



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 2015

Strahlenschutzbericht 2015

Rapport sur la radioprotection 2015

Radiological Protection report 2015

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4
Préface	6
Preface	8
A: Strahlenschutz in den Kernanlagen	9
1. Kernkraftwerke	9
1.1 Kernkraftwerk Beznau (KKB)	9
1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)	11
1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)	13
1.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)	14
2. Weitere Kernanlagen	17
2.1 Paul Scherrer Institut (PSI)	17
2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)	17
2.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)	18
2.4 Universität Basel	18
3. Grafische Darstellungen	21
4. Dosimetrie	25
4.1 Einleitung	25
4.2 Personendosimetrie	25
4.3 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen	47
4.4 Erwartete Entwicklung der Exposition	49

B: Umweltradioaktivität bei Kernanlagen, Überwachung	53
1. Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen	53
1.1 Emissionen aus den Kernanlagen	53
1.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen	66
1.3 Emissionen von Kohlenstoff-14	66
2. Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)	71
2.1 Übersicht	71
2.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung	71
2.3 Systemverfügbarkeit und Störungen	72
2.4 Qualitätssicherung	74
2.5 Messergebnisse	74
3. Atmosphärische Ausbreitung	77
3.1 Modellberechnungen im Ereignisfall	77
3.2 Atmosphärisches Ausbreitungsmodell ADPIC	77
3.3 Projekt RADUK	78
4. Aeroradiometrische Messungen	85
4.1 Einleitung	85
4.2 Messungen und Messresultate 2015	87
4.3 Literatur	87

Vorwort



Dr. Georges Piller

Das ENSI berichtet im vorliegenden Jahresbericht über die Strahlendosen beruflich strahlenexponierter Personen, die Abgaben radioaktiver Stoffe und die Überwachung der Umweltradioaktivität in seinem Aufsichtsbereich. Es kommt zum Schluss, dass in den schweizerischen Kernanlagen weiterhin ein konsequenter Strahlenschutz betrieben wird.

Das ENSI hat ein zunehmendes öffentliches Interesse an Daten zur Strahlung festgestellt und daher einige Neuerungen eingeführt. So sind beispielsweise die monatlichen Abgaben der Kernkraftwerke seit Anfang 2015 auf Internet verfügbar. Auch betreffend der Daten des Messnetzes zur Automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) gibt es eine Neuigkeit. Die Zehnminuten-, Stunden- und Tagesmittelwerte sind nun seit 1994 einsehbar. In einem speziellen Kapitel dieses Berichts werden zudem die C-14-Abgaben behandelt, die regelmässig zu Anfragen von Interessierten führen.

Die mittlere jährliche Individualdosis der beruflich strahlenexponierten Personen hat sich gegenüber den letzten Jahren nicht wesentlich geändert und liegt weiterhin bei 0,6 mSv. Sie ist damit deutlich kleiner als die mittlere jährliche Strahlendosis der

Bevölkerung in der Schweiz von 5,5 mSv. Die höchste Individualdosis beträgt knapp 11 mSv pro Jahr, sodass auch 2015 keine Überschreitung des Grenzwerts von 20 mSv pro Jahr zu verzeichnen ist. Die Kollektivdosen liegen in der Grössenordnung der letzten Jahre, im Kernkraftwerk Leibstadt hat sich der Trend zu höheren Kollektivdosen jedoch fortgesetzt. Die Strahlenschutzplanungen der Kernanlagenbetreiber weisen generell einen hohen Stand auf, sodass die resultierenden Kollektivdosen in der Regel gut mit den Planwerten übereinstimmen.

Die Betreiber von Kernanlagen haben die behördlich festgelegten Abgabelimiten auch 2015 eingehalten, teilweise mit beträchtlichen Margen. Die Emissionen der schweizerischen Kernanlagen führen in der unmittelbaren Umgebung zu einer Dosis von weniger als 0,01 mSv pro Jahr. Die flüssigen Abgaben der schweizerischen Kernanlagen lagen unter dem aufgrund internationaler Empfehlungen vom ENSI festgesetzten Zielwert von 1 GBq pro Jahr. Einzig Mühleberg lag etwa 10% über diesem Zielwert. Dort wurde im Berichtsjahr wieder eine Torusentleerung durchgeführt, die bisher mit einigen GBq zu Buche schlug und jetzt um einen Faktor 5 reduziert werden konnte. Die Zwiilag und das PSI haben die 2013 und 2014 gestiegenen Abgaben im Berichtsjahr stabilisieren können.

Das ENSI überzeugt sich mittels Inspektionen und Vergleichsmessungen, dass die nötigen kalibrierten resp. geeichten Strahlenschutzmessmittel vorhanden sind und diese bestimmungsgemäss eingesetzt werden, um korrekte Messwerte zu ermitteln. Es betreibt zu diesem Zweck eine nach ISO 17025 akkreditierte Prüfstelle.

Zur Überwachung der Umweltradioaktivität betreibt das ENSI seit 1994 das MADUK-System, dessen Daten auch der Nationalen Alarmzentrale, dem Umweltministerium Baden-Württemberg in Deutschland und der «European Radiological Data Exchange Platform» EURDEP des Joint Research Centre der Europäischen Kommission zur Verfügung gestellt werden. Neben dem fest installierten Messnetz werden auch mobile Sonden zur Ermittlung der Ortsdosisleistung oder des Gamma-Spektrum eingesetzt. Diese wurden beispielsweise

während den Containment-Öffnungen in Beznau zur kontinuierlichen Überwachung der Radioaktivität eingesetzt.

Für Ausbreitungsrechnungen wurde im Berichtsjahr das Programm LASAT in Verbindung mit der Plattform JRODOS eingeführt. Dieses verwendet die dreidimensionalen Windfelder von MeteoSchweiz mit einer räumlichen Auflösung von 2 km. 2016 wird die örtliche Auflösung auf 1 km erhöht. Damit steht dem ENSI für den Ereignisfall ein neues «state of the art» Tool für die Erstellung von radiologischen Prognosen in der Umgebung der Kernkraftwerke zur Verfügung.

Dieses Vorwort wird mein letztes sein, da ich die Leitung des Fachbereichs Strahlenschutz auf Mitte 2016 abgebe. Ich wünsche meiner nominierten Nachfolgerin Rosa Sardella alles Gute für ihre neue herausfordernde Aufgabe.

Préface

L'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) informe dans ce rapport annuel sur les doses d'irradiation de personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession, sur les rejets de substances radioactives et sur la surveillance de la radioactivité dans l'environnement dans son domaine de surveillance. Elle arrive à la conclusion qu'une radioprotection conséquente continue d'être appliquée dans les installations nucléaires suisses.

L'IFSN a constaté un intérêt croissant du public concernant des données sur les radiations. Elle a donc introduit certaines nouveautés. Les rejets mensuels des centrales nucléaires sont par exemple disponibles sur Internet depuis le début 2015. Une nouveauté concerne aussi les données du réseau automatique de mesure pour la surveillance du débit de dose dans le voisinage des centrales nucléaires (MADUK). Les mesures par 10 minutes, par heure et par jour depuis 1994 sont désormais consultables. De plus, les rejets de carbone 14 sont traités dans un chapitre spécifique de ce rapport. Ils ont régulièrement donné lieu à des questions de personnes intéressées.

La dose individuelle moyenne par an des personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession n'a pas sensiblement changé par rapport aux dernières années et se situe encore à 0,6 mSv par année. Elle est ainsi largement inférieure à la dose d'irradiation annuelle moyenne de la population en Suisse. Celle-ci s'élève à 5,5 mSv par année. La dose individuelle maximale s'élève à presque 11 mSv par année de sorte qu'en 2015 aussi, aucun dépassement de la valeur limite de 20 mSv par an n'est à recenser. Les doses collectives se situent dans l'ordre de grandeur des années précédentes. Une tendance vers des doses collectives plus élevées s'est toutefois poursuivie à la centrale nucléaire de Leibstadt. Les planifications de radioprotection des exploitants des installations nucléaires se situent généralement à un niveau élevé de sorte que les doses collectives résultantes concordent bien avec les projections en règle générale.

En 2015 aussi, les exploitants des installations nucléaires ont respecté les limites de rejet fixées par

les autorités, en partie avec des marges importantes. Les émissions des installations nucléaires suisses conduisent, dans leur environnement immédiat, à une dose de moins de 0,01 mSv par an. Les rejets liquides des installations nucléaires suisses se situent, en général, au-dessous de l'objectif de 1 GBq par année. Cette valeur a été fixée par l'IFSN sur la base de recommandations internationales. Seule la centrale de Mühleberg se situe à environ 10% au-dessus de cet objectif. Lors de l'année en revue, une vidange du torus a de nouveau été réalisée. Celle-ci a jusque-là généré facilement quelques GBq. Elle a pu maintenant être réduite d'un facteur 5. Lors de l'année écoulée, le dépôt intermédiaire Zwiilag et le PSI ont pu stabiliser les rejets en augmentation lors des années 2013 et 2014.

L'IFSN s'assure à l'aide d'inspections et de mesures comparatives que les instruments de radioprotection nécessaires calibrés ou vérifiés sont disponibles et qu'ils sont employés conformément aux dispositions en vue de déterminer des valeurs de mesure correctes. Elle exploite dans cette optique un organisme de vérification accrédité selon la norme ISO 17025.

Pour surveiller la radioactivité dans l'environnement, l'IFSN exploite depuis 1994 le réseau MADUK. Ses données sont aussi mises à la disposition de la Centrale nationale d'alarme, du Ministère de l'environnement du Bade-Wurtemberg en Allemagne et du «European Radiological Data Exchange Platform EURDEP» du «Joint Research Centre» de la Commission européenne. En plus du réseau de mesure installé en fixe, des sondes mobiles sont aussi employées pour déterminer le débit de dose local ou le spectre gamma. Celles-ci ont par exemple été employées lors des ouvertures des enceintes de confinement à Beznau pour la surveillance continue de la radioactivité.

Lors de l'année écoulée, le programme LASAT a été introduit en lien avec la plateforme JRODOS pour les calculs de propagation. Ce programme emploie les champs tridimensionnels de vent de MétéoSuisse avec une résolution spatiale de 2 km. Cette dernière sera augmentée à 1 km en 2016. En cas d'évènement, l'IFSN dispose ainsi d'un ins-

trument conforme aux règles de l'art pour l'établissement de pronostics radiologiques dans le voisinage des centrales nucléaires.

Il s'agit ici de ma dernière préface vu que je remets la direction du domaine spécialisé «radioprotection» à la mi-2016. Je souhaite à Rosa Sardella, qui me succèdera, plein de succès pour cette nouvelle mission.

Preface

In this Annual Report on Radiological Protection, ENSI reports on occupational radiation doses, releases of radioactive material and the monitoring of environmental radiation in the areas subject to its surveillance. It concludes that Swiss nuclear facilities continue to maintain a consistent approach to radiological protection.

ENSI has identified an increasing public interest in data concerning radiation and has therefore introduced a number of new concepts. Typical of these is the online availability, since the start of 2015, of monthly nuclear power plant releases. There is also a new development concerning the data from the network for automatic measurement of dose rates in the vicinity of nuclear power plants (MADUK). It is now possible to view dose rates since 1994 averaged over periods of ten minutes, one hour and one day. A special chapter of this report deals with C-14 releases, which are regularly the subject of enquiries from interested parties.

The mean annual individual occupational radiation dose has not changed significantly in recent years and remains at 0.6 mSv. Consequently it is significantly less than the mean annual radiation dose of the population in Switzerland of 5.5 mSv. The highest annual individual dose was almost 11 mSv so that once again in 2015 the annual limit of 20 mSv was not exceeded. The collective doses lie within the range of past years. However the trend towards a higher collective dose noted at Leibstadt Nuclear Power Plant has continued. As a general rule, planning by the operators of nuclear facilities in the field of radiological protection is of a high standard so that the resulting collective doses generally closely match the projected values.

In 2015, nuclear power plant operators have again complied with the release limits specified by the authorities, to some extent by a considerable margin. Emissions from Swiss nuclear power plants resulted in a dose of less than 0.01 mSv per year in their immediate surroundings. Liquid releases from Swiss nuclear power plants were generally below the target value of 1 GBq per year set by ENSI on the basis of international recommendations with just Mühleberg some 10 % above this target value. Draining of the torus was performed there again.

Until now, it had contributed several GBq to the release figures, a figure which could now be reduced by a factor of 5. At ZWILAG and PSI the increased releases noted in the 2013 and 2014 reporting years have now been stabilised.

ENSI conducts inspections and performs comparative measurements to verify that the measuring equipment required for radiological protection is provided, calibrated or standardised correctly, and used appropriately so that it yields accurate measurements. For this purpose, ENSI maintains a test laboratory accredited under ISO 17025.

Since 1994, ENSI has operated a network for monitoring environmental radioactivity, the MADUK System, the data from which is also made available to the Swiss National Emergency Operations Centre, the German 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 addition to the permanent measuring network, mobile probes are also used to measure local dose rates or the gamma spectrum. Typical of their use was their deployment for continuous radioactivity monitoring during containment openings at Beznau.

During the reporting year, the LASAT program, used in combination with the JRODOS platform, was introduced for atmospheric dispersion modelling. This uses three-dimensional wind fields with a spatial resolution of 2 km that are provided by the Swiss meteorological service (MeteoSwiss). In 2016 the spatial resolution will be increased to 1 km. This will provide ENSI with a new state of the art tool for use after any incident or accident to create radiological predictions for the areas surrounding nuclear power plants.

In mid-2016 I shall be handing over leadership of the Radiation Protection Department so this is my last preface. I wish my nominated successor, Rosa Sardella, lots of luck and success in her new challenging assignment.

A: Strahlenschutz in den Kernanlagen

Die physikalische Überwachung der im Aufsichtsbereich des ENSI tätigen strahlenexponierten Personen erfolgt mit Thermolumineszenz-Dosimetern (TLD) und Direct Ion Storage Dosimetern (DIS), welche von den anerkannten Personendosimetriestellen monatlich 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 (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 Berichtsjahr wurden sowohl im KKB 1 als auch im KKB 2 lange Revisionsstillstände durchgeführt, wobei rund 2000 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz kamen:

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv		
	2015	2014	2013
Brennelementwechsel		113	85
Revisionsstillstand	834		
Zwischenabstellungen (mit elektronischen Dosimetern ermittelt und auf DIS-Werte normiert)		54	
Leistungsbetrieb	19	39	40
Gesamte Jahreskollektivdosis	853	206	125

KKB 1

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv		
	2015	2014	2013
Brennelementwechsel		45	
Revisionsstillstand	342		220
Zwischenabstellung			
Leistungsbetrieb	32	40	39
Gesamte Jahreskollektivdosis	374	85	259

KKB 2

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv		
	2015	2014	2013
Revisionsstillstand und BE-Wechsel	1176	212	305
Leistungsbetrieb	51	79	79
Gesamte Jahreskollektivdosis	1227	291	384

Im Kalenderjahr 2015 wurde in den beiden Blöcken des KKB eine Kollektivdosis von 1227 Pers.-mSv verzeichnet. Die höchste im KKB registrierte Individualdosis betrug 10,7 mSv und lag deutlich unterhalb des Dosisgrenzwerts der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Es wurden keine Personenkontaminationen, die nicht mit herkömmlichen Mitteln entfernt werden konnten, festgestellt. Weder beim Eigenpersonal noch beim Fremdpersonal wurde eine nachweisbare Inkorporation oberhalb der Triageschwelle von 1200 Bq für ⁶⁰Co festgestellt.

Der Block 1 wurde im Berichtsjahr am 13. März zum geplanten Revisionsstillstand abgefahren. Das Abfahren der Anlage verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Das Wiederanfahren der Anlage war bis zum Ende des Berichtsjahres nicht erfolgt. Details dazu finden sich im Aufsichtsbericht des ENSI.

Im Vergleich zum Vorjahr sind die Ortsdosisleistungen (ODL) an den Komponenten des Primärkreislaufs an den Hauptkühlmittelleitungen Closure Legs A und B im Mittel um ca. 7% gestiegen und liegen jetzt bei ca. 4 mSv/h. Der kontinuierliche Anstieg seit 2005 wurde fortgesetzt. Die mittleren ODL an den Mänteln der Dampferzeuger zeigen wie in den vergangenen Jahren konstant niedrige Werte im Bereich von rund 0,25 mSv/h. Ebenso liegen die ODL-Werte an den Hot Legs A und B weiterhin auf einem tiefen Niveau bei ca. 0,6 mSv/h, im Vergleich mit dem Vorjahr kann ein geringer Anstieg festgestellt werden.

Die nuklidspezifischen Messungen der Kontaminationen im KKB 1 zeigen, dass das Beta:Alpha-Verhältnis im hohen Masse system- und komponentenabhängig ist. Die Verhältnisse reichen von 1:1 bis zu 1000:1. Die Nuklidgemische der Kontaminationen im Block 1 des KKB werden von ⁶⁰Co, ⁹⁵Nb, ⁹⁵Zr, ⁵¹Cr und ¹³⁷Cs dominiert. Teilweise ist auch ²⁴¹Am in relevanten Mengen detektiert worden. Weitere nachweisbare Nuklide (kurzlebige Aktivierungsprodukte) sind ⁵⁴Mn, ⁵⁹Fe, ⁶⁵Zn, ^{110m}Ag, und ¹²⁴Sb.

Bei den Alphastrahlern dominieren die Isotope ^{239/240}Pu sowie ²⁴¹Am. Das kurzlebige Nuklid ²⁴²Cm

ist im Vergleich zum Brennelementwechsel im Jahr 2014 nicht mehr in höheren Konzentrationen detektiert worden.

Aufgrund der vorhandenen Alpha-Kontaminationen in der Reaktorgrube wurde während der gesamten Dauer der Revisionsabstellung die Reaktorgrube als eine Zone Typ IV eingestuft. Aus dem gleichen Grund sind im Sicherheitsgebäude, BE-Lager und Nebengebäude zahlreiche Arbeiten unter Bedingungen der Zone IV durchgeführt worden.

Während der Revisionsabstellung im Block 1 wurden zusätzlich zu den Standardabschirmungen tätigkeitsbezogene Abschirmungen aufgebaut und insgesamt ca. 66 Tonnen Blei in Form von Blechen eingesetzt. Im Durchschnitt konnte die ODL im Arbeitsbereich um den Faktor 3,5 gesenkt werden. Vereinzelt wurden deutlich höhere Abschirmfaktoren erreicht.

Die akkumulierte Kollektivdosis für die Revisionsabstellung des Blocks 1 im Zeitraum vom 13. März bis zum Ende des Kalenderjahrs betrug 834 Pers.-mSv (mit elektronischen Dosimetern ermittelt und auf DIS-Werte normiert). Im Vergleich zur Plandosis von 984 Pers.-mSv, liegt das Gesamtergebnis im Rahmen der Prognosegenauigkeit von ± 20%.

Im Block 2 wurde im Berichtsjahr zwischen dem 14. August und dem 23. Dezember ebenfalls eine Revisionsabstellung durchgeführt. Das Abfahren verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Die mittlere ODL an den Hauptkühlmittelleitungen stieg gegenüber dem Vorjahr um ca. 3,5% an. Dies wird von einem Anstieg der ODL an den Closure Legs um 4% und an den Hot Legs um 3% verursacht. Die ODL im Block 2 sind mit weniger als 1 mSv/h im Mittelwert gegenüber dem Vorjahr unverändert und liegen rund 70% tiefer als im Block 1. An den Mänteln der Dampferzeuger ist die mittlere ODL gegenüber dem Vorjahr um ca. 4% gesunken und liegt mit ca. 0,13 mSv/h auf niedrigem Niveau.

Die nuklidspezifischen Messungen der Kontamination im KKB 1 zeigen, dass die Beta:Alpha-Verhältnisse grösstenteils im Bereich von 1000 bis 2000:1 liegen. In der Reaktorgrube und dem Borwasser-

tank (BOTA) sind es 500 bis 1000:1. Der Trend der Verhältnisse ist sinkend, im Jahr 2014 lagen die Werte bei 6000:1.

Das massgebende Nuklid bei den Kontaminationen ist ⁶⁰Co. Je nach System tragen ⁹⁵Nb, ⁹⁵Zr, und ¹²³mTe einen weiteren Teil dazu bei. Das Nuklid ²⁴¹Am ist ausser im BOTA 2 und an einigen Komponenten um die Reaktorhauptpumpen nicht in relevanten Mengen detektiert worden.

Die akkumulierte Kollektivdosis für die Revisionsabstellung betrug 341 Pers.-mSv (mit elektronischen Personendosimetern ermittelt). Im Vergleich zur Plandosis von 621 Pers.-mSv, liegt das Gesamtergebnis bei 55%. Die deutliche Unterschreitung der Planungs-dosis wird mit Optimierungen auf Basis der Erfahrungen aus Block 1 begründet. Ausserdem wurden einige Arbeiten geplant, aber nicht durchgeführt.

Während der Revisionsabstellungen waren keine Personenkontaminationen, die nicht mit herkömmlichen Mitteln entfernt werden konnten, zu verzeichnen. Es sind keine Inkorporationen festgestellt worden. Auch die in diesem Jahr erstmalig in grösserem Umfang durchgeführten Ausscheidungsanalysen zeigten keine Anzeichen für Inkorporationen. Während der Revisionsabstellungen wurden in beiden Blöcken die Deckel der Reaktor-druckbehälter getauscht. Zum Einschleusen der neuen Deckel und Ausschleusen der alten Deckel mussten zusätzliche Öffnungen in den Wänden der Sicherheitsgebäude angebracht werden. Durch temporäre Einhausungen und geeignet gestaffelte Unterdrücke in den Sicherheitsgebäuden war das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe» auch während der RDB-Deckeltransfers immer erfüllt.

Das ENSI konnte sich bei den durchgeführten Inspektionen davon überzeugen, dass im KKB während der Revisionsstillstände ein fachgerechter Strahlenschutz praktiziert wurde.

Strahlenschutzinstrumentierung

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

Im Berichtsjahr hat das KKB Jodmonitore zur Luftüberwachung der Brennelementlager in Block 1

und Block 2 nachgerüstet. Auch wurde der Aerosolmonitor zur Überwachung der Abluft im Rückstandslager im Block 1 ertüchtigt.

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 bis auf eine Probe Übereinstimmung mit den Werten des KKB. Bei einer Abwasserprobe wurde zwischen den KKB- und den ENSI-Messwerten eine etwas grössere Abweichung festgestellt. Das ENSI wird den künftigen Verlauf der Messwerte der Abwasserproben genau verfolgen.
- 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 2015 wurden im KKG für rund 1200 beruflich strahlenexponierte folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Werte aus dem Jahr 2014):

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv	
	2015	2014
Revisionsstillstand	389	425
Leistungsbetrieb	104	57
Gesamte Jahreskollektivdosis	493	482

Im Kalenderjahr 2015 belief sich die Kollektivdosis im KKG auf 493 Pers.-mSv (2014: 482 Pers.-mSv). Die höchste im KKG registrierte Individualdosis betrug 8,4 mSv (2014: 6,6 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. Es sind keine Inkorporationen aufgetreten.

Zwischen dem 6. Juni und 6. Juli 2015 war die Anlage für die Revision abgestellt. Bei den Arbeiten

während des Revisionsstillstands wurden 389 Pers.-mSv akkumuliert; geplant waren 345 Pers.-mSv. Somit wurde der Dosiszielwert um ca. 12% überschritten.

Während des RDB-Deckel-Ziehens wurde der Aufenthalt im Containment auf diejenigen Personen begrenzt, die für die Ausführung der entsprechenden Tätigkeiten benötigt wurden. Wegen des nach wie vor erhöhten Gehalts an Trampuran im Primärkreislauf konnten erhöhte Iod-Konzentrationen in der Raumluft während dieser Phase nicht ganz ausgeschlossen werden. Die Zutrittsbeschränkungen wurden durch KKG-interne Aktionsschwellen ausgelöst, die vor der Revision definiert worden waren. Die kontinuierliche Überwachung der Luftkontamination zeigte denn auch beim Öffnen des Primärkreises einen Anstieg der Konzentration von ^{60}Co , ^{132}I und von Edelgasen. Die Maximalwerte blieben aber deutlich unter dem Richtwert von 1 CA. Die niedrige Freisetzung von Iod ist auf die zurückliegenden defektfreien Betriebszyklen zurückzuführen. Bereits am Tag nach dem Anheben des RDB-Deckels sank die Luftkontamination dank der erweiterten Spülluftkapazität unter die Nachweisgrenze von $0,1 \text{ Bq/m}^3$.

Nach dem Abfahren der Anlage präsentierte sich die kontrollierte Zone, insbesondere die grossen Anlagenräume des Containments, in einem sauberen und zonenkonformen Zustand. Der Kontaminationsgrad der Räume blieb während der gesamten Revision und danach niedrig. Seit Beginn der Zinkdosierung im Jahr 2005 nahm die Dosisleistung an ausgewählten Primärkreislaufkomponenten um ca. 62% ab, gegenüber dem Vorjahr lag die Differenz bei ca. -7%.

Die Ergebnisse des routinemässigen Ausmessens der grossen Anlageräume wiesen auf einen «hot spot» an der Druckhalter-Entwässerungsleitung hin, der eine Dosisleistung von 105 mSv/h zeigte. Der «hot spot» wurde für den Wechsel der Heizstäbe besonders abgeschirmt.

Neben den jährlichen Routinearbeiten für den Brennelementwechsel waren die wichtigsten Arbeiten aus Sicht des Strahlenschutzes während der Revision 2015 die zerstörungsfreien Prüfungen an den Stutznähten der Looleitungen, die Begehung des Ringspalts zur Kontrolle der RDB-Abstützung, die Kontrolle diverser Ventile, die Vor- und Nacharbeiten zur Druckprobe des Primärkreises sowie der Ersatz der Hauptkühlmittelpumpendichtungen.

Für die Begrenzung und Optimierung der externen Exposition wurde ein umfangreiches temporäres

Abschirmkonzept umgesetzt. Zudem wurde im Vorfeld des Austauschs der Heizstäbe an den Druckhaltern und für die zerstörungsfreie RDB-Deckelprüfung ein Mock-up-Training durchgeführt.

Für acht Arbeiten wurden detaillierte Dosisplanungen im Vorfeld erstellt. Bei den zerstörungsfreien Prüfungen von Rohrleitungen und Armaturen wurden die vorgängig erhobenen Aufenthaltszeiten im Strahlenfeld etwas unterbewertet, was zu einer Überschreitung der Plandosis führte.

Bei seinen Inspektionen konnte sich das ENSI davon überzeugen, dass im KKG die Strahlenschutzplanung und -vorbereitung sowie die Kontrolle und Begleitung der Arbeiten durch das Strahlenschutzpersonal wirksam betrieben wurden. 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 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 Kontrollen 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 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 bis auf eine Probe Übereinstimmung mit den Werten des KKG. Bei einem Jodfilter wurde zwischen den KKG- und den ENSI-Messwerten eine etwas grössere Abweichung festgestellt. Die Messwerte lagen knapp über der Nachweisgrenze. Das ENSI wird den künftigen Verlauf der Messwerte der Jodfilter im Auge behalten.
- 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 2015 wurden im KKL für rund 2100 beruflich strahlenexponierte Personen folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Zahlen aus dem Jahr 2014):

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv	
	2015	2014
Revisionsstillstand	1209	1080
Leistungsbetrieb	366	398
Gesamte Jahreskollektivdosis	1575	1478

Im Berichtsjahr belief sich die im KKL akkumulierte Kollektivdosis auf 1575 Pers.-mSv (DIS-Dosen). Die höchste registrierte Jahresindividuale Dosis betrug 10,0 mSv (2014: 12,2 mSv). Alle Individualdosen lagen deutlich 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.

Während des 31. Zyklus sowie während der Brennelementinspektionen wurden keine Hinweise auf Brennelementschäden festgestellt. Die Wasserstoffeinspeisung wurde vorgängig abgestellt, um den Übertrag von Jod aus der Wasser- in die Dampfphase zu minimieren. Es wurde im Berichtsjahr während des Abfahrens kein Jod-Peak festgestellt.

Die Jahreshauptrevision dauerte vom 10. August bis zum 17. September 2015. Der radiologische Zustand im Primärteil der Anlage hat sich generell im Vergleich zum Vorjahr nicht wesentlich verändert und kann als gut bezeichnet werden. Die getroffenen Massnahmen bis zum Wiederaufahren der Anlage haben in den Räumen des Abfahrkühlsystems (RHR) zu einer Stabilisierung oder sogar zu einer Abnahme der Dosisleistung geführt. Trotz Veränderung der radiochemischen Parameter des Reaktorwassers hat sich an den Systemen des Drywells die Dosisleistung nicht signifikant geändert, der Dosisleistungsmittelwert an den Rezirkulationsschleifen lag mit 1,61 mSv/h im Bereich des Vorjahrs (1,64 mSv/h). Die Anzahl der Hot Spots in der Anlage blieb im Vergleich zu den Vorjahren unverändert. Die Umstellung des Wassermanagements während der Revision hat zu diesem positiven Ergebnis beigetragen.

Die Dosisprognose für die gesamte Revision hatte 1150 Pers.-mSv ergeben, tatsächlich wurde eine Kollektivdosis von 1189 Pers.-mSv (EPD-Werte) akkumuliert. Die Planung wurde mit nur 3% Abweichung vom Sollwert eingehalten, was innerhalb einer Planungsungenauigkeit von $\pm 20\%$ liegt. Diese leichte Überschreitung des Planwerts entstand durch Mehrarbeit bei Sicherheitsventilen im Drywell sowie wegen zusätzlicher störungsbedingter Arbeiten am Polarkran.

Die Kollektivdosisplanungen der einzelnen Jobs sind in vielen Fällen sehr gut ausgefallen; es wurden oft nur geringe Abweichungen von den geplanten Werten festgestellt. Gemäss den Meldekriterien wurden dem ENSI vor der Revision Dosisplanungen für zwei Arbeiten mit erwarteten Kollektivdosen von über 50 Pers.-mSv eingereicht: zerstörungsfreie Prüfungen an Schweißnähten der Recirc-Schleifen und die Inspektion des Flow Control Valves (FCV). Die geplanten Kollektivdosen lagen bei 68 Pers.-mSv bzw. 55 Pers.-mSv., tatsächlich akkumuliert wurden 24 Pers.-mSv bzw. 38 Pers.-mSv. Wegen Problemen mit dem Polarkran, die im Aufsichtsbericht des ENSI näher beschrieben sind, wurde für die Arbeit «Reaktordruckbehälter schliessen» eine Kollektivdosis von 58 Pers.-mSv akkumuliert. Geplant waren 48 Pers.-mSv. Das KKL hat deshalb eine korrigierte Strahlenschutzplanung eingereicht. Der KKL-Strahlenschutz hat die Unterschiede zwischen Planungskollektivdosen und tatsächlich akkumulierten Kollektivdosen für rund 20 strahlenschutzrelevante Arbeiten analysiert und die Ergebnisse im Revisionsbericht Strahlenschutz zufriedenstellend präsentiert.

Im Drywell stieg die ODL für den Bereich «unten» im Vergleich mit den Vorjahren an. Sie beträgt jetzt etwa 0,42 mSv/h, mit reduzierter, an die Arbeiten angepasster Abschirmung. Mit voller Abschirmung hätte der Strahlenschutz des KKW Leibstadt eine ODL von etwa 3,2 mSv/h erwartet. Im Vergleich mit dem Jahr 2006 wäre das eine um etwa 50% gestiegene ODL. Für die Reaktoreinbauten (Reaktordruckbehälter, Dampftrockner und Wasserabscheider) stiegen die Dosisleistungen auch im Jahr 2015 leicht an. Das KKL wird diesen Trend im Hinblick auf mögliche Anpassungen im Bereich der Wasserchemie (OLNC) weiter beobachten.

Das ENSI stellte bei mehreren angemeldeten und nicht angemeldeten Inspektionen fest, dass im KKL ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz praktiziert wird. In einem Fall wurde das Abziehen von Schutzkleidung vom ENSI beanstandet. Der Vorfall hatte eine Nachschulung von Strahlenschutzmitarbeitern zur Folge.

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKL 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.

Im Berichtsjahr wurde die Anerkennung der Personendosimetriestelle des KKL für fünf Jahre verlängert. Im Rahmen der Reanerkennung wurde das TL-Dosimetersystem durch ein DIS-Dosimetersystem ersetzt.

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

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Jodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKL.
- An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des KKL den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeit erbracht.

1.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2015 wurden im KKM für die rund 1300 beruflich strahlenexponierten Personen folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Zahlen aus dem Jahr 2014):

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv	
	2015	2014
Revisionsstillstand	597	515
Leistungsbetrieb	296	284
Gesamte Jahreskollektivdosis	893	799

Im Berichtsjahr belief sich die Kollektivdosis im KKM auf 893 Pers.-mSv (TLD-Werte). Die höchste ermittelte Individualdosis betrug 8,4 mSv (2014: 9,4 mSv). Der in der Strahlenschutzverordnung festgelegte Jahresgrenzwert von 20 mSv für beruf-

lich strahlenexponierte Personen wurde somit deutlich unterschritten. Im Berichtszeitraum traten weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen auf.

Im Vorjahr hatte eine Erhöhung der Zinkdosierung zu einer deutlichen Dosisleistungsreduktion geführt. Aus diesem Grund änderte das KKM die wasserchemische Fahrweise mit Zink-, Edelmetall- und Wasserstoff-Einspeisung gegenüber dem Vorjahr nicht wesentlich. Der Mittelwert aus insgesamt 30 Dosisleistungsmessungen an verschiedenen Stellen an den beiden Umwälzschleifen lag bei 1,44 mSv/h. Im Vergleich mit den Vorjahren sank die Dosisleistung wiederholt um 13% (2014: 1,66 mSv/h, 2013: 1,79 mSv/h, 2012: 1,71 mSv/h, 2011: 1,67 mSv/h, 2010: 1,67 mSv/h). Ähnlich ist auch die durchschnittliche Dosisleistung an den Frischdampfleitungen mit ca. 14% gegenüber dem Vorjahr gesunken. Aufgrund der Brennelementdefektfreiheit der vergangenen Jahre sowie weiterer Faktoren wie Sauberkeit, Fremdkörpereintragskontrolle, Housekeeping, Instandhaltung dekontaminierbarer Oberflächen ist das allgemeine Kontaminationsniveau innerhalb der Anlage im internationalen Vergleich mit Anlagen ähnlicher Betriebsdauer sehr gering.

Vom 2. bis zum 30. August 2015 war die Anlage für die geplante Jahresrevision abgestellt. Mit 710,6 Pers.-mSv (EPD-Werte) lag die Kollektivdosis im Revisionsstillstand 2015 gleichauf mit dem vom KKM vor Beginn der Arbeiten geschätzten Wert von 710 Pers.-mSv. Die Übereinstimmung der über alle Arbeiten aufsummierten Werte täuscht darüber hinweg, dass die Abweichung für ein paar wenige Arbeiten deutlich höher war. Bei den Isolierarbeiten lag der tatsächliche Wert +16% über dem geschätzten Wert und bei den Elektroarbeiten -33% unterhalb. Diese Abweichungen werden durch die teils ungenauen Angaben aus der Planung, wie z.B. Personenanzahl und Aufenthaltszeiten, verursacht. Die Abweichung bei den Wiederholungsprüfungen im Drywell lag sogar bei +40% und wurde durch lange Aufenthaltszeiten im Strahlenfeld für das Beheben von Fehlern an den Prüfmanipulatoren verursacht. Im Drywell konnte durch Koordination der Arbeitsabläufe sowie Strahlenschutzdisziplin vor Ort das Dosisplanungsziel, welches aus einer anspruchsvollen Planung mit optimierten Massnahmen abgeleitet wurde, tatsächlich eingehalten werden. Trotz dieser Ausnahmen resultierten bei den allermeisten Einzelarbeiten sehr kleine Abweichungen

(unter 5%). Folglich kann man gesamthaft für das KKM eine fachgerechte Dosisabschätzung feststellen.

Für die Revision 2015 waren keine Arbeiten mit Kollektivdosen von mehr als 50 Pers.-mSv geplant, was die Meldung einer ausführlichen Strahlenschutzplanung zuhanden des ENSI zur Folge gehabt hätte. Als aussergewöhnliche Arbeiten mit Relevanz für den Strahlenschutz galten die Instandhaltungsarbeiten im und am Torus, für die dem ENSI im Rahmen der regulären Inspektionstätigkeit eine detaillierte Strahlenschutzplanung zur Verfügung gestellt wurde.

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, Absperungen, 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 Eigenpersonal, 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.

Nach der Jahresrevision musste Ende Dezember 2015 eine Kleinstleckage an einem Stutzen des nichtregenerativen Wärmeaustauschers im Reaktorwasserreinigungssystem repariert werden. Hierfür hatte das KKM ebenfalls eine Strahlenschutzplanung erstellt und die darin festgelegten Strahlenschutz- und Überwachungsmassnahmen vorbereitet. Aufgrund der Dosisleistung und der mit konservativen Annahmen veranschlagten Aufenthaltszeiten wurden ca. 7 Pers.-mSv als Kollektivdosis vom zuständigen Strahlenschutztechniker vorgängig abgeschätzt. Tatsächlich wurden knapp 5,6 Pers.-mSv akkumuliert, weil die Aufenthaltszeiten kürzer waren als geplant.

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 Übereinstimmung mit den Werten des KKM.
- 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 SAPHIR und DIORIT sind Kernanlagen und werden durch das ENSI beaufsichtigt.

Im Jahr 2015 akkumulierten die 1581 beruflich strahlenexponierten Personen des PSI eine Kollektivdosis von 114,2 Pers.-mSv (2014: 81,5 Pers.-mSv). Davon stammen 41,9 Pers.-mSv aus dem Aufsichtsbereich des ENSI mit 316 beruflich strahlenexponierten Personen (2014: 19,4 Pers.-mSv) bei einer höchsten Individualdosis von 9,2 mSv (2014: 2,0 mSv).

Bei mehreren Inspektionen hat das ENSI festgestellt, dass der operationelle Strahlenschutz in den Kernanlagen des PSI die gesetzlichen und behördlichen Vorgaben erfüllt.

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 Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Im Berichtsjahr hat das PSI beim gestaffelten Ersatz der ortsfesten Dosisleistungsmessgeräte im Hotlabor weitere 6 Messgeräte ausgetauscht und Teilsysteme der radiologischen Abwasserüberwachung erneuert. Der Ersatz erfolgt, weil der Gerätehersteller keine Ersatzteile mehr für die alten Messgeräte bereitstellt.

Zusätzlich wurden im Berichtsjahr die Fortluftüberwachungen des Bundeszwischenlagers, des Abfalllabors und des Betriebsgebäudes mit Tritium- und Kohlenstoff-14-Bilanzierungsstationen nachgerüs-

tet. Mit diesen Stationen kann neu zwischen den verschiedenen chemischen Formen von Tritium (HT und HTO) und von Kohlenstoff-14 (CO₂ und organisch gebundener Kohlenstoff) unterschieden werden. Zusätzlich wurde in der Fortluftüberwachung des Abfalllabors der Tritium-On-Line-Monitor erneuert.

Auch wurde im Vorfeld des Rückbaus der Versuchsverbrennungsanlage die radiologische Fortluftüberwachung des zugehörigen Gebäudes dem Stand der Technik entsprechend erneuert.

Im Berichtsjahr wurde die Anerkennung der Personendosisstelle des PSI für fünf Jahre verlängert. 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 Dosisstelle des PSI den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)

Im Jahr 2015 akkumulierten im ZZL 213 beruflich strahlenexponierte Personen eine Kollektivdosis von 28,8 Pers.-mSv. Sie lag damit bei 107% des geplanten Wertes von 26,9 Pers.-mSv. Grund für die leichte Überschreitung der geplanten Dosis waren umfassende Revisionsarbeiten an der Plasmaanlage mit schwer vorherzusagender Jobdosis. Die höchste registrierte Einzeldosis betrug 3,2 mSv (2014: 1,9 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 mit signifikanten Beiträgen zur Kollektivdosis zählten unter anderem die Arbeiten an der Ausmauerung der Plasma-Anlage, die Instandhaltungsarbeiten am Gebäude V sowie die Instandhaltung der Rauchgasreinigung und der Wasseraufbereitung. Der Betrieb der Plasma-Anlage, die erfolgreich zur Endkonditionierung brennbarer und schmelzbarer radioaktiver Abfälle betrieben wird, umfasste im Jahr 2015 nur eine Kampagne mit einer Dauer von 12 Wochen zwischen 7. April und 26. Juni. Während dieser Kampagne wurden 631 Abfallfässer mit aktivem verbrenn- und schmelzbarem Abfall verarbeitet. Die Vorgabe von 500 Fässern wurde wiederum übertroffen.

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 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 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 CARROUSEL, die Neutronenquellenkavität 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 (IPHYS) angehört. Im Jahr 2015 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 190,8 Stunden bei kleiner Leistung (bis 100 W) für Ausbildungs- und Forschungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 264,5 Wh thermische Energie erzeugt. Die zu Beginn des Berichtsjahres anstehenden Unterhaltsarbeiten konnten ohne Probleme durchgeführt werden. Das Experiment CARROUSEL wurde für Praktika verwendet.

Die beruflich strahlenexponierten Personen im EPFL haben eine Kollektivdosis von 0,5 Pers.-mSv akkumuliert. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend. Im Dezember 2015 hat das ENSI seine Jahresinspektion durchgeführt. Dabei wurden technische, organisatorische und personelle Änderungen besprochen und es wurden die Anlagenräume inspiziert. Das ENSI kommt zum Schluss, dass die bewilligten Betriebsbedingungen im Jahr 2015 vollumfänglich eingehalten wurden.

2.4 Universität Basel

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

Im Berichtsjahr wurde der Brennstoff des Forschungsreaktors erfolgreich in die USA zurückgeführt. Sowohl die Vorbereitungsarbeiten als auch der Abtransport konnten wie geplant durchgeführt werden. Während dieser Arbeiten wurde eine Kollektivdosis von 0.1 Pers.-mSv akkumuliert. Ein weiterer Betrieb ist somit nicht mehr möglich; der Reaktor wurde während des Berichtsjahres nie hochgefahren. Die Universität Basel setzte deshalb den Abtransport des Kernbrennstoffs mit der endgültigen Ausserbetriebnahme des Reaktors gleich. Daher wurde der Eigentümer laut Kernenergiegesetzgebung stilllegungspflichtig und muss den Aufsichtsbehörden ein Projekt für die vorgesehene Stilllegung vorlegen. Die von der Behörde gesetzte Frist erstreckt sich bis zum 31. August 2017 (zwei Jahre nach Ausserbetriebnahme). Die im Reaktorraum gelagerten radioaktiven Quellen wurden in einen separaten Raum

verlagert und wechselten vom Aufsichtsbereich des ENSI in denjenigen des BAG.

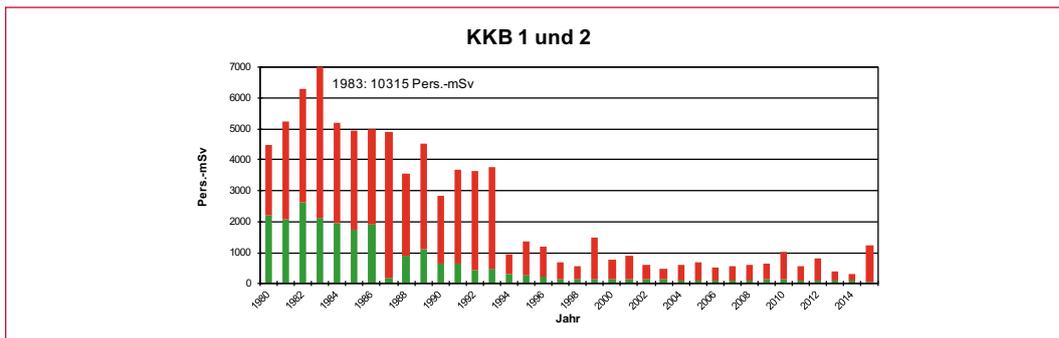
Die drei beruflich strahlenexponierten Personen haben im Berichtsjahr während des Normalbetriebs Dosen akkumuliert, die unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und den Abwasserpfad war unbedeutend. Im Dezember 2015 hat das ENSI im Rahmen der Jahresinspektion die Anlage mit dem entladenen Reaktor inspiziert.

Das ENSI stellte fest, dass die vorgegebenen Betriebsbedingungen und die Vorschriften zum Strahlenschutz für das Personal und die Umwelt im Jahr 2015 eingehalten wurden.

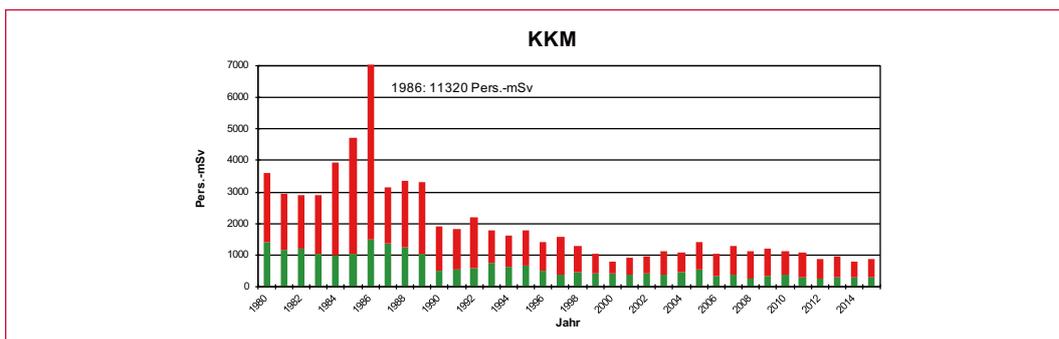
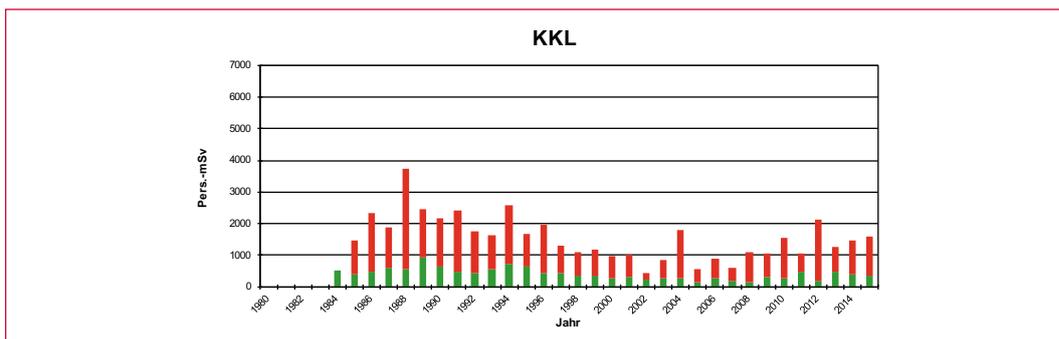
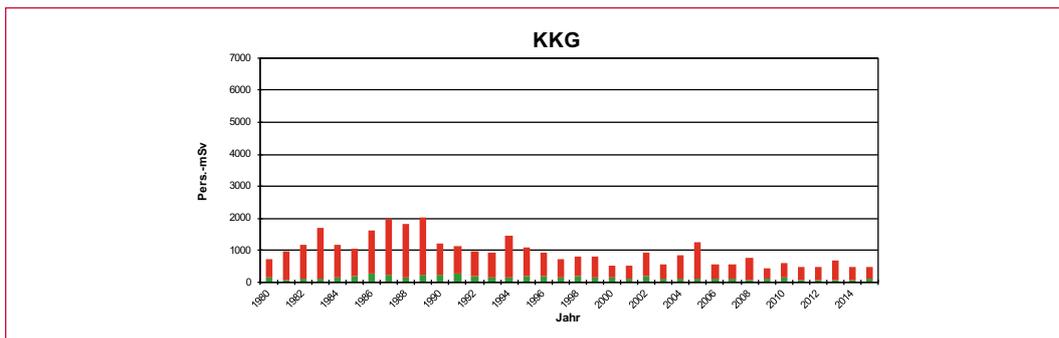
3. Grafische Darstellungen

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

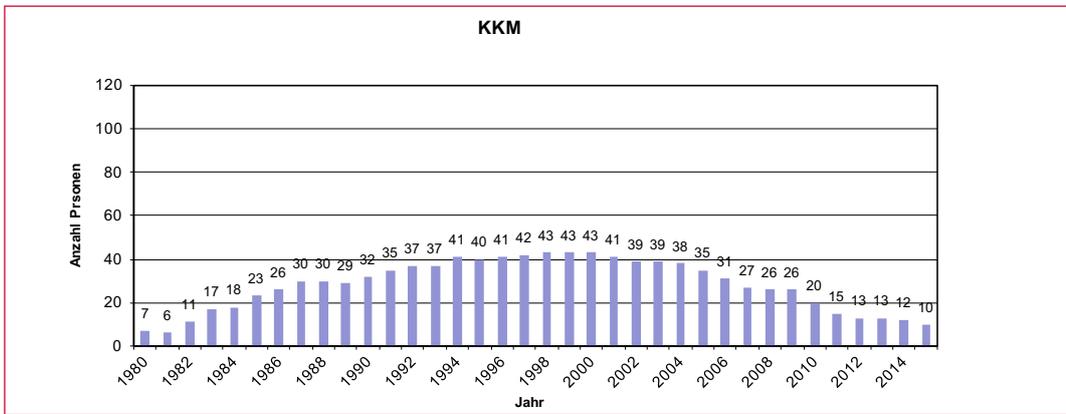
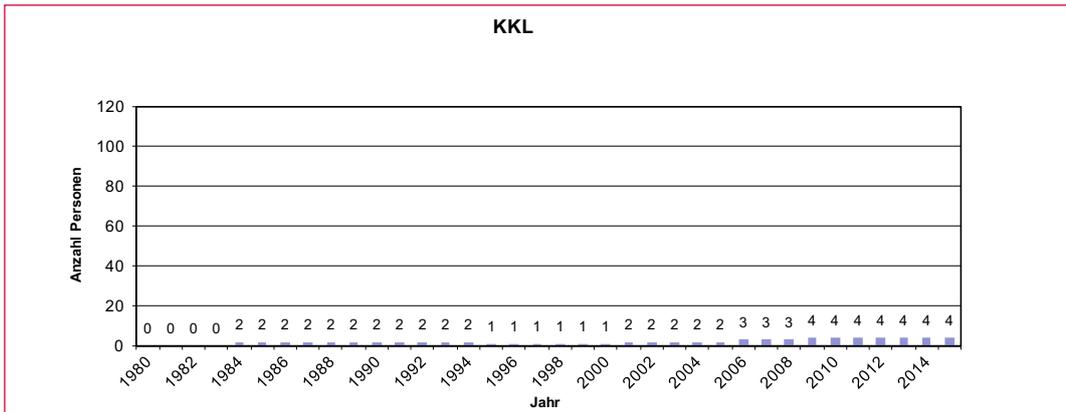
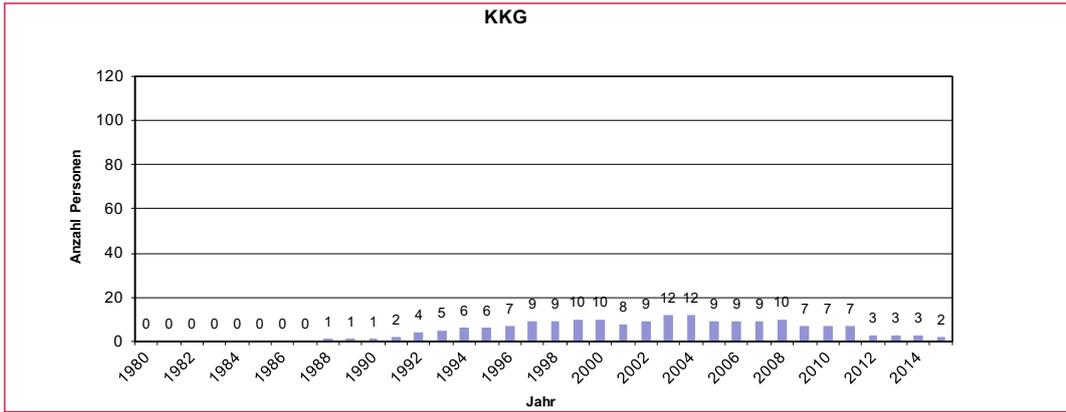
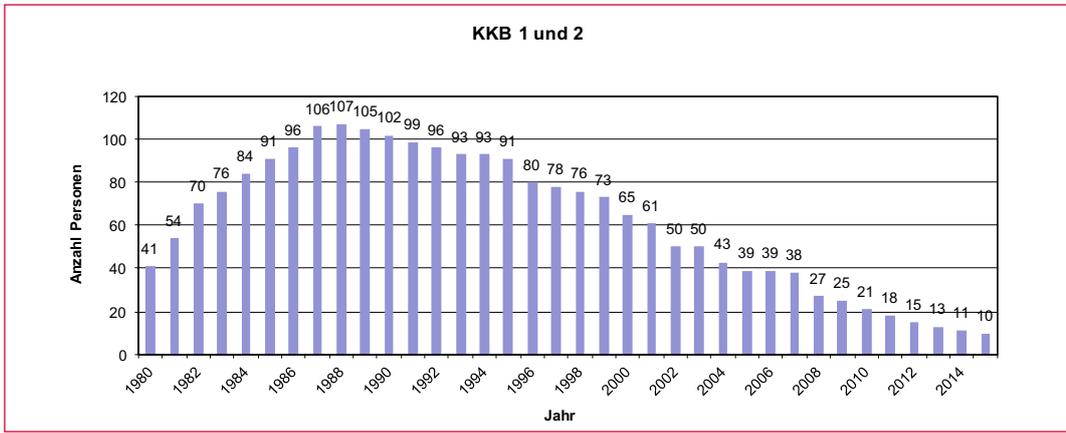
in den Kernkraftwerken, im ZZL und im PSI seit Inbetriebnahme der Anlagen wieder. Die Anzahl Personen kann den Tabellen A.1 und A.20 entnommen werden.



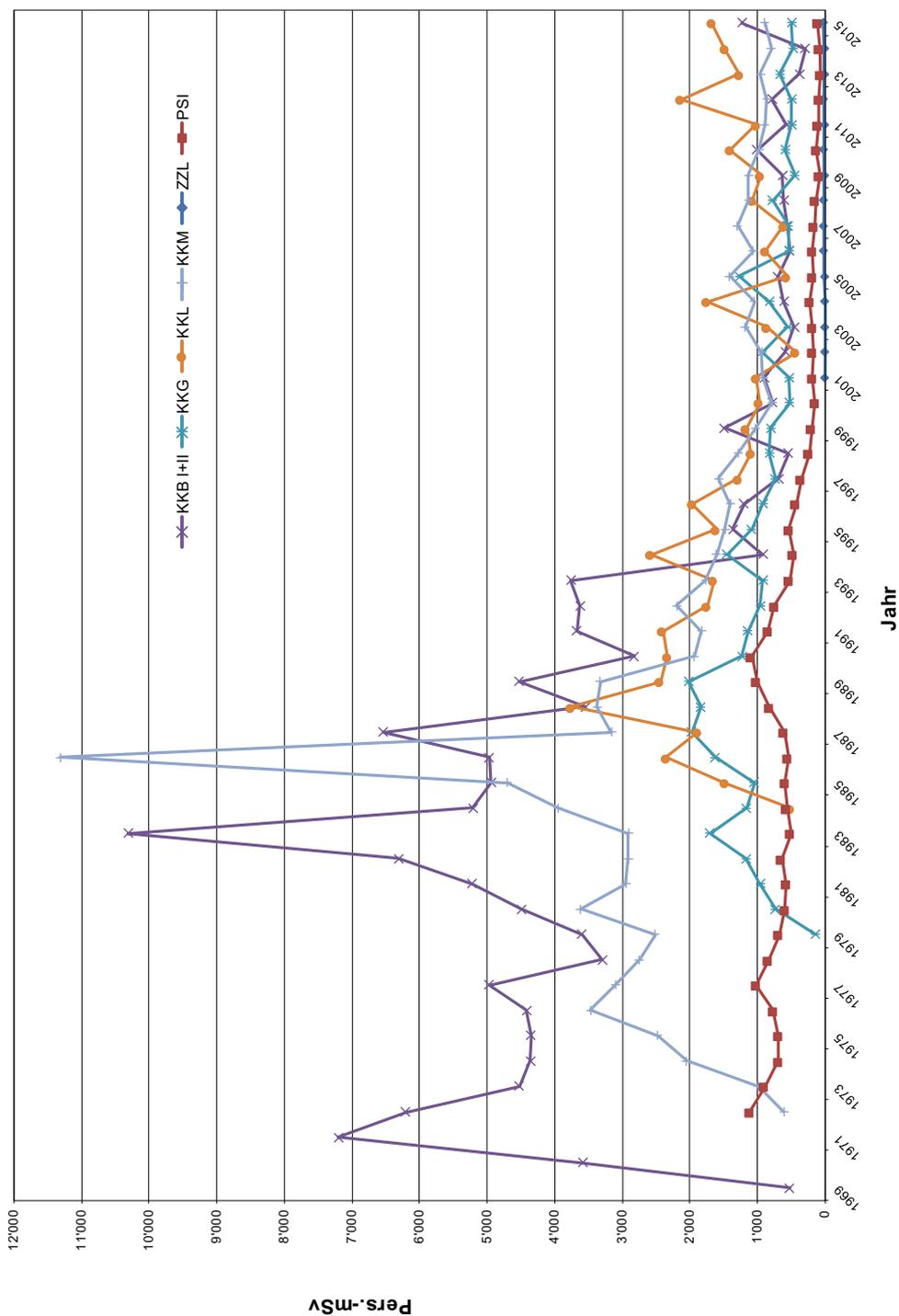
Darstellung A.1: Jahreskollektivdosen (Pers.-mSv) der Kernkraftwerke von 1980 bis 2015. Rot bezeichnet sind die Daten aus den Revisionsstillständen, grün diejenigen aus dem Leistungsbetrieb.



Darstellung A.2:
Anzahl Personen mit
einer beruflichen
Lebensdosis über
200 mSv, Kernkraft-
werke, 1980 bis 2015



Darstellung A.3:
 Entwicklung der Kollektivdosen (Pers.-mSv)
 in den Kernanlagen,
 1969 bis 2015



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 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 ein Beitrag zu der in der Strahlenschutzverordnung verlangten Optimierung der radiologischen Schutzmassnahmen geleistet.

In der Richtlinie ENSI-G15 «Strahlenschutzziele für Kernanlagen» ist für die jährliche Kollektivdosis einer Anlageneinheit (Block) ein Wert von maximal 1500 Pers.-mSv festgelegt. Bei einer Überschreitung dieses Werts prüft das ENSI die Optimierungsmassnahmen des Betreibers im Detail. Im Fall von KKL, das im Jahr 2015 1575 Pers.-mSv erreichte, hat das ENSI die im Leistungsbetrieb und während der Revision durchgeführten Massnahmen für gut befunden.

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 registriert.

Für das ZZL übernimmt die Personendosimetriestelle des KKB diese Aufgabe. Die Neutronendosimeter werden für alle Anlagen von der Dosimetriestelle des PSI ausgewertet.

4.2 Personendosimetrie

Das dosimetrierte Personal in den Kernanlagen wird in zwei Kategorien eingeteilt: Es sind dies das Eigenpersonal (EP) und das 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 in diesen Fällen 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 2015 haben die fünf vom ENSI anerkannten Personendosimetriestellen (KKB, KKG, KKL, KKM und PSI) insgesamt 7297 beruflich strahlenexponierte Personen mit einer Kollektivdosis von 4258,5 Pers.-mSv gemeldet (Mehrfachbuchungen bereinigt). Die an den Universitäten verwendeten Dosimeter werden entweder vom Institut Universitaire de Radiophysique Appliquée (IRA) oder von der SUVA ausgewertet. Die Meldungen der Dosimetriestelle des PSI umfassen Dosen, die sowohl in Anlagen aus dem Aufsichtsbereich des BAG als auch in Anlagen aus dem Aufsichtsbereich dem ENSI akkumuliert wurden. Die vom PSI zur Verfügung gestellten und ausgewerteten Neu-

tronen-Dosimeter vom Typ PADC (siehe auch Tabelle A.15) werden im Aufsichtsbereich des ENSI von den einzelnen Personendosimetriestellen zugeteilt und die Resultate ebendort entsprechend verbucht.

In den folgenden Tabellen werden die detaillierten Dosimetriedaten nach Anzahl Personen, Individual- und Jobdosen sowie nach Kernanlagen aufgeschlüsselt.

Tabelle A.1:
Zusammenfassung der Kollektivdosen in den schweizerischen Kernanlagen, 2015, Eigen- und Fremdpersonal. Die Zahl beim PSI umfasst auch den Aufsichtsbereich des BAG.

Kernanlage	Anzahl überwachte Personen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
KKB 1 und 2	2039	1226.9
KKG	1300	492.6
KKL	2116	1574.6
KKM	1294	893.2
ZZL	213	28.8
PSI	1581	114.2
Universitäten	19	0.5
Aufsichtsbereich des ENSI	7297	4258.5

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	459	1231	1690	413	739	1152	391	1261	1652	256	745	1001	1519	3976	5495
> 1.0– 2.0	40	95	135	24	49	73	32	135	167	50	115	165	146	394	540
> 2.0– 5.0	23	137	160	21	41	62	52	199	251	42	66	108	138	443	581
> 5.0–10.0	6	46	52	9	4	13	12	34	46	7	13	20	34	97	131
> 10.0–15.0	1	1	2										1	1	2
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total Personen	529	1510	2039	467	833	1300	487	1629	2116	355	939	1294	1838	4911	6749
Mittel pro Person [mSv]	0.5	0.6	0.6	0.4	0.3	0.4	0.7	0.8	0.7	0.8	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6

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			Universitäten ¹⁾	Total Forschung	ZZL			Total KKW	Total Kernanlagen und Forschung
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP		
0.0– 1.0	1176	375	1551	19	1570	66	140	206	5495	6028
> 1.0– 2.0	15	1	16		16	4	1	5	540	546
> 2.0– 5.0	8	4	12		12	2		2	581	588
> 5.0–10.0		2	2		2				131	133
> 10.0–15.0									2	2
> 15.0–20.0										
> 20.0–50.0										
> 50.0										
Total Personen	1199	382	1581	19	1600	72	141	213	6749	7297
Mittel pro Person [mSv]	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.3	0.0	0.2	0.6	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.

Universitäten: EPF Lausanne und Universität Basel

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

¹⁾ Universitäten: EPF Lausanne und Universität Basel

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	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
0.0– 1.0	64.6	130.5	195.1	38.2	73.2	111.4	46.4	190.1	236.5	44.2	132.1	176.3	193.4	525.9	719.3
> 1.0– 2.0	58.8	138.8	197.6	35.0	71.4	106.4	47.8	202.4	250.2	75.4	172.3	247.7	217.0	584.9	801.9
> 2.0– 5.0	73.8	414.3	488.1	73.8	118.4	192.2	174.7	616.6	791.3	135.3	206.7	342.0	457.6	1356.0	1813.6
> 5.0–10.0	40.0	285.2	325.2	57.2	25.4	82.6	75.9	220.7	296.6	45.8	81.4	127.2	218.9	612.7	831.6
> 10.0–15.0	10.2	10.7	20.9										10.2	10.7	20.9
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total [Pers.-mSv]	247.4	979.5	1226.9	204.2	288.4	492.6	344.8	1229.8	1574.6	300.7	592.5	893.2	1097.1	3090.2	4187.3
Höchste Einzeldosis [mSv]	10.2	10.7	10.7	8.4	7.2	8.4	7.3	10.0	10.0	7.2	8.4	8.4	10.2	10.7	10.7

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 ¹⁾	Total Forschung	ZZL			Total KKW	Total Kernanlagen und Forschung
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP		
0.0– 1.0	34.1	10.2	44.3	0.5	44.8	11.2	2.9	14.1	5495.0	745.7
> 1.0– 2.0	22.3	1.1	23.4		23.4	7.3	1.9	9.2	540.0	813.0
> 2.0– 5.0	21.0	10.8	31.8		31.8	5.5		5.5	581.0	1832.6
> 5.0–10.0		14.7	14.7		14.7				131.0	846.3
> 10.0–15.0									2.0	20.9
> 15.0–20.0										
> 20.0–50.0										
> 50.0										
Total [Pers.-mSv]	77.4	36.8	114.2	0.5	114.7	24.0	4.8	28.8	6749.0	4258.5
Höchste Einzeldosis [mSv]	3.3	9.2	9.2	0.1	9.2	3.2	1.9	3.2	10.7	10.7

Tabelle A.3b:
Kernanlagen
und Forschung
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.

¹⁾ Universitäten: EPF Lausanne und Universität Basel

Verteilung der beruflichen Lebensdosis des Eigenpersonals

Tabelle A.4a:
Kernanlagen und PSI,
Anzahl Personen

Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM	KKW Total	PSI	ZZL	Kernanlagen und PSI Total
> 100–150	22	1	9	15	47		0	47
> 150–200	5	4	5	7	21	3		24
> 200–250	4	1	2	4	11	3		14
> 250–300	3	1	2	1	7	1		8
> 300–350	1			2	3			3
> 350–400	1			1	2			2
> 400–450				1	1			1
> 450–500								
> 500–550				1	1			1
> 550–600								
> 600	1				1			1
Total Personen	37	7	18	32	94	7	0	101

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

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

Dosisbereich [mSv]	21–30 Jahre	31–40 Jahre	41–50 Jahre	51–60 Jahre	> 60 Jahre	Kernanlagen und PSI Total
> 100–150			4	35	8	47
> 150–200				17	7	24
> 200–250			1	10	3	14
> 250–300				3	5	8
> 300–350				2	1	3
> 350–400				1	1	2
> 400–450					1	1
> 450–500						
> 500–550					1	1
> 550–600						
> 600					1	1
Total Personen			5	68	28	101

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	21		61	3	837	48	1198	79	1490	99	1624	81	468	19	6028
> 1.0– 2.0	1		3		94		108	3	156	2	153		26		546
> 2.0– 5.0	1		1		123	1	117	1	143		171		30		588
> 5.0–10.0					22		41		35		30		5		133
> 10.0–15.0							1		1						2
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total Personen	23		65	3	1076	49	1465	83	1825	101	1978	81	529	19	7297
Mittel pro Person [mSv]	0.27		0.32	0.00	0.72	0.09	0.65	0.15	0.61	0.05	0.58	0.04	0.40	0.05	0.58
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	6.3		20.8	0.0	773.1	4.3	957.6	12.2	1111.8	5.4	1151.6	2.9	211.1	0.9	4258.0

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	5		10	4	220	77	331	103	345	52	265	37	109	12	1570
> 1.0– 2.0					2	1	2	1	4		5		1		16
> 2.0– 5.0					1		1	1	4		5				12
> 5.0–10.0							1		1						2
> 10.0–15.0															
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total Personen	5		10	4	223	78	335	105	354	52	275	37	110	12	1600
Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.00	0.00	0.04	0.06	0.07	0.05	0.10	0.02	0.11	0.00	0.06	0.08	0.07
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.0	0.0	8.8	4.5	22.0	5.1	34.0	1.2	31.6	0.0	6.5	1.0	114.7

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 2015

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	3			9		28	3	63	5	141	6	156	7	36	
> 1.0– 2.0						4		11		15		8		2		40
> 2.0– 5.0						1		2		5		12		3		23
> 5.0–10.0								1		1		4				6
> 10.0–15.0										1						1
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		3		9		33	3	77	5	163	6	180	7	41	2	529
Mittel pro Person [mSv]		0.07		0.19		0.28	0.00	0.57	0.02	0.49	0.02	0.54	0.10	0.33	0.05	0.47
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.2		1.7		9.3	0.0	43.8	0.1	80.4	0.1	97.3	0.7	13.7	0.1	247.4

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			6		189	5	272	5	315	13	324	8	89	
> 1.0– 2.0						22		21	1	28		17		6		95
> 2.0– 5.0						32		33		36		30		6		137
> 5.0–10.0						6		20		8		9		3		46
> 10.0–15.0								1								1
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		2		6		249	5	347	6	387	13	380	8	104	3	1510
Mittel pro Person [mSv]		0.00		0.00		0.80	0.02	0.84	0.20	0.62	0.05	0.51	0.03	0.49	0.00	0.65
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.0		0.0		199.6	0.1	290.1	1.2	240.7	0.7	195.5	0.2	51.3	0.0	979.4

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	5			15		217	8	335	10	456	19	480	15	125	
> 1.0– 2.0						26		32	1	43		25		8		135
> 2.0– 5.0						33		35		41		42		9		160
> 5.0–10.0						6		21		9		13		3		52
> 10.0–15.0								1		1						2
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		5		15		282	8	424	11	550	19	560	15	145	5	2039
Mittel pro Person [mSv]		0.04		0.11		0.74	0.01	0.79	0.12	0.58	0.04	0.52	0.06	0.45	0.02	0.60
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.2		1.7		208.9	0.1	333.9	1.3	321.1	0.8	292.8	0.9	65.0	0.1	1226.8

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2015

Tabelle A.7:
Kernkraftwerk Gösgen
(KKG)

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	1		1		29	4	88	5	122	14	107	8	34		413
	> 1.0– 2.0							8		8		5		3		24
	> 2.0– 5.0					2		4		9		4		2		21
	> 5.0–10.0							1		8						9
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	1		1		31	4	101	5	147	14	116	8	39		467
	Mittel pro Person [mSv]	0		0.00		0.31	0.10	0.40	0.14	0.76	0.06	0.21	0.00	0.41		0.44
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.0		9.5	0.4	40.4	0.7	112.0	0.9	24.5	0.0	15.8		204.2

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	3		1		80	6	168	7	165	10	230	6	62	1	739
	> 1.0– 2.0					9		13		10	1	13		3		49
	> 2.0– 5.0					8	1	10		4		15		3		41
	> 5.0–10.0									1		2		1		4
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	3		1		97	7	191	7	180	11	260	6	69	1	833
	Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.90		0.47	0.34	0.37	0.19	0.25	0.11	0.36	0.00	0.39	0.00	0.35
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.9		45.8	2.4	70.0	1.3	45.2	1.2	94.6	0.0	27.0	0.0	288.4

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	4		2		109	10	256	12	287	24	337	14	96	1	1152
	> 1.0– 2.0					9		21		18	1	18		6		73
	> 2.0– 5.0					10	1	14		13		19		5		62
	> 5.0–10.0							1		9		2		1		13
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	4		2		128	11	292	12	327	25	376	14	108	1	1300
	Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.45		0.43	0.25	0.38	0.17	0.48	0.08	0.32	0.00	0.40	0.00	0.38
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.9		55.3	2.8	110.4	2.0	157.2	2.1	119.1	0.0	42.8	0.0	492.6

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2015

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	1			6		21	2	80	5	94	10	121	11	39	
> 1.0– 2.0						1		5		10		14		2		32
> 2.0– 5.0						2		13		15		17		5		52
> 5.0–10.0						1		5		2		4				12
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		1		6		25	2	103	5	121	10	156	11	46	1	487
Mittel pro Person [mSv]		0.00		0.18		0.69	0.35	0.95	0.14	0.66	0.02	0.78	0.09	0.53	0.00	0.71
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.0		1.1		17.3	0.7	97.8	0.7	80.0	0.2	121.5	1.0	24.5	0.0	344.8

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	7			31	2	294	6	233	8	285	7	298	7	81	
> 1.0– 2.0	1			3		32		25		30		38		6		135
> 2.0– 5.0	1					49		41	1	52		50		5		199
> 5.0–10.0						10		8		7		9				34
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		9		34	2	385	6	307	9	374	7	395	7	92	2	1629
Mittel pro Person [mSv]		0.68		0.36	0.00	0.79	0.10	0.83	0.51	0.78	0.13	0.81	0.14	0.38	0.00	0.75
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		6.1		12.2	0.0	304.7	0.6	254.3	4.6	290.9	0.9	319.1	1.0	35.4	0.0	1229.8

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	8			37	2	315	8	313	13	379	17	419	18	120	
> 1.0– 2.0	1			3		33		30		40		52		8		167
> 2.0– 5.0	1					51		54	1	67		67		10		251
> 5.0–10.0						11		13		9		13				46
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		10		40	2	410	8	410	14	495	17	551	18	138	3	2116
Mittel pro Person [mSv]		0.61		0.33	0.00	0.79	0.16	0.86	0.38	0.75	0.06	0.80	0.11	0.43	0.00	0.74
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		6.1		13.3	0.0	322.0	1.3	352.1	5.3	370.9	1.1	440.6	2.0	59.9	0.0	1574.6

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2015

Tabelle A.9:
Kernkraftwerk
Mühleberg (KKM)

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					28	4	31	7	67	4	86	2	26	1	256
	> 1.0– 2.0					6		4	1	14	1	22		2		50
	> 2.0– 5.0					5		6		9		20		2		42
	> 5.0–10.0							2		4		1				7
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
Total Personen					39	4	43	8	94	5	129	2	30	1	355	
Mittel pro Person [mSv]					0.78	0.00	1.04	0.25	0.90	0.26	0.96	0.00	0.46	0.00	0.85	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]					30.4	0.0	44.7	2.0	84.4	1.3	124.1	0.0	13.8	0.0	300.7	

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		3		104	2	171	8	179	10	180	11	73	3	745
	> 1.0– 2.0					20		21	1	38		33		2		115
	> 2.0– 5.0			1		24		8		11		18		4		66
	> 5.0–10.0					5		3		3		1		1		13
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
Total Personen	1		4		153	2	203	9	231	10	232	11	80	3	939	
Mittel pro Person [mSv]	0.00		1.20		1.01	0.00	0.52	0.17	0.64	0.00	0.64	0.00	0.35	0.00	0.63	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		4.8		155.2	0.0	106.4	1.5	148.5	0.0	147.9	0.0	28.2	0.0	592.5	

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		3		132	6	202	15	246	14	266	13	99	4	1001
	> 1.0– 2.0					26		25	2	52	1	55		4		165
	> 2.0– 5.0			1		29		14		20		38		6		108
	> 5.0–10.0					5		5		7		2		1		20
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
Total Personen	1		4		192	6	246	17	325	15	361	13	110	4	1294	
Mittel pro Person [mSv]	0.00		1.20		0.97	0.00	0.61	0.21	0.72	0.09	0.75	0.00	0.38	0.00	0.69	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		4.8		185.6	0.0	151.1	3.5	232.9	1.3	272.0	0.0	42.0	0.0	893.2	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2015

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	5			16		107	13	262	22	424	34	469	28	135	
> 1.0– 2.0						11		28	1	47	1	49		9		146
> 2.0– 5.0						10		25		38		53		12		138
> 5.0–10.0						1		9		15		9				34
> 10.0–15.0										1						1
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	5			16		129	13	324	23	525	35	580	28	156	4	1838
Mittel pro Person [mSv]	0.04			0.18		0.52	0.08	0.70	0.15	0.68	0.07	0.63	0.06	0.43	0.03	0.60
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.2			2.8		66.5	1.1	226.7	3.5	356.8	2.5	367.4	1.7	67.8	0.1	1097.1

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	13			41	2	667	19	844	28	944	40	1032	32	305	
> 1.0– 2.0	1			3		83		80	2	106	1	101		17		394
> 2.0– 5.0	1			1		113	1	92	1	103		113		18		443
> 5.0–10.0						21		31		19		21		5		97
> 10.0–15.0								1								1
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	15			45	2	884	20	1048	31	1172	41	1267	32	345	9	4911
Mittel pro Person [mSv]	0.41			0.40	0.00	0.80	0.16	0.69	0.28	0.62	0.07	0.60	0.04	0.41	0.00	0.63
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	6.1			18.0	0.0	705.3	3.1	720.8	8.6	725.3	2.8	757.1	1.2	141.9	0.0	3090.2

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	18			57	2	774	32	1106	50	1368	74	1501	60	440	
> 1.0– 2.0	1			3		94		108	3	153	2	150		26		540
> 2.0– 5.0	1			1		123	1	117	1	141		166		30		581
> 5.0–10.0						22		40		34		30		5		131
> 10.0–15.0								1		1						2
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	20			61	2	1013	33	1372	54	1697	76	1847	60	501	13	6749
Mittel pro Person [mSv]	0.32			0.34	0.00	0.76	0.13	0.69	0.22	0.64	0.07	0.61	0.05	0.42	0.01	0.62
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	6.3			20.8	0.0	771.8	4.2	947.5	12.1	1082.1	5.3	1124.5	2.9	209.7	0.1	4187.3

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2015

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	1				2	2	12	2	24	1	19		3		66
	> 1.0– 2.0									2		2				4
	> 2.0– 5.0									1		1				2
	> 5.0–10.0															
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
Total Personen	1				2	2	12	2	27	1	22		3		72	
Mittel pro Person [mSv]					0.25	0.00	0.23	0.00	0.44	0.00	0.40		0.00		0.33	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0				0.5	0.0	2.8	0.0	12.0	0.0	8.7		0.0		24.0	

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	1		2		28	1	31	1	29	3	38	2	4		140
	> 1.0– 2.0											1				1
	> 2.0– 5.0															
	> 5.0–10.0															
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
Total Personen	1		2		28	1	31	1	29	3	39	2	4		141	
Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.00		0.02	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.08	0.00	0.00		0.03	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.0		0.6	0.0	0.4	0.0	0.8	0.0	3.0	0.0	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	2		2		30	3	43	3	53	4	57	2	7		206
	> 1.0– 2.0									2		3				5
	> 2.0– 5.0									1		1				2
	> 5.0–10.0															
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
Total Personen	2		2		30	3	43	3	56	4	61	2	7		213	
Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.00		0.04	0.00	0.07	0.00	0.23	0.00	0.19	0.00	0.00		0.14	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.0		1.1	0.0	3.2	0.0	12.8	0.0	11.7	0.0	0.0		28.8	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2015

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	6			16		109	15	274	24	448	35	488	28	138	
> 1.0– 2.0						11		28	1	49	1	51		9		150
> 2.0– 5.0						10		25		39		54		12		140
> 5.0–10.0						1		9		15		9				34
> 10.0–15.0										1						1
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	6			16		131	15	336	25	552	36	602	28	159	4	1910
Mittel pro Person [mSv]	0.03			0.18		0.51	0.07	0.68	0.14	0.67	0.07	0.62	0.06	0.426	0.03	0.59
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.2			2.8		67.0	1.1	229.5	3.5	368.8	2.5	376.1	1.7	67.8	0.1	1121.1

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	14			43	2	695	20	875	29	973	43	1070	34	309	
> 1.0– 2.0	1			3		83		80	2	106	1	102		17		395
> 2.0– 5.0	1			1		113	1	92	1	103		113		18		443
> 5.0–10.0						21		31		19		21		5		97
> 10.0–15.0								1								1
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	16			47	2	912	21	1079	32	1201	44	1306	34	349	9	5052
Mittel pro Person [mSv]	0.38			0.38	0.00	0.774	0.15	0.67	0.27	0.60	0.06	0.58	0.04	0.407	0.00	0.61
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	6.1			18.0	0.0	705.9	3.1	721.2	8.6	726.1	2.8	760.1	1.2	141.9	0.0	3095.0

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	20			59	2	804	35	1149	53	1421	78	1558	62	447	
> 1.0– 2.0	1			3		94		108	3	155	2	153		26		545
> 2.0– 5.0	1			1		123	1	117	1	142		167		30		583
> 5.0–10.0						22		40		34		30		5		131
> 10.0–15.0								1		1						2
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	22			63	2	1043	36	1415	57	1753	80	1908	62	508	13	6962
Mittel pro Person [mSv]	0.29			0.33	0.00	0.74	0.117	0.67	0.212	0.62	0.07	0.60	0.05	0.413	0.01	0.61
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	6.3			20.8	0.0	772.9	4.2	950.7	12.1	1094.9	5.3	1136.2	2.9	209.7	0.1	4216.1

Verteilung der Haut- und Extremitätendosen 2015

Dosisintervall [mSv]	Haut			Extremitäten		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen- personal	Fremd- personal	Total	Eigen- personal	Fremd- personal	Total
0– 25	529	1510	2039	16	60	76
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	529	1510	2039	16	60	76

Tabelle A.13a:
Kernkraftwerk
Beznau (KKB)

Dosisintervall [mSv]	Haut			Extremitäten		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen- personal	Fremd- personal	Total	Eigen- personal	Fremd- personal	Total
0– 25	58	99	157	3	3	6
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	58	99	157	3	3	6

Tabelle A.13b:
Kernkraftwerk
Gösgen (KKG)

Verteilung der Haut- und Extremitätendosen 2015

Tabelle A.13c:
Kernkraftwerk
Leibstadt (KKL)

Dosisintervall [mSv]	Haut			Extremitäten		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total
0– 25	487	1629	2116	6	10	16
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	487	1629	2116	6	10	16

Tabelle A.13d:
Kernkraftwerk
Mühleberg (KKM)

Dosisintervall [mSv]	Haut			Extremitäten		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total
0– 25	109	218	327	9	9	18
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	109	218	327	9	9	18

Verteilung der Haut- und Extremitätendosen 2015

Dosisintervall [mSv]	Haut			Extremitäten		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen- personal	Fremd- personal	Total	Eigen- personal	Fremd- personal	Total
0– 25	1199	382	1581	91	17	108
> 25– 50				2	1	3
> 50– 75				1		1
> 75–100				1		1
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	1199	382	1581	95	18	113

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

Dosisintervall [mSv]	Haut			Extremitäten		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen- personal	Fremd- personal	Total	Eigen- personal	Fremd- personal	Total
0– 25	72	141	213	0	0	0
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	72	141	213	0	0	0

Tabelle A.13f:
Zentrales Zwischen-
lager (ZZL)

Verteilung der Haut- und Extremitätendosen 2015

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

Dosisintervall [mSv]	Haut			Extremitäten		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen- personal	Fremd- personal	Total	Eigen- personal	Fremd- personal	Total
0– 25	2454	3870	6324	125	99	224
> 25– 50				2		2
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	2454	3870	6324	127	99	226

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	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
alle negativ	470	1359	1829	419	726	1145	483	1486	1969	311	868	1179	1683	4439	6122
mind. eine positiv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

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

Resultat der Messungen	PSI			ZZL			Summe Kernanlagen		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
alle negativ	60	23	83	72	134	206	1815	4596	6411
mind. eine positiv	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Effektive 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	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
<= 1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	311	868	1179	311	868	1179
> 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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	311	868	1179	311	868	1179

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

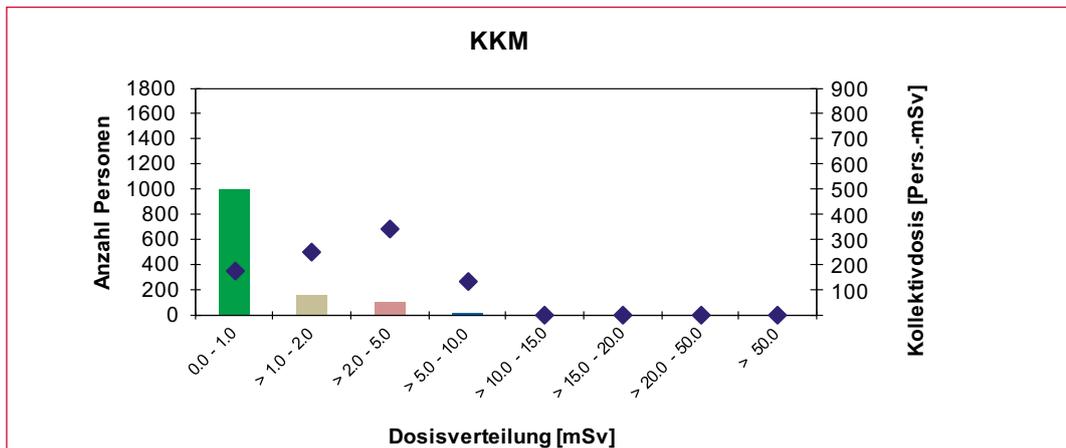
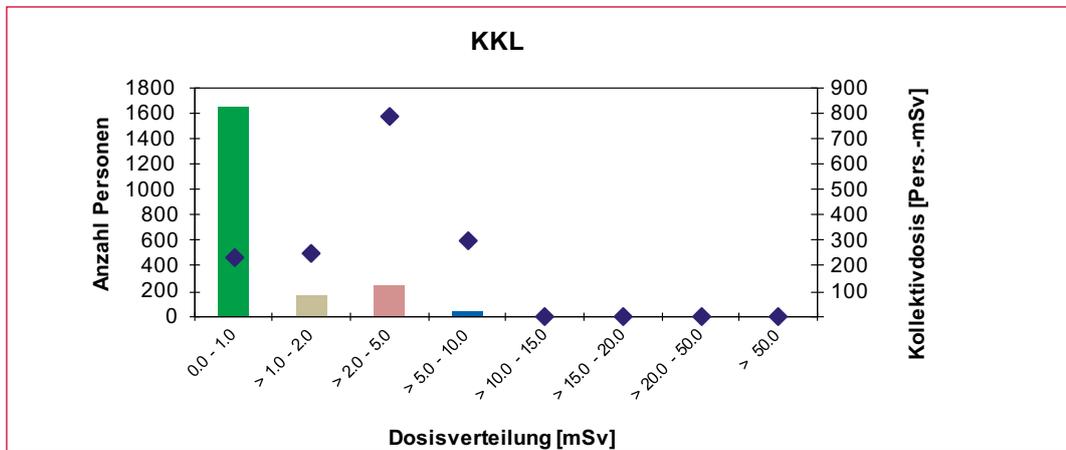
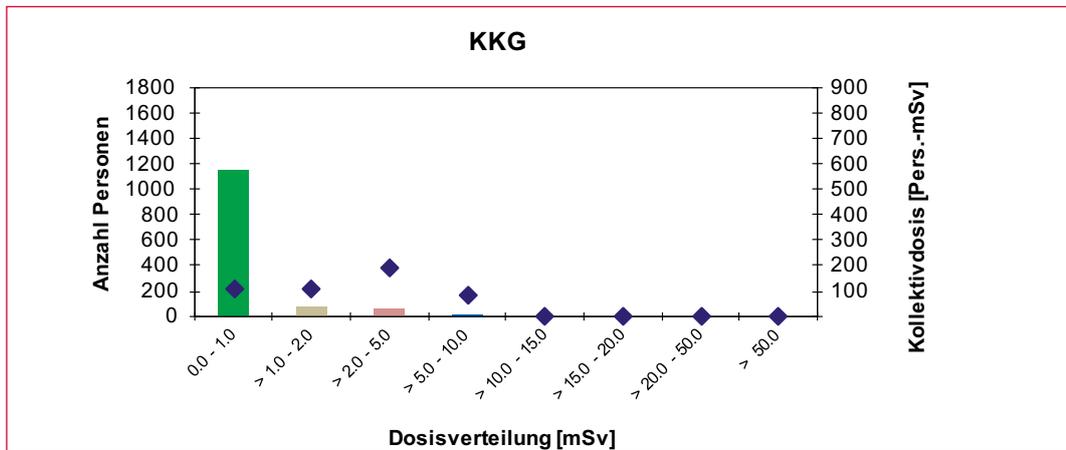
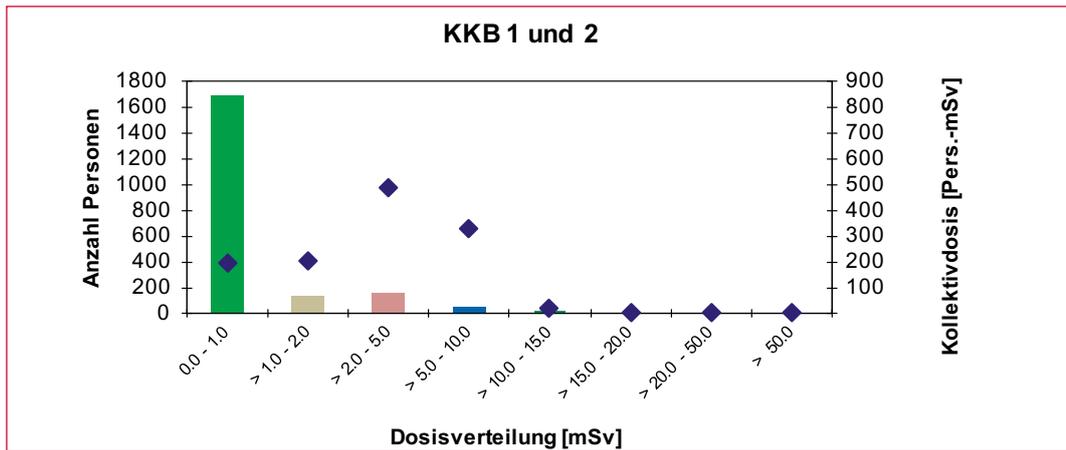
Folgedosis E_{50} Dosisbereich [mSv]	PSI			ZZL			Summe Kernanlagen		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP+FP		
<= 1.0	249	10	259	0	0	0	1438		
> 1.0– 2.0									
> 2.0– 5.0									
> 5.0–10.0									
> 10.0–15.0									
> 15.0–20.0									
> 20.0–50.0									
> 50.0									
Total Personen	249	10	259	0	0	0	1438		

Im Berichtsjahr ergab sich keine positive Triagemessung, infolgedessen lagen alle effektiven Folgedosen im Dosisbereich zwischen 0 und 1 Millisievert.

Im Berichtsjahr ergab sich keine positive Triagemessung, infolgedessen liessen sich keine aussagekräftigen effektiven Folgedosen berechnen.

Kollektivdosen und Anzahl dosimetrierter Personen 2015

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



Messmethoden der Personendosimetriestellen im Aufsichtsbereich des ENSI 2015

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	γ	DIS	2467	β, γ, x	DIS	2467	γ	TLD	76	γ	Nal	1836	γ	Nal	1836			
KKG	γ	DIS	1300	β, γ, x	DIS	1300	γ	TLD	6	γ	PSC	1145	γ	PSC	1145			
KKL	γ	TLD / DIS	2230	β, γ, x	TLD	2230	γ	TLD	16	γ	Nal	2081	γ	Nal	2081			
KKM	γ	TLD / DIS	1294	β, γ, x	TLD / DIS	1294	γ	TLD	18	γ	Nal	1179	γ	Nal	1179			
PSI	γ, n	TLD / DIS PADC	1581 1282	β, γ, x	TLD / DIS	1581	γ	TLD	113	γ	Ge	256	γ, x	Nal	7	α, β	LSC	49
ZZL ⁴	γ	TLD / DIS	224	β, γ, x	TLD / DIS	224	γ	TLD	0	γ	Nal	215	γ	Nal	215			

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 = Poly-Allyl Diglycol Carbonat
PSC = Plastikszintillator

³ a = Anzahl der überwachten Personen

⁴ Die Dosimetrie für das ZZL erfolgt in der Personendosimetriestelle des KKB

Zusammenstellung der Kollektivdosen

Tabelle A.16:
Relative Aufteilung der
Kollektivdosen auf
Betrieb und Revisions-
stillstand 1980 bis
2015 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
2013	79	305	69	602	470	797	286	672	903	2375
2014	79	212	89	393	398	1080	284	515	849	2200
2015	51	1176	104	389	366	1209	296	597	817	3371

Seit 2012 werden die Dosimetriedaten entsprechend der Vorgaben der Richtlinie ENSI-B09 verarbeitet

Zusammenstellung der Kollektivdosen

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%
2013	21%	79%	10%	90%	37%	63%	30%	70%	28%	72%
2014	27%	73%	18%	82%	27%	73%	36%	64%	28%	72%
2015	4%	96%	21%	79%	23%	77%	33%	67%	20%	80%

Tabelle A.17:
Aufteilung der Kollektivdosen auf Betrieb und Revisionsstillstand 1980 bis 2015 in Prozenten

Seit 2012 werden die Dosimetriedaten entsprechend der Vorgaben der Richtlinie ENSI-B09 verarbeitet

Zusammenstellung der Kollektivdosen

Tabelle A.18:
Paul Scherrer Institut
(PSI), Kollektivdosen
des dosimetrierten
Personals

PSI-Gesamtpersonal			
Kalenderjahr	Anzahl Personen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person [mSv]
1972	268	1118.0	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	1019.0	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	1011.2	0.8
1990	1217	1085.3	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
2013	1446	71.4	0.0
2014	1509	81.5	0.1
2015	1581	114.2	0.1

Seit 2012 werden die Dosimetriedaten entsprechend der Vorgaben der Richtlinie ENSI-B09 verarbeitet

Zusammenstellung der Kollektivdosen

Kalender- jahr	Eigenpersonal			Fremdpersonal			Total		
	Anzahl Personen	Kollektiv- dosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person	Anzahl Personen	Kollektiv- dosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person	Anzahl Personen	Kollektiv- dosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person
2001	21	1.3	0.1	35	0.9	0.0	56	2.2	0.0
2002	30	6.1	0.2	61	2.0	0.0	91	8.1	0.1
2003	29	1.8	0.1	59	0.9	0.0	88	2.7	0.0
2004	33	2.6	0.1	71	0.7	0.0	104	3.3	0.0
2005	29	4.9	0.2	79	10.1	0.1	108	15.0	0.1
2006	31	2.7	0.1	70	18	0.3	101	20.7	0.2
2007	40	7.1	0.2	85	15.2	0.2	125	22.3	0.2
2008	50	19.9	0.4	77	7.2	0.1	127	27.1	0.2
2009	52	10.3	0.2	99	2.3	0.0	151	12.6	0.1
2010	56	15.8	0.3	101	2.7	0.0	157	18.5	0.1
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
2013	68	13.1	0.2	125	2.6	0.0	193	15.7	0.1
2014	71	15.0	0.2	125	3.0	0.0	196	18.0	0.1
2015	72	24.0	0.3	141	4.8	0.0	213	28.8	0.1

Tabelle A.19:
Zentrales Zwischenlager
Würenlingen (ZZL),
Kollektivdosen des
dosimetrierten
Personals 2001 bis 2015

Seit 2012 werden die Dosimetriedaten entsprechend der Vorgaben der Richtlinie ENSI-B09 verarbeitet

4.3 Bewertung der Strahlen- exposition in den Kernanlagen

Die Kollektivdosen haben sich, nicht zuletzt aufgrund des Anfang der neunziger Jahre in Kraft getretenen Jahreshgrenzwerts für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv, auf einem niedrigen Niveau eingependelt. Verlängerte Revisionsstillstände stechen dann schnell aus dem Verbund der Kollektivdosen heraus, weil mehr Arbeiten im Strahlenfeld durchgeführt werden können, (siehe Darstellung A.3). 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 in der Mehrheit zeitlich verkürzten Stillstände und aufgrund der Leistungserhöhungen auf einem tiefen Wert eingependelt. Betrug der Wert im Jahr 1991 noch 0,4 Pers.-mSv pro GWh_(e), so erfolgt aktuell eine Stabilisierung zwischen 0,1 und 0,2 Pers.-mSv pro GWh_(e), der im Jahr 2015 erreichte Wert liegt bei 0,18 Pers.-mSv pro GWh_(e). Im Vergleich mit 2014 (0,11 Pers.-mSv pro GWh_(e)) hat sich der Quotient etwas erhöht. Im Berichtsjahr haben verlängerte Stillstände dazu geführt, dass insgesamt weniger elektrische

Energie erzeugt wurde und dass die akkumulierte Kollektivdosis höher lag.

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 deutlich steigende Tendenz zeigte. Im Jahr 2015 lag die Zahl der strahlenexponierten Personen mit 7297 gegenüber dem Vorjahr (5571) deutlich höher, wobei auch eine entsprechend höhere Kollektivdosis von 4258 Pers.-mSv akkumuliert wurde. Die mittlere Exposition des Eigen- und Fremdpersonals lag aber im Jahr 2015 für alle Kernkraftwerke und das ZZL trotzdem unverändert bei 0,6 mSv. Die maximalen Individualdosen, die von einigen Spezialisten an Arbeitsorten mit relativ hoher Ortsdosisleistung oder nach Arbeiten in verschiedenen Kraftwerken akkumuliert werden können, bieten nach wie vor eine stete Herausforderung für den operationellen Strahlenschutz. Im Berichtsjahr 2015 wurde der Jahreshgrenzwert von 20 mSv für die Individualdosis des beruflich strahlenexponierten Personals im Aufsichtsbereich des ENSI in allen Kernanlagen eingehalten, die höchste akkumulierte Individualdosis lag mit 10,7 mSv etwas tiefer als im Vorjahr. 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.

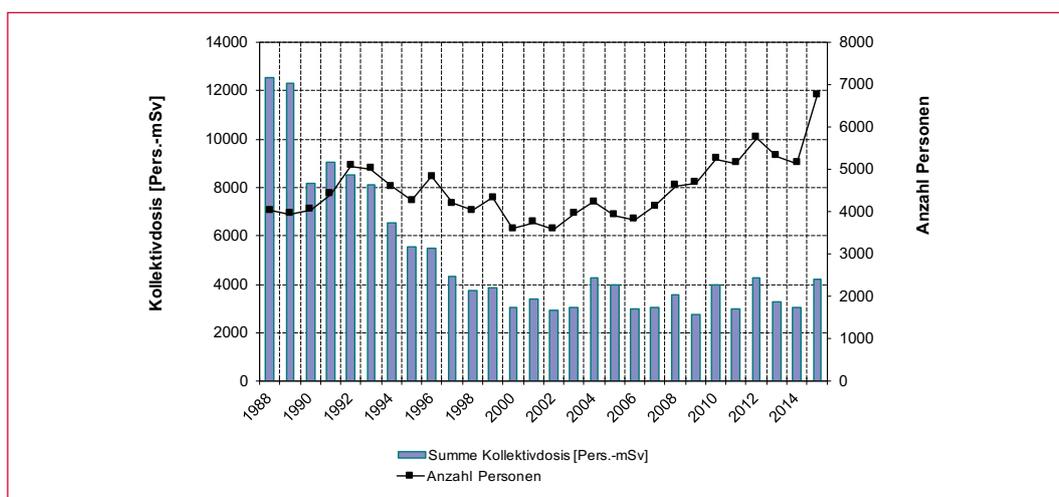
Jahreskollektivdosen in den Kernkraftwerken in der Schweiz

Tabelle A.20:
Summe der Kollektivdosen in Pers.-mSv und Anzahl beruflich strahlenexponierte Personen

Jahr	Summe Kollektivdosis [Pers.-mSv]	Anzahl Personen
1988	12520	4035
1989	12310	3941
1990	8150	4'040
1991	9056	4402
1992	8500	5084
1993	8100	5011
1994	6559	4595
1995	5535	4268
1996	5487	4818
1997	4297	4'186
1998	3744	4031
1999	3859	4326
2000	3068	3586
2001	3380	3745
2002	2922	3580
2003	3013	3937
2004	4236	4221
2005	3946	3913
2006	3009	3815
2007	3018	4127
2008	3583	4603
2009	2770	4680
2010	3966	5236
2011	2976	5150
2012	4267	5736
2013	3279	5305
2014	3050	5144
2015	4187	6749

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 Personendosismetrie zu finden.

Grafische Darstellung der Daten aus Tabelle A.20



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 leicht abweichen können. Diese Abweichungen sind vom EPD-Typ sowie von den Eigen-

schaften des Strahlenfeldes abhängig. Ausserdem führt die Rundung bei den anerkannten Dosimetern im niedrigsten Dosisbereich zu geringeren Kollektivdosen gegenüber den mit EPD ermittelten, die grundsätzlich nicht gerundet werden.

Kernkraftwerk	TLD oder DIS* [Pers.-mSv]		EPD* [Pers.-mSv]		Verhältnis TLD/DIS/EPD*	
	EP	FP	EP	FP	EP	FP
KKB 1 und 2**	EP	247	EP	253	EP	0.98
	FP	980	FP	974	FP	1.01
	Summe	1227	Summe	1227	EP und FP	1.00
KKG**	EP	204	EP	196	EP	1.04
	FP	288	FP	297	FP	0.97
	Summe	493	Summe	493	EP und FP	1.00
KKL***	EP	345	EP	365	EP	0.95
	FP	1230	FP	1210	FP	1.02
	Summe	1575	Summe	1575	EP und FP	1.00
KKM	EP	301	EP	323	EP	0.93
	FP	593	FP	571	FP	1.04
	Summe	893	Summe	893	EP und FP	1.00

Tabelle A.21:

Zusammenstellung der mit EPD und der mit Dosimetern der anerkannten Personendosimetriestellen ermittelten Kollektivdosen für das Kalenderjahr 2015

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.

** KKB und KKG melden sämtliche Dosen als DIS-Dosen, wobei werksintern für die Ermittlung der Werte EPD-Daten herangezogen werden. Die anerkannten Personendosimetriestellen des KKB und des KKG verwenden 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. Dies wird im Bericht berücksichtigt.

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, zeigen nachhaltigen Erfolg. Die Herausforderung, sowohl für die Betreiber als auch für die Aufsichtsbehörde, besteht darin, diesen guten Zustand zu erhalten. Trotzdem kann es, wie zum Beispiel bei KKL, eine sichtbare Tendenz zu höheren Kollektivdosen geben. Das KKL und das ENSI sind bestrebt, mögliche Ursachen dafür zu eruieren. 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 Alarmerungsfunktionen und Fernablesung vermieden werden.

4.4 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. Beiträge zu einer weiteren signifikanten 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. Die Gewährleistung der Sicherheit des beruflich strahlenexponierten Personals obliegt dem operationellen Strahlenschutz. Um diese Vorgabe erfüllen zu können, darf zum Beispiel auch die Ausbildung oder der Erfahrungsaustausch mit anderen Kernanlagen oder anderen Ländern nicht vernachlässigt werden.

Änderungen in der *Wasserchemie im DWR wie auch im SWR* können zu einer Dosisreduktion beitragen. Durch das Einspeisen von Zink, welches anstatt ^{60}Co in die Korrosionsschichten eingelagert wird, können die Ortsdosisleistungen an Komponenten des Primärkreislaufes reduziert werden. Diese Massnahme führt zu einem erheblichen Beitrag zur Reduktion von Individual- und Kollektivdosen.

Das Verfahren wird vom KKG seit dem Jahr 2005 mit Erfolg angewendet. Die Verringerung der Dosisleistung an ausgewählten Primärkomponenten war im Jahr 2015 etwas ausgeprägter als im Vorjahr (-62% im Vergleich mit -58%), lag aber weiterhin deutlich unter den Werten zu Beginn der Zinkdosierung. Die auf der Innenseite des RDB-Deckels gemessene Oberflächendosisleistung lag immer noch deutlich unter dem Bereich der Vorjahre. Diese Verringerungen der Oberflächendosisleistungen sind erfreulich und tragen ebenfalls 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 Kobalt-nuklide ^{60}Co und ^{58}Co können dadurch effizient aus dem Primärkreislauf entfernt werden. Trotz dieser optimierten Abfahrchemie war in den letzten Jahren ein stetiger Anstieg der Dosisleistungen an den Closure Legs in Block 1 und 2 zu verzeichnen. Als Ursache wurde eine zunehmende Ablagerung von ^{60}Co auf der inneren Oberfläche dieser Rohrleitungsabschnitte identifiziert.

Um dem durch ^{60}Co verursachten Anstieg der Ortsdosisleistung entgegen zu wirken und das Korrosionsverhalten der Komponenten des Primärkreislaufes über den gesamten Zyklus zu optimieren, wurde der pH-Wert bei 300°C von 7,2 wie seit 2011 schon zu Beginn des Zyklus eingestellt. Bislang konnten keine unerwünschten Auswirkungen der 2010 erfolgten Änderung der Reaktorkühlmittelchemie bei Leistungsbetrieb festgestellt werden. Die Konzentration von ^{58}Co im Reaktorkühlmittel

ist in beiden Blöcken gesunken und blieb seit den letzten beiden Zyklen auf sehr niedrigem Niveau, während die Konzentration an ^{60}Co konstant blieb. Das Isotop liefert auch den Hauptanteil der Kontamination an den Oberflächen des Primärkreislaufes und bestimmt grösstenteils die Ortsdosisleistung der Primärkomponenten.

Im Reaktorkühlmittel ist die Konzentration von ^{58}Co weiter gesunken, diejenige von ^{60}Co blieb unverändert. Im Block 1 ist die mittlere ODL an den Hauptkühlmittelleitungen gegenüber dem Vorjahreswert von 2,2 mSv/h um 7% auf 2,3 mSv/h gestiegen. Die ODL an den closure legs ist gegenüber dem Vorjahr um 7,3% gestiegen und mit 3,9 mSv/h wesentlich höher als jene an den hot legs (0,7 mSv/h). Die mittlere ODL an den hot legs ist gegenüber dem Vorjahreswert um 3,7% gestiegen. Im Block 2 stieg die mittlere ODL an den Hauptkühlmittelleitungen gegenüber dem Vorjahr um ca. 3,5% an. Dies wird von einem Anstieg der ODL an den closure legs um 4% und an den hot legs um 3% verursacht. Die ODL in Block 2 sind mit weniger als 1 mSv/h im Mittelwert gegenüber dem Vorjahr unverändert niedrig und liegen rund 70% tiefer als im Block 1.

Im KKM wurden anfangs des Jahres etwa 78 g Platin in das Speisewasser zugegeben. Die mittlere Dosisleistung an den Umwälzschleifen betrug 1,44 mSv/h. Im Vergleich zu den beiden Vorjahren, bei denen dieser Wert bei 1,66, resp bei 1,79 mSv/h lag, ist dem zufolge im Vergleich zum Vorjahr eine leichte Reduktion von 13% festzustellen. Die Tendenz zu niedrigeren Ortsdosisleistungen an den Umwälzschleifen nach der Einspeisung von Platin im KKM, die zwischenzeitlich etwas abnahm, scheint sich damit fortzusetzen. Im Jahr 2004 lag die mittlere ODL an den Umwälzschleifen noch bei ca. 4 mSv/h. Auch im KKM ist ^{60}Co das für die Dosisleistung bestimmende Nuklid.

Nachdem das KKL im Zyklus 31 Ende 2014 eine Edelmetall-Einspeisung mit 300 g Platin durchführte, folgten weitere 240 g Platin im Rahmen von drei Miniapplikationen im Februar, im Mai und im Juli 2015. Während mehr als 97% des Berichtsjahres wurde zudem Wasserstoff in den Primärkreislauf zu dosiert.

Der Mittelwert der an insgesamt 16 Messpunkten erfassten Dosisleistungen betrug 1,61 mSv/h. Im Vergleich zum Vorjahr 2014 mit 1,64 mSv/h war ein minimaler Rückgang feststellbar. Obwohl der Mittelwert der ^{60}Co -Konzentration über den gesamten Zyklus im Vergleich mit dem Vorjahr wiederum etwas höher lag, stiegen die gemessenen Ortsdosisleistungen nicht entsprechend an. In den

vergangenen Jahren wurden vermehrt so genannte «hot spots» durch akkumulierte Korrosionsprodukte gefunden. Diese Entwicklung und konsequent durchgeführte Strahlenschutzmassnahmen, sowohl administrativer als auch technischer Art, wirken sich grundsätzlich positiv auf Individual- und Kollektivdosen aus. Wodurch die trotzdem steigenden Kollektivdosen herrühren, ist Gegenstand weiterer Untersuchungen durch das KKL.

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 Strahlenschutzfunktionsträger selbst ins Strahlenfeld begeben müssen.

Zusammenfassend erwartet das ENSI für den Strahlenschutz, dass sich der gute Zustand in den schweizerischen Kernkraftwerken halten und vielleicht 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, der Einsatz einer so genannten Gamma-Kamera, 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 2015 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 (insbesondere ^{137}Cs) können mit den Atom-

waffentests 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 Sediment- und Fischproben Spuren von künstlichen Radionukliden wie beispielsweise ^{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 gemessene ^{137}Cs ist keine eindeutige Zuordnung in Anteile aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl und den Abgaben der Kernkraftwerke mehr möglich.

Detaillierte Messresultate zu diesem Probenahme- und Messprogramm können dem BAG Jahresbericht 2015 über «Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz» entnommen werden.

1.1 Emissionen aus den Kernanlagen

Die Abgaben von radioaktiven Stoffen mit der Abluft und dem Abwasser der schweizerischen Kernkraftwerke sind in der Darstellung B.1a für die letzten fünf Jahre zusammen mit den entsprechenden Jahreslimiten dargestellt. Darstellung B.1b enthält eine Aufschlüsselung der Abgaben der Kernkraftwerke nach Monat für die limitierten radioaktiven Abgaben. Tabelle B.1 zeigt die in den Kernkraftwerken und im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) gemessenen Abgabewerte sowie die unter ungünstigen Annahmen gemäss ENSI-Richtlinie G14 errechneten Personendosen für Erwachsene, 10-jährige Kinder und Kleinkinder in der Umgebung der betreffenden Anlage im Jahr 2015. Die Abgaben des Paul Scherrer Instituts und

die daraus in gleicher Weise berechneten Dosiswerte sind in Tabelle B.2 zusammengestellt. Eine nuklidspezifische Aufschlüsselung der Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser ist in Tabelle B.3a, mit der Abluft in den Tabellen B.3b und B.3c aufgelistet. Die Fussnoten zu den Tabellen geben Hinweise zu den Limiten, den Messungen und den bei der Berechnung der Jahresdosis verwendeten Annahmen. Darstellung B2 zeigt für die vier schweizerischen Kernkraftwerke den Verlauf der in der Umgebung berechneten Dosen für die meistbetroffenen Personen (nur Erwachsene) über die letzten 20 Jahre.

Alle Kernanlagen haben die vorgeschriebenen Jahres- und die Kurzzeitabgabelimiten eingehalten. Zur Überprüfung der Messverfahren der Kernanlagen hat das ENSI an rund 190 Proben eigene gamma-spektrometrische Messungen durchgeführt (inkl. Teilnahme an Ringvergleichen zur Sicherstellung der eigenen Messqualität). Dabei wurden Aerosol- und Jodfilter sowie Abwasserproben aus den Anlagen stichprobenweise analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Abgabereglemente eingehalten werden.

Bei der monatlichen Aufschlüsselung der radioaktiven Abgaben aus den Werken (vgl. Darstellung B.1b) ist bei den flüssigen Abgaben beim KKG die jährlich jeweils vor dem Revisionsstillstand durchgeführte Verwerfungsaktion für tritiumhaltiges Wasser bei den Abgaben erkennbar. Solche Abgaben sind in den Druckwasserreaktoren systembedingt erforderlich, um den operationellen Strahlenschutz während der Revision zu optimieren. Im Gegensatz zum KKG erfolgen die Tritiumabgaben im KKB über das ganze Jahr verteilt.

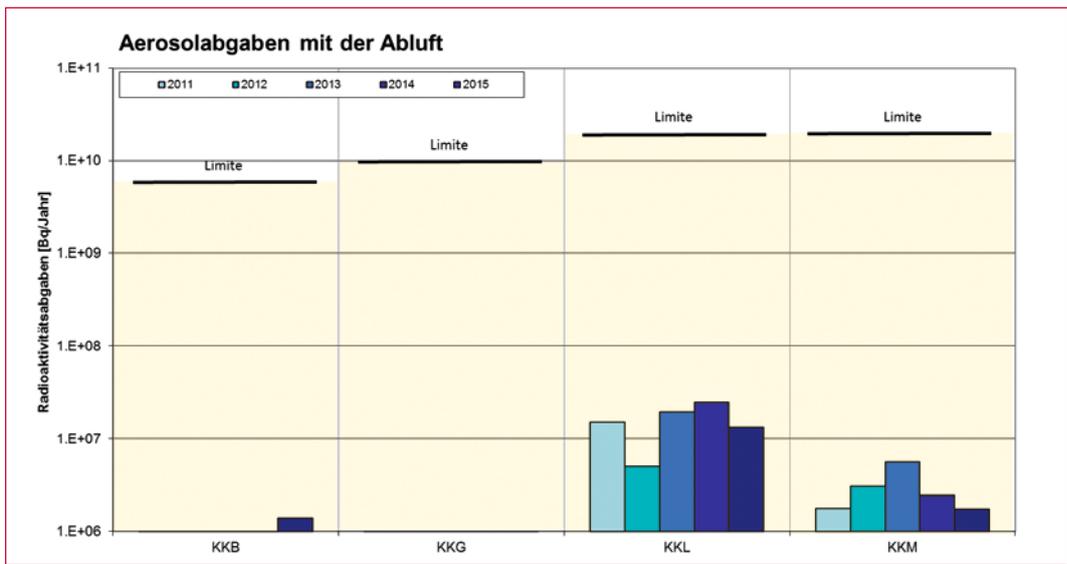
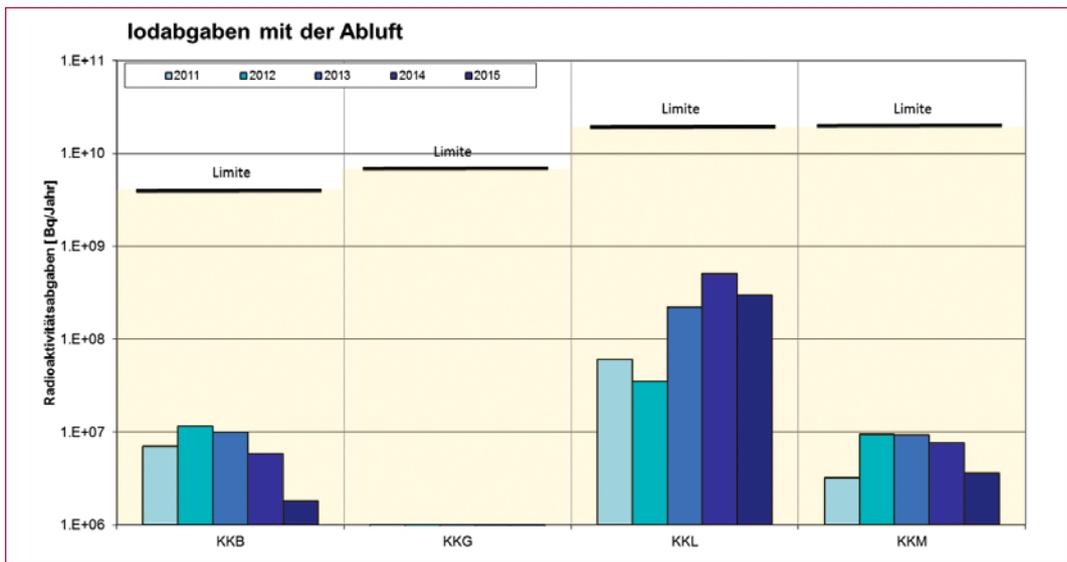
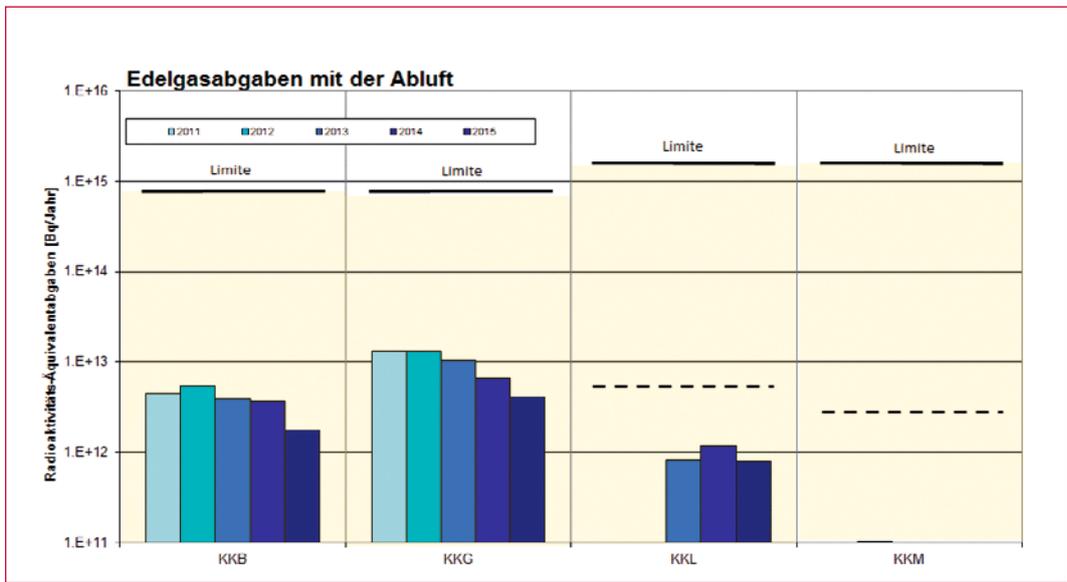
Beim KKM ist die Erhöhung der flüssigen radioaktiven Abgaben während dem Revisionsstillstand durch die etwa alle fünf Jahre anstehende Torusreinigung im Berichtsjahr gegenüber den übrigen Monaten erhöht.

Aufgrund des vermehrten Öffentlichkeitsinteresses werden die Emissionen von Kohlenstoff-14 (^{14}C) im vorliegenden Strahlenschutzbericht 2015 in einem eigenen Kapitel B1.3 behandelt.

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 rund 0,001 mSv, und beim KKM und KKL etwa 0,004 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung betragen somit im Jahr 2015 nur einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwerts.

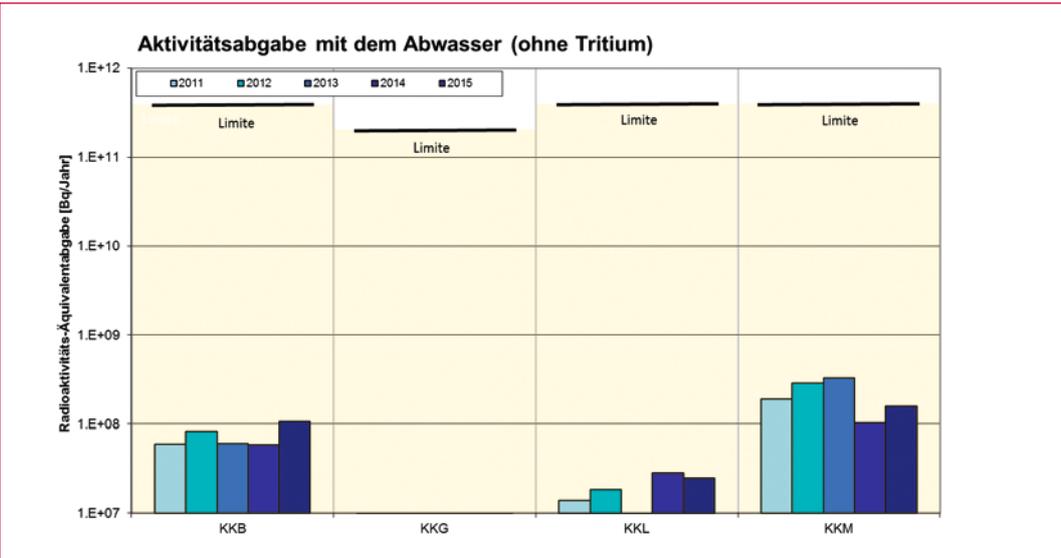
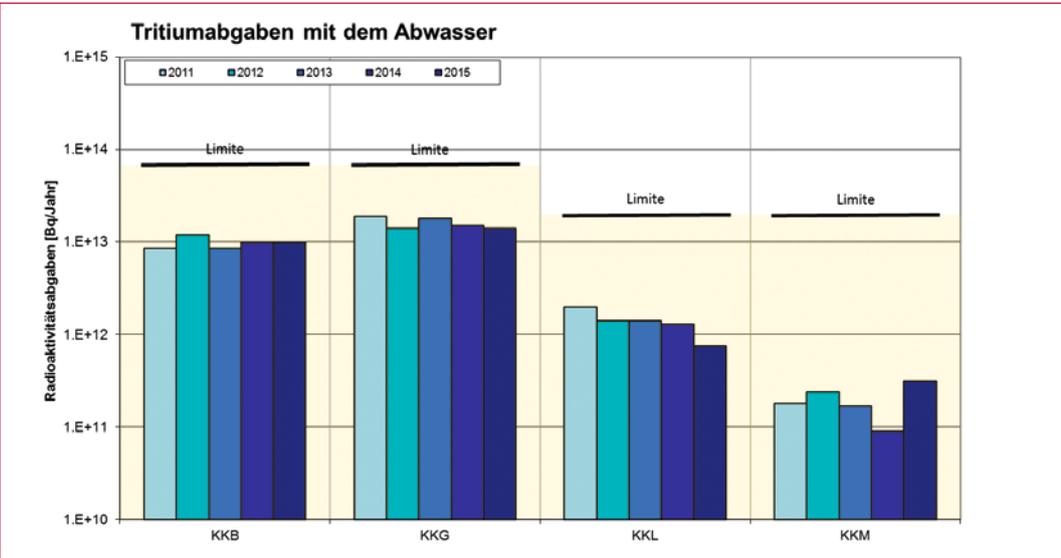
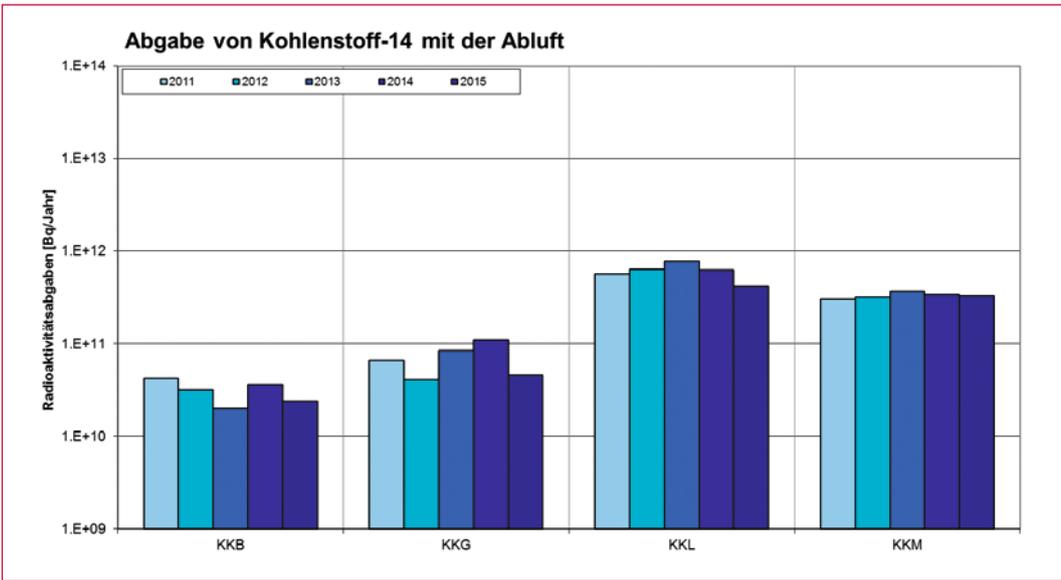
Das PSI ist aufgrund der Bewilligung für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung verpflichtet, sowohl für die einzelnen Anlagen als auch für die Gesamtanlage des PSI die aus den Abgaben resultierende Dosis in der Umgebung zu berechnen. Beim PSI errechnet das ENSI eine Jahresdosis für Einzelpersonen 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.

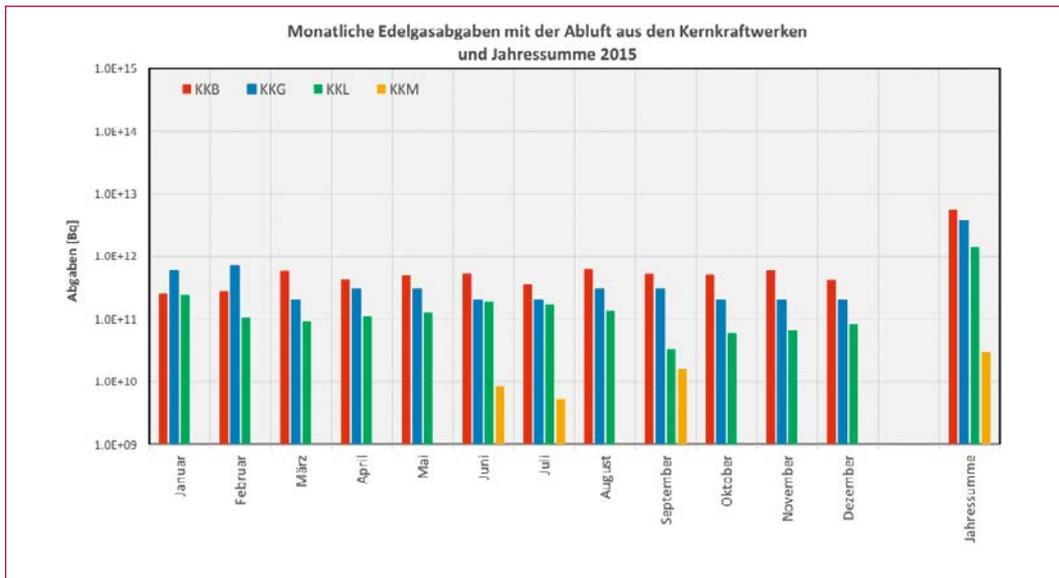
Im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) erfolgten im Berichtsjahr Einlagerungen von 3 Transport- und Lagerbehältern mit hochaktivem Abfall aus Sellafield, von Glaskokillen mit mittelaktivem Abfall aus La Hague sowie von Brennelementen aus dem KKM. In der Konditionieranlage wurden grosse Mengen verschiedensten Materials angeliefert und konditioniert. Bei der Plasmaanlage fand 2015 eine Verbrennungskampagne im Frühling statt. Die für das Jahr 2015 bilanzierten Abgaben des ZZL sind in den Tabellen B.1 und B.3a bis B.3c zusammengestellt. Die aufgrund der Abgaben unter ungünstigen Annahmen berechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Umgebungsbevölkerung lag unterhalb von 0,001 mSv.



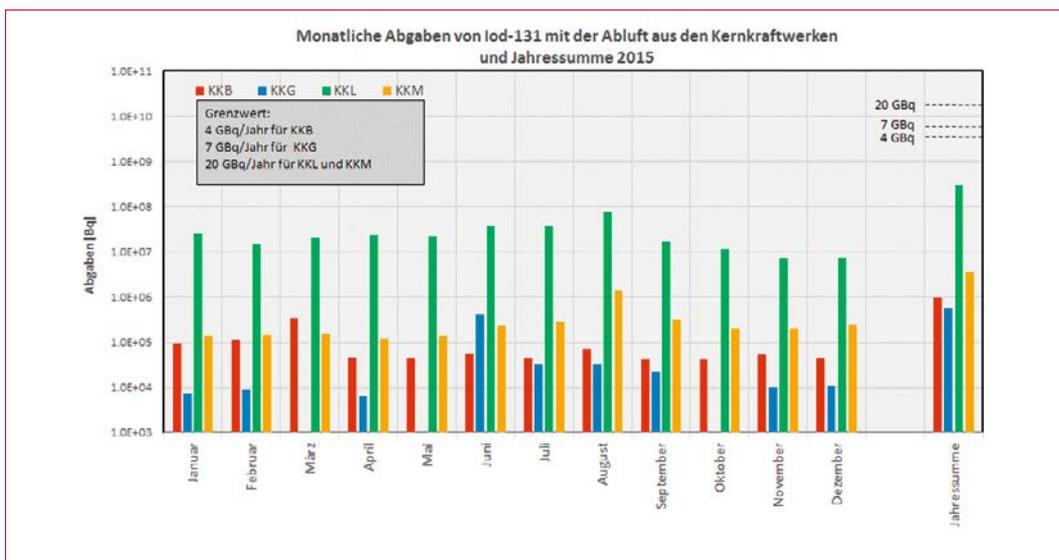
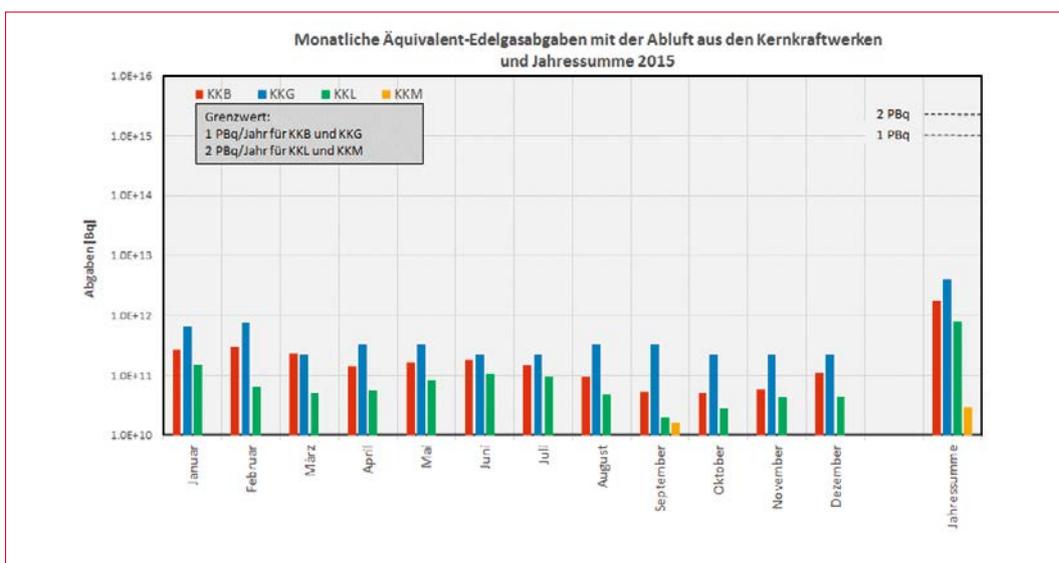
Darstellung B.1a:
Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre und mit dem Abwasser in den letzten fünf Jahren (2011 bis 2015) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimite.

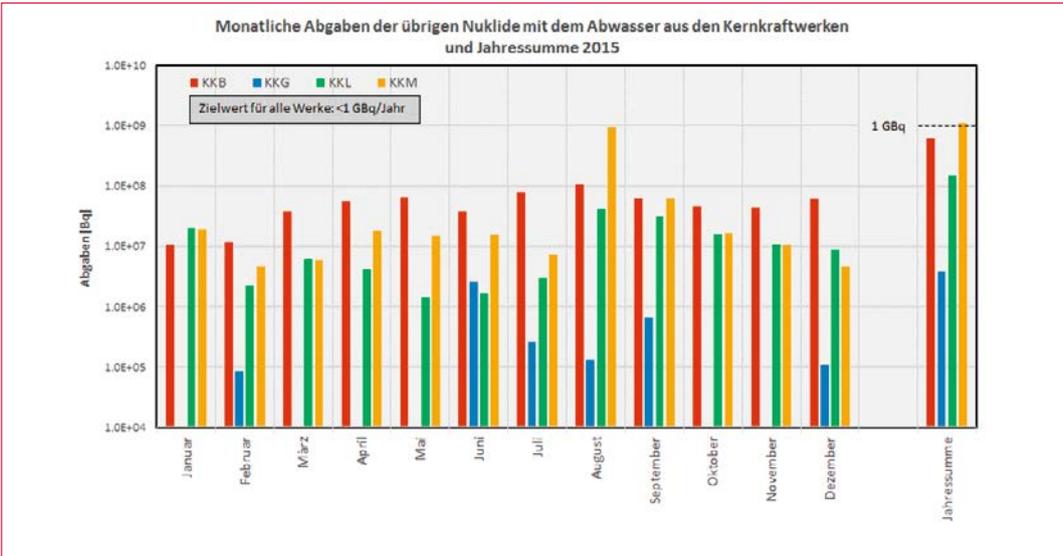
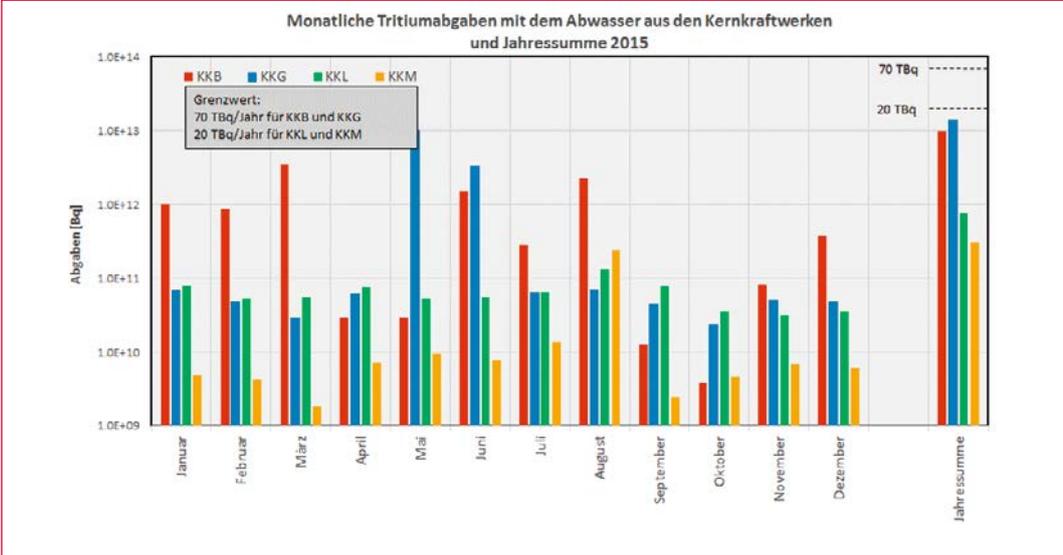
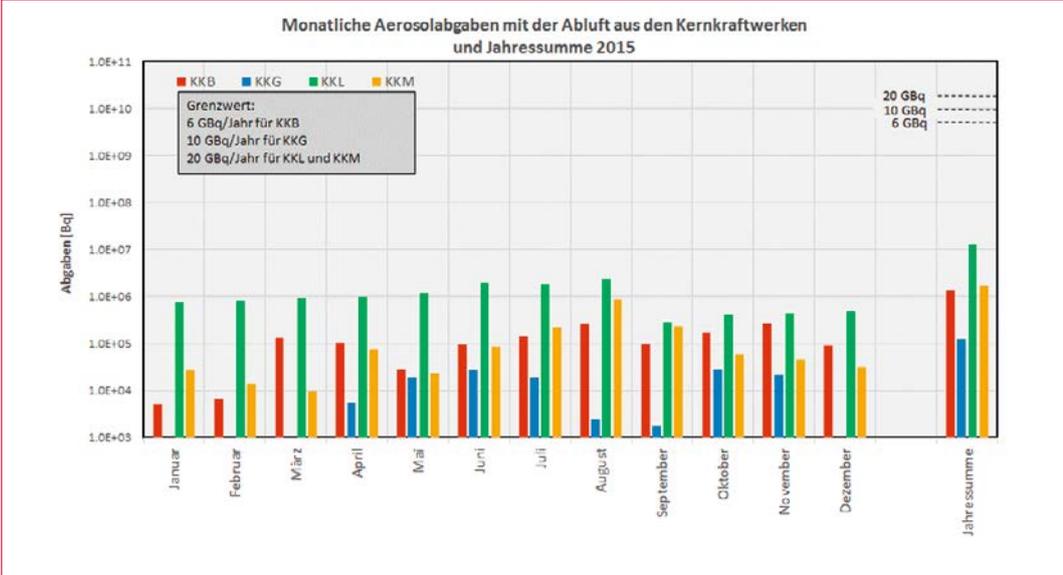
Angegeben ist für die jeweilige Nuklidgruppe und den Abgabepfad die Jahressumme der bei den einzelnen bilanzierenden Messungen durch die Kernkraftwerke ausgewiesenen Aktivitätsabgaben. Die Edelgasbilanzierung im KKB und im KKG basiert auf Beta-Totalmessungen. Für die Umrechnung in die für den Vergleich mit den Abgabelimite notwendigen Edelgas-Abgabeäquivalente wurde in diesen Fällen ein konservatives Nuklidgemisch angesetzt. Das KKL und das KKM bilanzieren die Edelgase dagegen nuklid-spezifisch mittels Gamma-Spektrometriemessungen. Die nuklidspezifischen Messungen liegen häufig unterhalb der Nachweisgrenze. Die gestrichelten Linien bei KKL und KKM stellen eine abgeschätzte obere Grenze der tatsächlichen Abgaben dar, falls die Edelgasaktivitäten jeweils knapp unterhalb der Nachweisgrenze liegen würden.

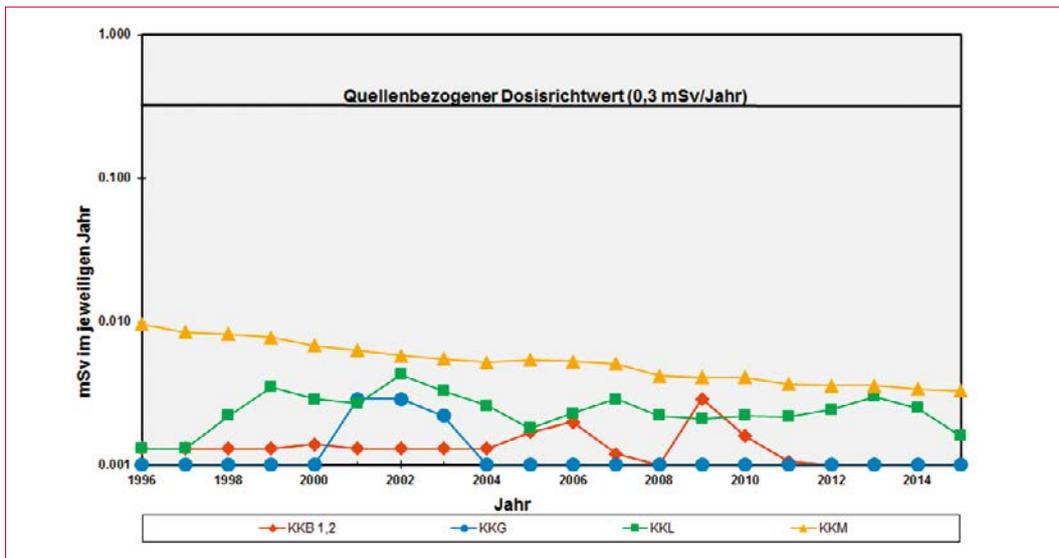
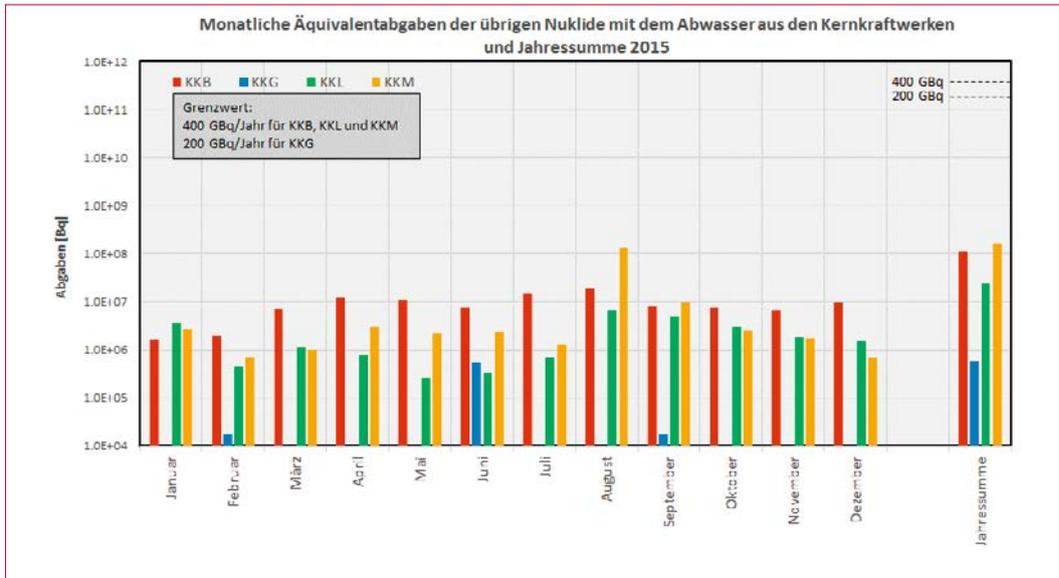




Darstellung B.1b:
Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre und das Abwasser im Jahr 2015 aufgeschlüsselt nach einzelnen Monaten







Darstellung B.2:
 Berechnete Dosen für die meistbetroffenen Personen¹ (Erwachsene) in der Umgebung der schweizerischen KW

¹ Erwachsene Person, die sich dauernd am kritischen Ort aufhält, ihre gesamte Nahrung von diesem Ort bezieht und nur Trinkwasser aus dem Fluss unterhalb des jeweiligen Kernkraftwerks konsumiert. An diesem Ort ist der Dosisbeitrag durch die Direktstrahlung aus den Kernkraftwerken vernachlässigbar. Werte kleiner als 0,001 mSv werden in der Figur nicht dargestellt.

Tabelle B.1:
Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2015 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	Prozent der Limite	Erw. mSv/Jahr	10j Kind mSv/Jahr	1j Kind mSv/Jahr
			Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Bq pro Jahr				
KKB1 + KKB2	Abwasser 5200 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	6,2·10 ⁸	–	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	9,9·10 ¹²	–	7·10 ¹³	14%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	5,6·10 ¹²	1,8·10 ¹²	1·10 ¹⁵	0,2%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,4·10 ⁶	–	6·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	1,0·10 ⁶	–	4·10 ⁹	0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	2,4·10 ¹⁰	–	–	–	<0,001	<0,001	0,0012
	Dosis total					<0,001	<0,001	0,0012	
KKG	Abwasser 7173 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,3·10 ⁵	–	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,4·10 ¹³	–	7·10 ¹³	20%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	<3,7·10 ¹²	<4,1·10 ¹²	1·10 ¹⁵	<0,5%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,3·10 ⁵	–	1·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	5,6·10 ⁵	–	7·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	4,6·10 ¹⁰	–	–	–	<0,001	<0,001	0,0001
	Dosis total					<0,001	<0,001	<0,001	
KKL	Abwasser 13326 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,5·10 ⁸	–	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	7,5·10 ¹¹	–	2·10 ¹³	4%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	1,4·10 ¹²	7,9·10 ¹¹	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,3·10 ⁷	–	2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	3,0·10 ⁸	3,0·10 ⁸	2·10 ¹⁰	1,5%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	4,2·10 ¹¹	–	–	–	0,0016	0,0021	0,0035
	Dosis total					0,0016	0,0022	0,0038	
KKM	Abwasser 4875 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,1·10 ⁹	–	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	3,1·10 ¹¹	–	2·10 ¹³	1,5%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	3,0·10 ¹⁰	–	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,7·10 ⁶	–	2·10 ¹⁰	<0,1%	0,0024	0,0023	0,0022
		Iod: ¹³¹ I	3,6·10 ⁶	–	2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,3·10 ¹¹	–	–	–	<0,001	0,0011	0,0018
	Dosis total					0,0033	0,0034	0,0041	
ZZL	Abwasser 446 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	5,0·10 ⁸	–	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	9,0·10 ⁸	–	–	–	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	β-/γ-Aerosole	4,5·10 ³	–	1·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		α-Aerosole	1,0·10 ⁴	–	3·10 ⁷	–	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	2,6·10 ⁸	–	1·10 ¹²	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	7,9·10 ⁸	–	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	–	–	–	–	–
β/γ-Aerosole, ohne Iod	1,0·10 ⁷	–	2,7·10 ⁴	–	3,6·10 ⁴
α-Aerosole	–	–	–	–	–
Iod (Summe aller Isotope)	4,1·10 ⁶	–	–	–	–
Tritium als HTO	3,0·10 ¹¹	–	–	3,8·10 ¹⁰	2,1·10 ¹⁰
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	–	–	–	–	–
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:					
Erwachsene	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015
Kind 10j	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015
Kleinkinder	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert⁴	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%

Tabelle B.2:
Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2015 und der daraus berechneten Dosen für Einzelpersonen der Bevölkerung

	PSI West			Gesamtanlage des PSI ^{1,2}		
	Zentrale Fortluftanlagen	Injektor II	C-Labor	Abwasser 1201 m ³	Abluft	Aequivalent-abgaben
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]						
Nuklidgemisch ohne Tritium				1,7·10 ⁸		3,7·10 ⁷
Tritium				6,2·10 ¹¹		
Abgaben über die Abluft^{1,2} [Bq/a]						
Edelgase und andere Gase	1,9·10 ¹⁴	1,0·10 ⁹	–	–	1,9·10 ¹⁴	4,0·10 ¹⁴
β/γ-Aerosole, ohne Iod	4,4·10 ¹⁰	2,6·10 ⁶	4,3·10 ³	–	4,4·10 ¹⁰	–
α-Aerosole	–	–	–	–	–	–
Iod (Summe aller Isotope)	1,3·10 ⁸	–	–	–	1,3·10 ⁸	3,6·10 ⁷
Tritium als HTO	7,8·10 ¹¹	–	–	–	1,1·10 ¹²	–
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	–	–	–	–	–	–
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:						
Erwachsene	0,006	<0,00015	<0,00015	<0,00015		<0,007
Kind 10j	0,006	<0,00015	<0,00015	<0,00015		<0,007
Kleinkinder	0,006	<0,00015	<0,00015	<0,00015		<0,007
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert⁴	4,0%	<0,1%	<0,1%	<0,1%		<5%

Tabelle B.3a:
Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2015: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben

Nuklid β/γ -Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
^3H	$9,9 \cdot 10^{12}$	$1,4 \cdot 10^{13}$	$7,5 \cdot 10^{11}$	$3,1 \cdot 10^{11}$	$6,2 \cdot 10^{11}$	$9,0 \cdot 10^8$
^7Be					$1,8 \cdot 10^5$	
^{22}Na					$2,6 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^5$
^{24}Na	$6,5 \cdot 10^6$					
^{35}S					$1,8 \cdot 10^7$	
^{46}Sc					$5,9 \cdot 10^3$	
^{47}Ca					$9,0 \cdot 10^4$	
^{47}Sc					$4,1 \cdot 10^5$	
^{51}Cr			$5,0 \cdot 10^6$	$2,0 \cdot 10^7$		$2,1 \cdot 10^5$
^{54}Mn	$2,5 \cdot 10^6$		$9,4 \cdot 10^6$	$1,8 \cdot 10^8$	$5,6 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^5$
^{56}Co					$4,1 \cdot 10^3$	
^{57}Co	$5,2 \cdot 10^4$				$1,5 \cdot 10^4$	
^{58}Co	$2,2 \cdot 10^7$		$3,0 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^8$	$2,4 \cdot 10^3$	
^{59}Fe						
^{60}Co	$7,7 \cdot 10^7$	$8,4 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^8$	$7,4 \cdot 10^8$	$7,6 \cdot 10^6$	$8,4 \cdot 10^6$
^{65}Zn	$9,6 \cdot 10^4$		$8,4 \cdot 10^6$	$5,5 \cdot 10^7$		
^{88}Y					$2,4 \cdot 10^3$	
^{89}Sr	$5,2 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^6$		$1,3 \cdot 10^6$		
$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	$7,5 \cdot 10^5$	$9,4 \cdot 10^5$		$5,1 \cdot 10^5$	$3,8 \cdot 10^7$	
^{95}Nb						
^{95}Zr						
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$4,0 \cdot 10^6$	$6,8 \cdot 10^4$				
^{99}Mo		$5,5 \cdot 10^5$				
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$3,5 \cdot 10^6$			$2,4 \cdot 10^5$	$5,3 \cdot 10^4$	
^{111}In					$5,6 \cdot 10^5$	
^{122}Sb	$1,2 \cdot 10^6$					
^{124}Sb	$9,5 \cdot 10^7$		$3,5 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^6$		$2,4 \cdot 10^5$
^{125}Sb	$4,5 \cdot 10^7$		$1,3 \cdot 10^6$			$2,4 \cdot 10^7$
$^{123\text{m}}\text{Te}$	$2,9 \cdot 10^7$	$6,8 \cdot 10^5$				
^{132}Te	$2,5 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^5$				
^{125}I					$9,5 \cdot 10^4$	
^{131}I	$5,1 \cdot 10^6$		$4,1 \cdot 10^6$			
^{132}I						
^{133}I	$9,7 \cdot 10^5$					
^{133}Ba					$4,7 \cdot 10^3$	
^{134}Cs	$2,5 \cdot 10^6$		$2,6 \cdot 10^5$		$2,5 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^7$
^{137}Cs	$3,2 \cdot 10^8$		$2,6 \cdot 10^6$	$2,8 \cdot 10^6$	$5,9 \cdot 10^7$	$4,3 \cdot 10^8$
^{140}La						
^{144}Ce	$3,3 \cdot 10^5$					
^{160}Tb					$3,7 \cdot 10^4$	
^{161}Tb					$5,3 \cdot 10^6$	
^{172}Lu					$1,3 \cdot 10^5$	
^{173}Lu					$1,5 \cdot 10^5$	
^{177}Lu					$3,9 \cdot 10^7$	
^{207}Bi					$2,1 \cdot 10^4$	
α -Strahler	*)	$1,5 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^5$		*)
$^{234/238}\text{U}$					$1,5 \cdot 10^5$	
$^{239/240}\text{Pu}$	$5,6 \cdot 10^3$				$4,2 \cdot 10^4$	
$^{238}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$	$2,1 \cdot 10^4$				$4,2 \cdot 10^4$	
^{242}Cm	$2,7 \cdot 10^4$					
$^{243/244}\text{Cm}$	$5,9 \cdot 10^4$					

*) Angabe umfasst für das KKB und ZZL das 4. Quartal 2014 bis und mit dem 3. Quartal 2015

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

Tabelle B.3b:
Abgaben der Kern-
anlagen mit der Abluft,
Edelgase und Iod 2015:
Summe der bei Einzel-
messungen der Betrei-
ber nachgewiesenen
Aktivitätsabgaben

Tabelle B.3c:
 Abgaben mit der
 Abluft, Aerosole 2015:
 Summe der bei Einzel-
 messungen der Betrei-
 ber nachgewiesenen
 Aktivitätsabgaben

Nuklid β/γ -Aerosole	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
⁷ Be						
²⁴ Na						
³⁸ S					2,3·10 ⁹	
³⁹ Cl					9,4·10 ¹⁰	
⁵¹ Cr		2,2·10 ⁴				
⁵⁴ Mn			5,3·10 ⁴	1,6·10 ⁵		
⁵⁷ Co		7,6·10 ³				
⁵⁸ Co				1,5·10 ⁵		
⁶⁰ Co			2,2·10 ⁵	1,1·10 ⁶	2,5·10 ⁶	2,2·10 ²
⁶⁵ Zn				2,4·10 ⁵		
⁷⁵ Se					2,7·10 ⁴	
⁷⁷ Br					1,4·10 ⁷	
^{80m} Br					1,3·10 ¹⁰	
⁸² Br					9,2·10 ⁸	
⁸⁹ Sr			8,5·10 ⁵			
⁹⁵ Nb		6,5·10 ³				
^{99m} Tc					1,3·10 ⁶	
¹⁰³ Ru		2,5·10 ³				
¹⁰⁶ Ru		1,9·10 ⁴				
^{110m} Ag		1,8·10 ⁴				
^{123m} Te						
¹²⁵ Sb						
¹³¹ I (Aerosol)			8,4·10 ⁶			
¹³⁴ Cs						
¹³⁷ Cs				7,3·10 ⁴		
¹⁴⁰ Ba			2,1·10 ⁶			
¹⁴⁰ La			1,7·10 ⁶			
¹⁴¹ Ce		3,3·10 ³				
¹⁴⁴ Ce		4,8·10 ⁴				4,3·10 ³
¹⁸¹ Re					1,1·10 ⁸	
¹⁸² Re					3,8·10 ⁸	
¹⁸³ Re					1,8·10 ⁷	
¹⁸² Os					2,1·10 ⁷	
¹⁸³ Os					3,9·10 ⁸	
^{183m} Os					8,1·10 ⁸	
¹⁸⁵ Os					2,7·10 ⁷	
¹⁸⁵ W					9,2·10 ⁸	
¹⁹¹ Pt					4,8·10 ⁶	
¹⁹² Au					1,1·10 ¹⁰	
¹⁹³ Au					1,4·10 ⁸	
¹⁹⁴ Au					4,6·10 ⁶	
¹⁹² Hg					9,4·10 ⁸	
^{193m} Hg					3,8·10 ⁸	
¹⁹⁴ Hg					4,6·10 ⁶	
¹⁹⁵ Hg					2,9·10 ¹⁰	
^{195m} Hg					1,3·10 ⁸	
^{197m} Hg					1,5·10 ⁸	
²⁰³ Hg					9,0·10 ⁶	
Nicht spezifizierte	1,4·10 ⁶					
α-Aerosole	1,7·10 ⁴	4,6·10 ⁴	6,3·10 ⁴	2,7·10 ⁴		1,0·10 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 Aequivalent-Umrechnung wurde in diesem Fall ein Gemisch von 80 % ¹³³Xe, 10 % ¹³⁵Xe und 10 % ⁸⁸Kr angenommen.

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

Aerosole: Hier ist in jedem Fall die Summe der Radioaktivität ohne Normierung auf einen Referenzwert angegeben. Der Dosisbeitrag von Aerosolen mit Halbwertszeiten kleiner 8 Tagen ist bei den Kernkraftwerken vernachlässigbar.

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

Iod: Bei den Kernkraftwerken ist die Abgabe von ¹³¹I limitiert; somit ist bei den 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 Gesamtabgabe wird zudem auch ein ¹³¹Iod-Aequivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben, wobei sich der Gewichtungsfaktor aus dem Verhältnis des Ingestionsdosisfaktors des jeweiligen Nuklides zum Ingestionsdosisfaktor von ¹³¹I ergibt. Die Ingestionsdosisfaktoren sind der StSV entnommen.

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

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

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. ± 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 **Abgabelimite** gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die Abgabelimite wurden so festgelegt, dass die Jahresdosis für Personen in der Umgebung (vgl. Fussnote 3) für die Kernkraftwerke unter 0,3 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 6/2013 direkt über den quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0,15 mSv/Jahr limitiert.

1.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen

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

In der Umgebung der Kernanlagen wurden dabei keine signifikanten Erhöhungen der Ortsdosis festgestellt, welche durch den Betrieb der Anlagen verursacht wurde.

Die Ortsdosisleistung ist im Nahbereich (beispielsweise am Arealzaun) 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. Weiter können Abfalllager zu einer erhöhten Ortsdosis am Zaun beitragen.

Am Zaun des KKM wurden bei stichprobenweise vierteljährlich vom ENSI durchgeführten Messungen Dosisleistungen zwischen etwa $0,08 \mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und $0,28 \mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Auf ein Jahr hochgerechnet würde basierend auf dem maximalen Momentanwert am meist exponierten Ort eine Dosiserhöhung von ca. $1,8 \text{ mSv}$ (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 etwa $0,7 \text{ mSv}$.

Am Zaun des KKL wurden bei vierteljährlichen Stichproben des ENSI während des Leistungsbetriebes Ortsdosisleistungen zwischen $0,06 \mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und $0,16 \mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes und unter Berücksichtigung der Betriebszeit am meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von ca. $0,9 \text{ mSv}$ pro Jahr. Die höchste, mit den TLD am Zaun ermittelte Jahresdosis (nach Abzug des natürlichen Untergrundes von $0,6 \text{ mSv}$) beträgt $0,7 \text{ mSv}$.

Auf Grund der stichprobenweise vom ENSI gemessenen Ortsdosisleistung am Zaun des Paul Scherrer

Instituts, Areal Ost ergibt sich hochgerechnet auf ein Jahr eine Ortsdosis von $0,4 \text{ mSv}$ ohne natürlichen Untergrund. Im Jahr 2015 betrug der höchste, mit einem Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun des PSI ermittelte Wert ca. $0,3 \text{ mSv}$ (ohne natürlichen Untergrund von ca. $0,6 \text{ mSv}$).

Beim KKB und KKG 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. Bei beiden Blöcken des KKB wurden im Berichtsjahr der Deckel des Reaktordruckbehälters ausgetauscht. Die alten Deckel des Reaktordruckbehälters wurden dabei durch eine zusätzliche Öffnung im Containment aus dem Reaktorgebäude ausgeschleust und ins Zwischenlager des KKB verbracht. Das ENSI hat diese Arbeiten jeweils mit einer speziellen Messkampagne zur Überwachung der Ortsdosisleistung in der Umgebung der Anlage überwacht; dabei konnten ausserhalb des Betriebsareals keine signifikanten Erhöhungen der Ortsdosisleistung festgestellt werden.

Beim Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) konnte weder aus den stichprobenweise durchgeführten Dosisleistungsmessungen noch aufgrund der am Zaun positionierten TLD und Neutronendosimeter eine signifikante Erhöhung der Ortsdosisleistung festgestellt werden.

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 im Berichtsjahr von allen Anlagen eingehalten.

1.3 Emissionen von Kohlenstoff-14

Kohlenstoff-14 (^{14}C) ist ein in der Umgebung natürlich vorkommendes, radioaktives Nuklid, welches mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren unter Aussendung eines β -Teilchens in stabilen Stickstoff (^{14}N) zerfällt. Das ^{14}C wird in der oberen Erdatmosphäre auf natürliche Weise gebildet. Dabei treten hochenergetische Teilchen der kosmischen Strahlung in Wechselwirkung mit den Atomen der oberen Atmosphäre und erzeugen über eine ganze Kaskade von Kernreaktionen unter anderem auch langsame Neutronen. Diese wiederum reagieren mit dem Stickstoff und dem Sauerstoff der Atmosphäre und erzeugen dabei ^{14}C . Die natürliche ^{14}C -Produktion und dessen Zerfall sind dabei in der Erdatmosphäre im Gleichgewicht. Zu beachten ist,

dass die Dosisrelevanz des ^{14}C in hohem Mass von der chemischen Form abhängt: liegt das ^{14}C als Kohlendioxid (CO_2) vor, so wird dieser Kohlenstoff über Photosynthese in die Pflanze aufgenommen, gelangt damit in die Nahrungskette und wird über den Verzehr von Nahrungsmitteln (Ingestion) in den menschlichen Körper aufgenommen. In organischen Verbindungen eingebauter ^{14}C , z.B. in der Form von Methan (CH_4) gelangt nicht in die Nahrungskette, sondern kann nur durch Einatmen (Inhalation) in den menschlichen Körper gelangen. Bei gleicher ^{14}C -Konzentration in der Luft ist aber der Dosisbeitrag durch Inhalation um Grössenordnungen kleiner als derjenige durch Ingestion. Somit ist nur anorganisch vorliegendes ^{14}C in der Form von CO_2 dosisrelevant.

Neben den natürlich ablaufenden Mechanismen, durch welche ^{14}C entsteht, gibt es eine Reihe von künstlichen Prozessen, durch welche die ^{14}C -Konzentration in der Umgebung lokal oder global erhöht wird. Als wichtigstes Beispiel sind hier die oberirdischen Atomwaffentests in den späten 50er und den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts zu nennen, durch welche sich die ^{14}C -Konzentration in der Atmosphäre kurzzeitig nahezu verdoppelte. Seit dem Verbot der oberirdischen Atomwaffentests Mitte der 60er Jahre nahm die ^{14}C -Aktivitätskonzentration durch den Eintrag ins Meer kontinuierlich ab und lag im Jahr 2000 wieder etwa auf dem ursprünglichen Niveau vor 1950 (vgl. dazu auch Kapitel B4 des HSK Strahlenschutzberichts 2004)

Auch in Kernkraftwerken wird über dieselben Reaktionen mit Neutronen wie in der Atmosphäre ^{14}C produziert, d.h. aus Sauerstoff im Oxid-Brennstoff und im Kühlmittel (^{17}O , n- α -Reaktion) und aus Stickstoffverunreinigungen im Brennstoff und Kühlmittel (^{14}N , n-p-Reaktion). Die Produktionsrate ist dabei primär vom Neutronenfluss im Reaktor und damit von der Reaktorleistung, aber auch von der Menge des im Neutronenfeld vorhandenen Sauerstoffs und Stickstoffs abhängig. Die Produktion von ^{14}C ist in einem Siedewasser- grösser als in einem Druckwasserreaktor. Dies wird gemäss Studien aus den frühen 1980er Jahren damit in Zusammenhang gebracht, dass der Stickstoffgehalt im Kühlmittel von Siedewasserreaktoren als Folge von Lufteinbrüchen im Kondensator höher ist als in einem Druckwasserreaktor.

Die jährliche Abgabemenge von ^{14}C liegt pro Kernkraftwerk unterhalb von 10^{12} Bq. Diese Abgaben verursachen am Hauptaufschlagpunkt lokal Erhöhungen der ^{14}C -Konzentrationen in der Luft und in den dort wachsenden Pflanzen von bis zu 20% des

natürlichen Untergrundwertes. Auf Grund der unterschiedlichen chemischen Verhältnisse im Kühlmittel wird das ^{14}C gemäss Literaturangaben und Messungen in Siedewasseranlagen fast zu 100% in der Form von CO_2 an die Umgebung freigesetzt, während in Druckwasseranlagen erfahrungsgemäss etwa 20–40% der Emissionen in der Form von CO_2 und der Rest in der Form von Methan freigesetzt werden.

Die Darstellungen B.1a und B.3 zeigen in den relevanten Teilfiguren den Verlauf der dosisrelevanten, anorganischen ^{14}C -Abgaben aus den Kernkraftwerken über die letzten 5 Jahre. Die jährlichen Abgaben schwanken relativ zum Mittelwert der jeweiligen Anlage um einen Faktor 2 bis 3. Innerhalb der Jahre schwanken die monatlich gemessenen anorganischen ^{14}C -Abgaben etwa um einen Faktor 5 um den Jahresmittelwert (Darstellung B3). Bei Druckwasserreaktoren sind die Abgaben während der Revision in der Regel etwas höher als im Normalbetrieb (Öffnen der Systeme, Temperaturwechsel während des An- und Abfahrens). Bei Siedewasserreaktoren sind sie in der Revision selbst deutlich tiefer, unmittelbar danach aber signifikant erhöht, solange der im Kühlmittel gelöste oder eingelagerte Stickstoff noch nicht ausgegast ist.

Vor der Inbetriebnahme des Kernkraftwerks Leibstadt wurde Anfang der 80er Jahre ausführlich diskutiert, ob eine Limitierung des ^{14}C und gegebenenfalls Rückhaltesysteme in den Kernkraftwerken erforderlich sind. Aufgrund der Tatsache, dass die möglichen ^{14}C -Abgaben nach oben durch physikalische Randbedingungen (insbesondere die Reaktorleistung) begrenzt sind und die zu erwartende Dosis deutlich unter $10 \mu\text{Sv}$ pro Jahr liegt, kann auch heute davon abgesehen werden.

Anders sieht die Situation in der Plasmaverbrennungsanlage des Zentralen Zwischenlagers Würenlingen (ZZL) aus, in der unter anderem auch ^{14}C -haltige Abfälle verarbeitet werden. Hier sind die Abgaben nicht durch physikalische Randbedingungen begrenzt, sondern von den verarbeiteten Abfällen abhängig. Aus diesem Grund sind beim ZZL für die ^{14}C -Abgaben formelle Abgabelimiten festgelegt und zusätzlich wurde bestimmt, dass Verbrennungskampagnen für ^{14}C -haltige Abfälle vornehmlich ausserhalb der Vegetationsperioden im Winter zu erfolgen haben.

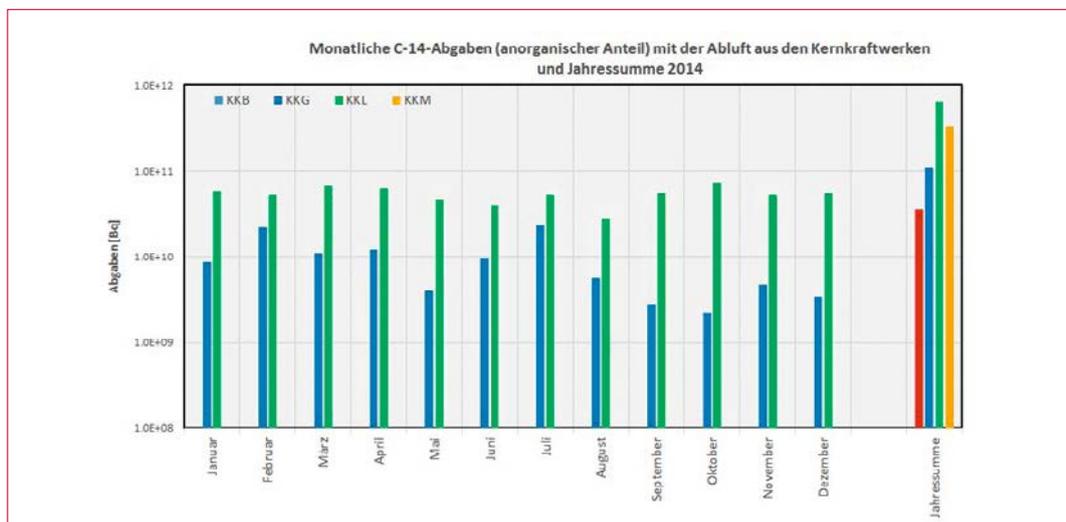
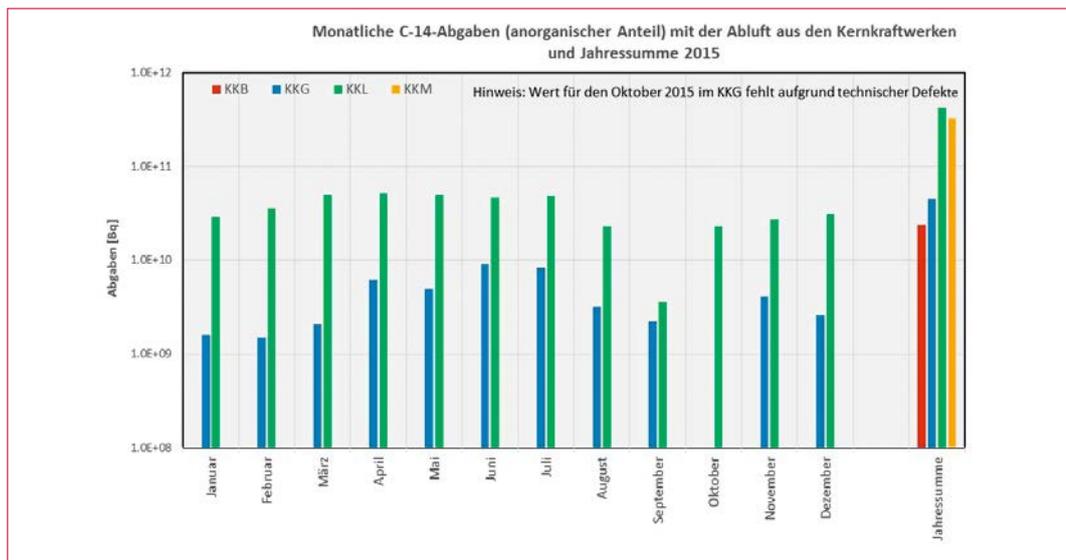
Das ENSI berücksichtigt bei den Dosisberechnungen seit mehr als 20 Jahren die formell nicht limitierten ^{14}C -Abgaben mit, da diese seit einigen Jahren aufgrund der geringen übrigen Abgaben die Dosis dominieren. Die Kernkraftwerke haben in den

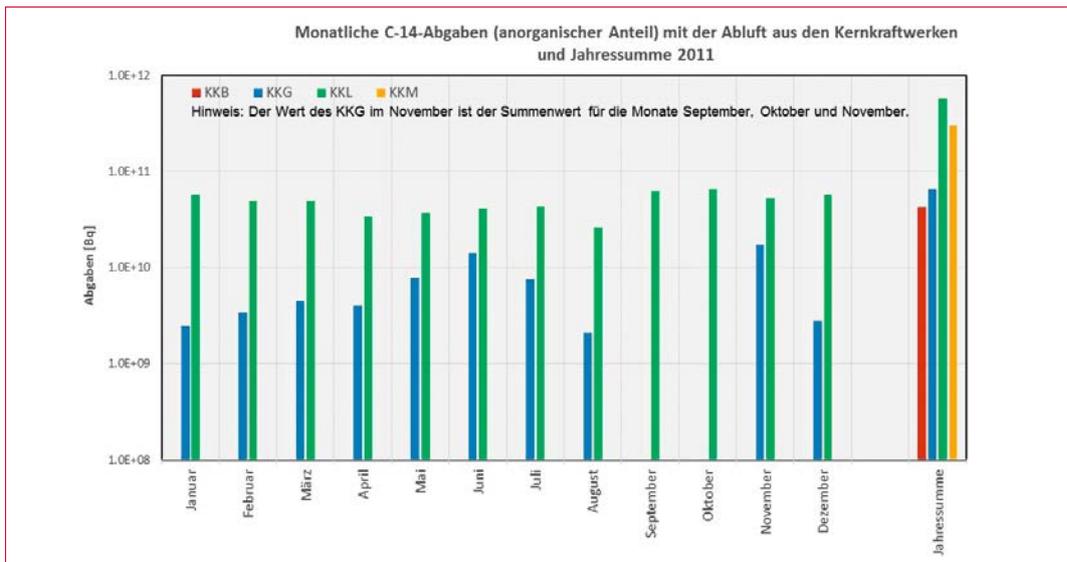
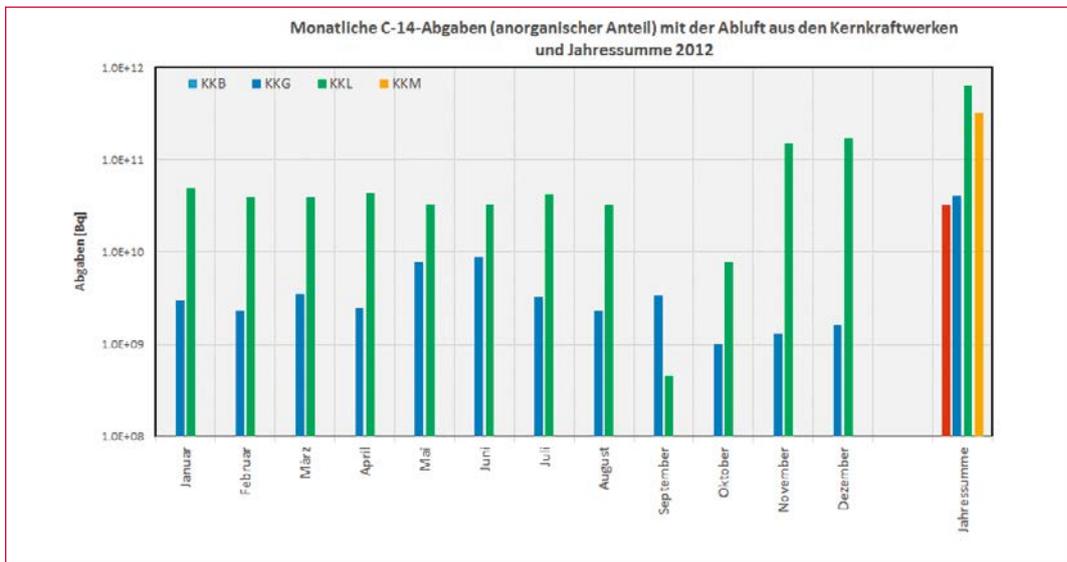
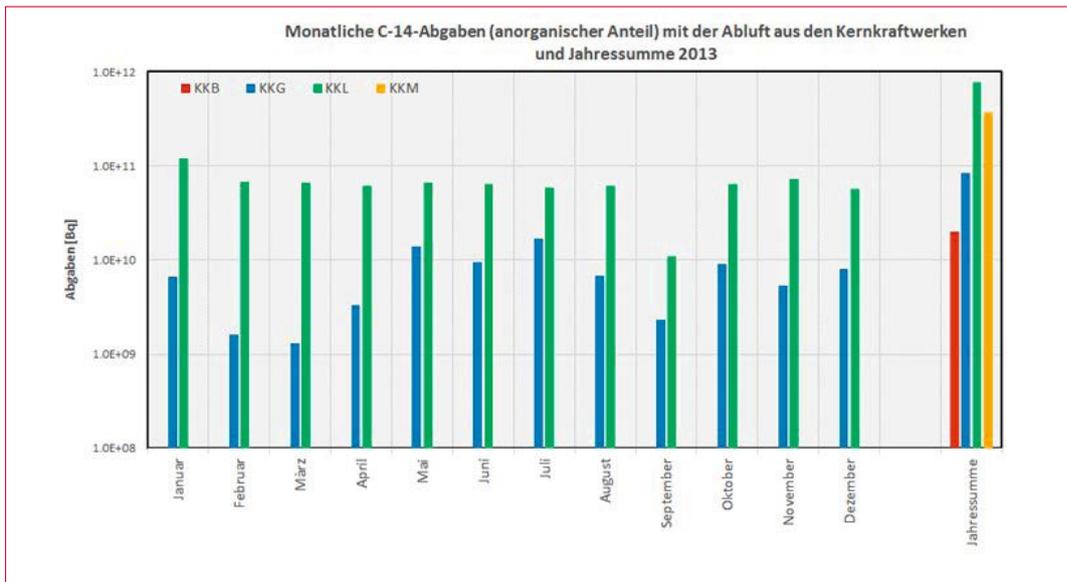
letzten Jahren die ^{14}C -Abgaben gemessen und nachgewiesen, dass diese mit den Erfahrungswerten aus der Messkampagne vor etwa dreissig Jahren und den in der einschlägigen Literatur angegebenen ^{14}C -Abgabewerten für ähnliche Anlagen korrespondieren. Das KKL führt seit längerer Zeit aus eigener Initiative ^{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. Im Jahr 2015 war das KKB 1 ab dem 13. März für den Rest des Jahres abgestellt, im Block 2 wurde

zwischen dem 14. August bis zum 23. Dezember ein langer Revisionsstillstand durchgeführt. Die ^{14}C -Abgaben des KKB bewegen sich trotzdem etwa in der Grössenordnung der Vorjahre, was darauf hindeutet, dass der Abgabezeitpunkt von ^{14}C weniger vom tatsächlichen Produktionszeitpunkt, sondern eher vom Betriebszustand der Anlage (z.B. Stillstand) und den dadurch unterschiedlichen Rückhaltebedingungen abhängt.

Alle Schweizer Kernkraftwerke haben auch 2015 die ^{14}C -Aktivität in der Abluft gemessen. Der Dosisbeitrag von ^{14}C wurde aus den Messwerten ermittelt. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die ^{14}C -Abgaben aus den schweizerischen Kernkraftwerken zwar im Normalbetrieb der Kernkraftwerke über die Ingestion von Nahrungsmitteln den grössten Beitrag zur Dosis in der Umgebung der Anlagen liefern. Dieser Beitrag liegt aber bei wenigen Prozent des quellenbezogenen Dosisrichtwertes und ist somit radiologisch nicht relevant.

Darstellung B.3:
Abgaben von anorganischem Kohlenstoff-14 der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre in den letzten fünf Jahren (für KKG und KKL aufgeschlüsselt nach einzelnen Monaten)





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 Anlageparametern (ANPA) und Kaminemissionswerten aus den Kernkraftwerken wurde im Laufe des Jahres 1993 aufgebaut und ab Frühling 1994 in den operationellen Betrieb überführt. Da das System die Dosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke ganzjährig rund um die Uhr misst und überwacht, dient es der Beweissicherung für die Behörden und gegenüber der Öffentlichkeit. Ebenso ermöglicht es das Erkennen von Betriebsstörungen und Unfällen, da Erhöhungen gegenüber den natürlichen Dosiswerten 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 66 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). 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 JRODOS/LASAT im ENSI. Die Dar-

stellung B.4 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 und in den Kernkraftwerken visualisiert werden. Auf der Internetseite www.ensi.ch unter Notfallschutz/Messwerte Radioaktivität sind alle seit 1994 archivierten Tages-, Stunden- und Zehnminutenmittelwerte der MADUK Stationen abrufbar.

2.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung

Auf die Gesamtnotfallübung im Herbst 2015 wurde die Übernahme der Ausbreitungsdaten aus dem neuen Ausbreitungssystem JRODOS/LASAT implementiert und operationalisiert.

Im Dezember 2015 wurde eine neue Web-Applikation lanciert, mit der alle beim ENSI archivierten Messdaten des MADUK-Messnetzes seit 1994 online abgerufen werden können. Die Zehnminuten-, Stunden- und Tagesmittelwerte können entweder als Verlaufskurven dargestellt oder als csv-File heruntergeladen werden.

Aufgrund von gehäuften Defekten an Messsonden reichte das vorhandene Ersatzmaterial nicht mehr aus, die defekten Sonden zeitgerecht zu ersetzen. Deshalb wurden drei zusätzliche Messsonden beschafft.

2.3 Systemverfügbarkeit und Störungen

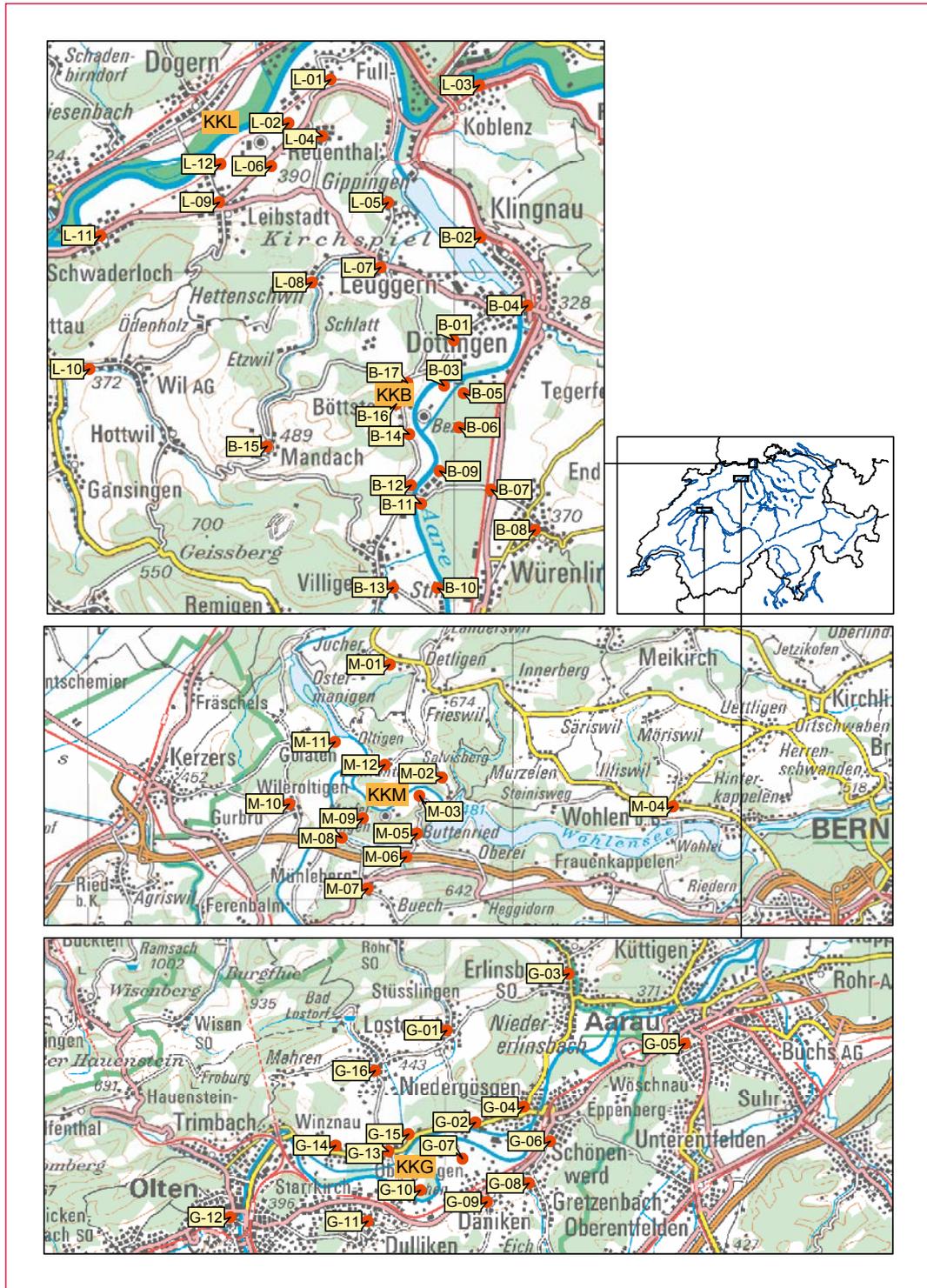
Die Systemverfügbarkeit ist bei MADUK von besonderer Bedeutung, da das System eine kontinuierliche Überwachung gewährleisten muss, die auch von der Öffentlichkeit wahrgenommen werden soll. Mit der Kenngrösse «Systemverfügbarkeit» wird die Einsatztauglichkeit des Gesamtsystems

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 hohe Verfügbarkeit. Im Berichtsjahr führten vor allem geplante Unterhaltsarbeiten zu längeren Unterbrüchen. Bei KKB1 (21. März bis 27. Mai) und KKB2

MADUK-Sondenstandorte

Darstellung B.4:
Die vier Messringe von MADUK. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.



Station	Störungsdauer [h]	Permanenter Datenverlust [h]	Ursache
B-16	30,0	30,0	Kommunikationsstörung, blockierter Datenlogger
B-01	29,5	29,5	Kommunikationsstörung, blockierter Datenlogger
B-12	11,7	11,7	Defekte Messsonde
B-15	64,5	64,5	Kommunikationsstörung, blockierter Datenlogger
L-07	23,3	23,3	Kommunikationsstörung, blockierter Datenlogger
M-07	33,3	33,3	Kommunikationsstörung, blockierter Datenlogger
G-05	1,8	1,8	Defekte Messsonde
B-09	6,0	6,0	Defekte Messsonde
L-01	12,5	12,5	Kommunikationsstörung, blockierter Datenlogger
L-03	12,6	12,6	Kommunikationsstörung, blockierter Datenlogger
L-12	12,6	12,6	Kommunikationsstörung, blockierter Datenlogger
B-05	66,0	66,0	Umbauarbeiten am Stationsstandort
B-05	1,0	1,0	Batteriewechsel
L-04	42,0	42,0	Defekte Messsonde
B-15	1361,5	1361,5	Defekte Messsonde (fehlendes Ersatzmaterial)
B-04	805,4	805,4	Defekte Messsonde (fehlendes Ersatzmaterial)
B-01	92,8	92,8	Kommunikationsstörung, blockierter Datenlogger
L-06	34,4	34,4	Blockierter Datenlogger
B-01	146,0	146,0	Korrupte lokale Datenbank des Datenloggers

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

(24. August bis 28. Oktober) wurden wie vorgesehen während der langen Stillstände die Anlageninformationssysteme erneuert und die Schnittstelle zum ENSI angepasst. Zudem kam es aufgrund von Unterhaltsarbeiten bei KKB insgesamt zu Unterbrüchen von 71,1 Stunden und bei KKG von 13,8 Stunden. Nach Zuschaltungstests von Simulatordaten führten Softwareprobleme bei Erfassungsrechnern des ENSI zu Unterbrüchen von zweimal 3,7 Stunden bei KKG und 19,8 Stunden bei KKL. Der Ausfall eines Servers bei KKM führte zu einem Unterbruch von 22,8 Stunden.

Die Tabelle B.4 gibt eine Übersicht über die Störungen an den Messstationen mit Störungsdauer, permanentem Datenverlust und Ursache der Störung. Die Stationselektronik lief auch im 2015 grösstenteils zuverlässig. Es wurden jedoch vermehrt blockierte Datenlogger nach kurzen Unterbrüchen in der Kommunikation festgestellt. Das Fehlerbild liess sich jedoch in der Teststation nicht reproduzieren. In der zweiten Jahreshälfte waren in kurzer Zeit mehrere Defekte an Messsonden zu verzeichnen, die teilweise durch Dritte verursacht wurden. Für zwei Standorte war in der Folge kein Reserve-material verfügbar. Zudem verzögerten sich die Reparaturen und Erreichungen der Messsonden, sodass bei den Stationen B-04 und B-15 sehr lange Ausfälle zu verzeichnen waren. Dies führte dazu, dass zwischenzeitlich sämtliche Reservemesssonden im Einsatz waren. Da dies bereits 2014 einmal

der Fall war, wurden Ende 2015 zusätzlich drei Messsonden beschafft.

2015 waren überdurchschnittlich viele Kommunikationsunterbrüche zu den Messstationen zu verzeichnen, deren Ursachen nicht immer festgestellt werden konnten. Der längste Kommunikationsunterbruch von 587 Stunden war auf Umbauarbeiten bei der Station B-01 nach Besitzerwechsel des Standortes zurückzuführen. Nach erneuten Kommunikationsproblemen bei der Station L-05 wurde Mitte Juli ein Technologiewechsel vorgenommen. Seither läuft die Kommunikation zur Station stabil. Bei der Station B-10 führten defekte Router zu Unterbrüchen von 111 und 90 Stunden. Schliesslich wurde nach weiteren gehäuften Unterbrüchen die Leitung ersetzt. Weitere defekte Router mussten bei den Stationen B-01 und B-15 ersetzt werden. Ein Leitungswechsel erfolgte bei der Station B-16 (75 Stunden Unterbruch). Bei der Station L-10 verursachte ein defektes Teil in der Fernmeldezentrale einen Unterbruch von 154 Stunden. Bei allen Kommunikationsstörungen konnten die Daten nachträglich lückenlos archiviert werden.

Im Berichtsjahr lag die gemäss Managementhandbuch des ENSI bestimmte Systemverfügbarkeit bei 98,9% (Verfügbarkeit der ANPA- und EMI-Daten eingerechnet). Die Verfügbarkeit der Dosisleistungsdaten aller MADUK-Stationen im Archiv betrug 99,85%.

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 qualitätsgesichert 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 Funktionstests geprüft. Bei den Genauigkeitstests werden mit Hilfe einer Prüfquelle die Resultate der Niederdosis- und Hochdosis-Zählrohre überprüft. Mit einer ^{137}Cs -Quelle werden erhöhte Werte bei jeder Sonde während ca. 40 Minuten produziert und mit Sollwerten verglichen. Gleichzeitig wird diese Sonden-funktionskontrolle auch für die Überprüfung der Datenübermittlung, der korrekten Archivierung im MADUK-Datenarchiv sowie der Alarmauslösung gemäss den festgelegten Schwellwerten benutzt. Im Jahr 2015 wurden zwei Funktionsprüfungen durchgeführt. Dabei erfüllten alle Sonden die Prüfkriterien.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme werden Messungen mittels in-situ-Gammaspektrometrie im Feld durchgeführt. 2015 wurden Messungen bei den Sonden der Messringe Gösgen und Leibstadt durchgeführt. Die Messwerte lagen im Bereich der früheren Jahre. Es wurden keine Untersuchungsschwellen verletzt.

2.5 Messergebnisse

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

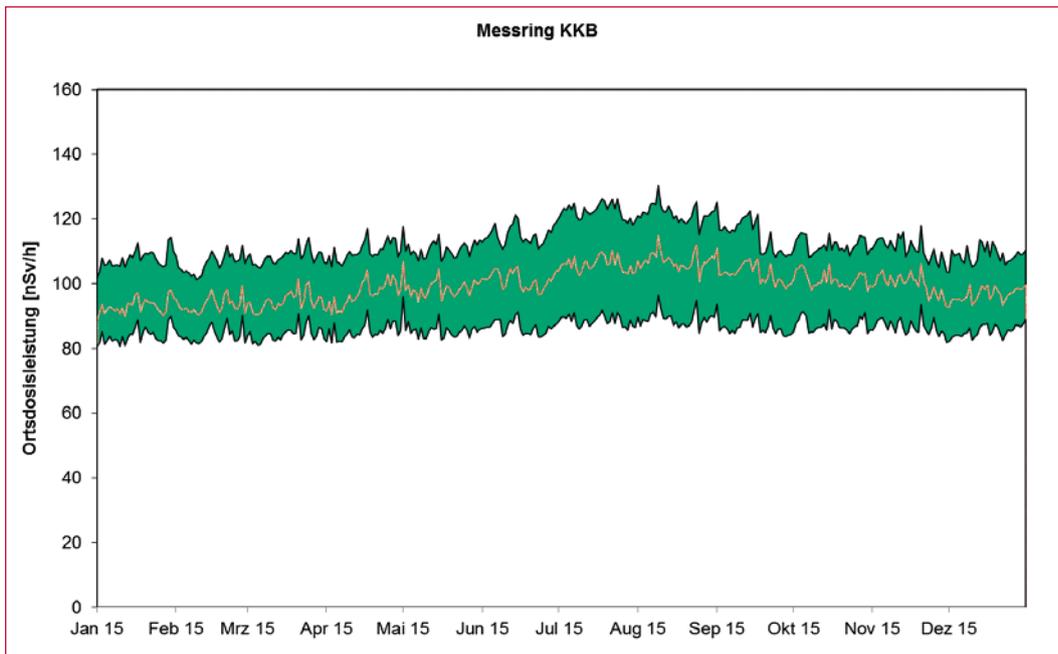
Die jährliche Überprüfungskampagne der NADAM-Sonden an den Standorten, an denen auch eine MADUK-Station in Betrieb ist, führte 2015 bei keiner MADUK-Sonde zu wesentlichen Erhöhungen der Messwerte.

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.

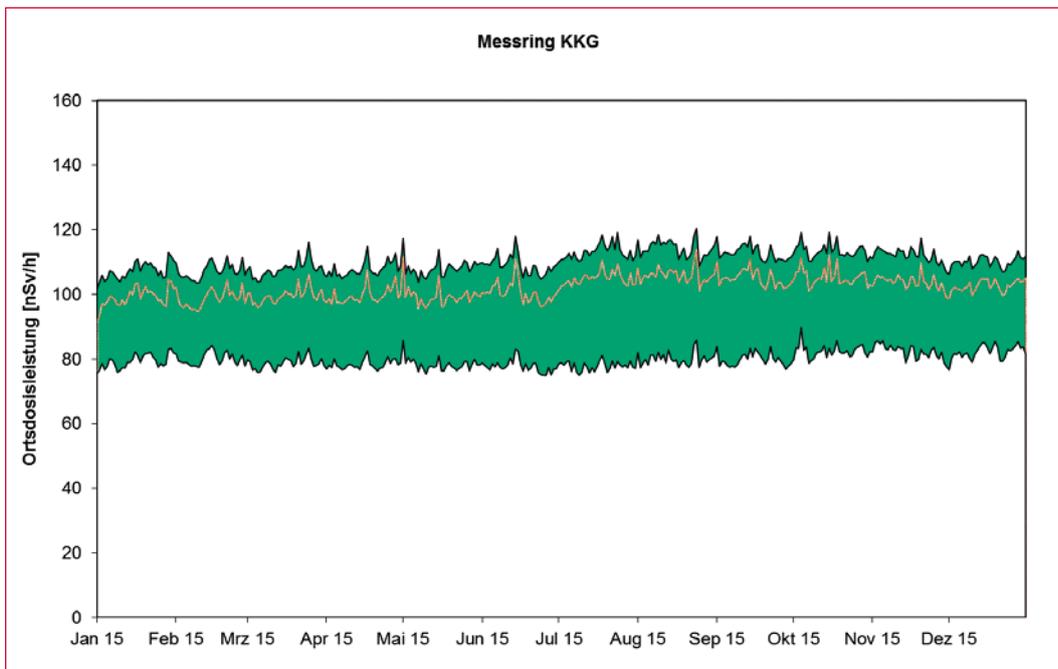
Tabelle B.5:
Auflistung der Netto-
dosisleistungsschwell-
wertüberschreitungen
im Jahr 2015

Datum	Station	Dauer [h]	Max. NDl [nSv/h]	Max. ODL [nSv/h]
23.1.2015 01:00	L-02	1,2	100	202
10.8.2015 22:30	B-13	0,7	76	217

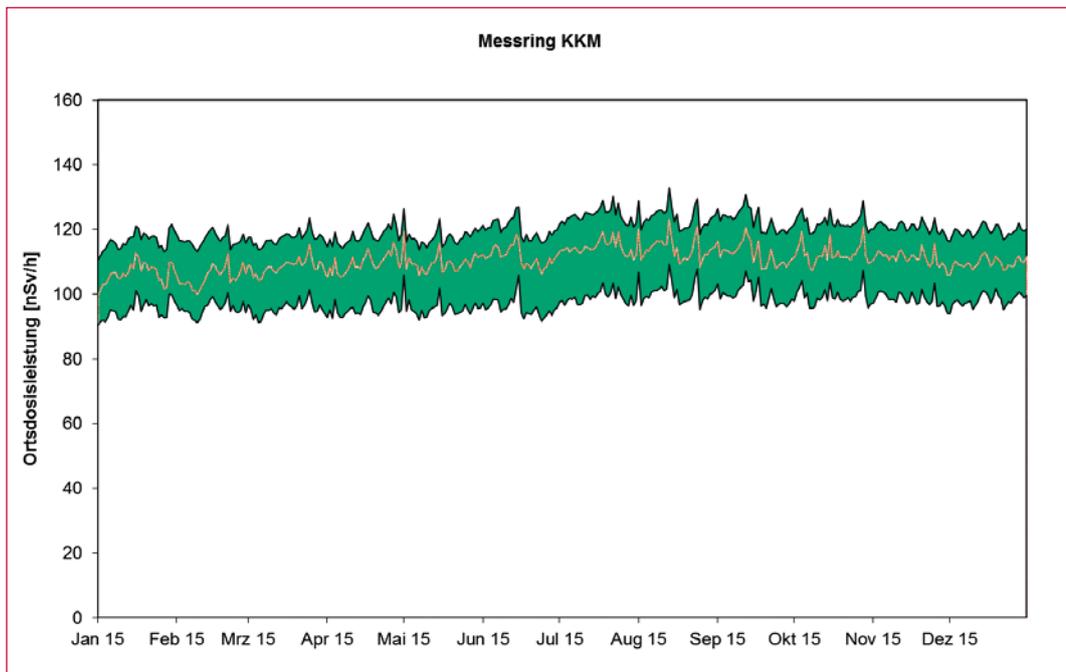
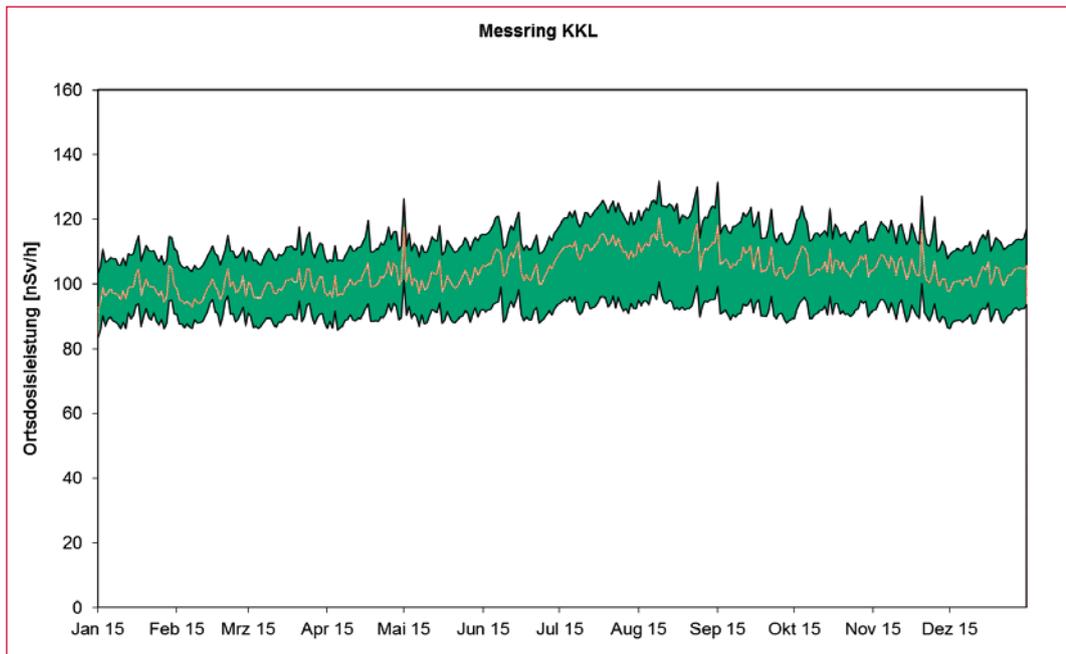
Die Darstellungen B.5 und B.6 zeigen die Maxima, die Minima und die Medianwerte der Tagesmittelwerte der jeweiligen Messreihe im Berichtsjahr in den Umgebungen der Kernkraftwerke.



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



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



3. Atmosphärische Ausbreitung

3.1 Modellberechnungen im Ereignisfall

Die Organisation, die Zuständigkeiten und der Einsatz der Organe des Bundes bei einem Ereignis in einer Kernanlage mit einer bevorstehenden oder bereits erfolgten Freisetzung von radioaktiven Stoffen sind in der Verordnung über den Notfallschutz in der Umgebung von Kernanlagen (Notfallschutzverordnung, NFSV) und in der Verordnung über die Organisation von Einsätzen bei ABC- und Naturereignissen (ABCN-Einsatzverordnung) geregelt. Insbesondere ist das ENSI bei einer störfallbedingten Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus einer schweizerischen Kernanlage für die zeitgerechte Beurteilung der radiologischen Gefährdung der Bevölkerung in der näheren Umgebung (Zonen 1 und 2) verantwortlich.

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

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 wurde bis 2015 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 COSMO2 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 störfallspezifische Berechnungen spätestens innerhalb einer Stunde nach der Einsatzbereitschaft der ENSI-Notfallorganisation zu erwarten.

Der Hauptzweck der *Routineberechnungen* ist die Sicherstellung der dauernden Verfügbarkeit des Systems und die Überwachung der aktuellen Ausbreitungssituation (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 Verfügbarkeit auch die Bedienung des Systems gewährleistet sein.

ADPIC wird seit 2012 nicht mehr weiterentwickelt und wurde Anfang 2016 durch das System JRODOS/LASAT (siehe Kapitel 3.3) abgelöst.

Beispiele von ADPIC/COSMO-Berechnungen

Das Ausbreitungsmodell ADPIC ermöglicht im Ereignisfall auf Grund von aktuellen meteorologischen Daten eine realistische Beurteilung der radiologischen Gefährdung der Bevölkerung. Bei diagnostischen Berechnungen werden als Input die gemessenen Daten der operationellen Stationen der MeteoSchweiz verwendet. Bei prognostischen Berechnungen wird das numerische Prognosemodell COSMO2 der MeteoSchweiz eingesetzt.

In den Darstellungen B.7 bis B.10 werden Beispiele von ADPIC/COSMO-Simulationen für die vier KKW-Standorte dargestellt. Die Darstellungen stammen aus den Routineberechnungen und zeigen die berechneten integrierten Aktivitätskonzentrationen in Bodennähe als Funktion der Zeit für verschiedene ausgewählte, nicht repräsentative Wetterlagen.

3.3 Projekt RADUK

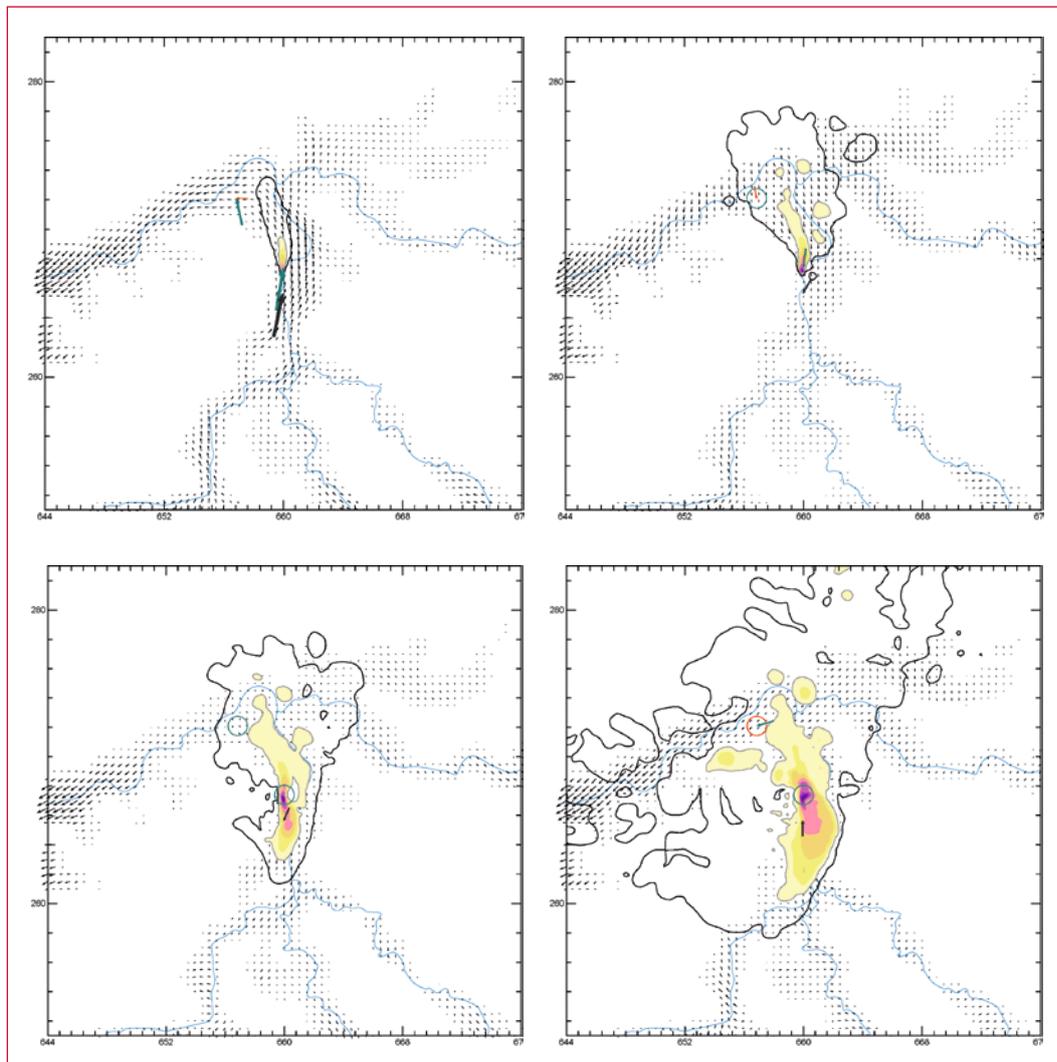
Um den gesetzlichen Auftrag zur Durchführung von radiologischen Ausbreitungsrechnungen zu erfüllen, hat das ENSI im Januar 2011 das Projekt RADUK (**R**adiologische **A**usbreitungsrechnungen in **d**er **U**mgebung von **K**ernanlagen) ins Leben gerufen. Mit der Modernisierung des Ausbreitungsrechensystems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

Als Plattform für die Meteodatenverarbeitung, Windfeldberechnung sowie Dosisberechnung und Visualisierung wird in Zukunft das Programm JRODOS eingesetzt. JRODOS (**J**ava **R**ealtime **O**nline **D**ecisi**O**n **S**upport system) ist ein vom Karlsruher Institut für Technologie KIT entwickeltes Entscheidungshilfesystem für den anlagenexternen Notfallschutz, welches von vielen europäischen Ländern genutzt wird. Die Software wird von dessen Entwicklern stetig verbessert und weiterentwickelt; im vergangenen Jahr lag der Schwerpunkt dabei auf der Stabilität des Systems.

In JRODOS wird für die eigentliche Ausbreitungsrechnung das Programm LASAT verwendet. Es handelt sich um ein validiertes Lagrange'sches Partikelmodell nach der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3. Ausgehend von den Anforderungen des ENSI wurde auch LASAT von seinen Entwicklern z.T. wesentlich überarbeitet und verbessert, insbesondere hinsichtlich Parallelisierung.

Das neue Ausbreitungsrechensystem JRODOS ist seit September 2015 beim ENSI operationell und im Parallelbetrieb mit dem bestehenden ADPIC-System. Die im Jahr 2014 vorgenommenen Anpassungen und Erweiterungen konnten etappenweise getestet und verifiziert werden. Parallel dazu wurde ein analoges System bei der Nationalen Alarmzentrale NAZ in Zürich aufgebaut. Dies erhöht die Verfügbarkeit, stellt eine Diversität und Redundanz dar, und erlaubt darüber hinaus den einfachen Austausch von Informationen und Daten zwischen der NAZ und dem ENSI. Seit Dezember 2015 laufen stündliche Routinerechnungen mit einer Einheitsquelle, analog denjenigen in ADPIC. Der Übergang auf das neue System und damit die Ablösung von ADPIC wurde Anfang 2016 realisiert. Seitens ENSI wurden sämtliche Vor-

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



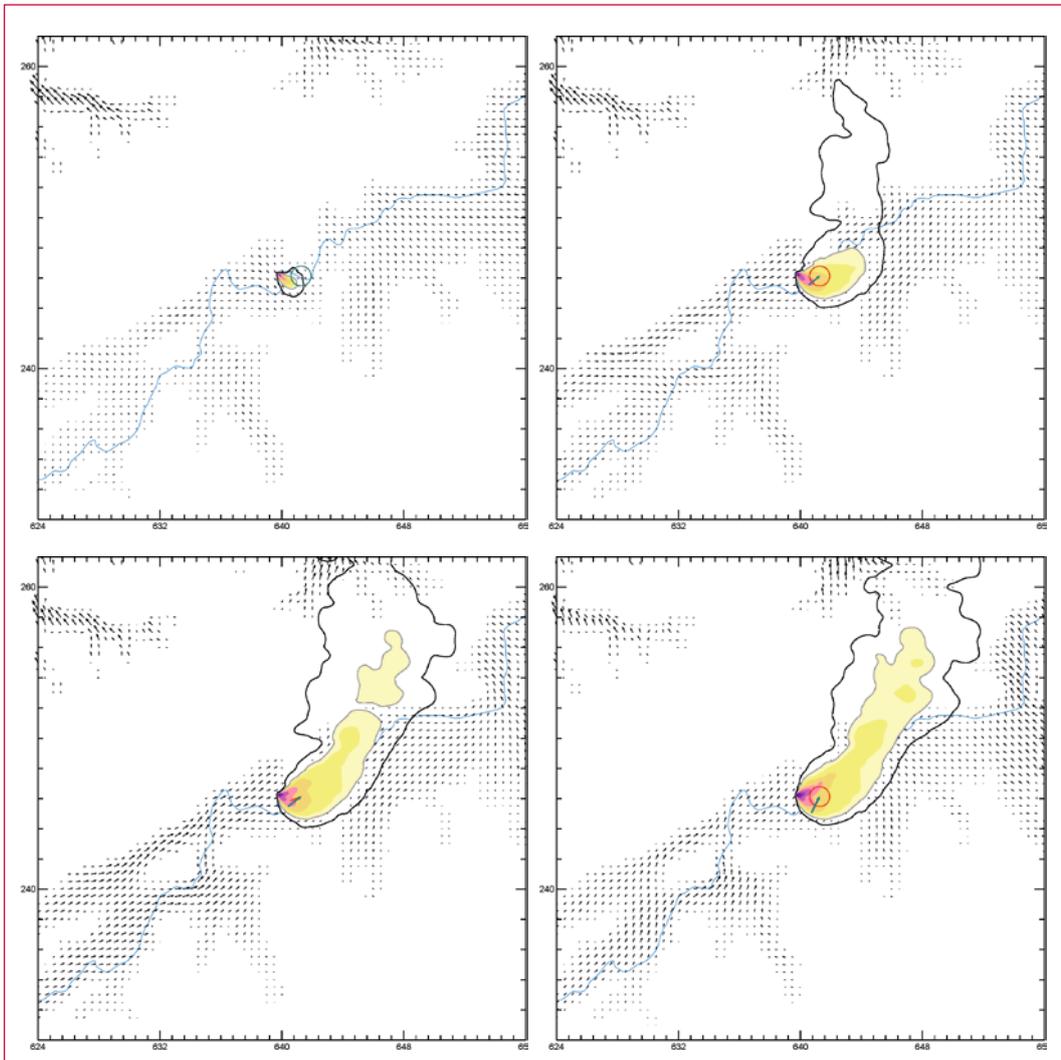
Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 9. Januar 2016 um 20:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 10 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden.

Ausbreitungssituation um 20:30 Uhr (links oben), 21:40 Uhr (rechts oben), 22:50 Uhr (links unten) und am 10. Januar 2016 um 2:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

Vordergrund: Integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit

Hintergrund: 3D-Windfeld auf 400 m über Meer

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

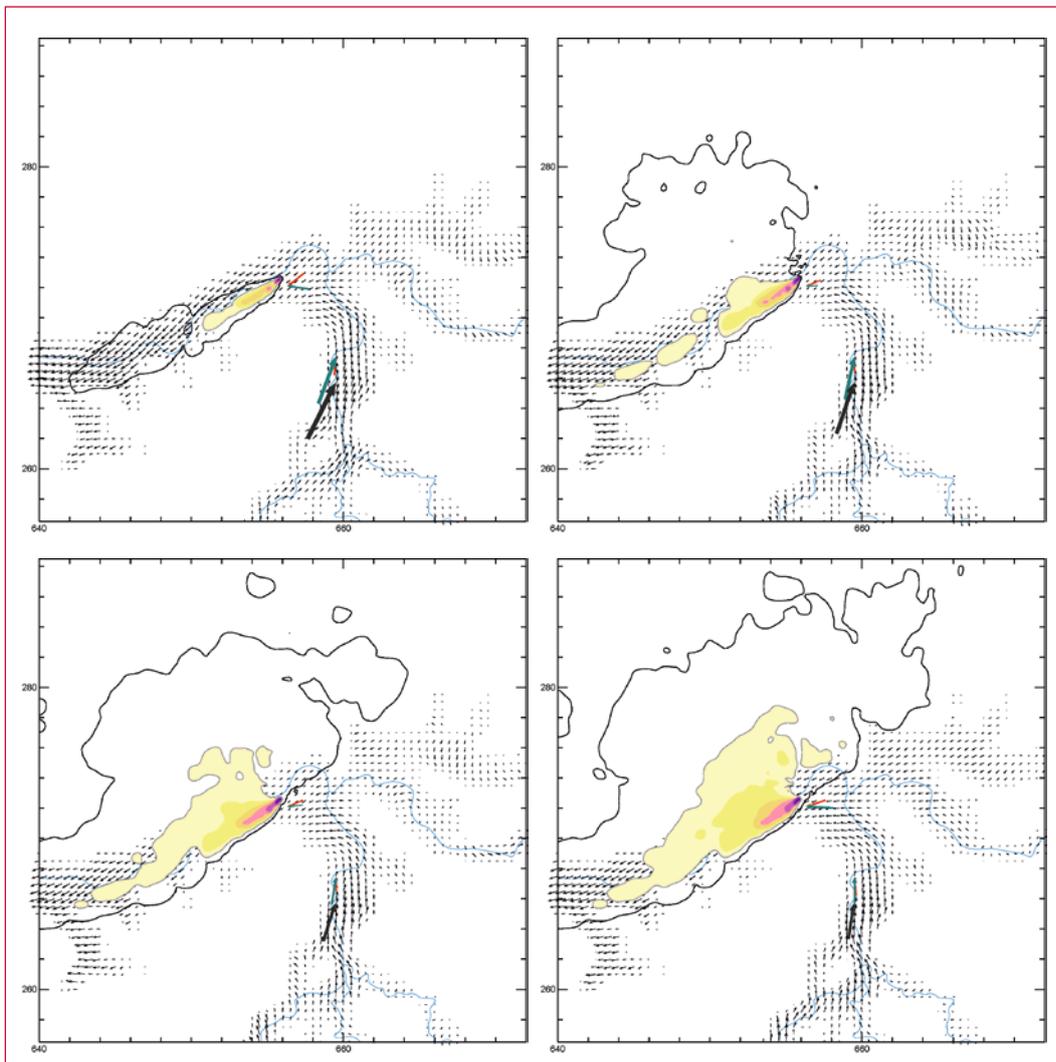


Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 19. Januar 2016 um 2:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 50 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden.

Ausbreitungssituation um 2:40 Uhr (links oben), 4:20 Uhr (rechts oben), 6:00 Uhr (links unten) und 8:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

Vordergrund: Integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit

Hintergrund: 3D-Windfeld auf 450 m über Meer



Darstellung B.9:
 Beispiel einer ADPIC/
 COSMO-Simulation
 für KKL
 (Berechnungen mit
 prognostizierten 3D-
 Winddaten aus dem
 COSMO2-Modell)

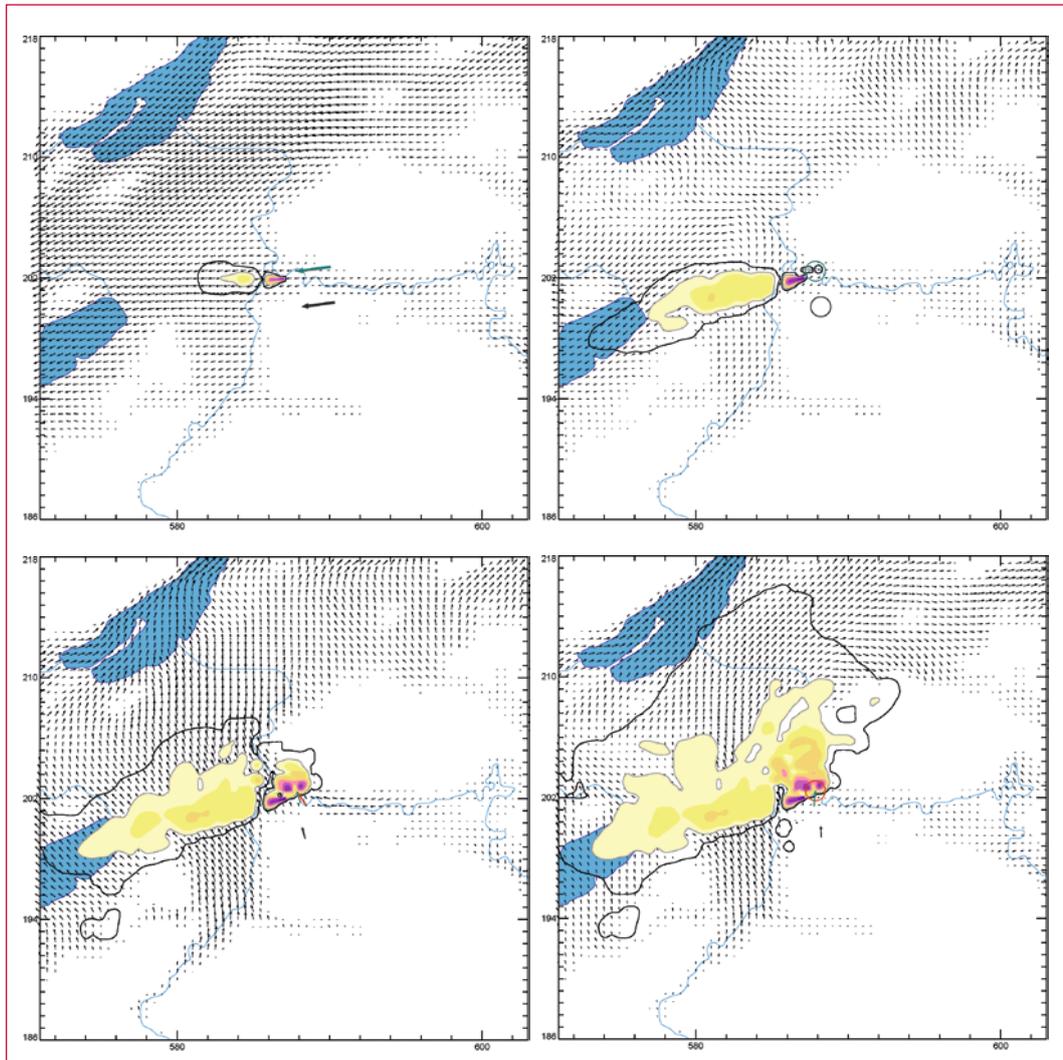
Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 27. Januar 2016 um 8:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 10 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden.

Ausbreitungssituation um 9: 20 Uhr (links oben), 11:10 Uhr (rechts oben), 12:30 Uhr (links unten) und 14:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

Vordergrund: Integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit

Hintergrund: 3D-Windfeld auf 400 m über Meer

Darstellung B.10:
 Beispiel einer ADPIC/
 COSMO-Simulation
 für KKM
 (Berechnungen mit
 prognostizierten 3D-
 Winddaten aus dem
 COSMO2-Modell)



Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 22. Januar 2016 um 5:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 50 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden.

Ausbreitungssituation um 5:50 Uhr (links oben), 8:10 Uhr (rechts oben), 9:30 Uhr (links unten) und 11:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

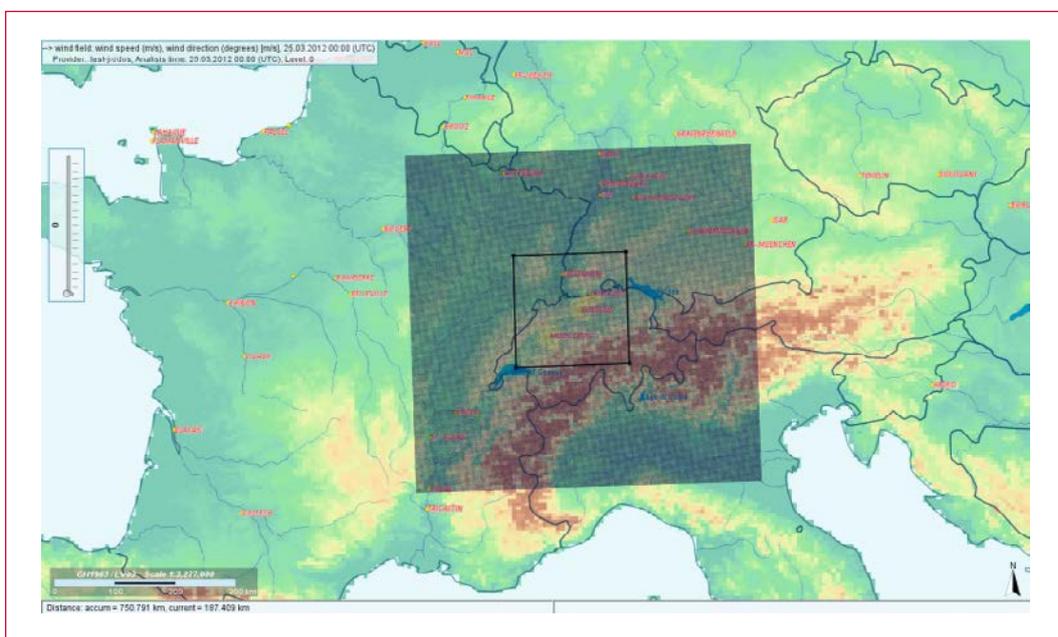
Vordergrund: Integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit

Hintergrund: 3D-Windfeld auf 550 m über Meer

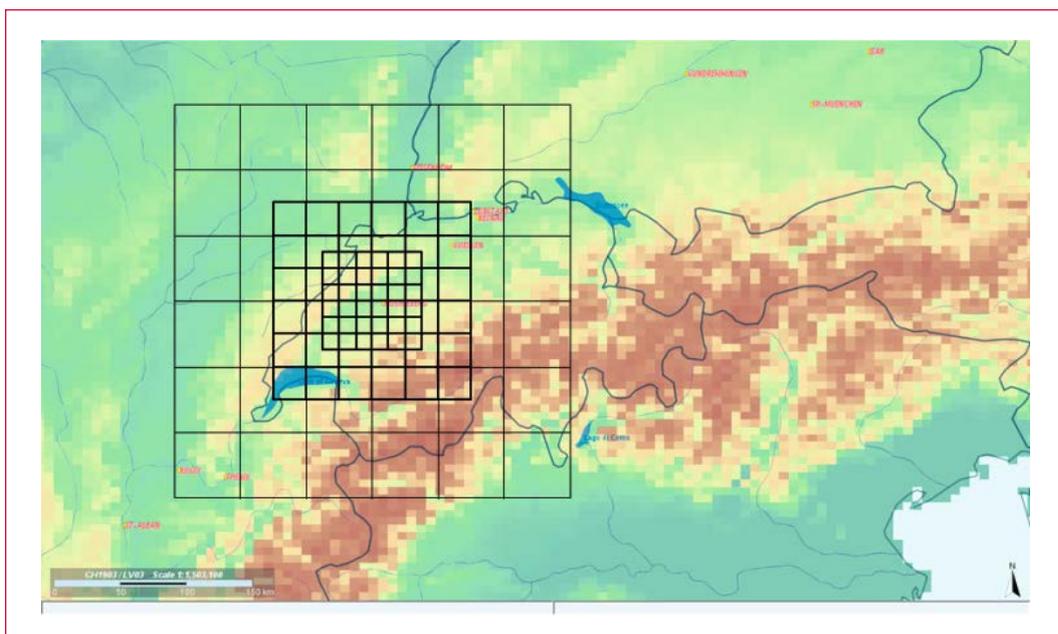
kehrungen getroffen, um JRODOS in die Notfallorganisation einzubinden und den Wechsel von ADPIC auf JRODOS insbesondere für die Operateure zu vereinfachen. Anlässlich der GNU15 kam das System erstmals zum Einsatz und die Operateure konnten die in den Schulungen erworbenen Kenntnisse unter Übungsbedingungen anwenden. Eine wesentliche Neuerung stellt die Erweiterung des Rechengebiets von gegenwärtig maximal 64x64 km² auf 500x500 km² dar (siehe Darstellung B.11), wobei für den Nahbereich um eine Kernanlage die orografische Auflösung von 250 m beibehalten wird. Das Rechengitter besitzt eine Schachtelung von unterschiedlich fein aufgelösten Gebieten (sog. «Nesting», siehe Darstellung B.12), wobei die Anzahl Stufen wählbar ist. Dies ermög-

licht Simulationen mit grossen Abwinddistanzen innerhalb von für den Notfallschutz akzeptablen Rechenzeiten.

Auch zukünftig setzt das ENSI bei seinen radiologischen Ausbreitungsrechnungen auf die mit einer Gittermaschenweite von 2,2 km hochaufgelösten meteorologischen Prognosedaten des COSMO 2-Modells von MeteoSchweiz. Diese Auflösung wird voraussichtlich ab April 2016 durch die Weiterentwicklung des COSMO-Modells auf eine Gittermaschenweite von 1,1 km weiter erhöht.



Darstellung B.11: Die innere Zelle zeigt das mit meteorologischen Daten abgedeckte Gebiet über 96 x 96 km². Um ein KKW der Schweiz kann eine Ausbreitungsrechnung für den Nahbereich lediglich für ein Gebiet von maximal 64 x 64 km² durchgeführt werden. Zukünftig werden für Ausbreitungsrechnungen meteorologische Daten für ein Rechengebiet von 500 x 500 km² zur Verfügung stehen.



Darstellung B.12: 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

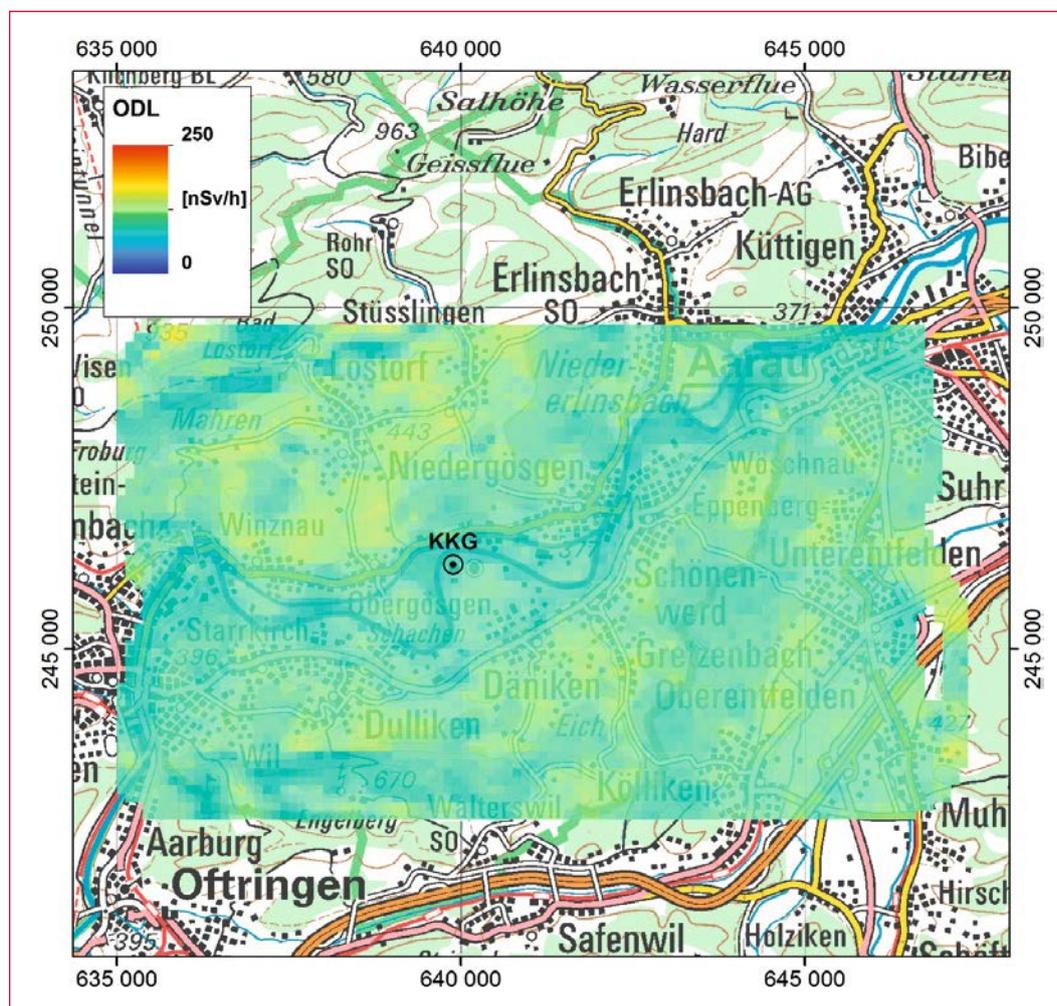
4.1 Einleitung

Aeroradiometrische Messungen wurden in der Schweiz im Jahr 1986 aufgenommen. Die Methodik und Software für die 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 Jahr 1994 ging man zu einem Zweijahresrhythmus über, wobei seither abwechselungsweise zwei bzw. drei Gebiete im Umfeld von 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).

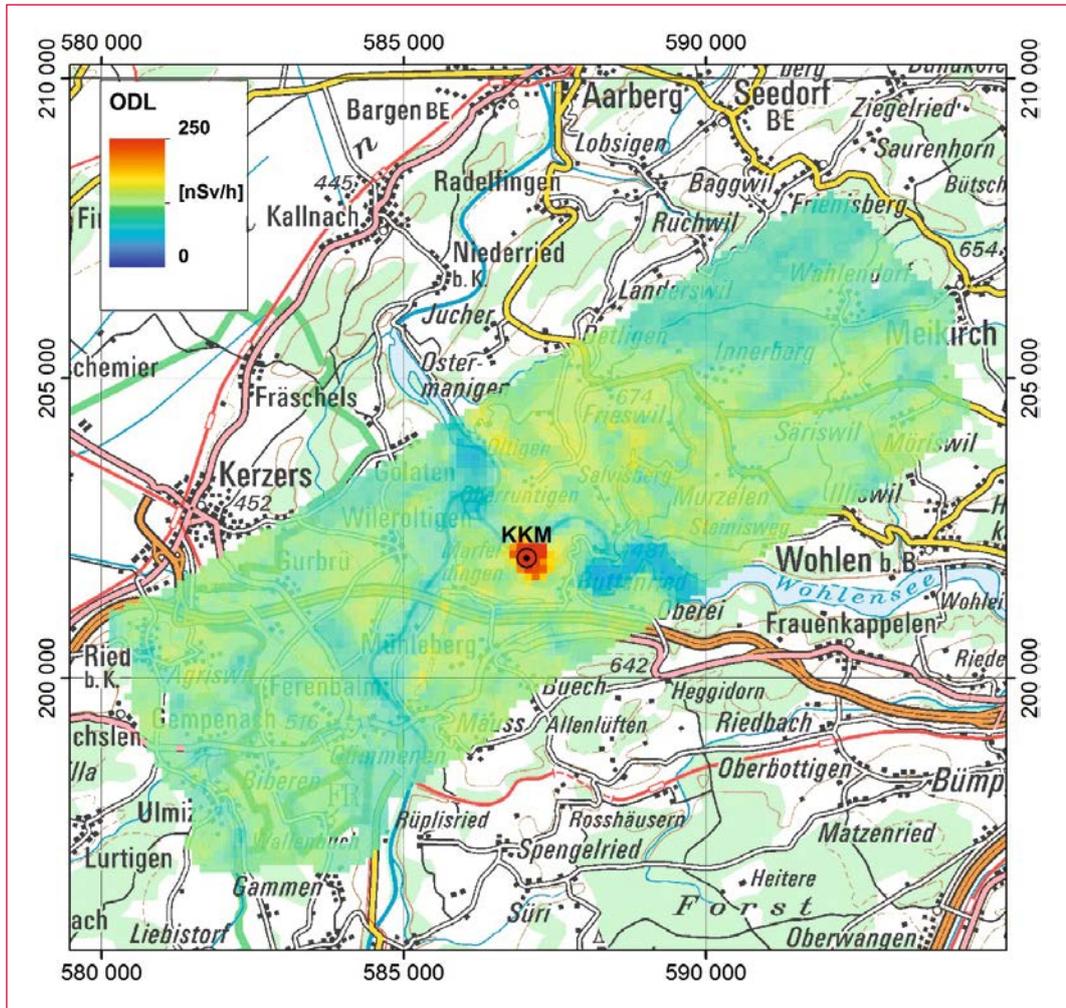
Im Jahre 1994 wurde die Aeroradiometrie in die Einsatzorganisation Radioaktivität des Bundes integriert. Als mögliche Einsatzfälle stehen Transport- und Industrieunfälle mit radioaktivem Material, KKW-Störfälle, Abstürze von Satelliten mit Nuklearreaktoren und «Dirty Bombs» im Vordergrund. Die jährlichen 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-Datenauswertungs- und Kartierungssoftware im Mess-

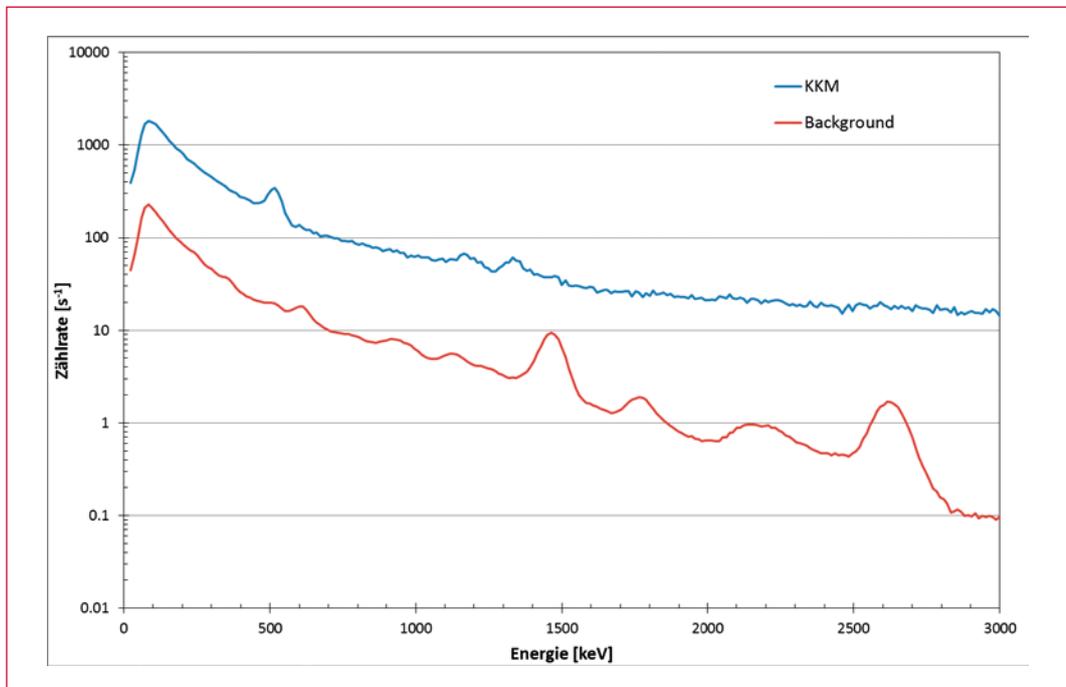


Darstellung B.12:
Ortsdosisleistung 2015
im Messgebiet KKG.
Kartendaten PK200®
Bundesamt für
Landestopografie.

Darstellung B.13
 Ortsdosisleistung 2015
 im Messgebiet KKM.
 Kartendaten PK200®
 Bundesamt für
 Landestopografie.



Darstellung B.14:
 Photonenspektrum
 2015 im Bereich des
 Maschinenhauses des
 KKM im Vergleich zum
 Background ausserhalb
 des Betriebsareals. Die
 Erhöhung der Zählraten
 im gesamten Energiebereich
 ist auf Streustrahlung der
 hochenergetischen
 Gammalinien des ^{16}N
 zurückzuführen.



system integriert. 2006 wurde ein zweiter Detektor mit 16,8 l Volumen beschafft, kalibriert und bei den Messflügen 2007 erstmals eingesetzt. Ende 2014 wurde der alte 16.8 l Detektor sowie das Spektrometer durch einen neuen Detektor mit integriertem, digitalen Spektrometer ersetzt. 2015 erfolgte die Kalibration und der Einsatz bei den Messflügen. 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 2015

Im März 2015 wurden Vergleichsflüge mit dem neuen Messsystem des Kompetenzzentrums ABC (Komp Zen ABC) der Armee im Gebiet des Paul Scherrer Instituts durchgeführt. Im Juni 2015 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM) gemessen. Zudem wurden für ein Projekt der Universität Basel im Urserental und im Val Piora Messflüge durchgeführt. Vom 15.–18. Juni nahm das Messteam an der internationalen Übung AGC15 in Chemnitz/D teil, die vom Bundesamt für Strahlenschutz in Zusammenarbeit mit der Bundespolizei organisiert wurde. Im Folgenden werden nur die Resultate der Messungen in der Umgebung der Kernanlagen diskutiert. Die Ergebnisse sämtlicher Messungen wurden in einem Bericht publiziert (Butterweck et al., 2015).

Die Messresultate im Messgebiet KKG und KKM zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. Im Bereich des KKG sind keine besonderen Werte bei der Ortsdosisleistung (Darstellung B.12) zu erkennen. KKG mit seinem Druckwasserreaktor konnte aeroradiometrisch weder aufgrund der Ortsdosisleistung (Darstellung B.12) noch aufgrund des MMGC-Verhältnisses erkannt werden. Das MMGC-Verhältnis steht für den Quotienten der Zählraten im Energiebereich von 400–1400 keV und 1400–3000 keV. Da die meisten Spaltprodukte Gammalinien im Energiebereich unterhalb von 1400 keV aufweisen, stellt das MMGC-Verhältnis ein empfindliches Instrument zur Lokalisierung künstlicher Radionuklide dar.

Im Gegensatz zu KKG können am Standort von KKM in der Darstellung B.13 erhöhte Messwerte erkannt werden. Das KKM mit seinem Siedewasserreaktor konnte anhand gestreuter, hochenergeti-

scher 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 eine vergleichsweise geringe Abschirmung bietet, kann die hochenergetische Gammastrahlung des ^{16}N aus der Luft gut gemessen werden. Ausserhalb des Betriebsareals sind keine erhöhten Werte erkennbar. Unterschiede sind auf Einflüsse der Topographie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen.

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.

Butterweck, G., Bucher, B., Rybach, L., Schwarz, G., Hofstetter-Boillat, B., Hohmann, E., Mayer, S., Danzi, C., Scharding, G., 2015: Aeroradiometric Measurements in the Framework of the Swiss Exercises ARM15, GNU15 and the International Exercise AGC15. PSI Bericht Nr. 15-04, ISSN 1019-0643.

Herausgeber

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI
CH-5200 Brugg
Telefon +41 (0)56 460 84 00
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-9663
ISSN 1661-2914

© ENSI, Juni 2016

ENSI-AN-9663
ISSN 1661-2914

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