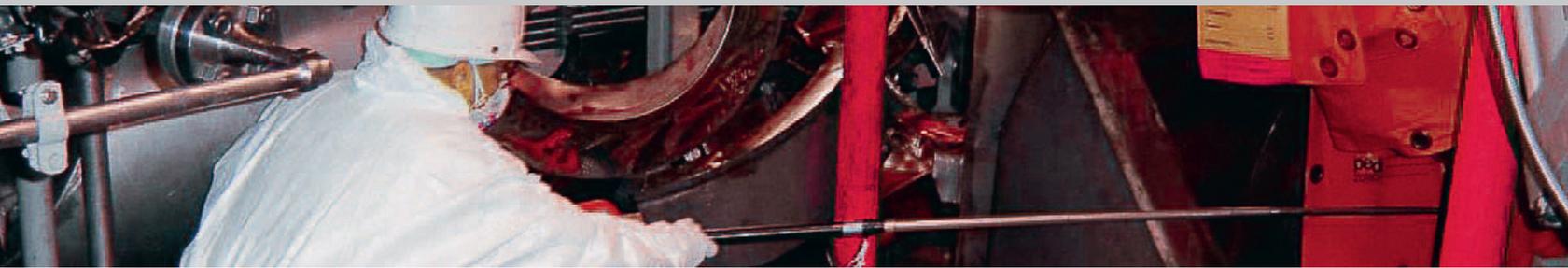




Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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



Strahlenschutzbericht 2014

Strahlenschutzbericht 2014

Rapport sur la radioprotection 2014

Radiological Protection report 2014

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4
Préface	6
Preface	8
A: Strahlenschutz in den Kernanlagen	11
1. Kernkraftwerke	11
1.1 Kernkraftwerk Beznau (KKB)	11
1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)	13
1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)	15
1.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)	16
2. Weitere Kernanlagen	19
2.1 Paul Scherrer Institut (PSI)	19
2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)	19
2.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)	20
2.4 Universität Basel	20
3. Grafische Darstellungen	21
4. Dosimetrie	25
4.1 Einleitung	25
4.2 Personendosimetrie	25
4.3 Jobdosimetrie	47
4.4 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen	49
4.5 Erwartete Entwicklung der Exposition	50

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 am Perimeter der Kernanlagen	63
2. Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)	65
2.1 Übersicht	65
2.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung	65
2.3 Systemverfügbarkeit und Störungen	66
2.4 Qualitätssicherung	67
2.5 Messergebnisse	68
3. Atmosphärische Ausbreitung	73
3.1 Modellberechnungen im Ereignisfall	73
3.2 Atmosphärisches Ausbreitungsmodell ADPIC	73
3.3 Projekt RADUK	79
4. Aeroradiometrische Messungen	81
4.1 Einleitung	81
4.2 Messungen und Messresultate 2014	82
4.3 Literatur	83

Vorwort



Dr. Georges Piller

Der vorliegende elfte Jahresbericht Strahlenschutz dient dazu, der Öffentlichkeit umfassend Auskunft zu geben über die Strahlendosen beruflich strahlenexponierter Personen, die Abgaben radioaktiver Stoffe und die Überwachung der Umweltradioaktivität im Aufsichtsbereich des ENSI. Das ENSI als Aufsichtsbehörde über die Kernanlagen in der Schweiz stellt ein zunehmendes Interesse der Öffentlichkeit an Daten zur Strahlung fest. Aus diesem Grund wird das Informationsangebot zusätzlich zum Strahlenschutzbericht weiter ausgebaut. Die mittlere Individualdosis der beruflich strahlenexponierten Personen hat sich gegenüber den letzten Jahren nicht wesentlich geändert und liegt bei 0,6 mSv pro Jahr. Sie ist damit deutlich kleiner als der vom Bundesrat festgelegte Grenzwert von 20 mSv pro Jahr und auch kleiner als die mittlere jährliche Strahlendosis der Bevölkerung in der Schweiz von 5,5 mSv pro Jahr. Die höchste Individualdosis beträgt 12 mSv pro Jahr, sodass auch 2014 im Aufsichtsbereich des ENSI keine Überschreitung des Grenzwerts zu verzeichnen ist. Die Kollektivdosen liegen in der Grössenordnung der letzten Jahre. Im KKL ist ein Trend zu höheren Kollektivdosen erkennbar, der genauer zu verfolgen ist. Die Strahlenschutzplanungen der Kernanlagenbe-

treiber weisen generell einen hohen Stand auf. Die resultierenden Kollektivdosen stimmten für Beznau 1, Gösgen und Leibstadt innerhalb von 10 % mit den Planwerten überein; für Beznau 2 und Mühleberg lagen sie rund 30 % tiefer. Hohe Anforderungen an den Strahlenschutz stellten insbesondere der Brennelement-Hüllrohrdefekt in Leibstadt und die weiterhin erhöhten Ortsdosisleistungen an Komponenten des Primärkreislaufs in Beznau 1 dar. Das ENSI kommt zum Schluss, dass in den schweizerischen Kernanlagen weiterhin ein konsequenter Strahlenschutz betrieben wird.

Die Betreiber von Kernanlagen haben die behördlich festgelegten Abgabelimiten auch 2014 eingehalten, teilweise mit beträchtlichen Margen. Erstmals hat zudem auch Mühleberg den aufgrund internationaler Empfehlungen vom ENSI festgesetzten Zielwert von 1 GBq pro Jahr für die flüssigen Abgaben unterschritten. Bei der Zwiilag und dem PSI notiert das ENSI jedoch steigende Abgaben. Die Emissionen der schweizerischen Kernanlagen führen in der unmittelbaren Umgebung zu einer Dosis von weniger als 0,01 mSv pro Jahr. Die monatlichen Emissionen 2014 über den Luft- und Wasserpfad sind neu auf der Website des ENSI publiziert. Ab 2015 werden die monatlichen Emissionen aufgeschaltet, sobald diese vom ENSI geprüft wurden. 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. Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem Bundesamt für Gesundheit (BAG) durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Jodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten der Kernanlagen. Das ENSI betreibt zu diesem Zweck eine nach ISO 17025 akkreditierte Prüfstelle. Auch an der von BAG und ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie haben die vom ENSI anerkannten Dosimetriestellen den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

Zur Überwachung der Umweltradioaktivität betreibt das ENSI seit 1994 ein Messnetz zur Automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK). Die ermittelten Dosisleistungen sind auf www.ensi.ch öffentlich zugänglich. Sie werden 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. MADUK wies 2014 eine Verfügbarkeit von 99,6% auf. Neben dem fest installierten Messnetz können auch mobile Sonden zur Ermittlung der Ortsdosisleistung oder des Gamma-Spektrum eingesetzt werden. Künftig sollen auch die historischen MADUK-Daten online zur Verfügung stehen.

Im Bereich der Ausbreitungsrechnungen erfolgen stündlich Simulationsrechnungen für alle Kernkraftwerksstandorte. Dabei fließen die dreidimensionalen Windfelder von MeteoSchweiz mit einer räumlichen Auflösung von 2 km direkt in die Rechnungen ein. Zusammen mit den jährlichen Aeroradiometrie-Messflügen stehen damit jederzeit einsetzbare, wertvolle und genaue Instrumente für die aktuelle Beurteilung (Diagnose) und eine Prognose der radiologischen Lage zur Verfügung.

Préface

Ce onzième rapport annuel sur la radioprotection sert à informer le public en détail concernant les doses de radiations de personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession, les rejets de substances radioactives et la surveillance de la radioactivité dans l'environnement dans le domaine de surveillance de l'IFSN. En tant qu'autorité de surveillance pour les installations nucléaires en Suisse, l'IFSN constate un intérêt croissant du public concernant des données sur le rayonnement. Pour cette raison, l'offre en information est développée en complément du rapport sur la radioprotection.

La dose individuelle moyenne des personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession n'a pas sensiblement changé par rapport aux dernières années et se situe à 0,6 mSv par année. Elle est ainsi largement inférieure à la valeur limite de 20 mSv par année fixée par le Conseil fédéral et 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 12 mSv par année de sorte qu'en 2014 aussi, aucun dépassement de la valeur limite n'est à recenser pour le domaine de surveillance de l'IFSN. Les doses collectives se situent dans l'ordre de grandeur des années précédentes. Une tendance vers des doses collectives plus élevées est perceptible à la centrale nucléaire de Leibstadt; il s'agira de la suivre de près. Les planifications de radioprotection des exploitants des installations nucléaires se situent généralement à un niveau élevé. Pour Beznau 1, Gösgen et Leibstadt, les doses collectives résultantes concordaient avec une marge de 10 % aux projections. Elles étaient inférieures d'environ 30 % à Beznau 2 et à Mühleberg. Les défauts d'étanchéité de gaines d'assemblages combustibles à Leibstadt et les débits de dose restant élevés à des composants du circuit primaire de Beznau 1, notamment, ont présenté des exigences élevées à la radioprotection. L'IFSN arrive à la conclusion qu'une radioprotection conséquente continue d'être appliquée dans les installations nucléaires suisses.

En 2014 aussi, les exploitants des installations nucléaires ont respecté les limites de rejet fixées

par les autorités, en partie avec des marges importantes. Pour la première fois, l'objectif de 1 GBq par année pour les rejets liquides, fixé par l'IFSN sur la base de recommandations internationales, n'a également pas été dépassé à Mühleberg. L'IFSN note cependant des rejets en augmentation au dépôt Zwiilag et au PSI. Les émissions des installations nucléaires suisses conduisent dans leur environnement immédiat à une dose de moins de 0,01 mSv par an. Les émissions mensuelles par les voies de l'air et des eaux pour 2014 sont publiées sur le site internet de l'IFSN. Dès 2015, les émissions mensuelles sont mises en ligne aussitôt qu'elles ont été vérifiées par l'IFSN.

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. Les mesures de contrôle trimestrielles de l'IFSN et les mesures comparatives semestrielles réalisées avec l'Office fédéral de la santé publique (OFSP) des filtres à aérosols et iode ainsi que des échantillons d'eaux usées concordaient avec les valeurs des installations nucléaires. L'IFSN exploite dans cette optique un organisme de vérification accrédité selon la norme ISO 17025. Les services de dosimétrie reconnus par l'IFSN ont aussi apporté la démonstration de la précision de mesure nécessaire lors de la mesure comparative organisée chaque année conjointement par l'OFSP et l'IFSN pour la dosimétrie individuelle externe.

Pour surveiller la radioactivité de l'environnement, l'IFSN exploite depuis 1994 un réseau automatique de mesure pour la surveillance du débit de dose dans le voisinage des centrales nucléaires (MADUK). Les débits de dose mesurés sont accessibles au public à l'adresse www.ifs.ch. Ils sont aussi mis 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. MADUK affichait une disponibilité de 99,6 % en 2014. En plus du réseau de mesure installé en fixe, des sondes mobiles peuvent être employées pour

déterminer le débit de dose local ou le spectre gamma. A l'avenir, les données historiques du réseau MADUK doivent être disponibles en ligne. Dans le domaine des calculs de propagation, des calculs de simulation horaires sont produits pour tous les sites des centrales nucléaires. Les champs tridimensionnels de vent de MétéoSuisse sont directement pris en compte dans les calculs, avec une résolution spatiale de 2 km. En combinaison avec les vols de mesure d'aéroradiométrie effectués chaque année, des instruments adaptés, utiles et précis sont ainsi disponibles à tout moment pour l'évaluation actuelle (diagnostic) et une prévision de la situation radiologique.

Preface

In its 11th Annual Report on Radiological Protection, ENSI seeks to provide the public with comprehensive information on dose rates for individuals exposed to radiation during their work, releases of radioactive material and the monitoring of environmental radiation in areas subject to ENSI surveillance. ENSI, as the regulatory body for nuclear facilities in Switzerland has noted an increase in the public's interest in radiological data and so is continuing to expand its information provision over and above that contained in the Radiological Protection Report.

The average individual dose for those exposed to radiation during their work has not changed materially in recent years. At 0.6 mSv per year, it remains significantly below the annual limit of 20 mSv specified by the Swiss Federal Council. It is also less than the average annual rate of exposure of 5.5 mSv for the population in Switzerland as a whole. The highest individual dose during the year was 12 mSv. This meant that no facility subject to ENSI surveillance breached the maximum admissible limit in 2014. The collective doses lie within the range of past years. There is a trend towards higher collective doses at KKL, which is to be scrutinized thoroughly. As a general rule, planning by the licensees of nuclear facilities in the field of radiological protection is of a high standard. Actual collective doses in 2014 at Beznau 1, Gösgen and Leibstadt were within 10% of projected exposure rates and at Beznau 2 and Mühleberg the doses were about 30% lower. Demands in terms of radiological protection were particularly high at Leibstadt and Beznau 1; at Leibstadt mainly as a result of the fuel cladding defect and at Beznau 1 because of the continuing elevated ambient rate for components in the primary circuit. ENSI concluded that the Swiss nuclear facilities continue to operate a consistent approach to radiological protection.

In 2014, licensees of nuclear facilities once again remained within official release limits, in some cases by a significant margin. For the first time, liquid releases from Mühleberg were below the target value of 1 GBq per year set by ENSI on the basis of international recommendations. At ZWILAG and at PSI however ENSI notes increasing

release values. Emissions from Swiss nuclear facilities in the immediate vicinity of nuclear facilities produced an annual dose rate of less than 0.01 mSv. For the first time, the monthly air and waterborne emissions in 2014 are now on the ENSI website and from 2015, the rates for monthly emissions will be uploaded as soon as they have been checked by ENSI.

ENSI conducts inspections and does comparative measurements in order to verify that the required measuring equipment for radiological protection is provided, properly adjusted and calibrated, used correctly and so capable of providing reliable data. The quarterly control measurements by ENSI and the half-yearly comparative measurements of aerosol and iodine filters and wastewater sampling conducted in conjunction with the Swiss Federal Office of Public Health (FOPH) corroborated the data provided by the nuclear facilities. For this purpose, ENSI maintains a test laboratory accredited under ISO 17025. In addition, the annual comparative measurements for external personal dosimetry organised jointly by FOPH and ENSI provided evidence that the dosimetry sites approved by ENSI had the required accuracy.

For the purpose of monitoring environmental radioactivity, ENSI has operated since 1994 a network for the automatic measurement of dose rates in the vicinity of nuclear power plants (MADUK). The dose rates are publicly available on the ENSI website at www.ensi.ch. They are 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 2014, MADUK had an availability rate of 99.6%. In addition to the permanent measuring network, mobile probes are used to determine ambient dose rates or the Gamma spectrum. In future, historic MADUK data will also be available online.

In the field of dispersion, hourly simulations are calculated for locations with a nuclear power plant. The calculations are based on data on current 3D wind speeds supplied by MeteoSwiss with a spatial resolution of 2 km. Together with the annual aero-

radiometric test flights, they provide valuable and precise tools useable at any time to analyse the current situation (diagnosis) and forecast the development of radiation.

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 und Überwachung der Radioaktivität (KSR) im Jahr 2004 veröffentlicht wurde. Die Messwerte werden gemäss den international üblichen Rundungsregeln in 0,1 mSv-Schritten gerundet. Ferner werden im untersten Dosisbereich

(kleiner als 0,1 mSv) Messwerte unterhalb von 0,075 mSv auf 0 gerundet. Messwerte zwischen 0,075 und 0,1 mSv werden auf 0,1 mSv gerundet. Fallweise können einzelne nicht dosisrelevante Abweichungen zwischen den Auswertungen der Personendosimetriestellen und dem ENSI entstehen.

Die von der Dosimetriestelle des PSI ermittelten Neutronendosen werden bei der Bestimmung der Ganzkörperdosen berücksichtigt, wenn sie Dosiswerte über der Nachweisgrenze von 0,2 mSv zeigen.

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

1. Kernkraftwerke

1.1 Kernkraftwerk Beznau (KKB)

Schutz des Personals

Da in den beiden Blöcken normalerweise jeweils alternierend ein Brennelementwechsel oder ein Revisionsstillstand durchgeführt wird, sind neben

den Kollektivdosen von 2014 auch die der beiden vorigen Jahre aufgeführt. Im Berichtsjahr wurden sowohl im KKB 1 als auch im KKB 2 Brennelementwechsel durchgeführt:

Aktionen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]		
	2014	2013	2012
Brennelementwechsel	113	85	
Revisionsstillstand			544
Zwischenabstellungen	54		
Leistungsbetrieb	39	40	40
Gesamte Jahreskollektivdosis	206	125	584

KKB 1

Aktionen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]		
	2014	2013	2012
Revisionsstillstand		220	
Brennelementwechsel	45		56
Zwischenabstellung			56
Leistungsbetrieb	40	39	41
Gesamte Jahreskollektivdosis	85	259	153

KKB 2

Aktionen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]		
	2014	2013	2012
Revisionsstillstand und BE-Wechsel	212	305	81
Leistungsbetrieb	79	79	709
Gesamte Jahreskollektivdosis	291	384	790

Im Kalenderjahr 2014 wurde in den beiden Blöcken des KKB eine Kollektivdosis von 291 Pers.-mSv verzeichnet. Die höchste im KKB registrierte Individualdosis betrug 5,2 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 ^{60}Co festgestellt, die durch den Betrieb von kerntechnischen Anlagen bedingt war.

Der Block 1 wurde im Berichtsjahr am 1. April zum geplanten Brennelementwechsel abgefahren und am 13. April war der Reaktor wieder kritisch. Das Abfahren der Anlage verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Im Vergleich mit dem Vorjahr sind die Ortsdosisleistungen (ODL) an den Komponenten des Primärkreislaufs an den Hauptkühlmittelleitungen Closure Legs A und B im Mittel um ca. 35 % gestiegen. Der kontinuierliche Anstieg seit 2005 wurde, nach dem leichten Rückgang im Jahr 2013, somit fortgesetzt. Die mittleren ODL an den Mänteln der Dampferzeuger zeigen wie in den vergangenen Jahren niedrige Werte im Bereich von rund 250 mikroSv/h. Ebenso liegen die ODL-Werte an den Hot Legs A und B weiterhin auf einem tiefen Niveau, aber im Vergleich mit dem Vorjahr kann ein kleiner Anstieg festgestellt werden.

Die nuklidspezifischen Messungen der Kontamination im KKB 1 zeigen, dass die Nuklide ^{60}Co , ^{95}Nb , ^{95}Zr und ^{52}Cr dominierend sind. Weitere nachweisbare Nuklide (kurzlebige Aktivierungsprodukte) sind ^{54}Mn , ^{65}Zn , ^{59}Fe , $^{95}\text{Nb}/\text{Zr}$, $^{110\text{m}}\text{Ag}$, und ^{124}Sb . Weil Alphastrahler an frei zugänglichen Orten nachgewiesen werden konnten, wurden geeignete Messmittel beschafft und die Strahlenschutzmassnahmen angepasst. Nuklidspezifische Alpha-Spektrometrie wurde in der Reaktorgrube (^{242}Cm), am RDB-Deckel (^{241}Am und ^{238}Pu) und im Transferbecken C (^{241}Am und ^{238}Pu) durchgeführt.

Während des Brennelementwechsels im Block 1 wurde das Sicherheitsgebäude aus Strahlenschutzgründen unterhalb des Bedienbodens für nicht befugte Personen grossräumig abgesperrt. Die akkumulierte Kollektivdosis für den Brennelementwechsel betrug 113 Pers.-mSv. Die Planungs-dosis von 106 Pers.-mSv wurde somit um 7 % geringfügig überschritten. Das ENSI hat während des Brennelementwechsels zwei Inspektionen zu Strahlenschutzthemen durchgeführt, die mit «Normalität» bewertet wurden.

Block 1 musste im Berichtsjahr wegen einer Dampfleckage an der Impulsleitung der Frischdampf-Durchflussmessung zur Reparatur ungeplant abgefahren werden. Die Reparaturarbeiten wurden vom KKB-Strahlenschutz ordnungsgemäss überwacht. Das ENSI hat die Reparaturarbeiten inspiziert und «Normalität» festgestellt.

Zur Reparatur einer Leckage im primären Nebenkühlwassersystem (PRW) musste der Block 1 kurze Zeit später erneut abgestellt werden. Für die Reparatur wurde eine Kollektivdosis von 54,1 Pers.-mSv akkumuliert. Das ENSI hat den operationellen Strahlenschutz bei den vorbereitenden Arbeiten inspiziert und «Normalität» festgestellt.

Im Block 2 wurde im Berichtsjahr zwischen dem 11. und dem 24. August ein Brennelementwechsel durchgeführt. Das Abfahren verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Die akkumulierte Kollektivdosis betrug 45 Pers.-mSv. Die Planungs-dosis von 62 Pers.-mSv wurde somit um 28 % unterschritten. Gemäss Aussage des KKB-Strahlenschutzes wird die deutliche Unterschreitung mit Zutrittsbeschränkungen zur Kote +323m, mit einem reibungslosen Ablauf der Arbeiten, mit guten radiologischen Werten in der Reaktorgrube sowie mit der Strahlenschutzbetreuung des Dekontpersonals begründet. Traditionelle und effiziente Strahlenschutzmassnahmen, wie Abschirmungen und Absperrungen, wurden während der ganzen Abstellung verwendet und an die aktuellen radiologischen Verhältnisse angepasst.

Die mittleren Ortsdosisleistungen (ODL) an den Mänteln der Dampferzeuger sind im Vergleich zu den Vorjahren auf einem tiefen Niveau fast unverändert geblieben. Die ODL an den Hauptkühlmittelleitungen im Bereich der Closure Legs (Teil zwischen Dampferzeuger-Eintritt und Hauptkühlmittelpumpe) sind im Vergleich zum Vorjahr um rund 18 % weiter angestiegen. Zwei von sechs Messpunkten am Reaktordeckel zeigen im Vergleich mit den Vorjahren deutlich höhere Dosisleistungen. Die massgebenden Nuklide in den Kontaminationen wurden als ^{60}Co , ^{95}Nb , ^{95}Zr , ^{58}Co und ^{51}Cr identifiziert. Die Alpha-Oberflächenkontamination wurde von ^{242}Cm , ^{243}Cm und ^{244}Cm dominiert. Das ENSI hat während des Brennelementwechsels eine Inspektion zu Strahlenschutzthemen durchgeführt, die mit «Normalität» bewertet wurde.

Strahlenschutzinstrumentierung

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

Im Berichtsjahr hat das KKB ein neues Messsystem zur Überwachung der Kaminfortluft hinsichtlich radioaktiver Aerosole in beiden Blöcken in Betrieb genommen. Die neuen Probenentnahmesysteme erfüllen nun die Anforderungen der ENSI-Richtlinie G13 hinsichtlich der Gesamtübertragungsraten für Partikel. Des Weiteren wurde im Berichtsjahr die Anerkennung der Personendosimetriestelle des KKB für fünf Jahre verlängert.

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

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem Bundesamt für Gesundheit (BAG) durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Jodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKB.
- An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie

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

1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2014 wurden im KKG folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Werte aus dem Jahr 2013):

Aktionen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	
	2014	2013
Revisionsstillstand	425	602
Leistungsbetrieb	57	69
Gesamte Jahreskollektivdosis	482	671

Im Kalenderjahr 2014 belief sich die Kollektivdosis im KKG auf 482 Pers.-mSv (2013: 671 Pers.-mSv). Die höchste im KKG registrierte Individualdosis betrug 6,6 mSv (2013: 9,2 mSv). Der Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr wurde somit deutlich unterschritten. Es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, die sich nicht mit einfachen Mitteln entfernen liessen. Es sind keine Inkorporationen aufgetreten.

Zwischen dem 8. Juni und 8. Juli 2014 war die Anlage für die Revision abgestellt. Bei den Arbeiten während des Revisionsstillstands wurden 425 Pers.-mSv akkumuliert, geplant waren 433 Pers.-mSv. Somit wurde der Dosiszielwert um 2 % unterschritten.

Das KKG verzeichnete eine leicht erhöhte Edelgasaktivität in den Anlagenräumen während des Abfahrens der Anlage bis zur Inbetriebnahme der Spülluft. Durch eine frühzeitige Inbetriebnahme der Spülluft wurde Personenkontaminationen durch ^{88}Rb , das Tochternuklid von ^{88}Kr , vorgebeugt. Zur Analyse der Ursachen und zur Lokalisierung der Leckage wurde vom KKG eine Arbeitsgruppe mit der Beteiligung von mehreren Fachsektionen eingesetzt. Es wurde noch kein eindeutiges Ergebnis erzielt.

Während des RDB-Deckel-Ziehens wurde der Aufenthalt im Containment auf die Personen, die hierfür benötigt wurden, begrenzt, da aufgrund des nach wie vor erhöhten Gehalts an Trampuran im Primärkreislauf erhöhte Iod-Konzentrationen während dieser Phase nicht ausgeschlossen werden konnten. Die kontinuierliche Überwachung der Luftkontamination zeigte tatsächlich einen Anstieg

der Messwerte, wobei die Maximalwerte dank der in den vergangenen Jahren erweiterten Spülluftkapazität deutlich unter dem für die Zonentypen festgelegten Richtwert von 1 CA blieben. Die niedrige Freisetzung von Iod resultiert aus den zurückliegenden defektfreien Betriebszyklen.

Nach dem Abfahren der Anlage präsentierte sich die kontrollierte Zone, darunter insbesondere die grossen Anlagenräume des Containments, in einem sauberen Zustand. Allfällige Kontaminationen wurden von der Gruppe Dekontamination umgehend beseitigt. Der Kontaminationsgrad der Räume blieb während der gesamten Revision und danach niedrig. Die Dosisleistung an ausgewählten Primärkomponenten lag im Durchschnitt um ca. 58 % unter dem Wert, der zu Beginn der Zinkdosierung im Jahr 2005 ermittelt worden war. Zusammenfassend zeigte sich die Anlage in einem radiologisch sauberen und zonenkonformen Zustand.

Neben den jährlichen Routinearbeiten für den Brennelementwechsel waren die wichtigsten Arbeiten aus Sicht des Strahlenschutzes während der Revision 2014 die Dampferzeugerheizrohrprüfungen, die Arbeiten zur Alterungsüberwachung im Rahmen des Projekts FAMOS, die Schweisssnahtprüfungen an der Hauptkühlmitteleitung, die Kontrolle und der Austausch von Stossbremsen, die sekundärseitige Dampferzeuger-Rohrbodenreinigung und die Druckspeicher-Inneninspektionen.

Für die Begrenzung und Optimierung der externen Exposition wurde ein umfangreiches temporäres Abschirmkonzept umgesetzt. Zudem wurde im Vorfeld der Dampferzeugerprüfungen ein Mock-up-Training insbesondere zur Reduzierung der Aufenthaltszeit und zum störungsarmen Betrieb der ferngesteuerten Manipulatoren durchgeführt.

Zur Vermeidung von Kontaminationsverschleppungen innerhalb der Anlage sowie zur Verhinderung von Inkorporationen und Personenkontaminationen wurden temporär Zonen mit erhöhten Zonentypen errichtet, welche u.A. die Vorgabe persönlicher Schutzausrüstungen und den Einsatz von Filtermobilen mit Aktivkohle beinhaltet.

Für sechs Arbeiten wurden detaillierte Dosis-schätzungen erstellt. Die vom KKG ergriffenen Massnahmen waren erfolgreich und haben – mit Ausnahme der Arbeiten für das Projekt FAMOS – zu Kollektivdosen geführt, die im Bereich bzw. unter den geschätzten Dosiszielwerten lagen.

Bereits kurz nach Beginn der Arbeiten im Projekt FAMOS war absehbar, dass der Dosiszielwert von

15 Pers.-mSv nicht eingehalten werden kann. Im Zuge des regelmässigen Informationsaustauschs wurde das ENSI über den Sachverhalt informiert. Der Hauptgrund für die Abweichung der tatsächlichen Jobdosis vom Dosiszielwert lag vor allem bei den wesentlich länger dauernden Arbeiten in Zonen mit höherer Dosisleistung. Das KKG reagierte mit einer täglichen Kontrolle der Individualdosen und einer besseren Verteilung der Jobdosis auf mehrere Personen.

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 wird. Das Verhalten des Personals in den eingerichteten Zonen und an deren Übergängen war diszipliniert und strahlenschutzkonform.

Strahlenschutzinstrumentierung

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

Im Berichtsjahr wurde die Anerkennung der Personendosimetriestelle des KKG für fünf Jahre verlängert.

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

1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2014 wurden im KKL folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Zahlen aus dem Jahr 2013):

Aktionen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	
	2014	2013
Revisionsstillstand	1080	797
Leistungsbetrieb	398	470
Gesamte Jahreskollektivdosis	1478	1267

Im Berichtsjahr belief sich die im KKL akkumulierte Kollektivdosis auf 1478 Pers.-mSv (TLD-Dosen). Die höchste registrierte Jahresindividualdosis betrug 12,2 mSv. Alle Individualdosen lagen unter dem Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, die sich nicht mit einfachen Mitteln entfernen liessen. Inkorporationen von radioaktiven Stoffen oberhalb der Triageschwelle gab es ebenfalls keine.

Mitte Juli 2014 wurde aufgrund der Abgas- und Reaktorwasseranalysen, die einen Anstieg von Edelgasen und Jod zeigten, ein Brennelement-Hüllrohrdefekt festgestellt. Zu einer Brennstoffauswaschung ist es im 30. Zyklus aber nicht gekommen. Das im Vorfeld geplante Abfahrregime musste aufgrund des BE-Defekts angepasst werden, um den Aktivitätseintrag in das Abfahrkühlsystem möglichst gering zu halten. Die Primäranlage wurde, sobald dies technisch zulässig war, nach dem Abschalten der Anlage isoliert, um eine allfällige Ausbreitung von radioaktivem Material in den Systemen des Maschinenhauses zu verhindern. Die Wasserstoffeinspeisung wurde bereits 3 Tage vor Revisionsbeginn abgestellt, um den Übertrag von Jod aus der Wasser- in die Dampfphase zu minimieren («Carry-Over» von 8 auf 1 %).

Die Jahreshauptrevision dauerte vom 11. August bis zum 12. September 2014. Der radiologische Zustand im Primärteil der Anlage hat sich im Vergleich zum Vorjahr nicht wesentlich verändert. Die getroffenen Massnahmen bis zum Wiederaufahren der Anlage haben in den Räumen des Abfahrkühlsystems zu einer Stabilisierung oder sogar zu einer Abnahme der Dosisleistung geführt. An den Systemen des Drywells hat sich die Dosisleistung nicht signifikant geändert, trotz Veränderung der radiochemischen Parameter des Reaktorwassers, welche eine circa doppelt so hohe Aktivitätskonzentration vor der Lastreduktion für das Spaltprodukt ¹³¹I aufwies als am Ende des letzten Zyklus.

Der Dosisleistungsmittelwert an den Rezirkulationsschleifen lag mit 1,64 mSv/h im Bereich des Vorjahrs (1,62 mSv/h). Die Anzahl der Hot Spots in der Anlage ist im Vergleich zu den Vorjahren rückläufig. Die Umstellung des Wassermanagements während der Revision ist vermutlich dafür verantwortlich, dass keine neuen Hot Spots gebildet und die bestehenden in Richtung Radwaste gespült wurden.

In dieser JHR wurden der Hotwell sowie die Dampfkammer des Kondensators erfolgreich dekontaminiert. Hierfür kamen zwei unterschiedliche Verfahren zum Einsatz: Abspritzen des Dampfbodens mit Höchstdruck (1000 bar) und Absaugen der Kontamination am Bodens des Hotwells.

Die Dosisprognose für die gesamte Revision hatte 1100 Pers.-mSv ergeben, tatsächlich wurde eine Kollektivdosis von 1080 Pers.-mSv (EPD) akkumuliert. Die Planung wurde mit nur 9 % Abweichung vom Sollwert trotz des BE-Schadens eingehalten, was innerhalb der Planungsungenauigkeit von $\pm 10\%$ liegt. 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 wurde dem ENSI vor der Revision eine Dosisplanung für eine Arbeit mit einer zu erwarteten Kollektivdosis von über 50 Pers.-mSv eingereicht: mechanisierte Ultraschallprüfungen an Stützen des Reaktor-Druckbehälters. Die geplante Kollektivdosis lag bei 75 Pers.-mSv, tatsächlich akkumuliert wurden 70 Pers.-mSv.

Insgesamt hatten das Tramp-Uran, der BE-Schaden sowie die seit einigen Jahren beobachtete Mobilisierung von Radioaktivität und deren Transport, respektive Ablagerung in den Systemen, weniger negative Auswirkungen auf die Dosisleistung als erwartet. Sehr positiv ist die Stabilisierung resp. sogar Verbesserung der radiologischen Situation in den Räumen des Abfahrkühlsystems zu werten.

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

Strahlenschutzinstrumentierung

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

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

Im Berichtsjahr wurde der Probenentnahmerechen des Messsystems zur Überwachung der Kaminfortluft hinsichtlich radioaktiver Stoffe ertüchtigt. Das ertüchtigte Probenentnahmesystem erfüllt nun die Anforderungen des ENSI hinsichtlich der Gesamtübertragungsraten für Partikel. Auch wurde die Volumenstrommessung der Kaminfortluftüberwachung entsprechend dem Stand der Technik angepasst. Zusätzlich wurde die Kaminstörfallinstrumentierung neu im Kamin platziert, so dass sie nun bei allen Lüftungszuständen die Fortluft bei Störfällen überwachen kann.

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 2014 wurden im KKM folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Zahlen aus dem Jahr 2013):

Aktionen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	
	2014	2013
Revisionsstillstand	630	656
Zwei Zwischenabstellungen in 2013	–	16 (9 resp. 7)
Leistungsbetrieb	284	286
Gesamte Jahreskollektivdosis	914	958

Im Berichtsjahr belief sich die Kollektivdosis im KKM auf 799 Pers.-mSv. Die höchste ermittelte Individualdosis betrug 9,4 mSv (2013: 8,4 mSv).

Die in der Strahlenschutzverordnung festgelegte Jahreslimite von 20 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen wurde somit deutlich unterschritten. Im Berichtszeitraum traten weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen auf.

Vom 10. August bis zum 4. September 2014 war die Anlage für die geplante Jahresrevision abgestellt. Mit 630 Pers.-mSv lag die Kollektivdosis aller Mitarbeitenden im Revisionsstillstand 2014 deutlich unter dem vom KKM vor Beginn der Arbeiten geschätzten Wert von 842 Pers.-mSv.

Für die Revision 2014 waren keine Arbeiten mit Kollektivdosen von mehr als 50 Pers.-mSv geplant. Für die Arbeiten auf Ebene +29m im Reaktorgebäude waren vorgängig 113 Pers.-mSv geplant worden, wovon 82 Pers.-mSv akkumuliert wurden. Die Abweichung von 27 Prozent stammt hauptsächlich aus den Arbeiten im Rahmen von Strahlenschutz und Dekontamination. Bei einigen Arbeiten, wie zum Beispiel bei den Wiederholungsprüfungen am Kern, zeigte sich, dass der zehnjährige Durchschnitt der akkumulierten Kollektivdosen zu einer Überschätzung führen kann und nicht unbedingt ein geeignetes Mittel zur Dosisplanung darstellt. Im Drywell konnte die Kollektivdosis durch gute Zusammenarbeit und gute Strahlenschutzdisziplin vor Ort im Vergleich zum Vorjahr optimiert werden.

Das KKM erhöhte im letzten Zyklus die Zinkdosierung, was zu einer durchschnittlichen Reduktion der Dosisleistung an den Frischdampfleitungen von ca. 31 % führte. Die mittlere Dosisleistung, der Mittelwert aus insgesamt 30 an den beiden Umwälzschleifen gemessenen Punkten, lag bei 1,66 mSv/h. Im Vergleich mit den Vorjahren ist nach einem geringen Anstieg wieder ein etwas niedrigerer Wert erkennbar (2013: 1,79 mSv/h, 2012: 1,71 mSv/h, 2011: 1,67 mSv/h, 2010: 1,67 mSv/h).

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 Über-

wachung 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 wurden in der Zeit von September bis Dezember 2014 nicht wiederverwendbare Brennelement-Kästen konditioniert. Diese Kästen wurden unter Wasser mittels einer hydraulisch betriebenen Schere geschnitten, in einen Edelstahlkorb gefüllt und anschliessend zementiert. Ging man anlässlich der Planung noch von ca. 368 BE-Kästen aus, so wurde diese Zahl im weiteren Verlauf nach unten korrigiert. Bis Ende Jahr wurden 151 BE-Kästen konditioniert. Grund dafür war einerseits ein geringerer Verpackungsgrad der Schnittstücke in den Edelstahlkörben und andererseits eine geringere Schnittgeschwindigkeit der Unterwasserschere. Die Strahlenschutzplanung für die Kampagne wurde dem ENSI fristgerecht eingereicht. Die aktualisierte Kollektivdosisplanung belief sich auf 77,5 Pers.-mSv, tatsächlich wurden 23,5 Pers.-mSv akkumuliert.

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. Als Ergebnis einer Inspektion der Funktionsprüfung des Nachunfallprobenahmesystems (PASS) hat das ENSI verlangt, dass das KKM in Zukunft alle zwei Jahre eine PASS-Probenentnahme unter supponierten Unfallbedingungen durchführt.

Im Berichtsjahr wurde die Anerkennung der Personendosismessstelle des KKM 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 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 Personendosismessung hat die Dosimetrie des KKL den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeit 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 anfangs 2011 abgeschaltete Nullleistungsforschungsreaktor 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 2014 akkumulierten die 1509 beruflich strahlenexponierten Personen des PSI eine Kollektivdosis von 81,5 Pers.-mSv (2013: 71,4 Pers.-mSv). Davon stammen 19,4 Pers.-mSv aus dem Aufsichtsbereich des ENSI mit 288 beruflich strahlenexponierten Personen (2013: 13,6 Pers.-mSv) bei einer höchsten Individualdosis von 2,0 mSv (2013: 1,3 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 regelmässigen Überprüfungen der Messgeräte durch das Personal konform mit den Vorgaben der Richtlinie ENSI-G13 durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Im Berichtsjahr hat das PSI beim gestaffelten Ersatz der ortsfesten Dosisleistungsmessgeräte im Hotlabor weitere 9 Messgeräte ausgetauscht. Der Ersatz erfolgt, weil der Gerätehersteller keine Ersatzteile mehr für die alten Messgeräte bereitstellt. Auch wurde das Messsystem zur Überwachung der Abluft des Hotlabors hinsichtlich radioaktiver Aerosole dem Stand der Technik entsprechend erneuert.

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

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des PSI.
- An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des PSI für die Ganzkörperdosimeter den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht. Bei den Fingerringdosimetern wurde eine kleinere Unstimmigkeit mittels einer Nachkalibrierung bis Ende 2014 behoben.

2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)

Im Jahr 2014 akkumulierten im ZZL 196 Personen eine Kollektivdosis von 18 Pers.-mSv. Der geplante Wert von 21,9 Pers.-mSv wurde dank guter administrativer und technischer Strahlenschutzmassnahmen deutlich unterschritten.

Die höchste registrierte Einzeldosis betrug 1,9 mSv (2013: 1,6 mSv). Im Berichtsjahr wurden weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen festgestellt. Die durch den Strahlenschutz regelmässig erhobenen Proben zeigten weder auf den Oberflächen noch in der Atemluft Hinweise auf unzulässige Kontaminationen.

Zu den strahlenschutzrelevanten Arbeiten im Berichtsjahr zählt unter anderem der Betrieb der Plasma-Anlage, die erfolgreich zur Endkonditionierung brennbarer und schmelzbarer radioaktiver Abfälle betrieben wurde. In den beiden ersten Quartalen des Berichtsjahres war die Plasma-Anlage nicht in Betrieb, die Zeit wurde für intensive Instandhaltungsarbeiten genutzt. Im Zeitraum vom 22. September bis zum 12. Dezember 2014 wurde eine weitere Kampagne durchgeführt. Die Vorgabe

von 500 Stück zu verarbeitenden Fässern wurde mit total 821 Stück übertroffen. Es wurde ein hoher Anteil an Schlämmen verarbeitet. Während der Kampagne konnten die Abfallfässer ohne Probleme verarbeitet werden.

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

Strahlenschutzinstrumentierung

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

Im Berichtsjahr hat das ZWILAG aufgrund von elektromagnetischen Störungen den Standort eines Aerosolmonitors zur Überwachung der Raumluft versetzt. Am neuen Standort funktioniert der Monitor nun einwandfrei.

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 Neutronenquelle LOTUS und die angegliederten Labors. Diese Anlagen sind dem Laboratoire de physique des Réacteurs et de comportement des Systèmes (LRS) zugeteilt, das dem Institut de Physique de l'Energie et des Particules (IPEP) angehört. Im Jahr 2014 stand der CROCUS-Reaktor Ingenieur- und Physikstudenten der EPFL, Kursteilnehmern der Reaktorschule des PSI und Studenten des Swiss Nuclear Engineering Master-

kurses der ETHZ/EPFL während 208,23 Stunden bei kleiner Leistung (bis 100 W) für Ausbildungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 298,26 Wh thermische Energie erzeugt. Die zu Beginn des Berichtsjahres anstehenden Unterhaltsarbeiten konnten ohne Probleme durchgeführt werden. Das Experiment CARROUSEL wurde für Praktika verwendet.

Die insgesamt 16 beruflich strahlenexponierten Personen haben alle 0,0 mSv akkumuliert. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend. Im Dezember 2014 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 2014 vollumfänglich eingehalten wurden.

2.4 Universität Basel

Der Forschungsreaktor AGN-211-P des Departements für Physik und Astronomie der Universität Basel diente vorwiegend der Ausbildung von Studenten und der Anwendung in Kursen der Neutronenaktivierungsanalytik (NAA). Im Berichtsjahr wurde der Reaktor nie hochgefahren.

Im April fand eine Brennelementkontrolle durch eine externe Stelle statt, die keine Befunde zeigte. 2014 trat ein Vorkommnis auf, welches in einem Vorkommnisbericht beschrieben wurde. Während des Einbaus der Steuerstäbe brach ein Stift des Grobkontrollstabes ab. Das Vorkommnis hatte eine sicherheitstechnisch geringe Bedeutung und wurde vom ENSI auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 0 zugeordnet.

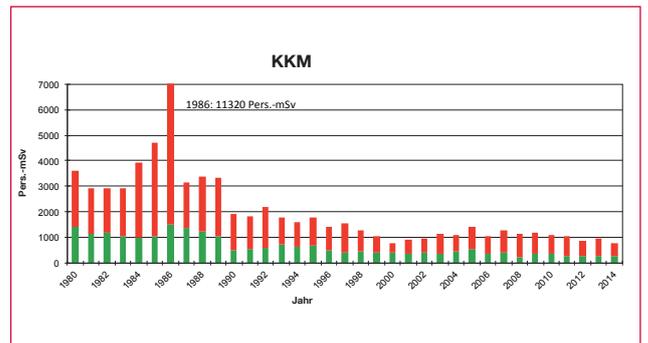
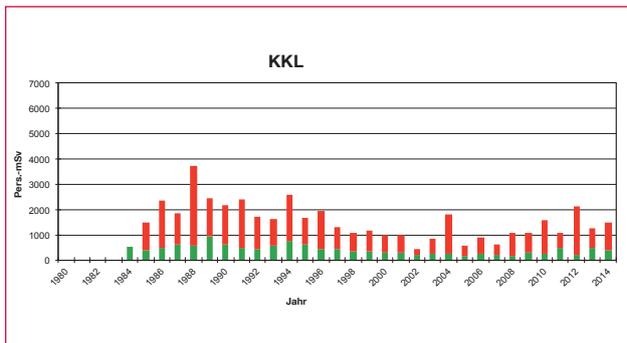
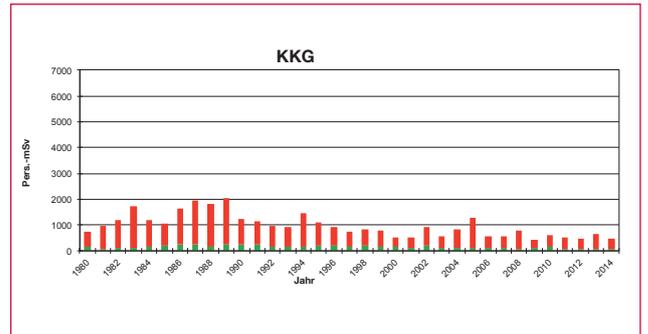
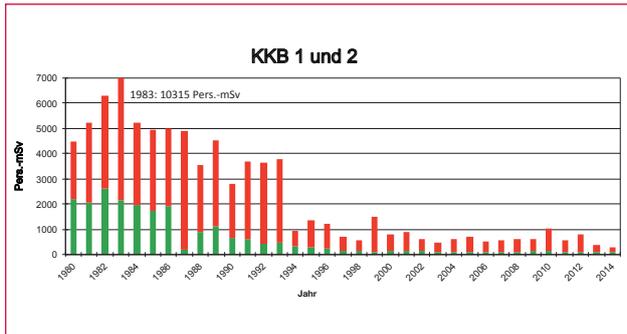
Die drei beruflich strahlenexponierten Personen haben im Berichtsjahr alle 0,0 mSv akkumuliert. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und den Abwasserpfad war unbedeutend. Im Oktober 2014 hat das ENSI seine Jahresinspektion durchgeführt. Dabei wurden technische, organisatorische und personelle Aspekte besprochen und es wurden die Anlagenräume begangen.

Das ENSI stellte fest, dass die vorgegebenen Betriebsbedingungen und die Vorschriften zum Strahlenschutz für das Personal und die Umwelt im Jahr 2014 eingehalten wurden.

3. Grafische Darstellungen

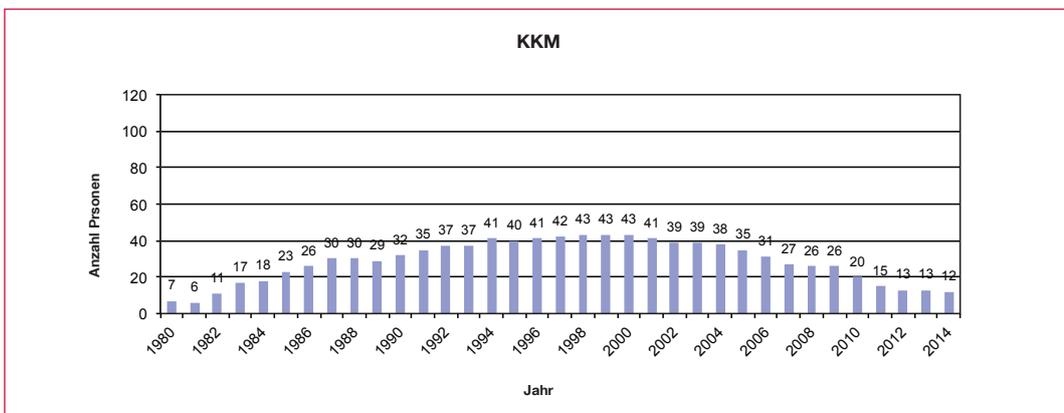
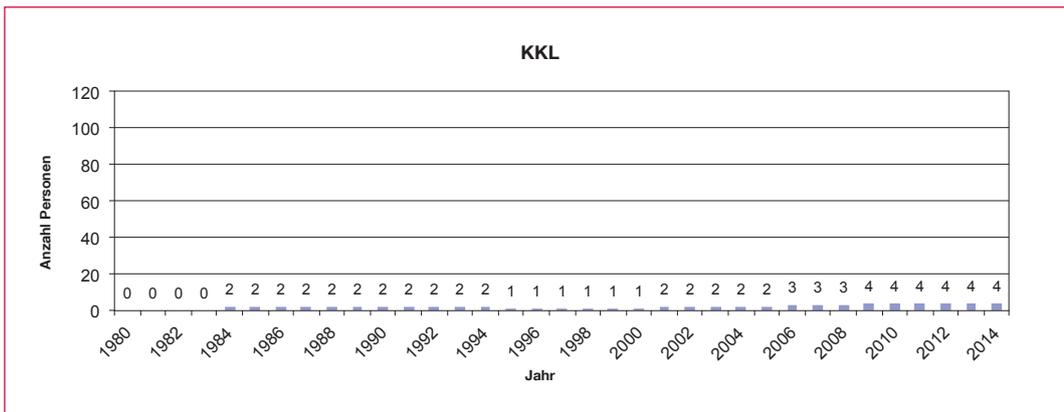
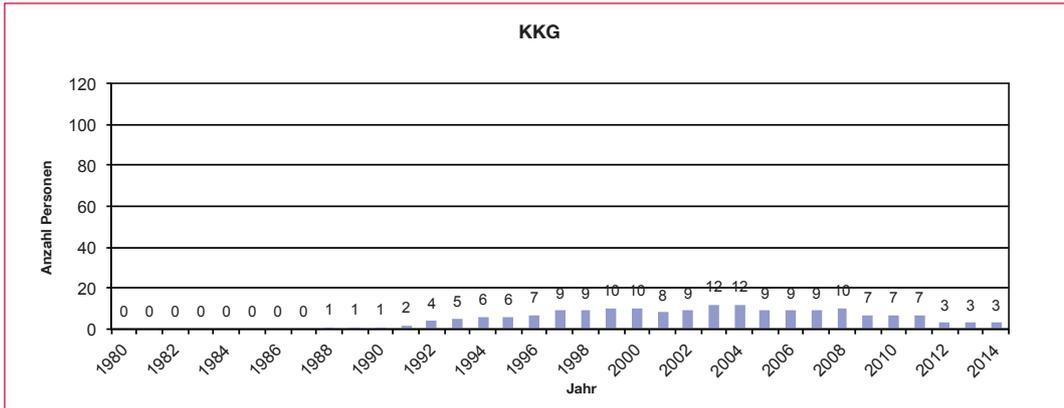
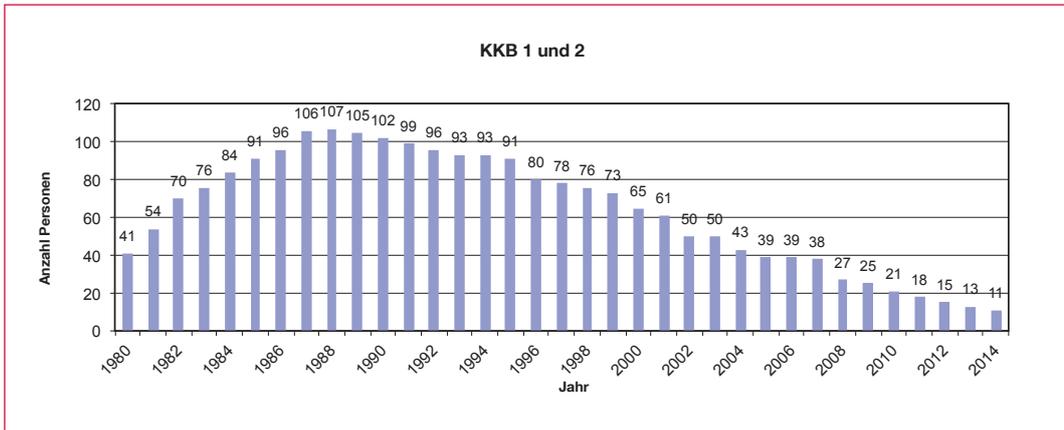
In der Darstellung A.1 sind die Jahreskollektivdosen der Kernkraftwerke seit 1980 enthalten. Die Darstellung A.2 zeigt den Verlauf der Anzahl Personen mit einer beruflichen Lebensdosis von mehr

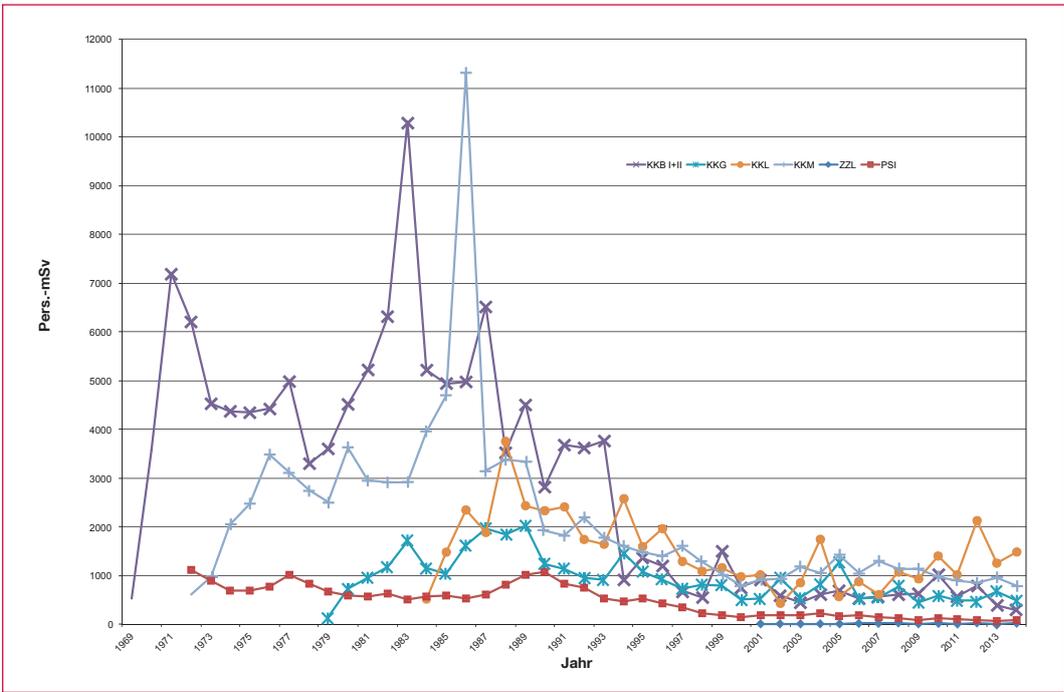
als 200 mSv. Darstellung A.3 gibt die Kollektivdosen in den Kernkraftwerken, im ZZL und im PSI seit Inbetriebnahme der Anlagen wieder.



Darstellung A.1: Jahreskollektivdosen (Pers.-mSv) der Kernkraftwerke von 1980 bis 2014. 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 2014





Darstellung A.3:
 Entwicklung der Kollektivdosen (Pers.-mSv) in den Kernanlagen, 1969 bis 2014

4. Dosimetrie

4.1 Einleitung

Als zuständige Aufsichtsbehörde hat das ENSI zu prüfen, ob bei der Exposition des Personals die gesetzlichen Limiten sowie die regulatorischen Richtwerte eingehalten werden. Seit dem 1. Oktober 1994 bildet die Strahlenschutzverordnung (StSV) die gesetzliche Grundlage zur Überwachung des beruflich und des nichtberuflich strahlenexponierten Personals in der Schweiz. Die Richtlinie ENSI-B09 «Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen» regelt technische Details über die Form und den Umgang mit den zu meldenden Individualdosen und arbeitsspezifischen Kollektivdosen. Aufgabe des ENSI ist es, die Angaben aus den einzelnen Anlagen kritisch zu prüfen, auszuwerten und entsprechend den Vorgaben der Strahlenschutzverordnung an das zentrale Dosisregister beim BAG weiter zu leiten.

Die Strahlenschutzverordnung schreibt vor, dass die maximale Exposition jeder einzelnen beruflich strahlenexponierten Person 20 mSv pro Jahr nicht überschreiten darf. In der Richtlinie ENSI-B02 wird festgelegt, dass für geplante Stillstände oder Arbeiten mit einer erwarteten Jobdosis von über 50 Pers.-mSv die ausgearbeiteten Planungen rechtzeitig der Aufsichtsbehörde vorgelegt werden müssen. Das ENSI prüft die eingereichten Strahlenschutzplanungen. Damit wird auch der in der Strahlenschutzverordnung verlangten Optimierung der radiologischen Schutzmassnahmen Folge geleistet.

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

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

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

4.2 Personendosimetrie

Das dosimetrierte Personal in den Kernanlagen wird in zwei Kategorien eingeteilt: Es sind dies Eigenpersonal (EP) und Fremdpersonal (FP). Es kommt vor, dass Eigenpersonal aus dem Überwachungsbereich einer Personendosimetriestelle vorübergehend in den Überwachungsbereich einer anderen Personendosimetriestelle wechselt und dort als Fremdpersonal geführt wird. Durch die Regelungen in der Richtlinie ENSI-B09 werden die akkumulierten Dosen dieser zwischen den Kernanlagen wechselnden Personen einerseits als Eigenpersonal-Dosen der einen Anlage und andererseits als Fremdpersonal-Dosen einer anderen Anlage gemeldet. Da beide Dosimetriestellen dieselben Dosen melden, führt dies zu einer doppelten Verbuchung. Anhand der individuellen Dosismeldungen werden solche Doppelverbuchungen vom ENSI bereinigt. Dabei können sich in den nachfolgenden Tabellen Unterschiede ergeben. Beispielsweise entspricht die Anzahl der gemeldeten Personen aus den einzelnen Kraftwerken nicht immer der Gesamtsumme der Personen. Ausserdem ergeben sich durch Rundungen nicht relevante Ungenauigkeiten.

Für das Jahr 2014 haben die fünf vom ENSI anerkannten Personendosimetriestellen (KKB, KKG, KKL, KKM und PSI) insgesamt 5571 beruflich strahlenexponierte Personen mit einer Kollektivdosis von 3086,9 Pers.-mSv gemeldet (Mehrfachbuchungen bereinigt). Die an den Universitäten verwendeten Dosimeter (für 19 Personen) werden entweder vom Institut Universitaire de Radiophysique (IRA) oder von der SUVA ausgewertet. Die Meldungen der Dosimetriestelle des PSI umfassen Dosen, die sowohl in Anlagen aus dem Aufsichtsbereich des BAG als auch in Anlagen aus dem Aufsichtsbereich dem ENSI akkumuliert wurden.

Tabelle A.1:
Zusammenfassung
der Kollektivdosen in
den schweizerischen
Kernanlagen, 2014,
Eigen- und Fremd-
personal

Kernanlage	Anzahl überwachte Personen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
KKB 1 und 2	1099	291.1
KKG	1245	482.1
KKL	2129	1477.7
KKM	1195	798.6
ZZL	196	18.0
PSI	1509	81.5
Universitäten	19	0.0
Aufsichtsbereich des ENSI	5571	3086.9

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	425	588	1013	419	664	1083	400	1256	1656	270	683	953	1506	2682	4188
> 1.0– 2.0	34	22	56	25	61	86	43	177	220	44	71	115	147	317	464
> 2.0– 5.0	13	16	29	18	54	72	54	165	219	44	71	115	129	306	435
> 5.0–10.0	1		1		4	4	8	24	32	9	3	12	18	36	54
> 10.0–15.0								2	2					3	3
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total Personen	473	626	1099	462	783	1245	505	1624	2129	367	828	1195	1800	3344	5144
Mittel pro Person [mSv]	0.4	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.7	0.7	0.7	0.9	0.6	0.7	0.5	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	Total Forschung	ZZL			Total KKW	Total Kernanlagen und Forschung
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP		
0.0– 1.0	1122	370	1492	19	1511	67	124	191	4188	4608
> 1.0– 2.0	13		13		13	4	1	5	464	470
> 2.0– 5.0	4		4		4				435	436
> 5.0–10.0									54	54
> 10.0–15.0									3	3
> 15.0–20.0										
> 20.0–50.0										
> 50.0										
Total Personen	1139	370	1509	19	1528	71	125	196	5144	5571
Mittel pro Person [mSv]	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1	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.

Kollektivdosis pro Dosisbereich der beruflich strahlenexponierten Personen

Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	FP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
0.0– 1.0	74.9	46.9	121.8	41.1	75.4	116.5	50.5	205.8	256.3	49.2	143.2	192.4	216.4	430.0	646.4
> 1.0– 2.0	49.8	31.1	80.9	38.4	90.4	128.8	67.2	266.2	333.4	66.9	104.2	171.1	223.6	472.2	695.8
> 2.0– 5.0	37.7	45.5	83.2	52.7	160.3	213.0	163.9	508.3	672.2	146.6	205.4	352.0	401.1	938.4	1339.5
> 5.0–10.0	5.2		5.2		23.8	23.8	47.0	146.5	193.5	64.0	19.1	83.1	116.2	219.1	335.3
> 10.0–15.0								22.3	22.3					32.5	32.5
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total [Pers.-mSv]	167.6	123.5	291.1	132.2	349.9	482.1	328.6	1149.1	1477.7	326.7	471.9	798.6	957.3	2092.2	3049.5
Höchste Einzeldosis [mSv]	5.2	4.2	5.2	4.3	6.6	6.6	7.2	12.2	12.2	9.4	7.0	9.4	9.4	12.2	12.2

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

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

Dosisbereich [mSv]	PSI			Universitäten	Total Forschung	ZZL			Total KKW	Total Kernanlagen und Forschung
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP		
0.0– 1.0	39.1	8	47.1	0.0	47.1	9.0	1.5	10.5	646.4	670.2
> 1.0– 2.0	20.8		20.8		20.8	6.0	1.5	7.5	695.8	707.0
> 2.0– 5.0	13.6		13.6		13.6				1339.5	1341.9
> 5.0–10.0									335.3	335.3
> 10.0–15.0									32.5	32.5
> 15.0–20.0										
> 20.0–50.0										
> 50.0										
Total [Pers.-mSv]	73.5	8.0	81.5	0.0	81.5	15.0	3.0	18.0	3049.5	3086.9
Höchste Einzeldosis [mSv]	4.7	1.0	4.7	0.0	4.7	1.8	1.5	1.8	12.2	12.2

Tabelle A.3b:
Kernanlagen
und Forschung

Fremdpersonal, das in mehreren Anlagen eingesetzt wurde, ist hier nur einmal gezählt. Durch die Addition von in verschiedenen Kernanlagen akkumulierten Individualdosen verändern sich die Personenzahlen in einzelnen Dosisintervallen.
Universitäten: EPF Lausanne und Universität Basel

Verteilung der beruflichen Lebensdosis des Eigenpersonals

Tabelle A.4a:
Kernanlagen

Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM	KKW Total	PSI	ZZL	Kernanlagen und PSI Total
> 100–150	20	4	9	18	51		0	51
> 150–200	9	4	8	7	28	3		31
> 200–250	3	2	2	5	12	3		15
> 250–300	3	1	2	2	8	1		9
> 300–350	3			2	5			5
> 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	40	11	21	37	109	7	0	116

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

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

Dosisbereich [mSv]	21–30 Jahre	31–40 Jahre	41–50 Jahre	51–60 Jahre	> 60 Jahre	Kernanlagen und PSI Total
> 100–150			6	30	15	51
> 150–200			1	19	11	31
> 200–250			1	9	5	15
> 250–300			1	3	5	9
> 300–350				3	2	5
> 350–400				1	1	2
> 400–450					1	1
> 450–500						
> 500–550					1	1
> 550–600						
> 600					1	1
Total Personen			9	65	42	116

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	23	1	61	5	683	39	853	56	1149	74	1182	54	413	14	4607
> 1.0– 2.0			7		90	3	97		132	2	121		19		471
> 2.0– 5.0			6		83		111	1	123		97		15		436
> 5.0–10.0					9		17		14		13		1		54
> 10.0–15.0							1				2				3
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total Personen	23	1	74	5	865	42	1079	57	1418	76	1415	54	448	14	5571
Mittel pro Person [mSv]	0.08	0.00	0.50	0.00	0.63	0.12	0.68	0.08	0.60	0.06	0.54	0.03	0.30	0.11	0.55
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.8	0.0	36.8	0.0	548.0	4.9	731.4	4.5	857.1	4.7	760.7	1.6	133.8	1.6	3086.9

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	8	1	12	4	200	69	339	90	339	54	248	37	97	13	1511
> 1.0– 2.0						2	1		8		2				13
> 2.0– 5.0									1		2		1		4
> 5.0–10.0															
> 10.0–15.0															
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total Personen	8	1	12	4	200	71	340	90	348	54	252	37	98	13	1528
Mittel pro Person [mSv]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.07	0.04	0.00	0.08	0.01	0.09	0.00	0.07	0.08	0.05
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	4.7	13.0	0.4	28.2	0.6	22.7	0.1	6.4	1.0	81.6

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

¹ Aufsichtsbereich des BAG teilweise mit einbezogen.

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2014

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	4			6	2	20	1	66	3	135	6	136	5	39	
> 1.0– 2.0				1		6		14		8		4		1		34
> 2.0– 5.0						1		2		5		4		1		13
> 5.0–10.0												1				1
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	4			7	2	27	1	82	3	148	6	145	5	41	2	473
Mittel pro Person [mSv]	0.08			0.23	0.00	0.54	0.00	0.57	0.00	0.37	0.10	0.29	0.02	0.17	0.30	0.35
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.3			1.6	0.0	14.5	0.0	46.4	0.0	54.5	0.6	42.0	0.1	7.0	0.6	167.6

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			3		75	3	133	3	164	7	145	5	46	
> 1.0– 2.0						7		7		5		3				22
> 2.0– 5.0						2		4		4		5		1		16
> 5.0–10.0																
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	3			3		84	3	144	3	173	7	153	5	47	1	626
Mittel pro Person [mSv]	0.00			0.03		0.30	0.00	0.23	0.00	0.17	0.00	0.19	0.00	0.11	0.00	0.20
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0			0.1		25.5	0.0	32.8	0.0	30.1	0.0	29.7	0.0	5.3	0.0	123.5

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	7			9	2	95	4	199	6	299	13	281	10	85	
> 1.0– 2.0				1		13		21		13		7		1		56
> 2.0– 5.0						3		6		9		9		2		29
> 5.0–10.0												1				1
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	7			10	2	111	4	226	6	321	13	298	10	88	3	1099
Mittel pro Person [mSv]	0.04			0.17	0.00	0.36	0.00	0.35	0.00	0.26	0.05	0.24	0.01	0.14	0.20	0.26
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.3			1.7	0.0	40.0	0.0	79.2	0.0	84.6	0.6	71.7	0.1	12.3	0.6	291.1

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2014

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		36	3	89	4	118	13	102	5	47		419
	> 1.0– 2.0					1		3		12		6		3		25
	> 2.0– 5.0							4		13		1				18
	> 5.0–10.0															
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	1		1		37	3	96	4	143	13	109	5	50		462
	Mittel pro Person [mSv]	0.1		0.00		0.13	0.07	0.28	0.00	0.49	0.05	0.17	0.00	0.22		0.29
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.1		0.0		4.8	0.2	26.8	0.0	70.6	0.6	18.2	0.0	10.9		132.2

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			1		88	3	130	6	167	6	202	5	55	1	664
	> 1.0– 2.0			2		11	2	14		19		13				61
	> 2.0– 5.0					18		16		7		11		2		54
	> 5.0–10.0							3		1						4
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen			3		117	5	163	6	194	6	226	5	57	1	783
	Mittel pro Person [mSv]			1.00		0.73	0.52	0.62	0.05	0.37	0.00	0.34	0.00	0.16	0.00	0.45
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]			3.0		85.1	2.6	100.4	0.3	72.7	0.0	76.7	0.0	9.1	0.0	349.9

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	1		2		124	6	219	10	285	19	304	10	102	1	1083
	> 1.0– 2.0			2		12	2	17		31		19		3		86
	> 2.0– 5.0					18		20		20		12		2		72
	> 5.0–10.0							3		1						4
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	1		4		154	8	259	10	337	19	335	10	107	1	1245
	Mittel pro Person [mSv]	0.10		0.75		0.58	0.35	0.49	0.03	0.43	0.03	0.28	0.00	0.19	0.00	0.39
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.1		3.0		89.9	2.8	127.2	0.3	143.3	0.6	94.9	0.0	20.0	0.0	482.1

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2014

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	3			6		24	2	79	4	82	11	127	9	52	
> 1.0– 2.0						5		9		7	1	16		5		43
> 2.0– 5.0						5		13		19		13		4		54
> 5.0–10.0								3		2		3				8
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		3		6		34	2	104	4	110	12	159	9	61	1	505
Mittel pro Person [mSv]		0.13		0.10		0.71	0.00	0.82	0.05	0.79	0.12	0.63	0.00	0.47	0.00	0.65
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.4		0.6		24.1	0.0	85.6	0.2	87.3	1.4	100.1	0.0	28.9	0.0	328.6

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	1	36	2	300	7	214	7	295	5	266	10	105		
> 1.0– 2.0			6		37	1	41		45		43		4		177	
> 2.0– 5.0			5		40		41		44		33		2		165	
> 5.0–10.0					6		7		6		5				24	
> 10.0–15.0							1				1				2	
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		8	1	47	2	383	8	304	7	390	5	348	10	111	1624	
Mittel pro Person [mSv]		0.09	0.00	0.64	0.00	0.68	0.16	0.89	0.03	0.76	0.02	0.75	0.15	0.26	0.71	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.7	0.0	30.1	0.0	259.6	1.3	270.9	0.2	294.9	0.1	261.3	1.5	28.5	1149.1	

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	11	1	42	2	324	9	293	11	377	16	393	19	157	1	
> 1.0– 2.0			6		42	1	50		52	1	59		9		220	
> 2.0– 5.0			5		45		54		63		46		6		219	
> 5.0–10.0					6		10		8		8				32	
> 10.0–15.0							1				1				2	
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		11	1	53	2	417	10	408	11	500	17	507	19	172	1	2129
Mittel pro Person [mSv]		0.10	0.00	0.58	0.00	0.68	0.13	0.87	0.04	0.76	0.09	0.71	0.08	0.33	0.00	0.69
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		1.1	0.0	30.7	0.0	283.7	1.3	356.5	0.4	382.2	1.5	361.4	1.5	57.4	0.0	1477.7

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2014

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					36	5	37	6	69	4	79	2	31	1	270
	> 1.0– 2.0					2		6		12	1	20		3		44
	> 2.0– 5.0					3		10	1	15		14		1		44
	> 5.0–10.0							2		4		3				9
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
Total Personen					41	5	55	7	100	5	116	2	35	1	367	
Mittel pro Person [mSv]					0.46	0.00	1.19	0.40	1.09	0.38	0.99	0.00	0.39	0.00	0.89	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]					18.7	0.0	65.7	2.8	109.2	1.9	114.8	0.0	13.6	0.0	326.7	

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	2		7		123	3	130	4	177	4	162	7	62	2	683
	> 1.0– 2.0					23		10		19		18		1		71
	> 2.0– 5.0					17		17		17		16		4		71
	> 5.0–10.0					1		1						1		3
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
Total Personen	2		7		164	3	158	4	213	4	196	7	68	2	828	
Mittel pro Person [mSv]	0.15		0.20		0.70	0.07	0.62	0.20	0.56	0.00	0.56	0.00	0.43	0.00	0.57	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.3		1.4		114.0	0.2	97.4	0.8	118.8	0.0	109.8	0.0	29.2	0.0	471.9	

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	2		7		159	8	167	10	246	8	241	9	93	3	953
	> 1.0– 2.0					25		16		31	1	38		4		115
	> 2.0– 5.0					20		27	1	32		30		5		115
	> 5.0–10.0					1		3		4		3		1		12
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
Total Personen	2		7		205	8	213	11	313	9	312	9	103	3	1195	
Mittel pro Person [mSv]	0.15		0.20		0.65	0.03	0.77	0.33	0.73	0.21	0.72	0.00	0.42	0.00	0.67	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.3		1.4		132.7	0.2	163.1	3.6	228.0	1.9	224.6	0.0	42.8	0.0	798.6	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2014

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	8			13	2	114	11	267	17	402	34	444	21	169	
> 1.0– 2.0				1		14		32		40	2	46		12		147
> 2.0– 5.0						9		29	1	52		32		6		129
> 5.0–10.0								5		6		7				18
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	8			14	2	137	11	333	18	500	36	529	21	187	4	1800
Mittel pro Person [mSv]	0.10			0.16	0.00	0.45	0.02	0.67	0.17	0.65	0.13	0.52	0.01	0.32	0.15	0.53
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.8			2.2	0.0	62.2	0.2	224.6	3.0	322.6	4.5	275.9	0.3	60.4	0.6	957.3

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	12	1	46	2	527	16	510	17	649	16	641	16	226	3	
> 1.0– 2.0			6		76	3	64		87		74		7		317	
> 2.0– 5.0			6		74		82		71		64		9		306	
> 5.0–10.0					9		12		8		6		1		36	
> 10.0–15.0							1				2				3	
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	12	1	58	2	686	19	669	17	815	16	787	16	243	3	3344	
Mittel pro Person [mSv]	0.08	0	0.60	0.00	0.71	0.22	0.75	0.08	0.63	0.01	0.61	0.08	0.30	0.00	0.63	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.0	0.0	34.6	0.0	484.2	4.1	501.4	1.3	515.4	0.1	476.7	1.3	72.1	0.0	2092.2	

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	20	1	59	4	641	27	777	34	1051	50	1085	37	395	7	
> 1.0– 2.0			7		90	3	96		127	2	120		19		464	
> 2.0– 5.0			6		83		111	1	123		96		15		435	
> 5.0–10.0					9		17		14		13		1		54	
> 10.0–15.0							1				2				3	
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	20	1	72	4	823	30	1002	35	1315	52	1316	37	430	7	5144	
Mittel pro Person [mSv]	0.09	0	0.51	0.00	0.66	0.14	0.72	0.12	0.64	0.09	0.57	0.04	0.31	0.09	0.59	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.8	0.0	36.8	0.0	546.4	4.3	726.0	4.3	838.0	4.6	752.6	1.6	132.5	0.6	3049.5	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2014

Tabelle A.11:
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			1		3	1	16	2	23	1	16		4		67
	> 1.0– 2.0									3		1				4
	> 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		3	1	16	2	26	1	17		4		71
	Mittel pro Person [mSv]			0.00		0.30	0.00	0.09	0.00	0.37	0.00	0.16		0.03		0.21
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]			0.0		0.9	0.0	1.5	0.0	9.7	0.0	2.8		0.1		15.0

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	3		4		24		23	2	28		32	2	5	1	124
	> 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	3		4		24		23	2	28		33	2	5	1	125
	Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.00		0.00		0.02	0.00	0.02		0.06	0.00	0.00	0.00	0.02
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.0	0.0	0.1		0.4	0.0	0.6		1.9	0.0	0.0	0.0	3.0

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	3		4	1	27	1	39	4	51	1	48	2	9	1	191
	> 1.0– 2.0									3		2				5
	> 2.0– 5.0															
	> 5.0–10.0															
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	3		4	1	27	1	39	4	54	1	50	2	9	1	196
	Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.00	0.00	0.04	0.00	0.05	0.00	0.19	0.00	0.09	0.00	0.01	0.00	0.09
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.0	0.0	1.0	0.0	1.9	0.0	10.3	0.0	4.7	0.0	0.1	0.0	18.0

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2014

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	8			13	3	117	12	283	19	425	35	460	21	173	
> 1.0– 2.0				1		14		32		43	2	47		12		151
> 2.0– 5.0						9		29	1	52		32		6		129
> 5.0–10.0								5		6		7				18
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	8			14	3	140	12	349	20	526	37	546	21	191	4	1871
Mittel pro Person [mSv]	0.10			0.16	0.00	0.45	0.02	0.65	0.15	0.63	0.12	0.51	0.01	0.137	0.15	0.52
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.8			2.2	0.0	63.1	0.2	226.1	3.0	332.3	4.5	278.7	0.3	60.5	0.6	972.3

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	15	1	48	2	543	16	525	17	666	16	662	17	227	4	
> 1.0– 2.0			6		76	3	64		87		74		7		317	
> 2.0– 5.0			6		74		82		71		65		9		307	
> 5.0–10.0					9		12		8		6		1		36	
> 10.0–15.0							1				2				3	
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	15	1	60	2	702	19	684	17	832	16	809	17	244	4	3422	
Mittel pro Person [mSv]	0.07	0	0.58	0.00	0.69	0.22	0.73	0.08	0.62	0.01	0.59	0.08	0.295	0.00	0.61	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.0	0.0	34.6	0.0	484.3	4.1	501.8	1.3	516.0	0.1	478.6	1.3	72.1	0.0	2095.2	

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	23	1	61	5	660	28	808	36	1091	51	1122	38	400	8	
> 1.0– 2.0			7		90	3	96		130	2	121		19		468	
> 2.0– 5.0			6		83		111	1	123		97		15		436	
> 5.0–10.0					9		17		14		13		1		54	
> 10.0–15.0							1				2				3	
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	23	1	74	5	842	31	1033	37	1358	53	1355	38	435	8	5293	
Mittel pro Person [mSv]	0.08	0.00	0.50	0.00	0.65	0.139	0.70	0.116	0.62	0.09	0.56	0.04	0.305	0.08	0.58	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.8	0.0	36.8	0.0	547.4	4.3	727.9	4.3	848.3	4.6	757.3	1.6	132.6	0.6	3067.5	

Verteilung der Extremitätendosen 2014

Dosisintervall [mSv]	Haut			Extremitäten		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen- personal	Fremd- personal	Total	Eigen- personal	Fremd- personal	Total
0– 25	473	626	1099	13	1	14
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	473	626	1099	13	1	14

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	47	127	174	4	4	8
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	47	127	174	4	4	8

Tabelle A.13b:
Kernkraftwerk
Gösgen (KKG)

Verteilung der Extremitätendosen 2014

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	505	1624	2129	0	3	3
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	505	1624	2129	0	3	3

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	108	167	275	6	13	19
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	108	167	275	6	13	19

Verteilung der Extremitätendosen 2014

Dosisintervall [mSv]	Haut			Extremitäten		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen- personal	Fremd- personal	Total	Eigen- personal	Fremd- personal	Total
0– 25	1139	370	1509	85	10	95
> 25– 50				2		2
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	1139	370	1509	87	10	97

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	71	125	196	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	71	125	196	0	0	0

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

Verteilung der Extremitätendosen 2014

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	2343	2980	5323	108	31	139
> 25– 50				2		2
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	2343	2980	5323	110	31	141

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	407	483	890	416	706	1122	498	1458	1956	333	764	1097	1654	3411	5065
mind. eine positiv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

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

Resultat der Messungen	PSI			ZZL			Summe Kernanlagen		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
alle negativ	50	28	78	71	113	184	1775	3552	5327
mind. eine positiv	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Folgedosis E_{50} des beruflich strahlenexponierten Personals durch Inkorporationen

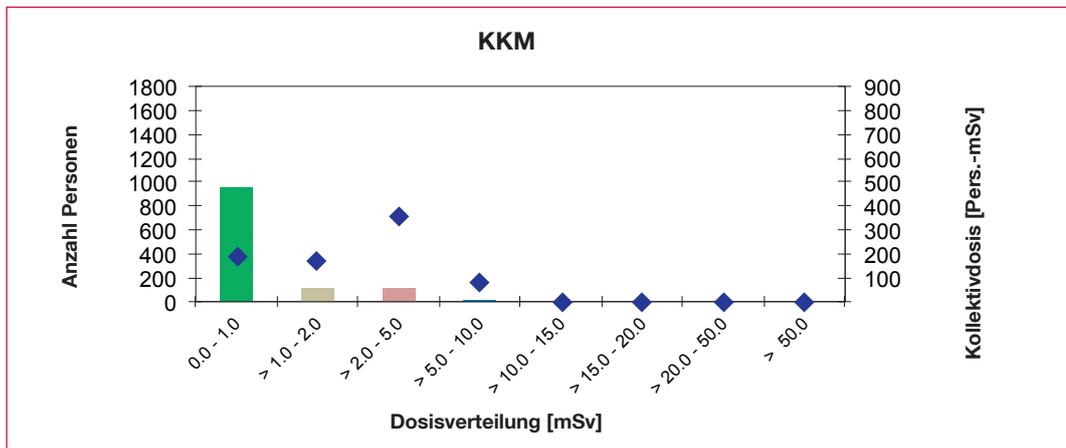
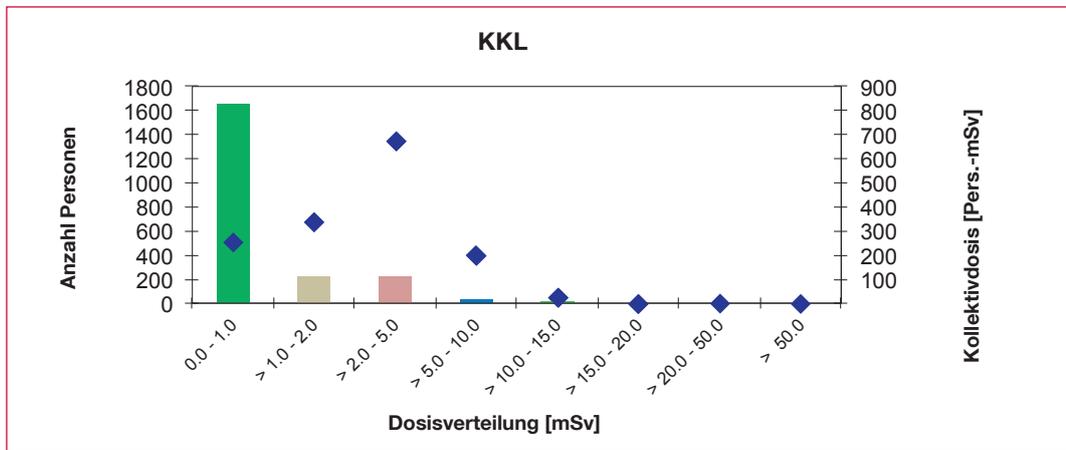
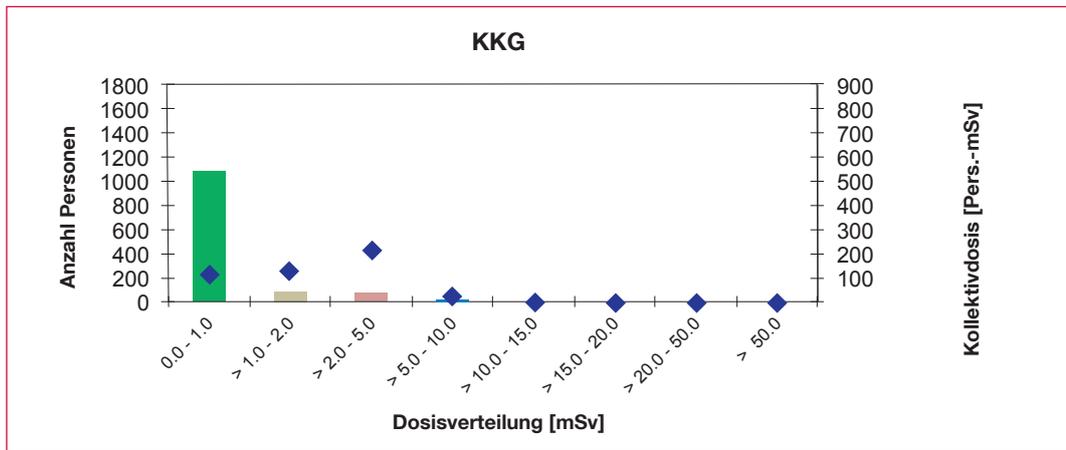
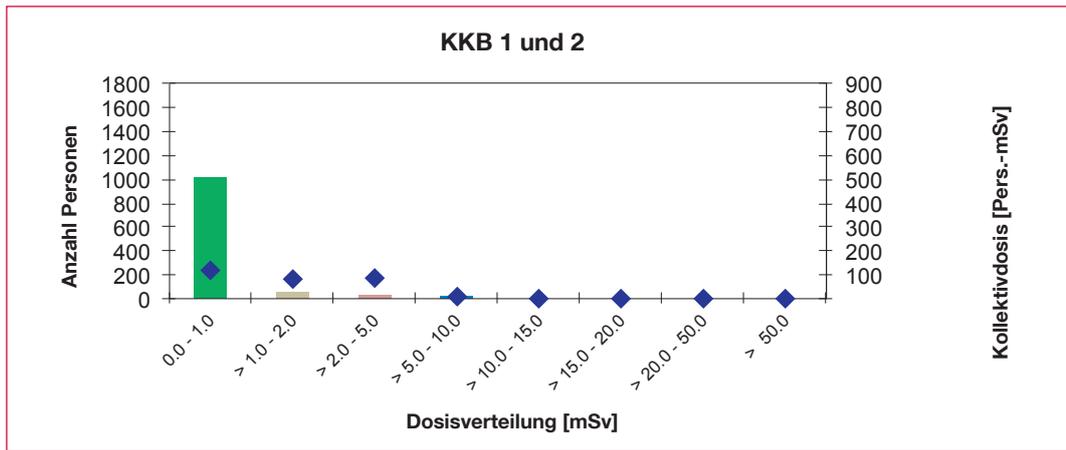
Folgedosis E_{50} Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
<= 1.0	0	0	0	0	0	0	498	1458	1956	333	764	1097	831	2222	3053
> 1.0– 2.0															
> 2.0– 5.0															
> 5.0–10.0															
> 10.0–15.0															
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total Personen	0	0	0	0	0	0	498	1458	1956	333	764	1097	831	2222	3053

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

Folgedosis E_{50} Dosisbereich [mSv]	PSI			ZZL			Summe Kernanlagen		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP+FP		
<= 1.0	241	10	251	0	0	0	3304		
> 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	241	10	251	0	0	0	3304		

Kollektivdosen und Anzahl dosimetrierter Personen 2014

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



Messmethoden der Personendosimetriestellen im Aufsichtsbereich des ENSI 2014

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	1400	β, γ, x	DIS	1400	γ	TLD	14	γ	Nal	893	γ	Nal	893			
KKG	γ	DIS	1245	β, γ, x	DIS	1245	γ	TLD	8	γ	PSC	1122	γ	PSC	1122			
KKL	γ	TLD / DIS	2275	β, γ, x	TLD	2275	γ	TLD	3	γ	Nal	2069	γ	Nal	2102			
KKM	γ	TLD / DIS	1195	β, γ, x	TLD	1195	γ	TLD	19	γ	Nal	1097	γ	Nal	1097			
PSI	γ, n	TLD / DIS PADC	1509 1227	β, γ, x	TLD / DIS	1509	γ	TLD	97	γ	Ge	248	γ, x	Nal	10	α, β	LSC	50
ZZL ⁴	γ	TLD / DIS	239	β, γ, x	TLD / DIS	239	γ	TLD	0	γ	Nal	218	γ	Nal	218			

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
Cr-39 = Spaltspurdosimeter
LSC = Flüssigkeitsszintillator
Ge = Reinstgermanium-Detektor
Nal = NaI (TI)-Szintillator
PADC = Poly-Allyl Diglycol Carbonat
PSC = Plastikszintillator

³ a = Anzahl der überwachten Personen

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

Zusammenstellung der Kollektivdosen

Tabelle A.16:
Relative Aufteilung der
Kollektivdosen auf
Betrieb und Revisions-
stillstand 1980 bis
2014 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

Ab 2012 wurden 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%

Tabelle A.17:
Aufteilung der Kollektivdosen auf Betrieb und Revisionsstillstand 1980 bis 2014 in Prozenten

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	1'118.0	4.2
1973	288	892.0	3.1
1974	287	688.0	2.4
1975	288	687.0	2.4
1976	294	767.0	2.6
1977	360	1'019.0	2.8
1978	351	830.0	2.4
1979	358	683.0	1.9
1980	337	590.0	1.8
1981	380	572.0	1.5
1982	374	640.0	1.7
1983	382	507.0	1.3
1984	374	566.0	1.5
1985	383	598.0	1.6
1986	380	541.0	1.4
1987	423	603.3	1.4
1988	1180	822.9	0.7
1989	1199	1'011.2	0.8
1990	1217	1'085.3	0.9
1991	1257	840.0	0.7
1992	1164	745.0	0.6
1993	1112	523.3	0.5
1994	1129	469.1	0.4
1995	1156	537.8	0.5
1996	1179	431.9	0.4
1997	1161	354.2	0.3
1998	1260	239.5	0.2
1999	1245	195.9	0.2
2000	1197	145.7	0.1
2001	1137	188.6	0.2
2002	1156	179.6	0.2
2003	1142	182.7	0.2
2004	1232	228.0	0.2
2005	1313	177.7	0.1
2006	1342	183.4	0.1
2007	1375	154.4	0.1
2008	1454	136.3	0.1
2009	1486	85.9	0.1
2010	1491	129.5	0.1
2011	1397	100.7	0.1
2012	1449	90.2	0.1
2013	1446	71.4	0.0
2014	1509	81.5	0.1

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

Tabelle A.19:
Zentrales Zwischenlager
Würenlingen (ZZL),
Kollektivdosen des
dosimetrierten
Personals 2001 bis 2014

4.3 Jobdosimetrie

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

Die Systeme, mit denen in den Kernkraftwerken die Jobdosen ermittelt werden, sind stetig verbessert worden. Die Richtlinie ENSI-B09 «Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen» regelt unter anderem die Minimalanforderungen an die elektronischen Personendosimeter (EPD) hinsichtlich der Warn- und Schutzfunktion und der Möglichkeit, diese Geräte für die Ermittlung der Jobdosen einzusetzen. Elektronische Dosimeter haben zusätzlich den Vorteil, dass sie in den meisten Fällen sofort abgelesen werden können. Die Richtlinie äussert sich aber bewusst nicht darüber, wie im Detail die Jobdosimetrie erfolgen soll, da diese Aufgabe im Verantwortungsbereich der Kernanlage liegt und die Freiheit zur Entwicklung eines für die spezifischen Gegebenheiten optimalen Systems offen bleiben soll.

Computerbasierte, vernetzte Systeme haben sich bewährt und werden nun mehrheitlich auch eingesetzt.

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

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

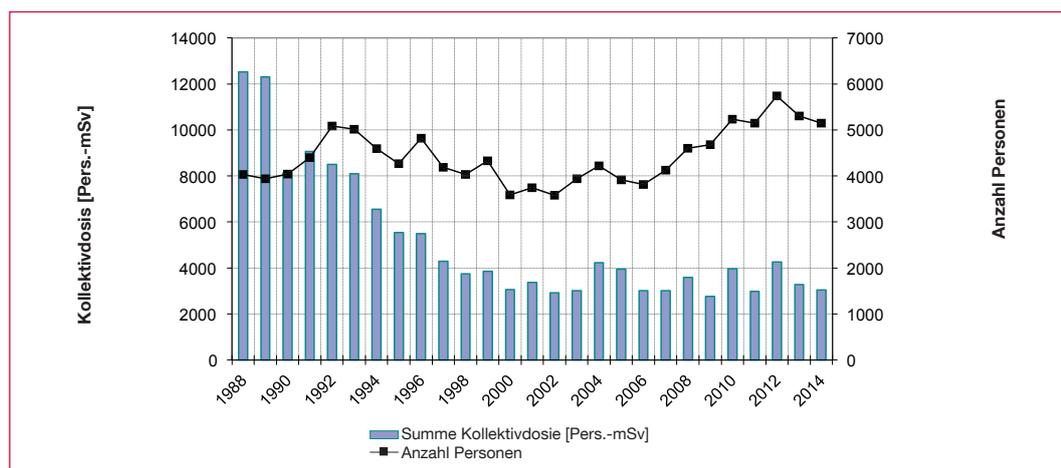
Jahreskollektivdosen in den Kernkraftwerken in der Schweiz

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	4040
1991	9056	4402
1992	8500	5084
1993	8100	5011
1994	6559	4595
1995	5535	4268
1996	5487	4818
1997	4297	4186
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

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

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*	
KKB 1 und 2**	EP	168	EP	165	EP	1.02
	FP	124	FP	119	FP	1.04
	Summe	291	Summe	284	EP und FP	1.03
KKG**	EP	132	EP	147	EP	0.90
	FP	350	FP	385	FP	0.91
	Summe	482	Summe	532	EP und FP	0.91
KKL***	EP	329	EP	370	EP	0.89
	FP	1149	FP	1171	FP	0.98
	Summe	1478	Summe	1542	EP und FP	0.96
KKM	EP	327	EP	389	EP	0.84
	FP	472	FP	588	FP	0.80
	Summe	799	Summe	977	EP und FP	0.82

Tabelle A.21:

Zusammenstellung der mit EPD und der mit Dosimetern der anerkannten Personendosimetriestellen ermittelten Kollektivdosen für das Kalenderjahr 2014

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.

4.4 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen

Die Kollektivdosen konnten in den vergangenen Jahren deutlich verringert werden und haben sich auf einem niedrigen Niveau eingependelt. Verlängerte Revisionsstillstände zum Beispiel, während denen mehr Arbeiten durchgeführt werden können, stechen dann aus dem Verbund der Kollektivdosen heraus (siehe Darstellung A.3). Zudem haben sich über die Jahre die Jahreskollektivdosen der älteren Anlagen denen der neueren angenähert, weil in älteren Anlagen die Kollektivdosen stärker reduziert werden konnten als in den neuen. Wenn während der Jahresrevisionen umfangreiche Systemänderungen oder grössere Reparaturen vorgenommen wurden, kann eine neuere Anlage eine höhere Jahreskollektivdosis aufweisen.

Der Quotient aus Dosis pro erzeugter elektrischer Energie QSE hat sich in den vergangenen Jahren aufgrund der erreichten Dosisreduktionen, der in

der Mehrheit zeitlich verkürzten Stillstände und aufgrund der Leistungserhöhungen auf einem tiefen Wert eingependelt. Betrug der Wert im Jahr 1991 noch 0,404 Pers.-mSv pro GWh_(e), so erfolgt aktuell eine Stabilisierung zwischen 0,1 und 0,13 Pers.-mSv pro GWh_(e), der im Jahr 2014 erreichte Wert liegt bei 0,110 Pers.-mSv pro GWh_(e). Ähnlich verhält es sich mit den mittleren Individualdosen. Über die letzten Jahre konnten die mittleren Individualdosen deutlich gesenkt werden, während sich die Zahl der beruflich strahlenexponierten Personen über einige Jahre konstant verhielt und dann aber wieder deutlich steigende Tendenz zeigte. Im Jahr 2014 lag die Zahl der strahlenexponierten Personen mit 5571 gegenüber dem Vorjahr mit 6910 deutlich tiefer, wobei auch eine geringere Kollektivdosis akkumuliert wurde. Die mittlere Exposition des Eigen- und Fremdpersonals lag im Jahr 2014 für alle Kernkraftwerke und das ZZL bei 0,6 mSv. Die maximalen Individualdosen, die von einigen Spezialisten an Arbeitsorten mit relativ hoher Ortsdosis-

leistung oder nach Arbeiten in verschiedenen Kraftwerken akkumuliert werden können, bieten nach wie vor eine stete Herausforderung für den operationellen Strahlenschutz. Im Berichtsjahr 2014 wurde der Jahresgrenzwert von 20 mSv für die Individualdosis des beruflich strahlenexponierten Personals im Aufsichtsbereich des ENSI in allen Kernanlagen eingehalten, die höchste akkumulierte Individualdosis lag bei 12,2 mSv. Seit Inkrafttreten der neuen Strahlenschutzverordnung im Jahr 1994 gab es im Aufsichtsbereich des ENSI drei Grenzwertüberschreitungen, die aber in jedem Fall unter 50 mSv blieben.

Das ENSI bewertet den Strahlenschutz in den schweizerischen Kernanlagen, nicht zuletzt aus dem gewonnenen Eindruck bei Inspektionen vor Ort, weiterhin als gut. Die Optimierungsanstrengungen, die seit den 90er Jahren zur Reduktion der Dosen führten, hatten nachhaltigen Erfolg. Die Herausforderung, sowohl für die Betreiber als auch für die Aufsichtsbehörde, besteht darin, diesen guten Zustand zu erhalten. Ungeplante Expositionen können durch konsequente Ausbildung des Personals im Strahlenschutz, Planung der Tätigkeiten und deren Abfolgen, Absperrungen von Gebieten mit hoher Ortsdosisleistung sowie durch den Einsatz von zusätzlichen Dosisleistungsmessgeräten mit Alarmierungsfunktionen und Fernablesung vermieden werden.

4.5 Erwartete Entwicklung der Exposition

Aussagen über die Zukunft sind schwierig, insbesondere in einem komplexen Gebiet wie dem Strahlenschutz in Kernanlagen. Dennoch kann versucht werden, aus der Exposition des beruflich strahlenexponierten Personals in der Vergangenheit, Tendenzen für die Zukunft abzuleiten.

Das Potenzial der *technischen Massnahmen*, welche für die Reduktion der Dosis eingesetzt werden, wie zum Beispiel temporäre Abschirmungen aus Bleiblechen, ist weitestgehend ausgeschöpft. Optimierungen, sowie schnelleres Auf- und Rückbauen der Abschirmungen, Verfeinerungen beim Design und bei der Planung und ähnliche Massnahmen erlauben die Effizienz dieser Mittel noch zu steigern. Signifikante Beiträge 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.

Änderungen in der *Wasserchemie im DWR wie auch im SWR* können zu einer Dosisreduktion beitragen. Durch das Einspeisen von Zink, dessen Isotop ^{64}Zn vorher abgereichert wurde (DZO: depleted zinc oxide), können die Dosisleistungen an Komponenten des Primärkreislaufes reduziert werden. Das Zink wird anstatt ^{60}Co in die Korrosionsschichten eingelagert.

Das Verfahren wird vom KKG seit dem Jahr 2005 mit Erfolg angewendet. Die Verringerung der Dosisleistung an ausgewählten Primärkomponenten war im Jahr 2014 etwas weniger ausgeprägt als im Vorjahr (-58% im Vergleich mit -56%), 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 zur Minimierung der Kollektiv- und Individualdosen bei.

Das KKB stützt sich zur Dosisreduktion auf die seit vielen Jahren optimierte Abfahrchemie. Dabei wird während der Reinigungsphase auf eine saubere Trennung der beiden Phasen (sauer-reduzierend und sauer-oxidierend) geachtet. Die beiden Kobaltisotope ^{60}Co und ^{58}Co können dadurch effizient aus dem Primärkreislauf entfernt werden.

Trotz dieser optimierten Abfahrchemie 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. Die mittlerweile recht hohen ODL-Werte an den Closure Legs in Block 1 machen es erforderlich zu handeln. Im Jahr 2011 wurde deshalb vom KKB die Fahrweise auf einen konstanten pH_{300} -Wert von 7,2 über den gesamten Zyklus umgestellt (Block 1: Juni 2011, Block 2: Oktober 2011), um die Korrosionsraten zu verringern. Ein messbarer Effekt ist aber erst nach einigen Zyklen zu erwarten. Im Reaktorkühlmittel ist die Konzentration von ^{58}Co weiter gesunken, diejenige von ^{60}Co blieb unverändert. Die mittlere Ortsdosisleistung an den Hauptkühlmittelleitungen ist in Block 1 im Vergleich zum Vorjahr, wo leicht niedrigere Werte gemessen wurden, wieder angestiegen. In Block 2 stieg sie, auch aufgrund der höheren ODL an den hot legs, auf ein Drittel derjenigen in Block 1 an. Zwischenzeitlich wurde die Entleerung als Quelle identifiziert.

Im KKM wurde über das ganze Berichtsjahr Zink ins Speisewasser A eingespeist. Anfangs des Berichtsjahres wurden etwa 80 g Platin und gegen Ende

Jahr noch einmal 100 g Platin in das Speisewasser zugegeben. Im Berichtsjahr betrug die mittlere Dosisleistung an den Umwälzschleifen 1,66 mSv/h. Im Vergleich zu den beiden Vorjahren, bei denen dieser Wert bei 1,79, resp. bei 1,71 mSv/h lag, ist dem zufolge eine leichte Reduktion von 7,2 % resp. 2,9 % festzustellen. Die Tendenz zu niedrigeren Ortsdosisleistungen an den Umwälzschleifen nach der Einspeisung von Platin im KKM, die zwischenzeitlich etwas abnahm, scheint damit wieder einzusetzen. Im Jahr 2004 lag die mittlere ODL an den Umwälzschleifen noch bei ca. 4 mSv/h. Im Rahmen weiterer Optimierungsmassnahmen im Strahlenschutz hat sich der Einsatz der seit vielen Jahren im KKM verwendeten Funkdosimeter, z.B. bei der Reinigung der Reaktorgrube zur «Fernüberwachung» des Personals, wiederum zur Dosisminimierung bewährt.

Das KKL führte im Zyklus 30 eine Applikation mit 300 g resp. 240 g Platin durch. Während nahezu des gesamten Zyklus wurde Wasserstoff in den Primärkreislauf zu dosiert. Im folgenden Zyklus 31 wurden Ende des Berichtsjahres noch einmal 300 g Platin zu dosiert. Der Mittelwert der an insgesamt 16 Messpunkten erfassten Dosisleistungen betrug 1,64 mSv/h. Im Vergleich zum Vorjahr 2013 mit 1,62 mSv/h blieben der gemittelte Wert somit beinahe konstant. Das Entfernen von so genannten hot spots trug ebenfalls zu einer günstigen Dosisleistung bei. Dies und konsequent durchgeführte Strahlenschutzmassnahmen, sowohl administrativer, als auch technischer Art, wirkten sich positiv auf die Kollektiv- und Individualdosen aus. Trotzdem ist ein leichter Trend zu höheren Kollektivdosen zu erkennen, der genau verfolgt wird. Im Zuge des Optimierungsgedankens werden mögliche Ursachen analysiert und wenn möglich behoben.

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 Absperrern 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 2014 für die vier Schweizer Kernkraftwerke Beznau (KKB 1 und KKB 2), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) und Mühleberg (KKM) sowie für das Paul Scherrer Institut (PSI) und das am gleichen Standort gelegene Zentrale Zwischenlager Würenlingen (ZZL) deutlich unterhalb der Jahres- und Kurzzeit-Abgabelimite. Die aus den tatsächlichen Abgaben und der Direktstrahlung aus der jeweiligen Anlage errechnete Strahlenexposition liegt selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren für Erwachsene, 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 im Allgemeinen

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

Im aquatischen Milieu zeigten Wasser-, Wasserpflanzen- und Sediment- und Fischproben Spuren von künstlichen Radionukliden wie ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co und ^{65}Zn , welche aus den Abgaben der Kernanlagen stammen. Die grössten Abgaben radioaktiver Stoffe (ausser Tritium) erfolgen während den Revisionsabstellungen. Für das insbesondere in Sedimentproben ebenfalls gemessene ^{137}Cs ist keine eindeutige Zuordnung in Anteile aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl und den Abgaben der Kernkraftwerke mehr möglich. Bei den andern Nukliden zeigen die Messungen generell den aufgrund der Abgaben erwarteten Verlauf, wobei gewisse Messwerte vermutlich durch einen relativ langsamen Partikeltransport in den Monaten nach dem Revisionsstillstand höher liegen.

In Lebensmitteln konnte keine Erhöhung von künstlichen Radionukliden gemessen werden, die auf Abgaben der schweizerischen Kernanlagen schliessen lassen.

Detaillierte Messresultate zu diesem Probenahme- und Messprogramm können dem BAG Jahresbericht 2014 über «Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz» entnommen werden.

1.1 Emissionen aus den Kernanlagen

Die Abgaben von radioaktiven Stoffen mit der Abluft und dem Abwasser der schweizerischen Kernkraftwerke sind in der Darstellung B.1 für die letzten fünf Jahre zusammen mit den entsprechenden Jahreslimiten dargestellt. Tabelle B.1 zeigt die in den Kernkraftwerken und im Zentralen

Zwischenlager Würenlingen (ZZL) gemessenen Abgabewerte sowie die unter ungünstigen Annahmen gemäss ENSI-Richtlinie G14 errechneten Personendosen für Erwachsene, 10-jährige Kinder und Kleinkinder in der Umgebung der betreffenden Anlage im Jahr 2014. Die Abgaben des Paul Scherrer Instituts und die daraus in gleicher Weise berechneten Dosiswerte sind in Tabelle B.2 zusammengestellt. Eine nuklidspezifische Aufschlüsselung der Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser ist in Tabelle B.3a, mit der Abluft in den Tabellen B.3b und B.3c aufgelistet. Die Fussnoten zu den Tabellen geben Hinweise zu den Limiten, den Messungen und den bei der Berechnung der Jahresdosis verwendeten Annahmen.

Alle Kernanlagen haben die vorgeschriebenen Jahres- und die Kurzzeitabgabelimite eingehalten. Zur Überprüfung der Messverfahren der Kernanlagen hat das ENSI an rund 210 Proben eigene gammaspektrometrische 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.

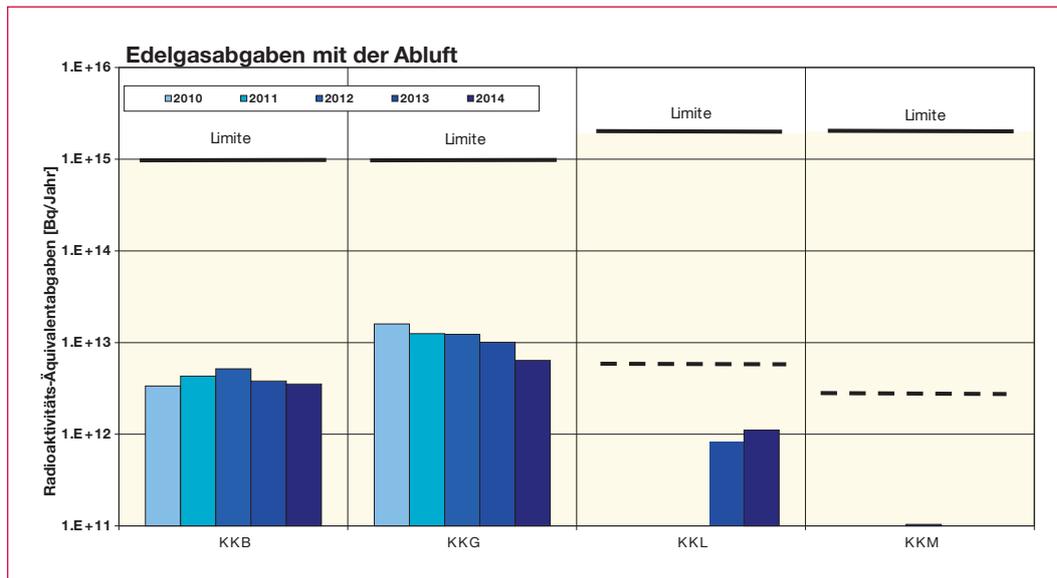
Die aus den Emissionen der Kernkraftwerke errechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in unmittelbarer Nähe der Anlage beträgt unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren beim KKG rund 0,001 mSv, beim KKB etwa 0,002 mSv, beim KKM etwa 0,004 mSv und beim KKL ungefähr 0,006 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung betragen somit im Jahr 2014 nur einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwerts.

Das ENSI berücksichtigt bei den Dosisberechnungen auch die formell nicht limitierten ^{14}C -Abgaben, da diese seit einigen Jahren aufgrund der geringen übrigen Abgaben die Dosis dominieren. Das radioaktive Kohlenstoffisotop ^{14}C entsteht im Reaktor durch Kernreaktionen von Neutronen mit Stickstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff. Die ^{14}C -Abgaben der Kernkraftwerke sind systembedingt begrenzt, weil die Abgaberate primär von der Reaktorleistung abhängig ist. Die Kernkraftwerke haben in den letzten Jahren die ^{14}C -Abgaben gemessen und nachgewiesen, dass diese mit den Erfahrungswerten aus der Messkampagne vor etwa 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 -Messun-

gen durch. Mitte 1998 wurde die Apparatur des KKL zur Messung von ^{14}C aufgrund der Resultate einer internationalen Vergleichsmessung neu kalibriert, was dazu führte, dass die für Einzelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis seit 1998 etwas höher ist. Das KKG führt seit Ende 2001 Messungen der ^{14}C -Abgaben mit der Abluft durch. Die für Einzelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis der Jahre 2001 bis 2003 werden beim KKG im Nachhinein als um den Faktor 3 zu hoch eingeschätzt, dies aufgrund der Ergebnisse der neuen Kalibrierung der Messapparatur mit zwei diversitären Standards zu Beginn des Jahres 2004. Alle Schweizer Kernkraftwerke haben auch 2014 die ^{14}C - und die ^3H -Aktivität in der Abluft gemessen. Der Dosisbeitrag von ^{14}C wurde aus den Messwerten ermittelt.

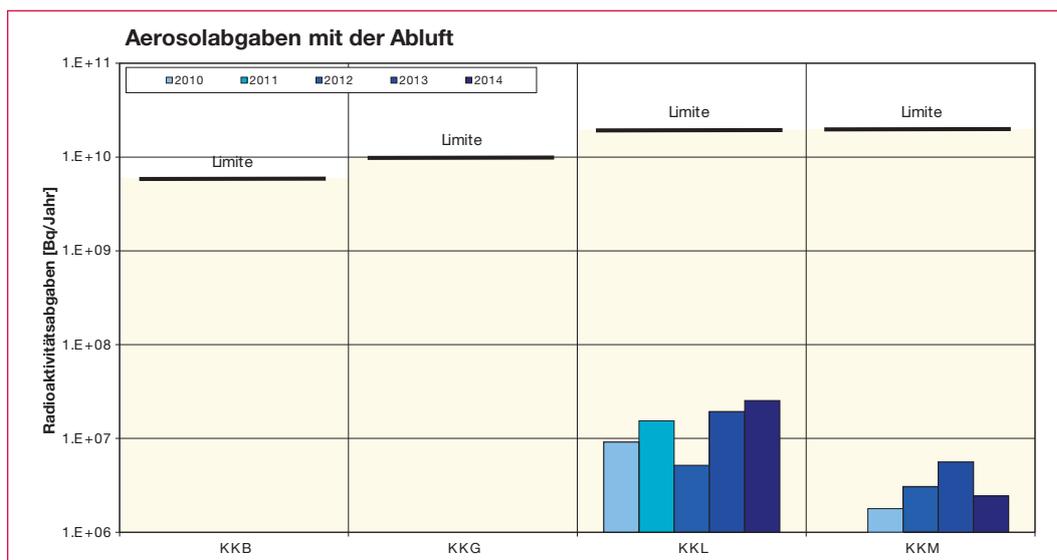
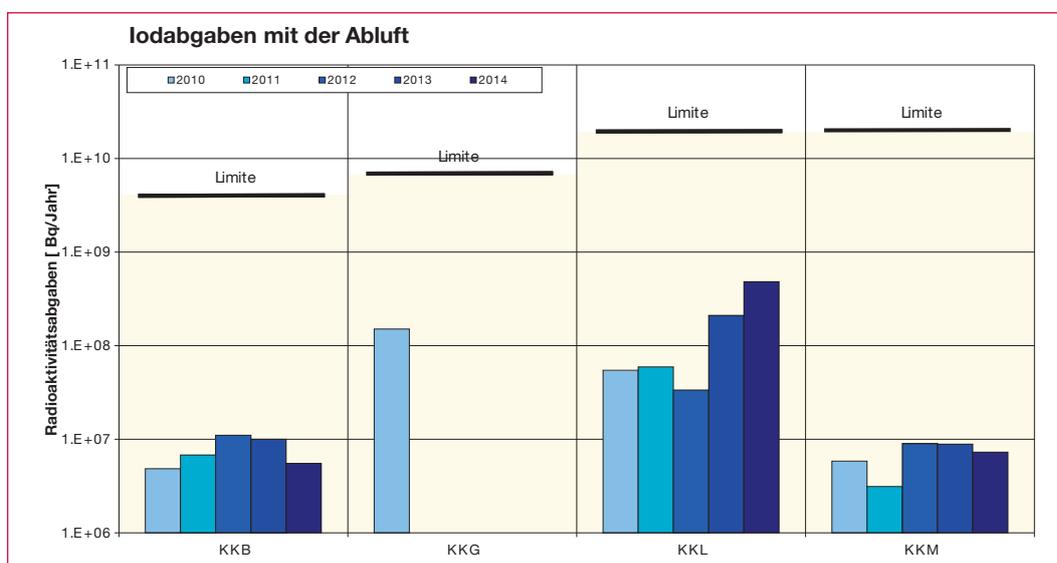
Das PSI ist aufgrund der Bewilligung für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung verpflichtet, sowohl für die einzelnen Anlagen als auch für die Gesamtanlage des PSI die aus den Abgaben resultierende Dosis in der Umgebung zu berechnen. Beim PSI errechnet das ENSI eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von weniger als 0,009 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.

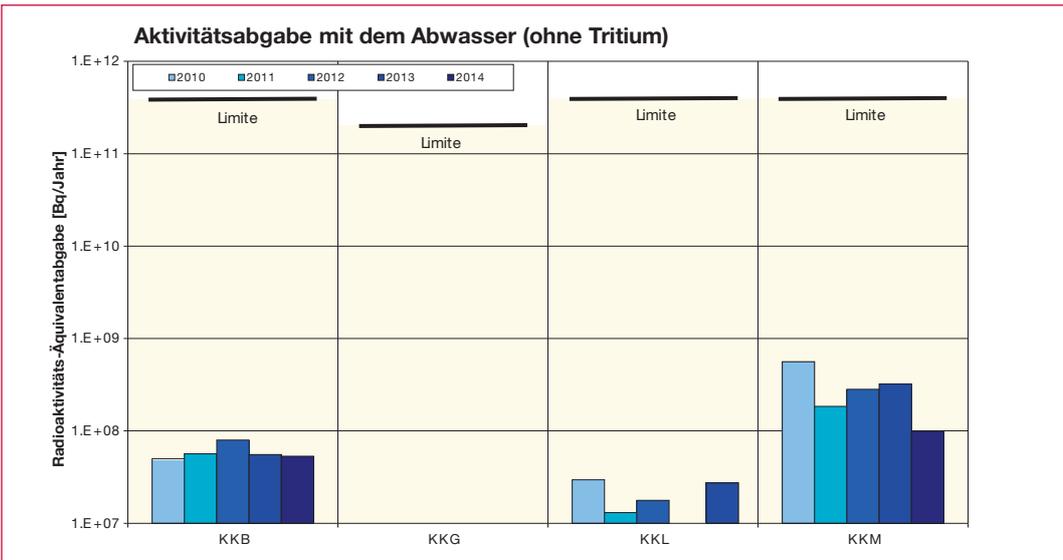
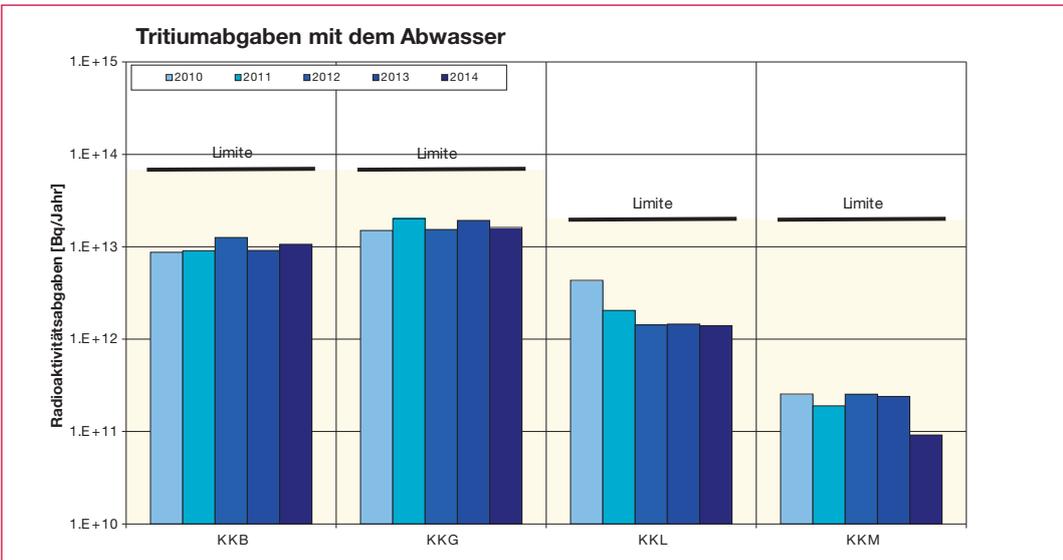
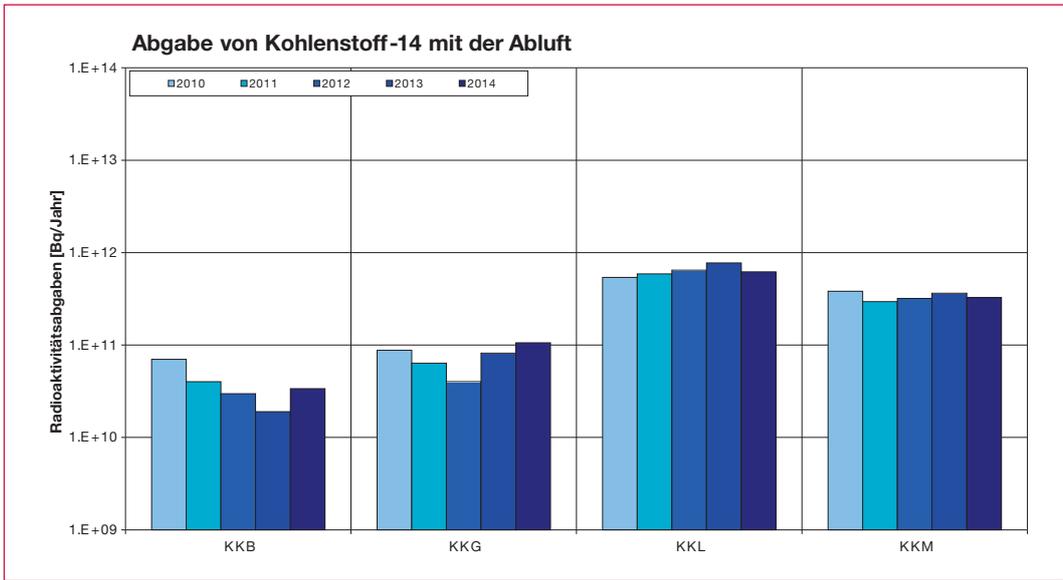
Im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) erfolgten im Berichtsjahr Einlagerungen von 2 Transport- und Lagerbehältern für hochaktive Abfälle und von 40 Gebinden mit mittelaktiven Abfällen und in der Konditionieranlage wurden grosse Mengen verschiedensten Materials angeliefert und konditioniert. Bei der Plasmaanlage fand 2014 eine grosse Verbrennungskampagne im Herbst statt. Die für das Jahr 2014 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.1:
Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre in den letzten fünf Jahren (2010 bis 2014) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten.

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 Abgabelimiten notwendigen Edelgas-Abgabeäquivalente wurde in diesen Fällen ein konservatives Nuklidgemisch angesetzt. Das KKL und das KKM bilanzieren die Edelgase dagegen nuklidspezifisch 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.





Ort	Medium	Art der Abgaben ¹	Bilanzierte Abgaben ²				Berechnete Jahresdosis ³		
			Messung	Normiert ^{1,2}	Limiten ⁴		Erw.	10j Kind	1j Kind
			Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Prozent der Limite	mSv/Jahr	mSv/Jahr	mSv/Jahr
KKB1 + KKB2	Abwasser 3300 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	4,1·10 ⁸	–	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,0·10 ¹³	1,0·10 ¹³	7·10 ¹³	14%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	3,9·10 ¹²	3,7·10 ¹²	1·10 ¹⁵	0,4%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,7·10 ⁵	–	6·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	2,9·10 ⁶	5,8·10 ⁶	4·10 ⁹	0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,6·10 ¹⁰	–	–	–	<0,001	0,001	0,0016
	Dosis total					<0,001	0,0012	0,0018	
KKG	Abwasser 7514 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	2,3·10 ⁶	–	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,5·10 ¹³	1,5·10 ¹³	7·10 ¹³	21%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	<6,0·10 ¹²	<6,6·10 ¹²	1·10 ¹⁵	<0,7%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	5,0·10 ⁴	–	1·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	2,7·10 ⁵	–	7·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	1,1·10 ¹¹	–	–	–	<0,001	<0,001	0,0012
	Dosis total					<0,001	<0,001	0,0013	
KKL	Abwasser 13865 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,6·10 ⁸	–	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,3·10 ¹²	1,3·10 ¹²	2·10 ¹³	7%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	2,7·10 ¹²	–	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	2,5·10 ⁷	–	2·10 ¹⁰	0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	5,1·10 ⁸	5,1·10 ⁸	2·10 ¹⁰	2,6%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	6,3·10 ¹¹	–	–	–	0,0024	0,0031	0,0053
	Dosis total					0,0025	0,0033	0,0057	
KKM	Abwasser 3122 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	7,5·10 ⁸	–	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	9,0·10 ¹⁰	9,0·10 ¹⁰	2·10 ¹³	0,5%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	5,7·10 ¹⁰	–	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	2,4·10 ⁶	–	2·10 ¹⁰	<0,1%	0,0026	0,0025	0,0023
		Iod: ¹³¹ I	5,2·10 ⁶	–	2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,4·10 ¹¹	–	–	–	<0,001	0,0011	0,0019
	Dosis total					0,0034	0,0036	0,0042	
ZZL	Abwasser 413 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	6,1·10 ⁸	–	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	2,4·10 ⁹	–	–	–	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	β-/γ-Aerosole	1,0·10 ⁴	–	1·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		α-Aerosole	1,4·10 ⁴	–	3·10 ⁷	–	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,0·10 ⁸	–	1·10 ¹²	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,1·10 ⁹	–	1·10 ¹⁴	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total					<0,001	<0,001	<0,001	

Tabelle B.1:
Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2014 für die Kernkraftwerke und das Zentrale Zwischenlager Würenlingen und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung

Tabelle B.2:
Zusammenstellung
der Abgaben des
Paul Scherrer Instituts
im Jahr 2014 und der
daraus berechneten
Dosen für Einzelpersonen
der Bevölkerung

	PSI Ost				
	Hochkamin	Saphir, Proteus	Forschungs- labor	Betriebs- Gebäude radioaktive Abfälle	Bundes- zwischen- lager
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]					
Nuklidgemisch ohne Tritium	–	–	–	–	–
Tritium	–	–	–	–	–
Abgaben über die Abluft^{1,2} [Bq/a]					
Edelgase und andere Gase	1,3·10 ¹²	–	–	–	–
β/γ-Aerosole, ohne Iod	7,9·10 ⁷	–	–	–	4,8·10 ⁴
α-Aerosole	–	–	–	–	–
Iod (Summe aller Isotope)	2,1·10 ⁷	–	–	–	–
Tritium als HTO	1,8·10 ¹¹	–	–	1,5·10 ¹⁰	1,4·10 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%

	PSI West			Gesamtanlage des PSI ^{1,2}		
	Zentrale Fortluft- anlagen	Injektor II	C-Labor	Abwasser 1298 m ³	Abluft	Aequivalent- abgaben
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]						
Nuklidgemisch ohne Tritium	–	–	–	3,0·10 ⁸	–	8,6·10 ⁷
Tritium	–	–	–	2,2·10 ¹²	–	–
Abgaben über die Abluft^{1,2} [Bq/a]						
Edelgase und andere Gase	1,8·10 ¹⁴	2,0·10 ⁹	–	–	1,8·10 ¹⁴	4,0·10 ¹⁴
β/γ-Aerosole, ohne Iod	2,9·10 ¹⁰	1,4·10 ⁶	2,2·10 ⁴	–	2,9·10 ¹⁰	–
α-Aerosole	–	–	–	–	–	–
Iod (Summe aller Isotope)	7,3·10 ⁷	–	–	–	9,4·10 ⁷	3,4·10 ⁷
Tritium als HTO	1,6·10 ¹²	–	–	–	1,8·10 ¹²	–
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	–	–	–	–	–	–
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:						
Erwachsene	0,008	<0,00015	<0,00015	<0,00015	–	<0,009
Kind 10j	0,008	<0,00015	<0,00015	<0,00015	–	<0,009
Kleinkinder	0,008	<0,00015	<0,00015	<0,00015	–	<0,009
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert⁴	5,3%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	–	<6%

Nuklid β/γ-Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
³ H	1,0·10 ¹³	1,5·10 ¹³	1,3·10 ¹²	9,0·10 ¹⁰	2,2·10 ¹²	2,4·10 ⁹
⁷ Be					1,0·10 ⁶	
²² Na					3,6·10 ⁵	3,3·10 ⁵
²⁴ Na	4,2·10 ⁶					
³⁵ S					1,3·10 ⁷	
⁴⁶ Sc					1,4·10 ⁴	
⁴⁷ Sc					1,4·10 ⁵	
⁵¹ Cr	5,6·10 ⁵		6,1·10 ⁶	5,5·10 ⁷		
⁵⁴ Mn	5,0·10 ⁶		9,2·10 ⁶	1,1·10 ⁸	5,6·10 ⁵	2,1·10 ⁵
⁵⁶ Co					2,9·10 ⁴	
⁵⁷ Co				4,9·10 ⁴	1,6·10 ⁵	
⁵⁸ Co	2,1·10 ⁷		3,2·10 ⁶	7,4·10 ⁷	2,8·10 ⁴	
⁵⁹ Fe				6,6·10 ⁵		
⁶⁰ Co	8,3·10 ⁷	2,9·10 ⁵	1,0·10 ⁸	4,8·10 ⁸	1,4·10 ⁷	1,4·10 ⁷
⁶⁵ Zn	4,1·10 ⁴		1,0·10 ⁷	2,0·10 ⁷		
⁸⁹ Sr	1,8·10 ⁶			1,4·10 ⁵		
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	7,4·10 ⁵			6,3·10 ⁵	9,6·10 ⁷	
⁹⁵ Nb	2,6·10 ⁵	1,0·10 ⁵		4,8·10 ⁵		
⁹⁵ Zr	1,5·10 ⁵					
^{99m} Tc	8,6·10 ⁵					
¹⁰⁶ Ru		4,1·10 ⁵				6,2·10 ⁵
^{110m} Ag	1,4·10 ⁷			1,6·10 ⁶	1,7·10 ⁴	
¹¹¹ In					1,4·10 ⁵	
¹²² Sb	4,9·10 ⁶					
¹²⁴ Sb	8,3·10 ⁷			1,6·10 ⁶		9,5·10 ⁵
¹²⁵ Sb	4,5·10 ⁷		1,1·10 ⁷	6,1·10 ⁵		1,5·10 ⁷
^{123m} Te	1,6·10 ⁷	1,2·10 ⁶				
¹³² Te	3,6·10 ⁶	2,6·10 ⁵				
¹²⁵ I					5,6·10 ⁵	
¹³¹ I	1,9·10 ⁷		1,7·10 ⁷			
¹³² I						
¹³³ I	3,0·10 ⁶					
¹³⁴ Cs	3,1·10 ⁶		2,4·10 ⁵		3,7·10 ⁴	2,2·10 ⁷
¹³⁷ Cs	1,0·10 ⁸		7,5·10 ⁵	6,3·10 ⁶	1,4·10 ⁸	5,6·10 ⁸
¹⁴⁰ La			4,6·10 ⁶			
¹⁴¹ Ce			1,3·10 ⁶			
¹⁵⁵ Tb					6,4·10 ⁴	
¹⁶¹ Tb					9,0·10 ⁵	
¹⁷² Lu					6,3·10 ⁴	
¹⁷³ Lu					4,6·10 ⁴	
¹⁷⁷ Lu					3,0·10 ⁷	
²⁰⁷ Pb					1,2·10 ⁴	
α-Strahler	*)	1,9·10 ⁵	1,5·10 ⁵	1,7·10 ⁴		*)
^{234/238} U					4,4·10 ⁵	
^{239/240} Pu	6,2·10 ³				4,7·10 ⁴	0,2·10 ³
²³⁸ Pu/ ²⁴¹ Am	3,2·10 ⁴				3,1·10 ⁴	1,9·10 ³
²⁴² Cm	3,1·10 ⁴					0,2·10 ³
^{243/244} Cm	1,0·10 ⁵					0,4·10 ³

Tabelle B.3a:
Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2014: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben

*) Angabe umfasst für das KKB und ZZL das 4. Quartal 2013 bis und mit dem 3. Quartal 2014

Tabelle B.3b:
 Abgaben der Kern-
 anlagen mit der Abluft,
 Edelgase und Iod 2014:
 Summe der bei Einzel-
 messungen der Betrei-
 ber nachgewiesenen
 Aktivitätsabgaben

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

Nuklid β/γ-Aerosole	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
⁷ Be						
²⁴ Na					3,6·10 ⁵	
³⁸ S					1,1·10 ⁹	
³⁹ Cl					8,0·10 ⁹	
⁵⁴ Mn				1,2·10 ⁵		
⁵⁷ Co		6,3·10 ³				
⁵⁸ Co				3,7·10 ⁵		
⁶⁰ Co			1,1·10 ⁵	1,4·10 ⁶	1,2·10 ⁶	3,6·10 ²
⁶⁵ Zn				2,5·10 ⁴		
⁷⁷ Br					2,4·10 ⁶	
^{80m} Br					2,6·10 ⁹	
⁸² Br					6,3·10 ⁸	
⁸⁹ Sr			1,4·10 ⁶			
⁹⁵ Nb		6,8·10 ³				
^{99m} Tc					7,5·10 ⁷	
^{123m} Te		8,5·10 ³				
¹²⁵ Sb				2,9·10 ⁵		
¹³¹ I (Aerosol)			1,4·10 ⁷	3,3·10 ³		
¹³⁴ Cs						1,3·10 ²
¹³⁷ Cs			1,7·10 ⁴	1,7·10 ⁵		9,5·10 ³
¹⁴⁰ Ba		1,3·10 ⁴	5,7·10 ⁶	4,9·10 ⁴		
¹⁴⁰ La			3,6·10 ⁶			
¹⁴⁴ Ce		1,5·10 ⁴				
¹⁸¹ Re					6,8·10 ⁷	
¹⁸² Re					2,0·10 ⁸	
¹⁸³ Re					7,6·10 ⁶	
¹⁸³ Os					2,3·10 ⁸	
^{183m} Os					5,9·10 ⁸	
¹⁸⁵ Os					1,8·10 ⁷	
¹⁸⁵ W					1,0·10 ⁹	
¹⁹² Au					1,0·10 ⁹	
¹⁹³ Au					8,4·10 ⁷	
¹⁹⁴ Au					2,8·10 ⁶	
¹⁹⁵ Au					1,2·10 ⁴	
¹⁹² Hg					7,0·10 ⁸	
^{193m} Hg					2,5·10 ⁸	
¹⁹⁴ Hg					2,8·10 ⁶	5,0·10 ¹
¹⁹⁵ Hg					1,3·10 ¹⁰	
^{195m} Hg					1,0·10 ⁸	
^{197m} Hg					1,2·10 ⁸	
²⁰³ Hg					7,2·10 ⁶	
Nicht spezifizierte	1,7·10 ⁵					
α-Aerosole	1,0·10 ⁴	6,2·10 ⁴	5,7·10 ⁴	6,8·10 ⁴		1,4·10 ⁴

Tabelle B.3c:

Abgaben mit der Abluft, Aerosole 2014: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben

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.
Gas: Beim PSI handelt es sich dabei vorwiegend um die Nuklide ¹¹C, ¹³N, ¹⁵O und ⁴¹Ar. Deren Halbwertszeiten sind kleiner als zwei Stunden. Hier ist für die einzelnen Abgabestellen und das gesamte PSI die Summe der Radioaktivität dieser Gase und Edelgase ohne Normierung auf einen Referenzwert angegeben. Für die Gesamtanlage wird zusätzlich auch die auf den Referenz-CA-Wert von $2 \cdot 10^5$ Bq/m³ normierten Abgabe aufgeführt.
Aerosole: Hier ist in jedem Fall die Summe der Radioaktivität ohne Normierung auf einen Referenzwert angegeben. Der Dosisbeitrag von Aerosolen mit Halbwertszeiten kleiner 8 Tagen ist bei den Kernkraftwerken vernachlässigbar.
Beim KKM ergibt sich der Hauptbeitrag zur Dosis durch die Strahlung der abgelagerten Aerosole, die im Jahre 1986 durch eine unkontrollierte Abgabe in die Umgebung gelangten. Der Dosisbeitrag der Aerosole, welche im Berichtsjahr abgegeben wurden, ist dem gegenüber vernachlässigbar und liegt in der Grössenordnung der anderen schweizerischen Kernkraftwerke.
Iod: Bei den Kernkraftwerken ist die Abgabe von ¹³¹I limitiert; somit ist bei den bilanzierten Abgaben nur dieses Iod-Isotop angegeben.
Beim PSI, bei dem andere Iod-Isotope nachgewiesen werden, ist die Abgabe für die einzelnen Abgabestellen und die Gesamtanlage als Summe der Aktivität der gemessenen Iod-Nuklide angegeben. Für die Gesamtanlage wird zudem auch ein ¹³¹Iod-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 **Abgabelimiten** gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die Abgabelimiten wurden so festgelegt, dass die Jahresdosis für Personen in der Umgebung (vgl. Fussnote 3) für die Kernkraftwerke unter 0,3 mSv/Jahr respektive das Zentrale Zwischenlager in Würenlingen (ZZL) unter 0,05 mSv/Jahr bleibt. Für das Paul Scherrer Institut (PSI) sind die Abgaben gemäss Bewilligung 6/2013 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.

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

Am Zaun des KKM wurden bei stichprobenweise vierteljährlich vom ENSI durchgeführten Messungen Dosisleistungen zwischen etwa $0,08 \mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und $0,32 \mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Auf ein Jahr hochgerechnet würde basierend auf diesen Momentanwerten am meist exponierten Ort eine Dosiserhöhung von ca. $1,9 \text{ mSv}$ (ohne natürlichen Untergrund) resultieren. Die vom KKM ausgewerteten Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun ergeben für das Berichtsjahr nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes von ca. $0,7 \text{ mSv}$ eine Dosiserhöhung von $0,9 \text{ mSv}$.

Am Zaun des KKL wurden bei vierteljährlichen Stichproben des ENSI während des Leistungsbetriebes Ortsdosisleistungen zwischen $0,07 \mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und $0,18 \mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes und unter Berücksichtigung der Betriebszeit am meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von ca. $0,7 \text{ mSv}$ pro Jahr. Die höchste, mit den TLD am Zaun ermittelte Jahresdosis (nach Abzug des natürlichen Untergrundes von $0,6 \text{ mSv}$) beträgt $0,8 \text{ mSv}$.

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 2014 betrug der höchste, mit einem Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am

Zaun des PSI ermittelte Wert ca. $0,25 \text{ mSv}$ (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.

Beim Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) wurde im 3. Quartal bei der Stichprobenmessung des ENSI am Zaun ein aufgrund von Wartungsarbeiten leicht erhöhter Messwert entsprechend ca. dreifachem Untergrund gemessen, mit den TLD am Zaun konnte hingegen kein erhöhter Messwert festgestellt werden. Der erhöhte Messwert war auf die kurzzeitige Lagerung von kontaminiertem Material auf dem Areal zurückzuführen.

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 wiederum von allen Anlagen eingehalten.

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

2.1 Übersicht

Das MADUK-System (**M**essnetz zur **a**utomatischen **D**osisleistungsüberwachung in der **U**mgebung der **K**ernkraftwerke) inklusive der Einrichtungen zur Übernahme von **A**nlageparametern (ANPA) und Kaminemissionswerten aus den Kernkraftwerken wurde im Laufe des Jahres 1993 aufgebaut und ab Frühling 1994 in den operationellen Betrieb überführt. Da das System die Dosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke ganzjährig rund um die Uhr misst und überwacht, dient es der Beweissicherung für die Behörden und gegenüber der Öffentlichkeit. Ebenso ermöglicht es das Erkennen von Betriebsstörungen und Unfällen, da Erhöhungen gegenüber den natürlichen Dosiswerten im ENSI automatisch angezeigt werden. Bei einem Störfall unterstützt MADUK die Notfallorganisation bei der Bestimmung des betroffenen Gebietes und bei der Einschätzung der möglichen Massnahmen. Zudem trägt MADUK mit einem schnellen Datenaustausch zur erfolgreichen Zusammenarbeit mit den involvierten Behörden bei.

Das MADUK-Netz zur Messung der Dosisleistungen besteht aus insgesamt 57 Immissionsmessstationen in der Umgebung der vier Kernkraftwerke. Die Messsonden des MADUK-Systems komplettieren und ergänzen das gesamtschweizerische Messnetz zur Radioaktivitätsüberwachung, das mit dem NADAM-Netz auf weitere 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 ADPIC im ENSI. Die Darstellung B.2 zeigt die

Standorte der Messsonden in der Umgebung der Kernkraftwerke.

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

2.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung

Mitte des Jahres 2014 wurde die erneuerte MADUK-Zentrale sowie die MADUK-Bedienoberfläche operationalisiert. Im Oktober wurden die Erfassungsrechner für die ANPA/EMI-Daten in den KKW ersetzt sowie die Erfassungssoftware ebenfalls auf .NET migriert. Zudem wurde eine neue Administrationsoberfläche entwickelt, mit der die wichtigsten Arbeiten im Rahmen der Systemadministration sowie der Systemaufsicht vereinfacht durchgeführt werden können.

Es wurden zusätzlich im Hinblick auf den Ersatz des Reaktordruckbehälterdeckels in Beznau drei mobile gammaspektrometrische Messstationen ins MADUK-System integriert, mit denen zusätzliche Messungen in der näheren Umgebung von KKB durchgeführt werden können.

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

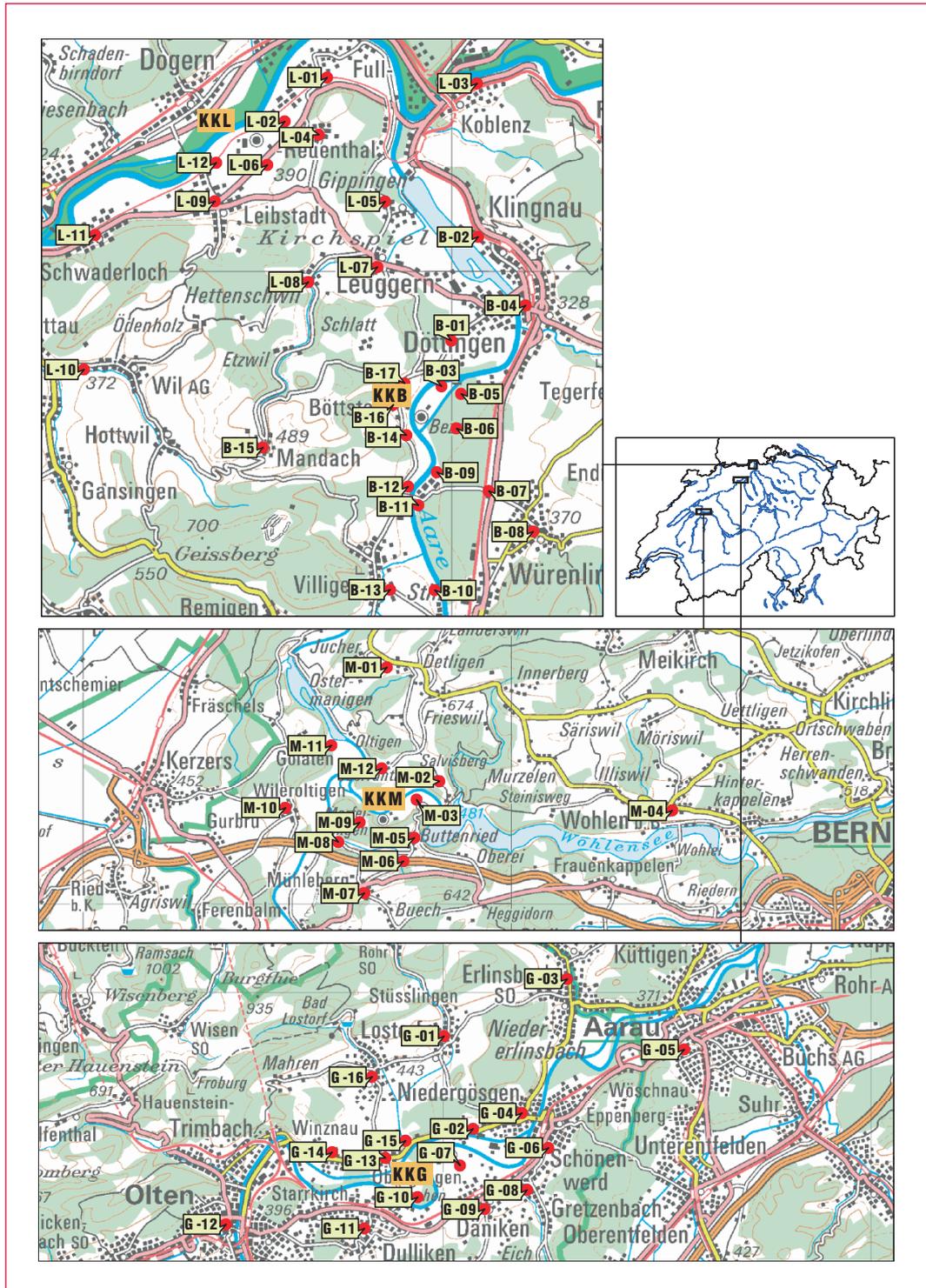
MADUK beurteilt: Systemstörungen, die zu wesentlichen Nutzungseinschränkungen des Systems geführt haben, werden als Ausfallzeit in Stunden erfasst.

Die permanente Übertragung der Anlageparameter erreichte insgesamt wiederum eine hohe Verfügbarkeit. Im Berichtsjahr führten vor allem geplante Unterhaltsarbeiten zu längeren Unterbrüchen. Bei KKB mussten die Erfassungsrechner des

MADUK-Sondenstandorte

Darstellung B.2:

Die vier Messringe von MADUK. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.



Station	Störungsdauer [h]	Permanenter Datenverlust [h]	Ursache
B-14	2.0	2.0	Blockierter Datenlogger
L-04	14.5	14.5	Blockierter Datenlogger
B-02	171.0	3.0	Defekte Kommunikationsleitung
G-05	19.5	19.5	Blockierter Datenlogger
G-12	53.5	53.5	Umbauarbeiten am Standort
B-12	8.5	8.5	Kabelverbindung zur Sonde
B-05	5.0	5.0	Defekte Messsonde
B-12	8.5	8.5	Blockierter Datenlogger
M-01	72.4	72.4	Defekte Messsonde
B-05	3.0	3.0	Defekte Messsonde
M-01	18.5	18.5	Defekte Messsonde
B-12	49.0	46.0	Defekte Messsonde
L-08	142.0	24.0	Kommunikationsstörung, blockierter Datenlogger

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

ENSI vor Ort in Folge von Arbeiten am Stromnetz im Bürogebäude im ersten Quartal 63,5 Stunden und im zweiten Quartal 4 Stunden heruntergefahren werden. Im vierten Quartal kam es zu Unterbrüchen aufgrund von Erneuerungsarbeiten an der Kamininstrumentierung (11,6 Stunden für KKB1, 30 Stunden für KKB2). Bei KKG fiel die Datenübertragung im ersten Quartal aufgrund eines defekten Kommunikationsrouters während 63 Stunden aus. Im 2. Quartal wurden zwei kurze Unterbrüche von 2,3 bzw. 1,2 Stunden registriert. Bei KKM führten Unterhaltsarbeiten während der Jahresrevision im dritten Quartal zu einem Unterbruch von 2,6 Stunden. Eine Softwarestörung im vierten Quartal hatte einen Unterbruch von 11,6 Stunden zur Folge. Im Oktober wurden sämtliche Erfassungssrechner des ENSI ersetzt, die sich in den Anlagen befinden. Dabei wurde auch die Erfassungsoftware migriert. Dies hatte Unterbrüche von 5 Stunden bei KKB, 0,7 Stunden bei KKG, 1,7 Stunden bei KKL und 7 Stunden bei KKM zur Folge.

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 2014 grösstenteils zuverlässig. In der zweiten Jahreshälfte waren in kurzer Zeit mehrere Defekte an Messsonden zu verzeichnen, die teilweise durch Dritte verursacht wurden. Zwischenzeitlich waren sämtliche Reservemesssonden im Einsatz. Es kam zu diversen Kommunikationsunterbrüchen zu den Messstationen, deren Ursachen nicht immer festgestellt werden konnten. Den längsten Kommunikationsunterbruch von 171 Stunden verursachte eine Telefonleitung, die bei Bauarbeiten beschädigt

wurde. Im Juli führte ein Gewitter im Raum KKL und KKB gleich bei drei Messstationen zu Defekten an den Routern. Bei der Station L-05 wurden ab Mitte Juni wieder öfter kurzzeitige Kommunikationsunterbrüche registriert, deren Ursache trotz Abklärungen durch den Provider nicht eruiert werden konnten. Bei der Station L-08 führte ein defekter Router zu einem Unterbruch von 142 Stunden. Im Berichtsjahr lag die gemäss Managementhandbuch des ENSI bestimmte Systemverfügbarkeit bei 99,6 % (Verfügbarkeit der ANPA- und EMI-Daten eingerechnet). Die Verfügbarkeit der Dosisleistungsdaten aller MADUK-Stationen im Archiv betrug 99,94 %.

2.4 Qualitätssicherung

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

In Anlehnung an die «Empfehlungen zur Sicherstellung der Messdatenqualität von Umgebungs-dosimetriesystemen» der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität vom 24. November 2004 werden die MADUK Sonden vor einem ersten Einsatz geeicht. Die Eichung hat eine dreijährige Gültigkeit. Das Messverhalten der Sonden wird zwischen den Eichungen mit halbjährlichen Genauigkeits-

tests 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 Sondenfunktionskontrolle auch für die Überprüfung der Datenübermittlung, der korrekten Archivierung im MADUK-Datenarchiv sowie der Alarmauslösung gemäss den festgelegten Schwellwerten benutzt. Im Jahr 2014 wurden eine Feld-eichung und eine Funktionsprüfung durchgeführt. Dabei erfüllten alle Sonden die Eich- bzw. die Prüfkriterien.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme werden Messungen mittels in-situ-Gammaspektrometrie im Feld durchgeführt. Im Jahr 2014 wurden Messungen bei den Sonden der Messringe Beznau und Mühleberg durchgeführt. Die Messwerte lagen im Bereich der früheren Jahre. Bei der Station B-08 lag die ^{238}U Aktivitätskonzentration oberhalb des statistischen Streubereichs von 30 %. Bei der Station B-13 lag die ^{137}Cs Aktivitätskonzentration wie bereits 2012 unterhalb des statistischen Streubereichs von 30 %. Dies könnte auf die Neugestaltung der Umgebung bei der Messsonde B-13 im Jahr 2010 zurückgeführt werden. Die Entwicklung der Messwerte an diesen Standorten wird beobachtet.

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 2014 bei keiner MADUK-Sonde zu wesentlichen Erhöhungen der Messwerte.

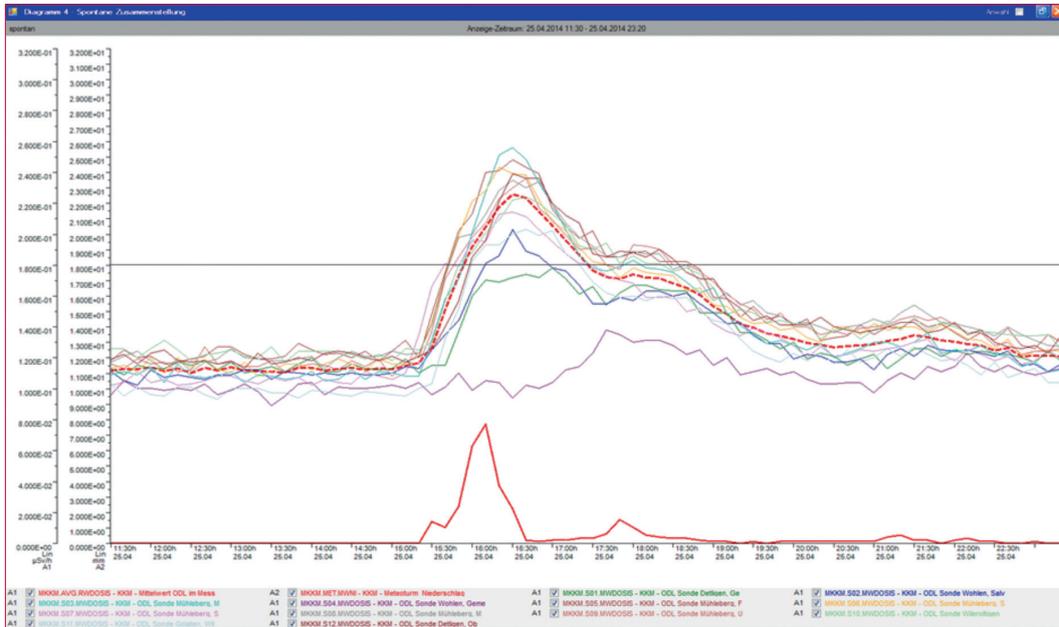
In der Tabelle B.5 sind alle Ereignisse aufgelistet, bei denen der Nettodosisleistungsschwellwert von 50 nSv/h überschritten wurde. Alle registrierten Erhöhungen waren auf lokal begrenzte Starkregen und deren Washout-Effekte zurückzuführen. Ein Zusammenhang mit dem Betriebsverhalten der Kernanlagen konnte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

Neben den in der Tabelle B.5 aufgeführten Nettodosisleistungsschwellwertverletzungen kam es beim Durchzug einer Gewitterfront in der Region Mühleberg am 25. April zwischen 16:00 und 17:20 Uhr zu einer Schwellwertverletzung des Ringmittelwertes von 180 nSv/h. Der maximale Ringmittelwert betrug 226 nSv/h. Bei der SwissMetNet-Station KKM der Meteoschweiz wurde während der Erhöhung Niederschlag mit der maximalen Intensität von 7,7 mm/10 min registriert. In den Darstellungen B.3 und B.4 sind die Verläufe der Ortsdosisleistungen und der Nettodosisleistungen dargestellt.

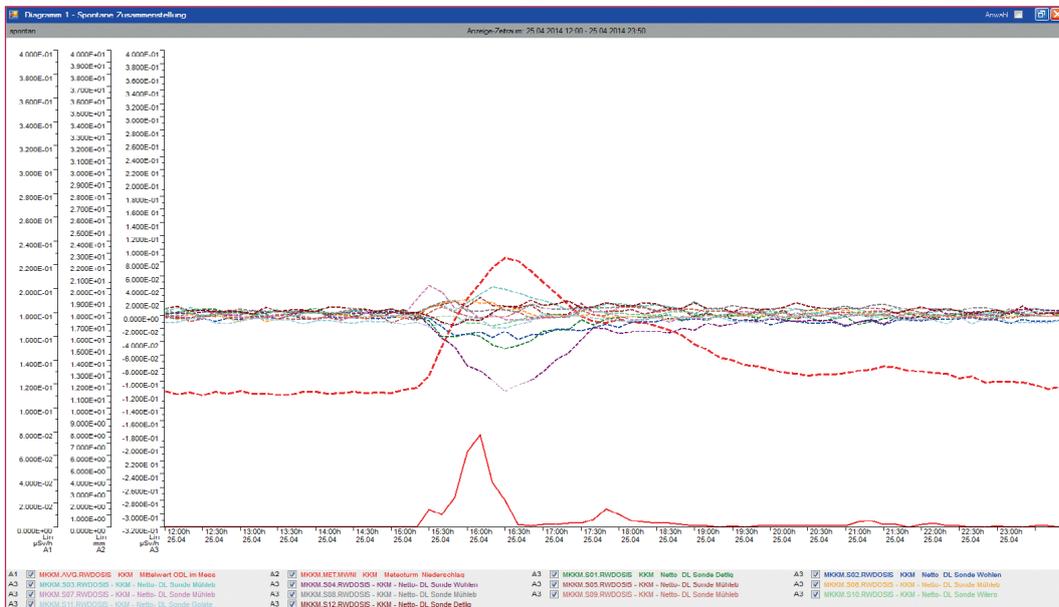
Die Darstellungen B.5 und B.6 zeigen die Maxima, die Minima und die Mediane der Tagesmittelwerte der jeweiligen Messringe im Berichtsjahr in den Umgebungen der Kernkraftwerke.

Tabelle B.5:
Auflistung der Nettodosisleistungsschwellwertüberschreitungen im Jahr 2014

Datum	Station	Dauer [h]	Max. NDl [nSv/h]	Max. ODL [nSv/h]
6.4.2014 04:10	L-02	2.0	103	206
6.4.2014 04:50	L-06	2.3	146	255
6.4.2014 08:20	G-15	1.3	94	196
25.4.2014 18:10	L-01	0.2	55	186
25.4.2014 18:00	L-11	0.7	57	196
26.4.2014 06:20	G-07	1.7	113	209
26.4.2014 22:50	G-06	0.2	53	197
30.4.2014 10:00	G-06	0.5	63	181
1.5.2014 06:50	L-02	1.9	75	172
15.11.2014 20:10	L-06	0.4	53	186
2.12.2014 00:00	L-12	0.2	54	154
2.12.2014 11:20	L-02	0.2	72	181

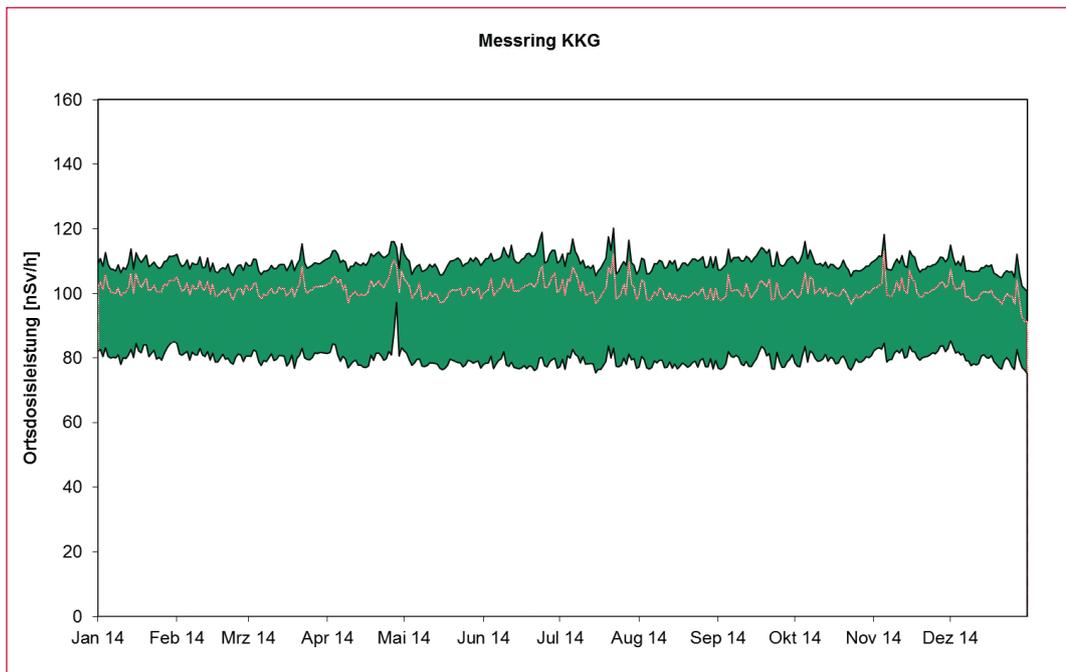
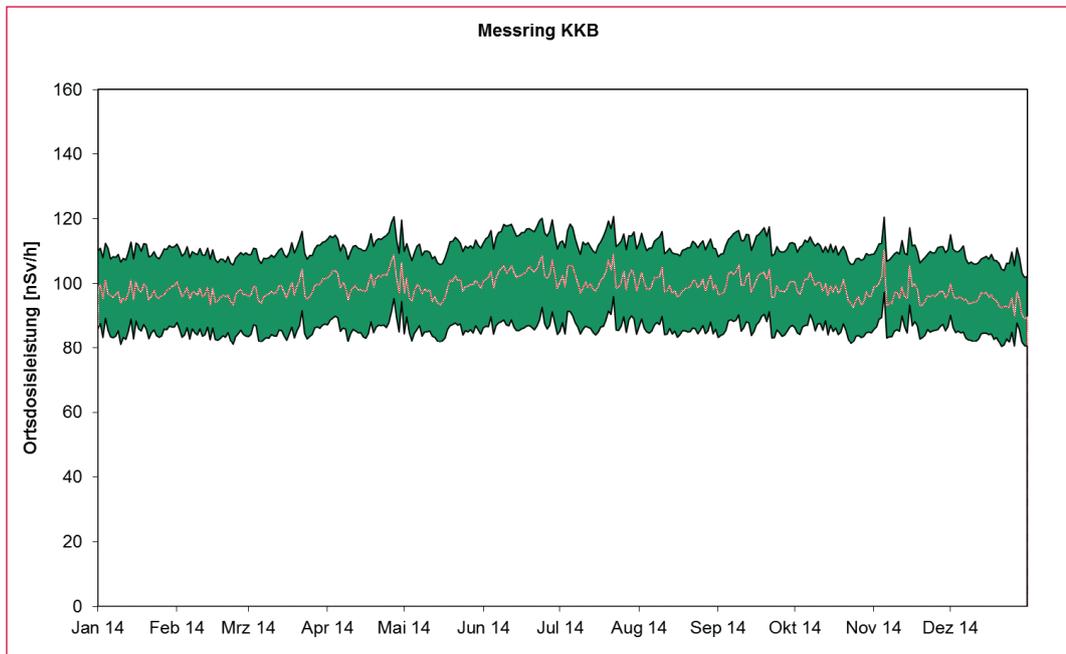


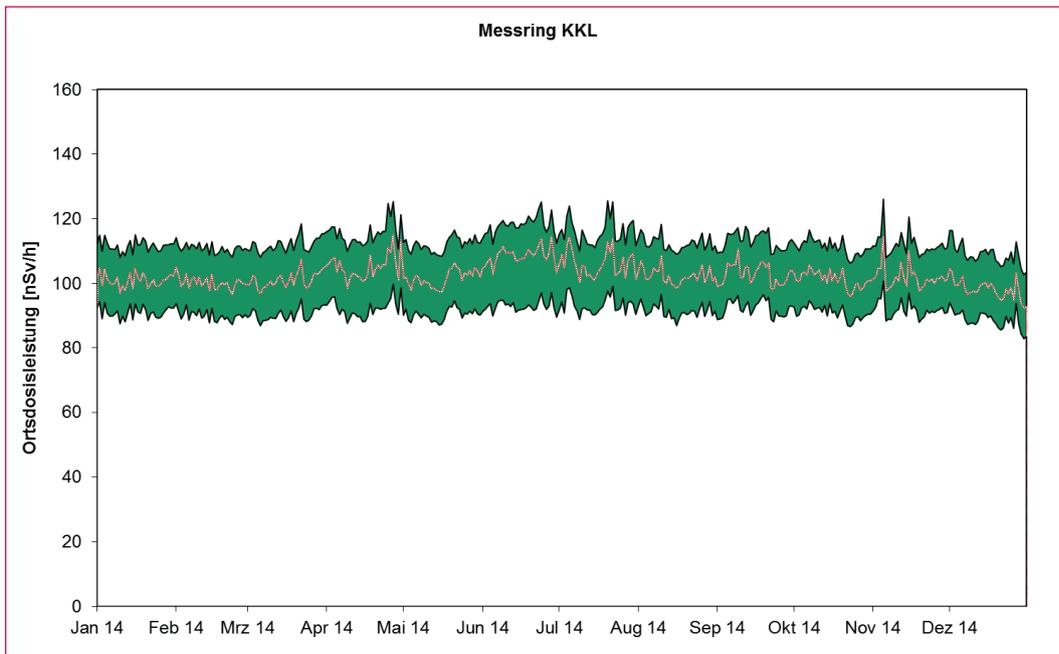
Darstellung B.3:
 Ortsdosisleistungen der Messstationen im Messringmittel (rot gestrichelt) und Niederschlag (rote Linie unten) am 25. April 2014.



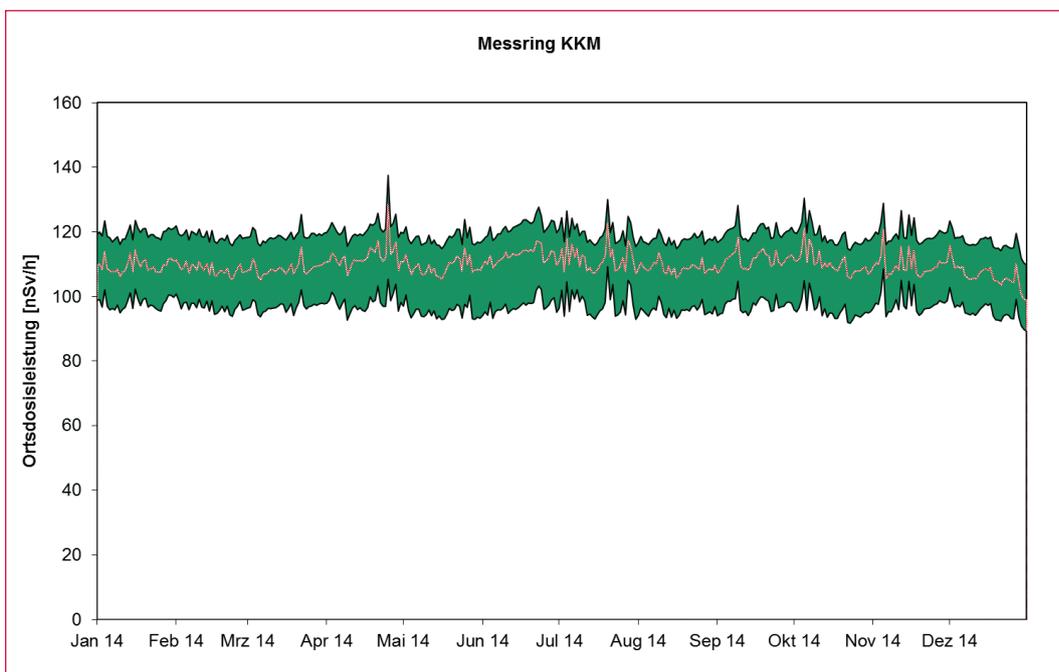
Darstellung B.4:
 Nettodosisleistungen der Messstationen im Messringmittel (rot gestrichelt) und Niederschlag (rote Linie unten) am 25. April 2014.

Darstellung B.5:
Wertebereiche aus
Tagesmittelwerten
für die Messringe
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 Eidgenössische Kommission für ABC-Schutz (KomABC) hat in ihrem Konzept hinsichtlich der atmosphärischen Ausbreitungsrechnungen bei Unfällen in Kernanlagen die heute vorhandenen Mittel beurteilt und die Anforderungen an die Resultate der Berechnungen sowie die Verfügbarkeit und den Einsatz der benötigten Modelle festgelegt. Da die Anforderungen der Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität nicht durch ein einziges Ausbreitungsmodell erfüllt werden können, sind spezifische Modelle für den lokalen (Zonen 1 und 2), regionalen (Zone 3 und grenznahe Ausland) und grossräumigen (fernes Ausland) Bereich notwendig. Die Beurteilung der radiologischen Gefährdung bildet die Grundlage für die Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung. Schutzmassnahmen sollten wenn möglich vorsorglich angeordnet werden. In der Vorphase, d.h. vor Freisetzungsbeginn, kann jedoch nicht auf Radioaktivitätsmessungen in der Umgebung zurückgegriffen werden. Die

Gefährdung muss vielmehr mittels Modellrechnungen auf Grund der aktuellen Situation in der Anlage und der vorherrschenden Wetterbedingungen in der Umgebung abgeschätzt werden. Modellrechnungen dienen insbesondere dazu, das potenziell gefährdete Gebiet abzugrenzen, die notwendigen Schutzmassnahmen festzulegen und die Messstrategie zu optimieren.

3.2 Atmosphärisches Ausbreitungsmodell ADPIC

Im Ereignisfall wird das komplexe atmosphärische Ausbreitungsmodell ADPIC (Atmospheric Diffusion Particle-In-Cell Model), welches Topographie und lokale Windverhältnisse berücksichtigt, eingesetzt. Seit Mitte 2011 werden für Anwendungen in der unmittelbaren Umgebung der schweizerischen Kernanlagen standardmässig die 3D-Windfelder des 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 Gösgen. Für einen operationellen Einsatz des Modells in der Schweiz waren umfangreiche Anpassungen notwendig, insbesondere bezüglich On-line-Meteorodaten-Erfassung, dreidimensionale Windfelddaten und Visualisierung der Ergebnisse.

Aktueller Stand

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

- Routinemässige Berechnungen mit einer Einheitsquelle (1 Bq/s ^{137}Cs) werden automatisch rund um die Uhr im Stundentakt und für drei verschiedene Freisetzungshöhen durchgeführt.
- Im Ereignisfall (und bei Übungen) sind störfall-spezifische Berechnungen spätestens innerhalb einer Stunde nach der Einsatzbereitschaft der ENSI-Notfallorganisation zu erwarten.

Der Hauptzweck der *Routineberechnungen* ist die Sicherstellung der dauernden Verfügbarkeit des Systems und die Überwachung der aktuellen Ausbreitungssituation (Prognosen über die nächsten 6 Stunden). Zudem können Routineberechnungen auch im Ereignisfall – insbesondere in der Anfangsphase, z.B. bei einem schnellen Störfall – für eine erste Beurteilung verwendet werden.

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

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

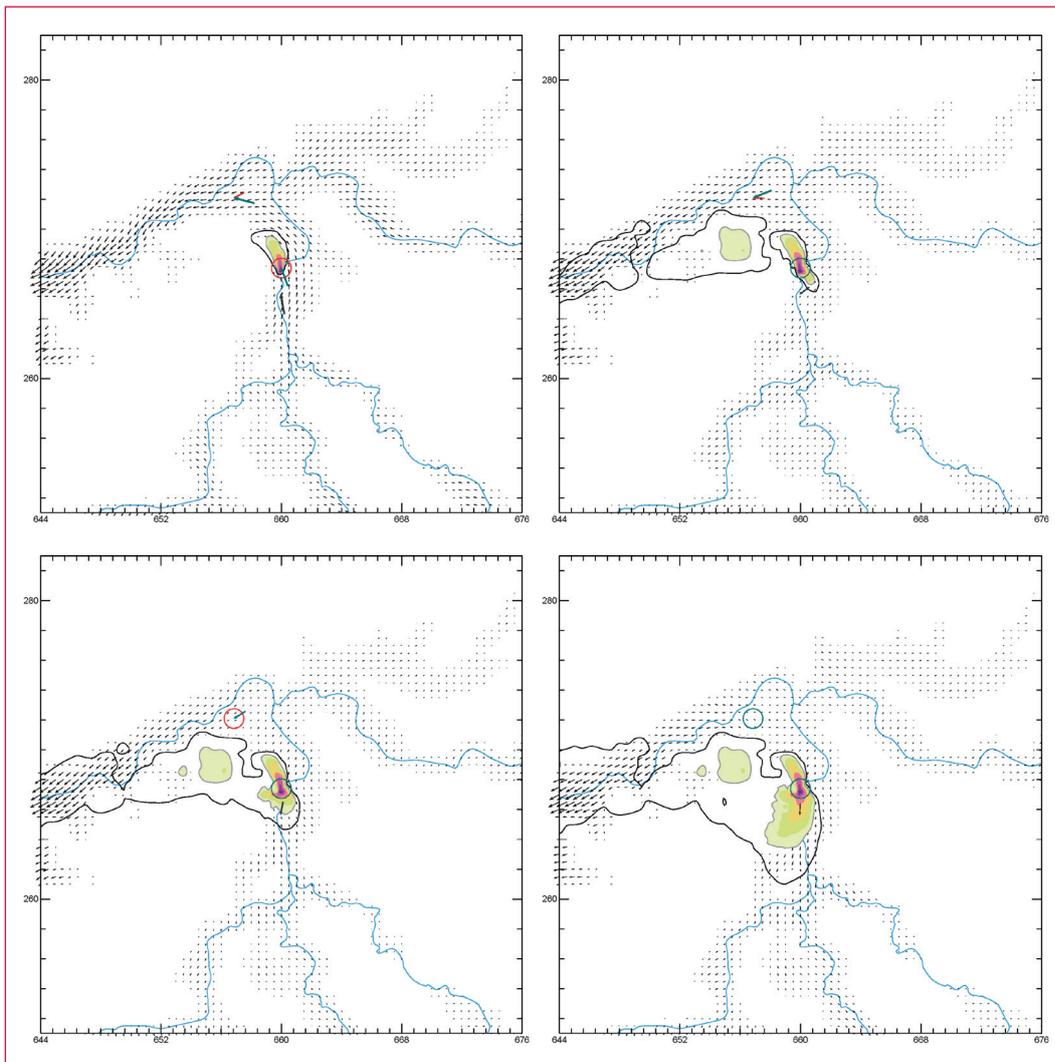
ADPIC wird seit 2012 nicht mehr weiterentwickelt und soll gemäss Planung ab Mitte 2015 durch das System JRODOS/LASAT (siehe Kapitel 3.3) abgelöst werden.

Beispiele von ADPIC/COSMO-Berechnungen

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

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



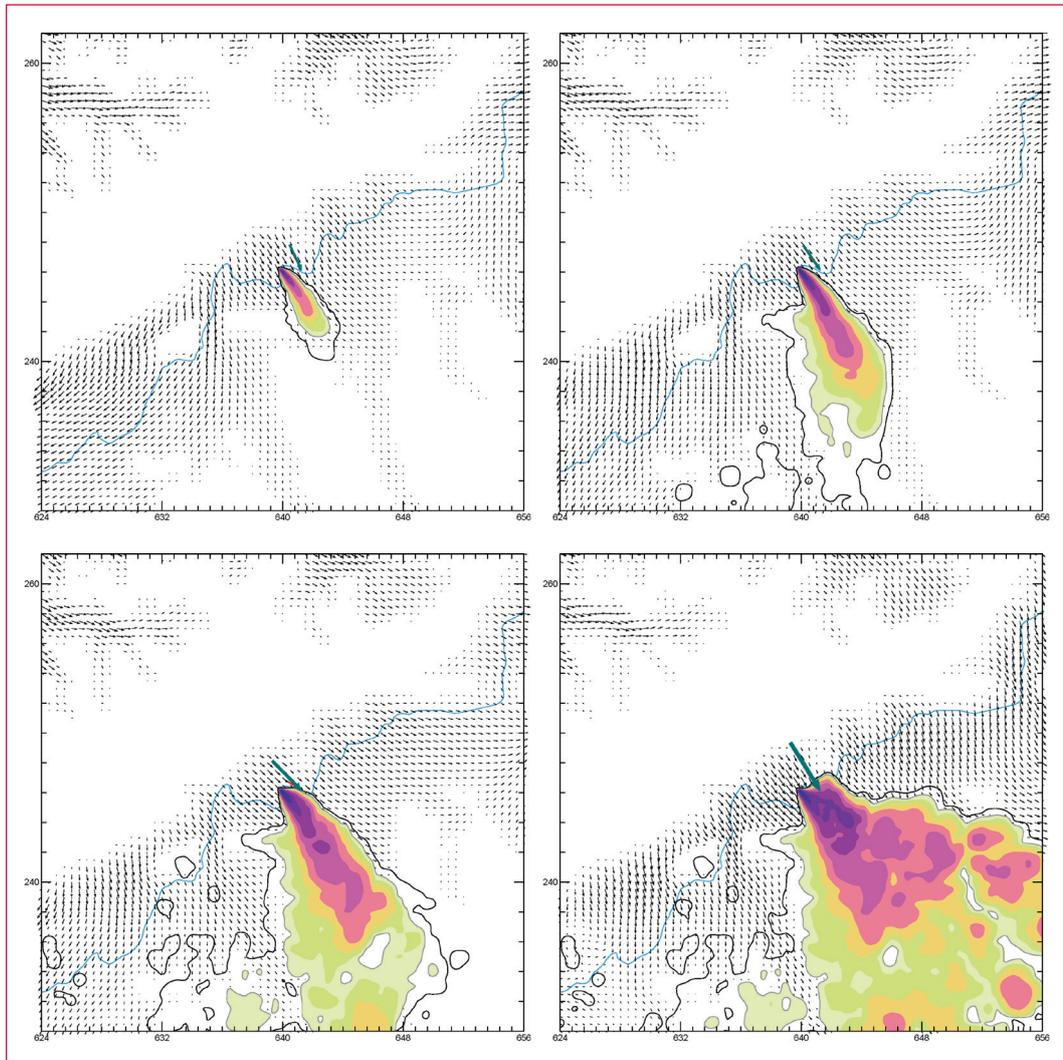
Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 19. Januar 2015 um 7:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 10 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden.

Ausbreitungssituation um 8:40 Uhr (links oben), 10:40 Uhr (rechts oben), 11:40 Uhr (links unten) und 13:00 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)



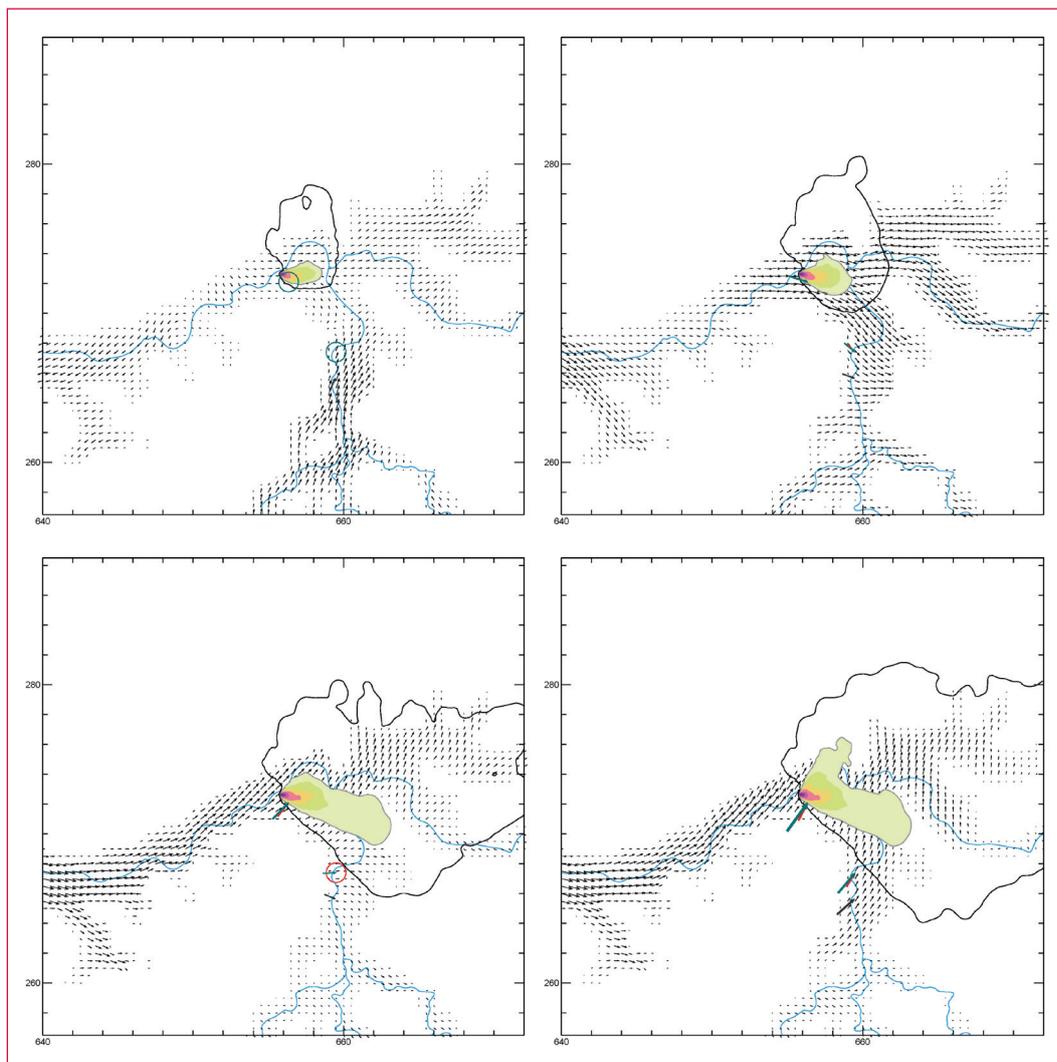
Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 25. Januar 2015 um 14:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 50 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden.

Ausbreitungssituation um 14:40 Uhr (links oben), 16:00 Uhr (rechts oben), 17:20 Uhr (links unten) und 19:30 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

Vordergrund: Integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit

Hintergrund: 3D-Windfeld auf 500 m über Meer

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



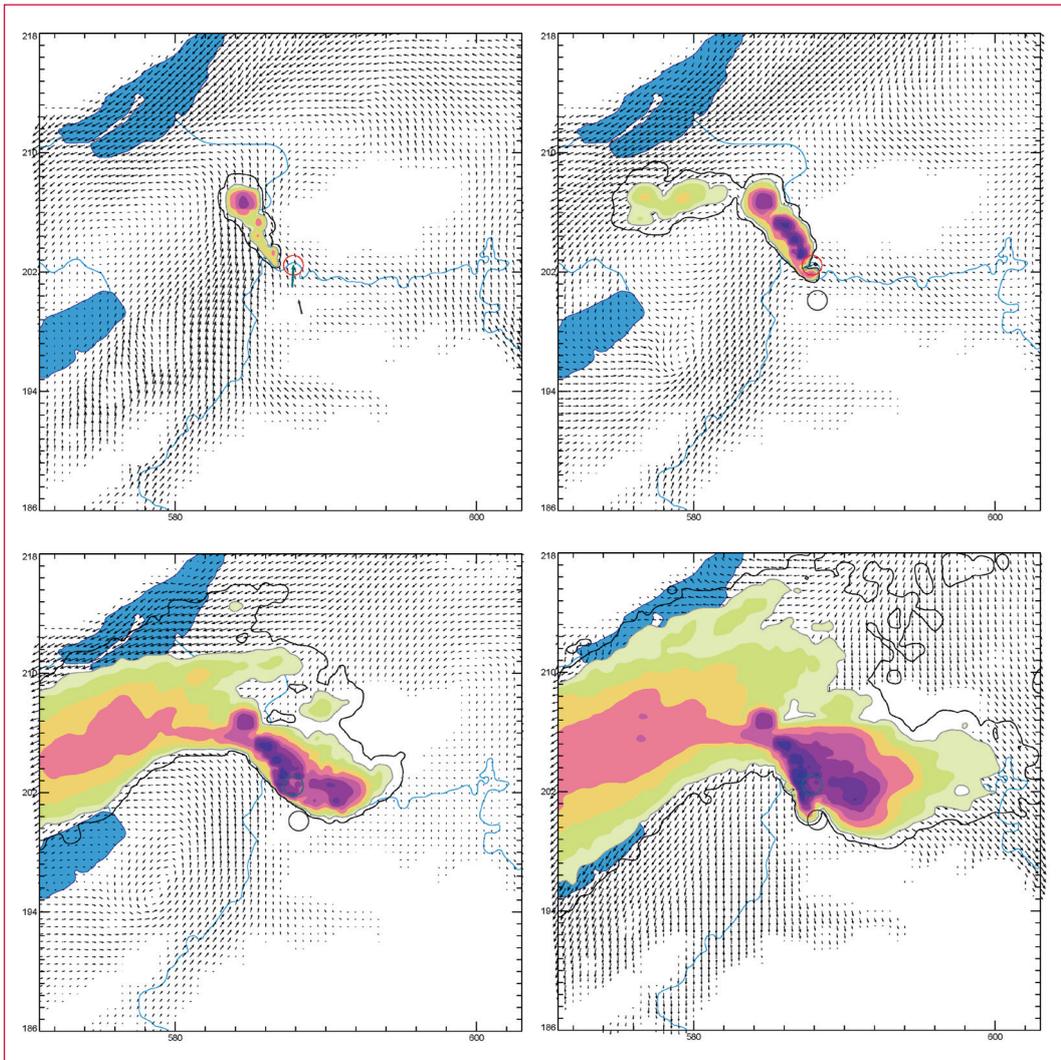
Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 22. Januar 2015 um 11:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 10 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden.

Ausbreitungssituation um 12:40 Uhr (links oben), 13:40 Uhr (rechts oben), 15:00 Uhr (links unten) und 16:10 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 18. Januar 2015 um 8:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 50 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden.

Ausbreitungssituation um 9:00 Uhr (links oben), 10:30 Uhr (rechts oben), 12:00 Uhr (links unten) und 13:50 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

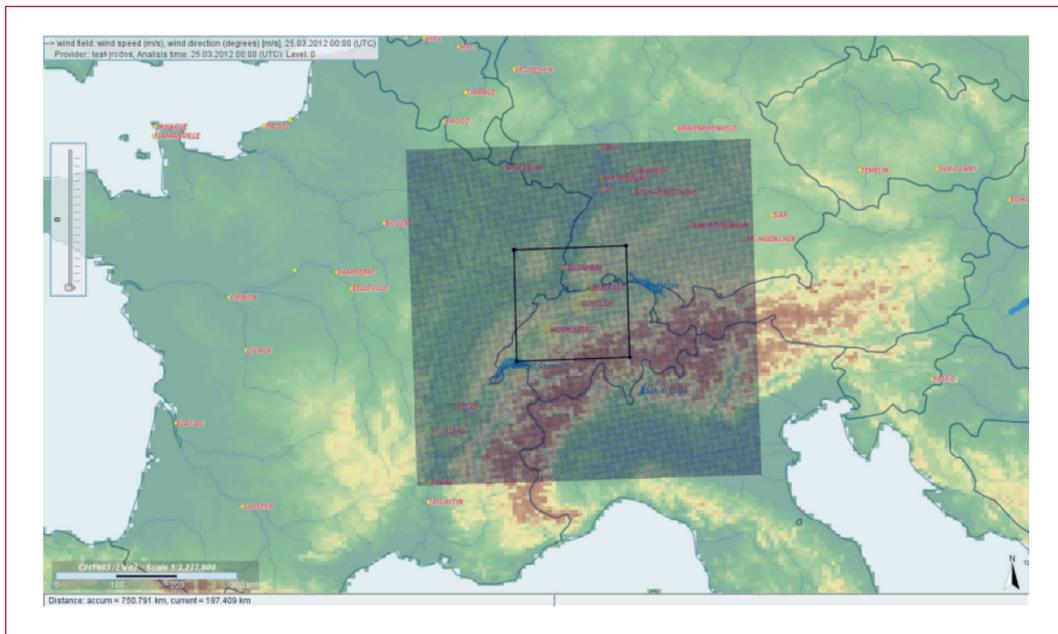
Vordergrund: Integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit

Hintergrund: 3D-Windfeld auf 600m über Meer

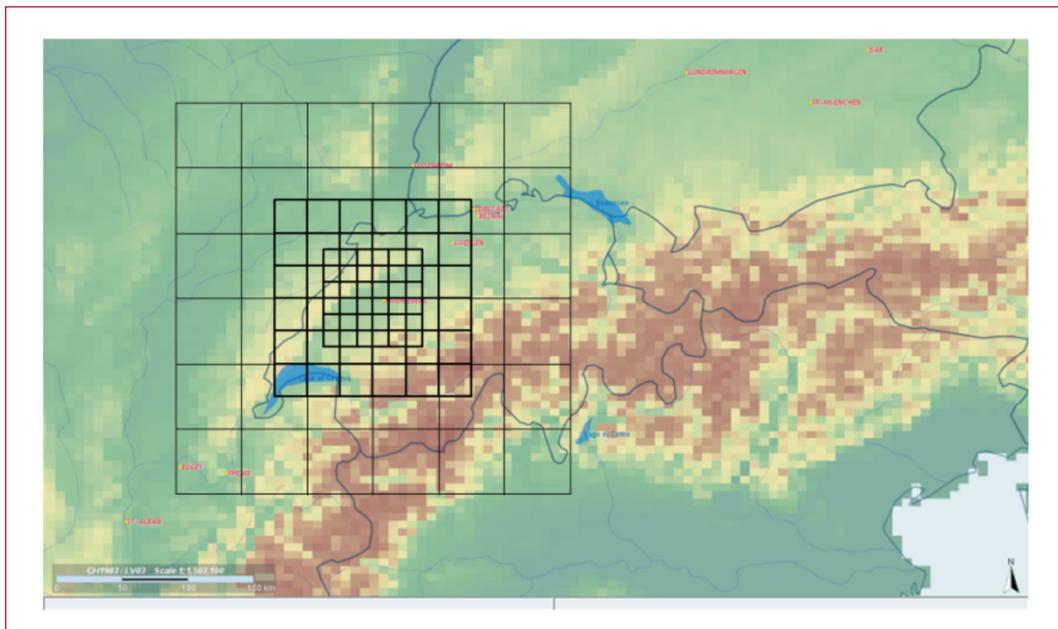
3.3 Projekt RADUK

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

Das zukünftige Ausbreitungsrechensystem JRODOS/LASAT soll ab Anfang 2015 operationell sein und im Parallelbetrieb mit dem bestehenden ADPIC-System laufen. Der Übergang auf das neue System und damit die Ablösung von ADPIC ist für Mitte 2015 geplant. Eine wesentliche Neuerung stellt die Erweiterung des Rechengebiets von gegenwärtig maximal 64 x 64 km² auf 500 x 500 km² dar (siehe Darstellung B.11), wobei für den Nahbereich um eine Kernanlage die orografische Auflösung von 250 m beibehalten wird. Das Rechengitter wird eine Schachtelung von unterschiedlich aufgelösten Gebieten (sog. «Nesting», siehe Darstellung B.12) aufweisen, was Simulationen mit grossen Abwindstrecken innerhalb von für den Notfallschutz akzeptablen Rechenzeiten ermöglicht.



Darstellung B.11: Die innere Zelle zeigt das mit meteorologischen Daten abgedeckte Gebiet über 96 x 96 km². Um eine 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.

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. Im vergangenen Jahr wurde JRODOS von dessen Entwicklern im Hinblick auf einen Einsatz in der Notfallorganisation des ENSI z.T. stark adaptiert und erweitert. Dies beinhaltet u.a. die Verwendung von landesspezifischen Daten (Prognosedaten der MeteoSchweiz, Landeskoordinaten, Karten von SwissTopo, Extrapolationszeiten, etc.) und Verbesserungen hinsichtlich Rechenzeit. In JRODOS wird für die eigentliche Ausbreitungsrechnung das Programm LASAT verwendet. Bei LASAT handelt es sich um ein validiertes Lagrange'sches Partikelmodell nach der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3. Ausgehend von den Anforderungen des ENSI wurde auch LASAT von seinen Entwicklern z.T. wesentlich überarbeitet und verbessert, insbesondere hinsichtlich Parallelisierung. 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 2016 durch die Weiterentwicklung des COSMO-Modells auf eine Gittermaschenweite von 1,1 km weiter erhöht. 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 den beiden Partnerorganisationen NAZ und ENSI. Im kommenden Jahr sind die Schulung der Benutzer, die Operationalisierung des ganzen Systems und die Einbindung in die Notfallorganisation des ENSI vorgesehen. Nach weiteren Tests in der ersten Hälfte 2015 soll das System ab Mitte Jahr in der Notfallorganisation operationell sein und anlässlich der Gesamtnotfallübung im Herbst 2015 erstmals im Rahmen einer Übung eingesetzt werden.

4. Aeroradiometrische Messungen

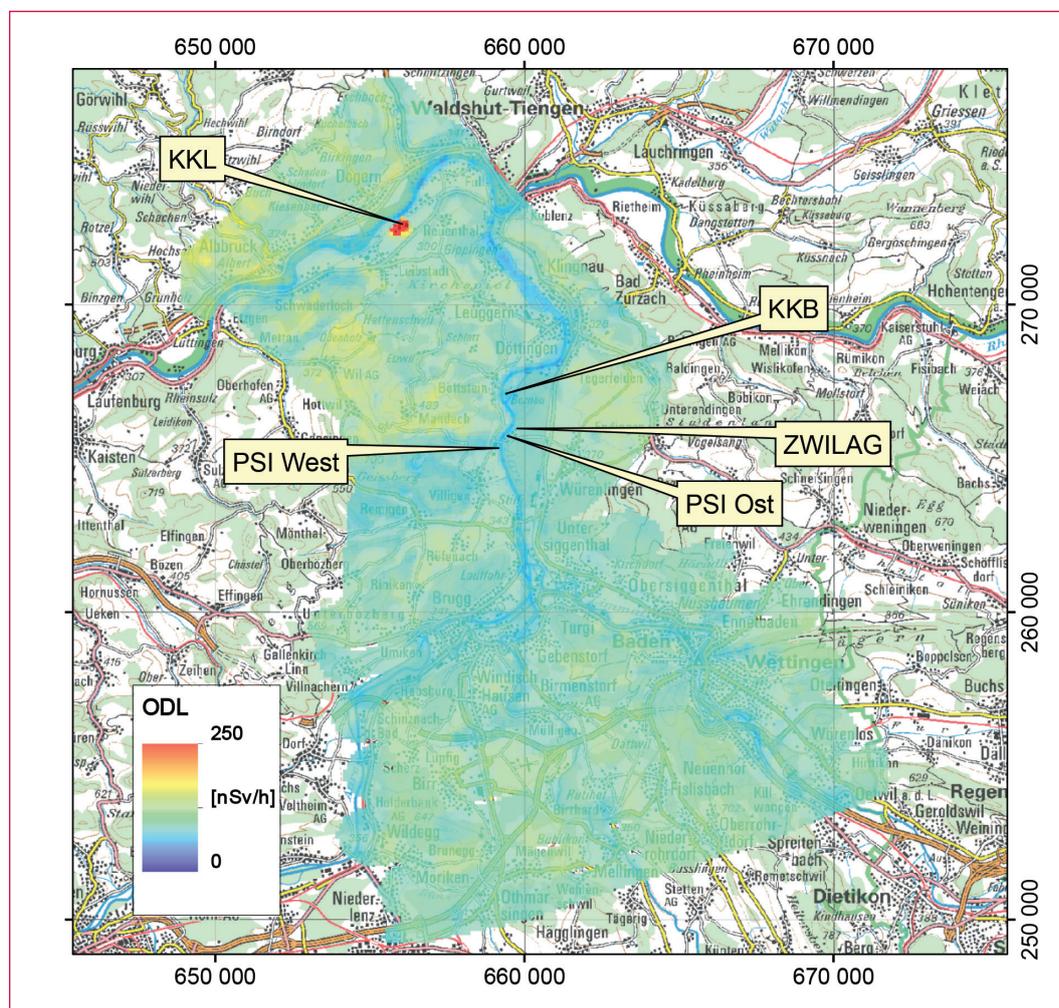
4.1 Einleitung

Aeroradiometrische Messungen in der Schweiz begannen 1986. Methodik und Software für Kalibrierung, Datenerfassung, Datenverarbeitung und Kartendarstellung wurden am Institut für Geophysik der ETH Zürich entwickelt (Schwarz 1991). In der Zeit von 1989 bis 1993 wurde die Umgebung der schweizerischen Kernanlagen jährlich aeroradiometrisch auf einer Fläche von jeweils rund 50 km² vermessen. Im Jahre 1994 ging man zu einem Zweijahresrhythmus über, wobei seither abwechselungsweise zwei bzw. drei Gebiete mit Kernanlagen vermessen werden. 1992 und 1995 wurden ebenfalls am Institut für Geophysik der ETH Zürich zwei neue Messgeräte gebaut (16,8 und 4,0l Detektoren).

Seit den Messflügen 2001 kommt eine neu entwickelte online Datenauswertungs- und Kartierungssoftware zum Einsatz (Bucher 2001).

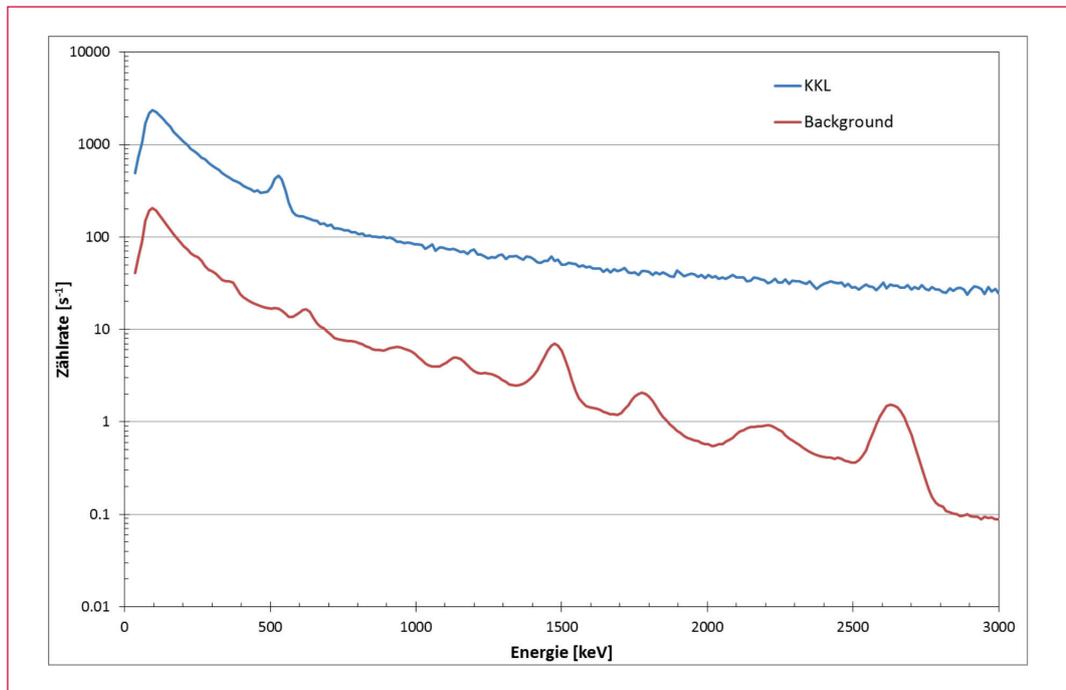
Im Jahre 1994 wurde die Aeroradiometrie in die Einsatzorganisation Radioaktivität des Bundes integriert. Als mögliche Einsatzfälle stehen Transport- und Industrieunfälle mit radioaktivem Material, KKW-Störfälle, Abstürze von Satelliten mit Nuklearreaktoren und «Dirty Bombs» im Vordergrund. Die jährlichen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



Darstellung B.13:
Ortsdosisleistung 2014 im Messgebiet KKB/KKL/ZWILAG/PSI und im Sektor 2 der Zone 2 von KKB/KKL. Kartendaten PK200[®] Bundesamt für Landestopografie.

Darstellung B.14:
 Photonenspektrum 2014 im Bereich des Maschinenhauses des KKL im Vergleich zum Background ausserhalb des Betriebsareals. Die Erhöhung der Zählraten im gesamten Energiebereich ist auf Streustrahlung der hochenergetischen Gammalinien des ^{16}N zurückzuführen.



tem integriert. 2006 wurde ein zweiter Detektor mit 16,8l Volumen beschafft, kalibriert und bei den Messflügen 2007 erstmals eingesetzt. Im Jahre 2010 (Bucher et. al, 2010) wurde mithilfe der Auswertung der Langzeitdaten die Nachweisgrenze der Messmethode ermittelt: 0,02 $\mu\text{Sv/h}$ werden in 95 von 100 Fällen erkannt (Vertrauensbereich 95 %). Dies entspricht ungefähr 20% der natürlichen externen Strahlung.

4.2 Messungen und Messresultate 2014

Bei den Messflügen im Juni 2014 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie der Zwischenlager Würenlingen AG (ZWILAG) und der Forschungsanstalt Paul Scherrer Institut (PSI) abgedeckt. 2014 wurde zum zweiten Mal auch auf deutscher Seite bei KKL Messungen durchgeführt. Weiter wurden Brugg, Windisch, Baden, Wettingen, Winterthur, Schaffhausen sowie Sektor 2 in der Zone 2 von KKB/KKL befliegen. Zudem wurde in Frauenfeld zusammen mit den kantonalen Einsatzkräften von Zürich die Quellsuche geübt. Mit einem Profil von St. Gallen ins Vicosoprano wurden die Messungen für eine Übersichtskarte der Schweiz ergänzt. Im Folgenden werden nur die Resultate der Messungen in der Umgebung der Kernanlagen diskutiert.

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

Im Gegensatz zu KKB können am Standort von KKL in der Darstellung B.12 erhöhte Messwerte erkannt werden. Das KKL mit seinem Siedewasserreaktor konnte anhand gestreuter, hochenergetischer Photonenstrahlung erkannt werden (Darstellung B.14). Diese Strahlung wird durch das Aktivierungsprodukt ^{16}N erzeugt, welches bei Siedewasserreaktoren durch die Frischdampfleitung in die Turbinen im Maschinenhaus gelangt. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise gering abgeschirmt ist, kann die hochenergetische Gammastrahlung des ^{16}N aus der Luft gut gemessen werden. Ausserhalb des Betriebsareals sind keine erhöhten Werte erkennbar.

Die Ergebnisse im Sektor 2 der gemeinsamen Zone 2 von KKB und KKL sind sehr ähnlich zu denen in der unmittelbaren Umgebung des KKB/KKL und weisen keine Besonderheiten auf. Die 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.

Herausgeber

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

Zusätzlich zu diesem Strahlenschutzbericht...

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

ENSI-AN-8780
ISSN 1661-2906

© ENSI, Juni 2015

ENSI-AN-9258
ISSN 1661-2906

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

