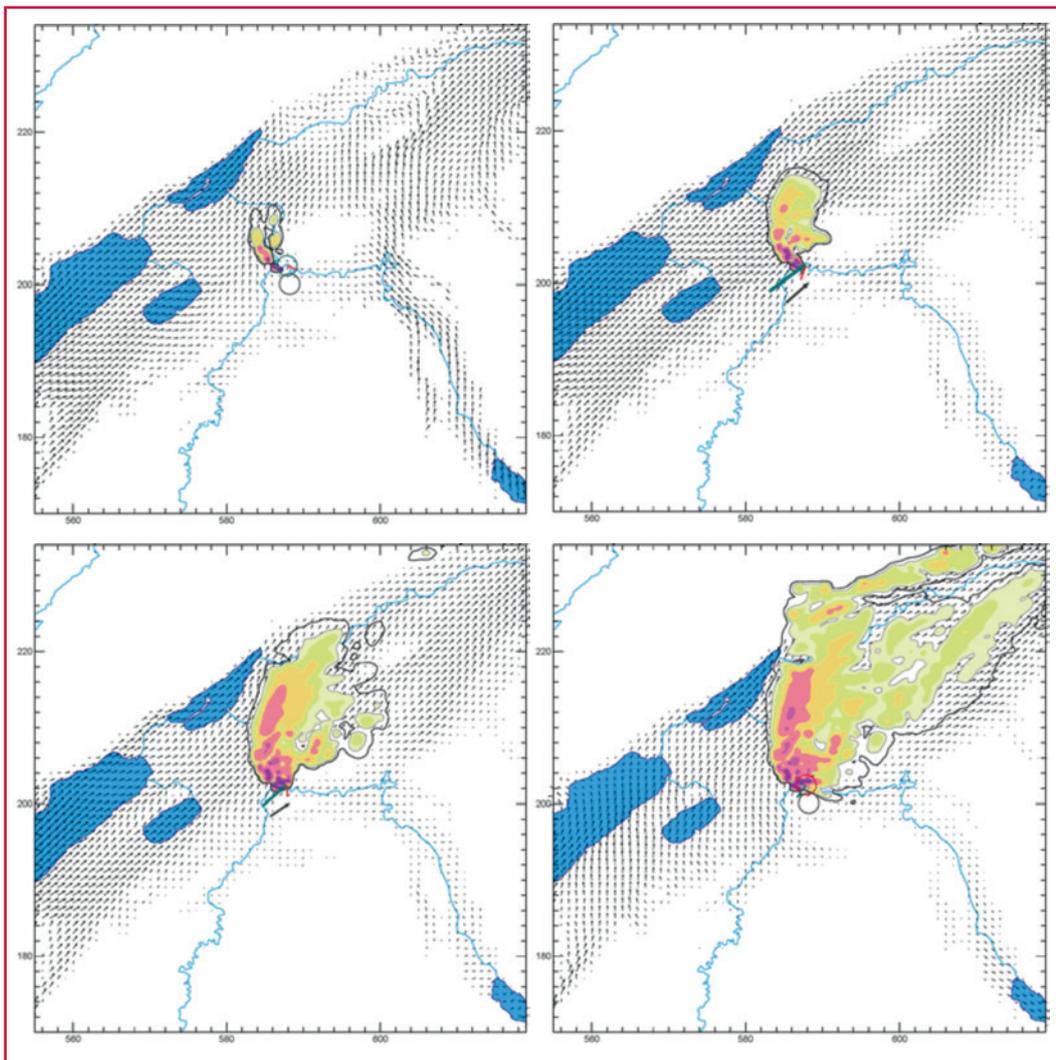
Ausbreitungsrechnung mit dem Referenzszenario A2 am 20. November 2012 um 13:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhen 10 m und 100 m über Boden, Dauer der Freisetzung 2 Stunden.

Ausbreitungssituation um 14:00 Uhr (links oben), 16:00 Uhr (rechts oben), 17:00 Uhr (links unten) und 19:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

Vordergrund: Externe Dosis aufgrund der Wolkenstrahlung als Funktion der Zeit

Hintergrund: 3D-Windfeld auf 450 m über Meer

Darstellung B.9:
Beispiel einer ADPIC/
COSMO-Simulationen
für KKM
(Berechnungen mit
prognostizierten
3D-Winddaten aus
dem COSMO-2-Modell)



Ausbreitungsrechnung mit dem Referenzszenario A3 am 23. Dezember 2012 um 4:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhen 10 m und 125 m über Boden, Dauer der Freisetzung 2 Stunden.

Ausbreitungssituation um 5:00 Uhr (links oben), 6:00 Uhr (rechts oben), 7:00 Uhr (links unten) und 10:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

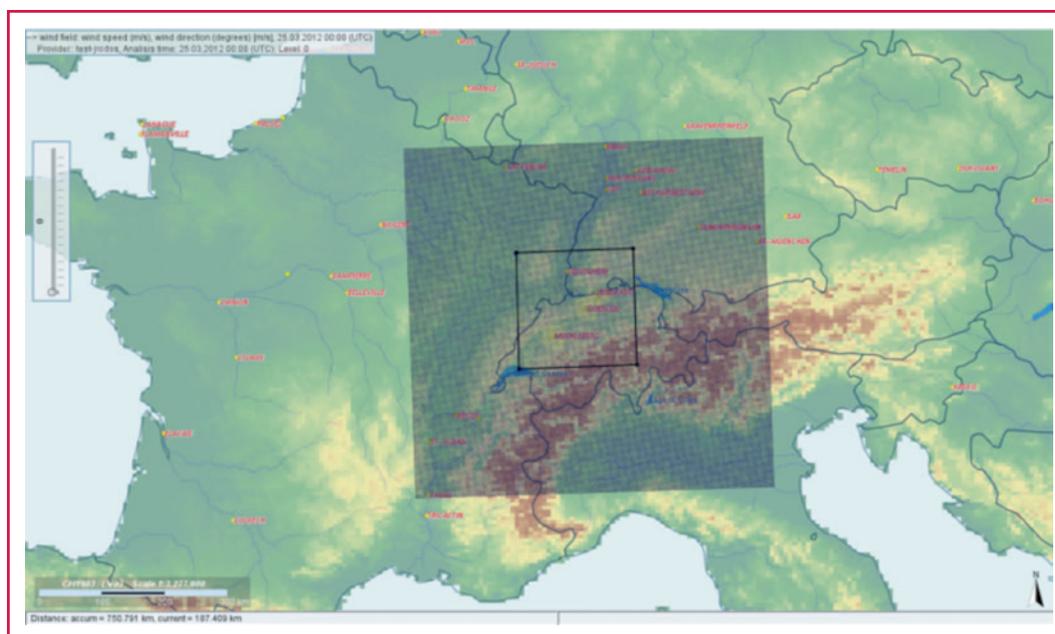
Vordergrund: Externe Dosis aufgrund der Wolkenstrahlung als Funktion der Zeit

Hintergrund: 3D-Windfeld auf 600 m über Meer

3.3 Projekt RADUK

Um auch in Zukunft den gesetzlichen Auftrag zur Durchführung von radiologischen Ausbreitungsrechnungen zu erfüllen, hat das ENSI im Januar 2011 das Projekt RADUK (**R**adiologische **A**usbreitungsrechnungen in **d**er **U**mgang von **K**ernanlagen) ins Leben gerufen. Mit der Modernisierung des Ausbreitungsrechensystems soll dem neuesten Stand von Wissenschaft und Technik Rechnung getragen werden. Ferner sollen bei dieser Neuentwicklung neben der Verbesserung von ergonomischen Aspekten auch die Optimierung von Kosten und Ressourcen erreicht werden. Dabei arbeitet das ENSI eng mit seinen Notfallschutzpartnern der NAZ und der MeteoSchweiz zusammen.

Das zukünftige Ausbreitungsrechensystem soll Anfang 2015 operationell sein und das bestehende ADPIC-System ablösen. Eine wesentliche Neuerung stellt die Erweiterung des Rechengebiets von gegenwärtig maximal $64 \times 64 \text{ km}^2$ auf $500 \times 500 \text{ km}^2$ dar (siehe Darstellung B.10), wobei für den Nahbereich um eine Kernanlage die orografische Auflösung von 250 m beibehalten wird. Für den Fernbereich ab etwa 20 km kann diese Auflösung durch eine Schachtelung von unterschiedlich aufgelösten Gebieten (sog. Nesting, siehe Darstellung B.11) verringert werden, um im Gegenzug die aufzuwendende Rechenzeit des Hochleistungsrechners zu senken.



Darstellung B.10:

Die innere Zelle zeigt das mit meteorologischen Daten abgedeckte Gebiet über $96 \times 96 \text{ km}^2$. Um ein KKW der Schweiz kann eine Ausbreitungsrechnung für den Nahbereich lediglich für ein Gebiet von maximal $64 \times 64 \text{ km}^2$ durchgeführt werden. Zukünftig werden für Ausbreitungsrechnungen meteorologische Daten für ein Rechengebiet von $500 \times 500 \text{ km}^2$ zur Verfügung stehen.

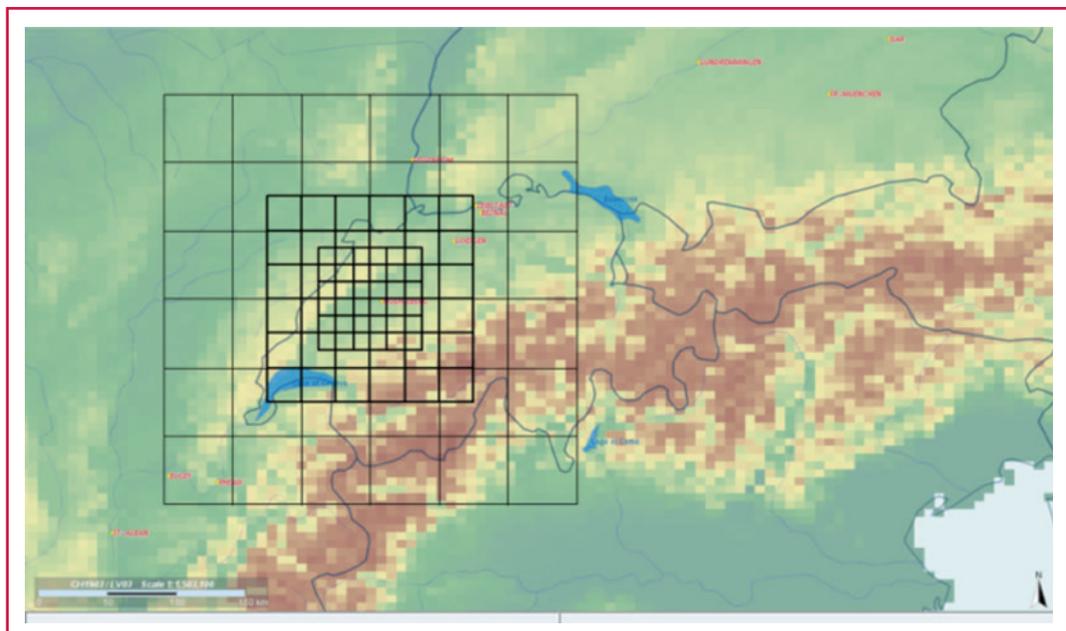
Als Plattform für die Meteodatenverarbeitung, Windfeldberechnung sowie Dosisberechnung und Visualisierung ist das Programm JRODOS vorgesehen. JRODOS (**J**ava **R**ealtime **O**nline **D**ecision **S**upport) ist ein vom Karlsruher Institut für Technologie entwickeltes Entscheidungshilfesystem für den externen Notfallschutz, welches von vielen europäischen Ländern genutzt wird. Gegenwärtig wird JRODOS von dessen Entwicklern auf die Anforderungen des ENSI adaptiert. In JRODOS wird für die eigentliche Ausbreitungsrechnung das Programm LASAT verwendet. Bei LASAT handelt es sich um ein validiertes Lagrange'sches Partikelmodell nach der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3. Auch zukünftig setzt das ENSI bei seinen radiologischen Ausbreitungsrechnungen auf die von 2.2 km

hochaufgelösten meteorologischen Prognosedaten des COSMO-2-Modells von MeteoSchweiz. Diese Auflösung soll mit dem operationellen System gar auf 1 km erhöht werden.

Im laufenden Jahr soll beim ENSI ein funktionstüchtiges Testsystem mit JRODOS aufgebaut werden, welches die COSMO-2-Daten mit einer zeitlichen Auflösung von 10 Minuten nutzen kann und dabei eine orografische Auflösung von mindestens 250 m berücksichtigt. Während dieser Projektphase wird das Testsystem einer technisch-wissenschaftlichen Evaluation unterzogen. Die gewonnenen Erkenntnisse werden in der nächsten Ausgabe des Strahlenschutzberichtes veröffentlicht.

Darstellung B.11:

Die Auflösung des Rechengitters nimmt von innen nach aussen hin ab, wobei die minimale Maschengrösse 250 m beträgt. Dadurch kann die Rechenzeit entscheidend verkürzt werden.



4. Aeroradiometrische Messungen

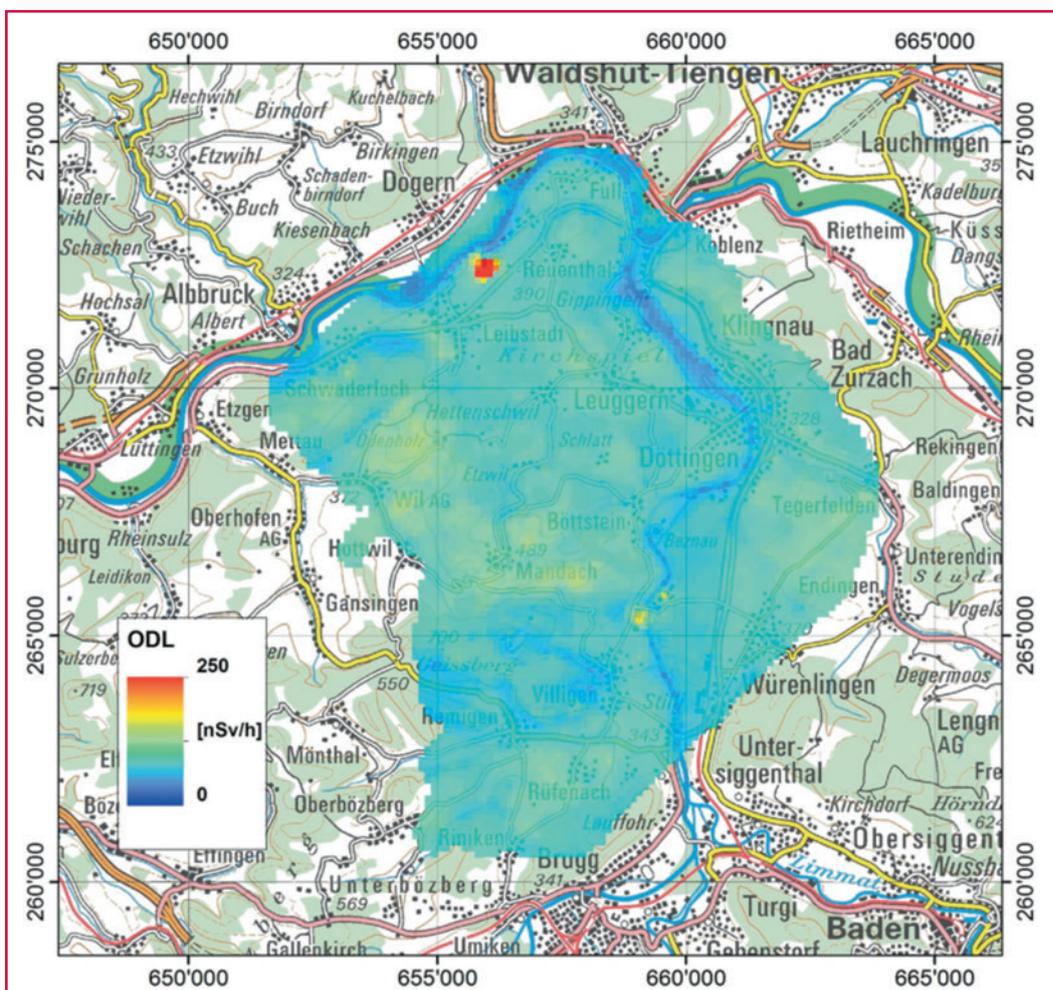
4.1 Einleitung

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 seither 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).

Während der Jahre 2004 und 2005 wurden die Messsysteme erneuert und dabei die online Da-



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

tenauswertungs- und Kartierungssoftware im Messsystem integriert. 2006 wurde ein zweiter Detektor mit 16,8 l Volumen beschafft, kalibriert und bei den Messflügen 2007 erstmals eingesetzt.

Im Jahre 2010 (Bucher et. al, 2010) wurde mithilfe der Auswertung der Langzeitdaten die Nachweisgrenze der Messmethode ermittelt: 0,02 $\mu\text{Sv/h}$ werden in 95 von 100 Fällen erkannt (Vertrauensbereich 95%). Dies entspricht ungefähr 20% der natürlichen externen Strahlung.

4.2 Messungen und Messresultate 2012

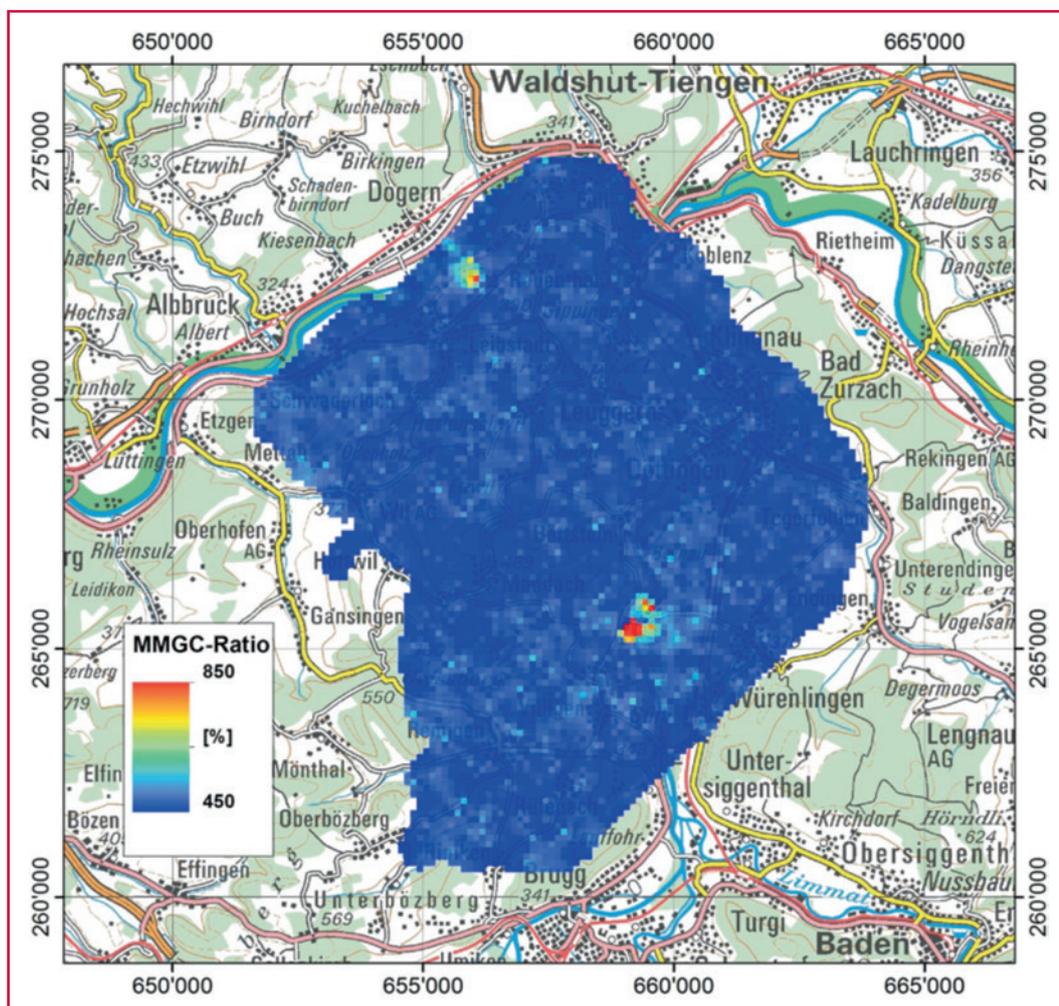
Bei den Messflügen im September 2012 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie der Forschungsanlagen des Paul Scherrer Instituts (PSI) und der Zwischenlager AG (ZWILAG) abgedeckt. Weiter wurde die Stadt Zürich, Baustellen bei den Stauseen Lac d'Emosson und Linth-Limmern und der Rangierbahnhof Limmattal bei Spreitenbach

(AG) befliegen. Zudem wurde eine Transversale vom Grosse St. Bernhard (VS) nach Bischofszell (TG) gemessen. Im Folgenden werden nur die Resultate der Messungen in der Umgebung der Kernanlagen diskutiert.

Die Messresultate in den Messgebieten KKB/KKL/PSI/ZWILAG zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. KKB mit seinem Druckwasserreaktor konnte aeroradiometrisch weder aufgrund der Ortsdosisleistung noch aufgrund des MMGC-Ratio erkannt werden (Darstellungen B.12 und B.13). Der MMGC-Ratio steht für das Verhältnis der Zählrate im Energiebereich von 1400–3000 keV zur Zählrate im Energiebereich von 400–1400 keV. Da die meisten Spaltprodukte Gammalinien im Energiebereich unterhalb von 1400 keV aufweisen, stellt der MMGC-Ratio ein empfindliches Instrument zur Lokalisierung künstlicher Radionuklide dar.

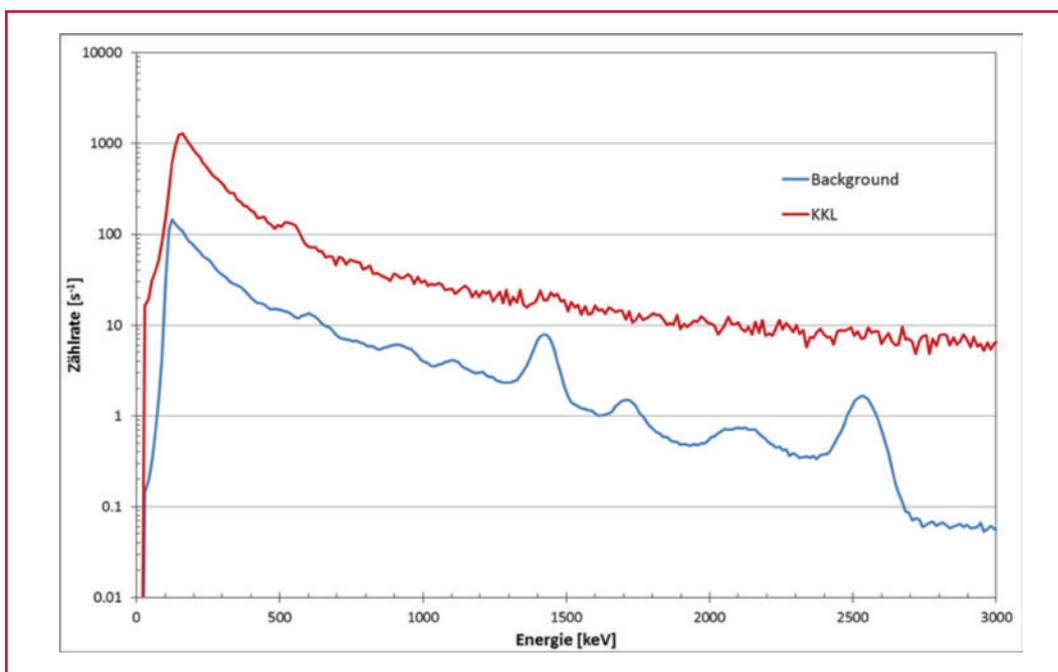
Im Gegensatz zur KKB können an den Standorten von KKL, PSI und dem Bundeszwischenlager (BZL) in den Darstellungen 12 und 13 erhöhte Messwerte erkannt werden. Das KKL mit seinem Siedewasserreaktor konnte anhand gestreuter, hoch-

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

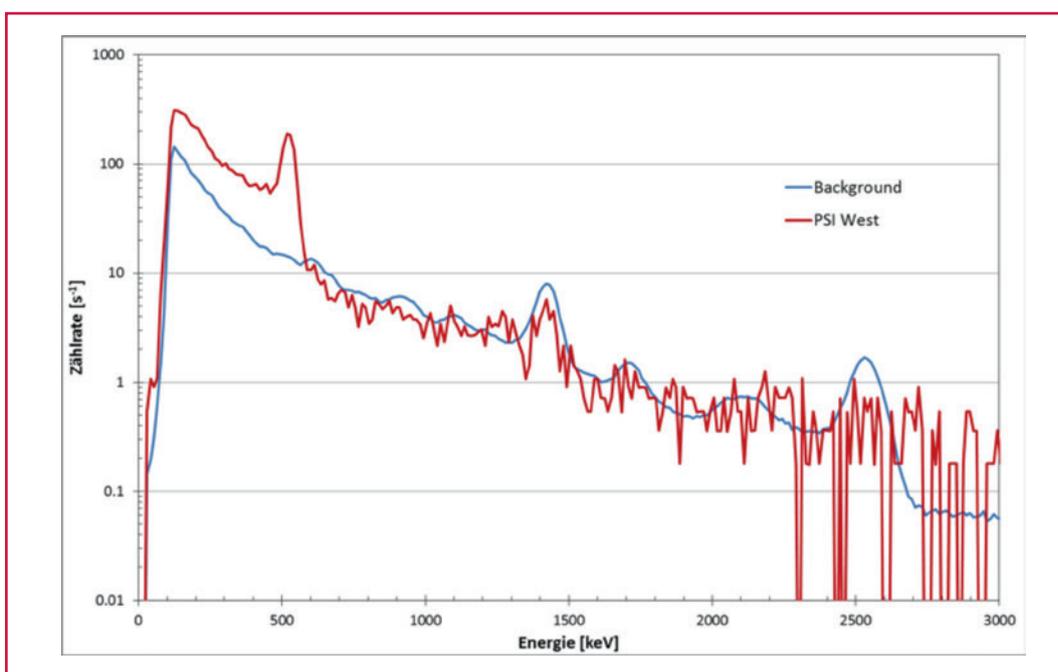


energetischer Photonenstrahlung erkannt werden (Darstellung B.14). Diese Strahlung wird durch das Aktivierungsprodukt ^{16}N erzeugt, welches bei Siedewasserreaktoren durch die Frischdampfleitung in die Turbinen im Maschinenhaus gelangt. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise gering abgeschirmt ist, kann die hochenergetische Gammastrahlung des ^{16}N aus der Luft gut gemessen werden. 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.

Beim PSI West sind wie in vorangegangenen Messkampagnen die Positronenstrahler anhand der Annihilationsstrahlung (Gammalinie bei 511 keV) zu erkennen (Darstellung B.15), die während des Betriebs des Protonenbeschleunigers über die Fortluftanlage des PSI West an die Umgebung abgegeben werden. Die Gammalinien wurden auch in Spektren nordöstlich und östlich der Abgabestelle nachgewiesen, die in der Karte des MMGC-Ratio (Darstellung B.13) ebenfalls zu erkennen sind. Das Bundeszwischenlager (BZL), das sich auf dem Areal des PSI Ost befindet, konnte ebenfalls mit Hilfe des MMGC-Ratio erkannt werden. In den



Darstellung B.14: Photonenspektrum im Bereich des Maschinenhauses des KKL im Vergleich zum Background ausserhalb des Betriebsareals. Die Erhöhung der Zählraten im gesamten Energiebereich ist auf Streustrahlung der hochenergetischen Gammalinien des ^{16}N zurückzuführen.



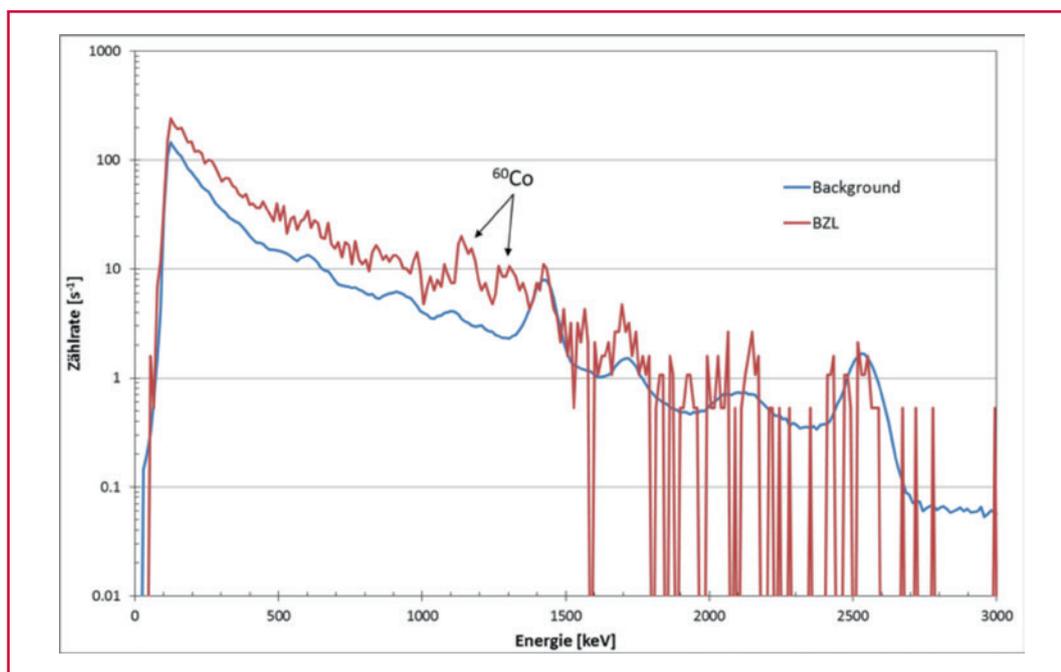
Darstellung B.15: Photonenspektrum in der Nähe des Fortluftkamins der Abgabestelle PSI West im Vergleich zum Backgroundspektrum.

entsprechenden Spektren sind hauptsächlich die Gammalinien des ^{60}Co als Verursacher zu erkennen (Darstellung B.16).

Das ZWILAG konnte wie in den vorangegangenen Jahren nicht aus der Luft detektiert werden. Ausserhalb der umzäunten Werksareale sind in der ODL-Karte (Darstellung B.12) keine erhöhten Werte 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 Wasser abgeschirmt wird.

Die drei Darstellungen B.14, B.15 und B.16 zeigen beispielhaft, wie mit zunehmender Energie der Hauptgammalinie die Zählraten im darunterliegenden Energiebereich durch die Compton-Streustrahlung zunehmen: bei der Darstellung B.14 liegt die Hauptgammalinie von ^{16}N bei 6.1 MeV ausserhalb des Spektrums, bei Darstellung B.15 liegt die Hauptgammalinie der Positronenstrahler bei 511 keV (Annihilationsstrahlung) und bei Darstellung B.16 liegt die Hauptgammalinie des ^{60}Co bei 1173 keV bzw. 1332 keV.

Darstellung B.16:
Photonenspektrum im Bereich des BZL im Vergleich zum Backgroundspektrum ausserhalb der Betriebsareale.



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.

Bucher, B., Rybach, L., 2010: Flächendeckende Langzeitanalyse der Strahlung in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen mit Hilfe der Aeroradiometrie, in: Natürliche und künstliche Radionuklide in unserer Umwelt, 42. Jahrestagung des Fachverbands für Strahlenschutz e.V., FS-2010-153-T, ISSN 1013-4506, TÜV Media GmbH, Köln.

Herausgeber

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI
CH-5200 Brugg
Telefon +41 (0)56 460 84 00
Telefax +41 (0)56 460 84 99
info@ensi.ch
www.ensi.ch

Zusätzlich zu diesem Strahlenschutzbericht...

... informiert das ENSI in weiteren jährlichen Berichten aus seinem Arbeits- und Aufsichtsgebiet (Erfahrungs- und Forschungsbericht, Aufsichtsbericht, Tätigkeits- und Geschäftsbericht des ENSI-Rates).

ENSI-AN-8302
ISSN 1661-2914

© ENSI, Juni 2013

ENSI-AN-8302
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