



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 2013

Strahlenschutzbericht 2013

Rapport sur la radioprotection 2013

Radiological Protection report 2013

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)	14
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	23
4. Dosimetrie	27
4.1 Einleitung	27
4.2 Personendosimetrie	27
4.3 Jobdosimetrie	49
4.4 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen	51
4.5 Erwartete Entwicklung der Exposition	52

B: Umweltradioaktivität bei Kernanlagen, Überwachung	55
1. Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen	55
1.1 Emissionen aus den Kernanlagen	55
1.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung am Perimeter der Kernanlagen	65
2. Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)	67
2.1 Übersicht	67
2.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung	67
2.3 Systemverfügbarkeit und Störungen	68
2.4 Qualitätssicherung	69
2.5 Messergebnisse	70
3. Atmosphärische Ausbreitung	75
3.1 Modellberechnungen im Ereignisfall	75
3.2 Atmosphärisches Ausbreitungsmodell ADPIC	75
3.3 Projekt RADUK	81
4. Aeroradiometrische Messungen	83
4.1 Einleitung	83
4.2 Messungen und Messresultate 2012	84
4.3 Literatur	85

Vorwort

Radioaktivität aus Kernanlagen wird in der Öffentlichkeit teilweise als gefährlicher eingestuft als solche natürlicher Herkunft oder aus medizinischen Anwendungen, obwohl sich dies wissenschaftlich nicht begründen lässt. Die Betreiber von Kernanlagen sind bemüht, ihre Abgaben möglichst weit unterhalb der behördlich festgelegten Limiten zu halten. Diese sind so gewählt, dass der vom Bundesrat in der Strahlenschutzverordnung festgelegte Grenzwert für die Strahlenexposition der Bevölkerung auch bei sehr ungünstigen Annahmen eingehalten ist.

Der vorliegende zehnte Jahresbericht Strahlenschutz des ENSI fasst die Abgaben radioaktiver Stoffe aus schweizerischen Kernanlagen zusammen und bewertet diese. Alle Kernanlagen haben 2013 die Limiten mit teilweise sehr grossen Reserven eingehalten. Zu vermerken ist aber, dass die Abgaben von Iod über die Luft im Kernkraftwerk Leibstadt infolge eines Brennelementschadens merklich höher sind als in den Vorjahren. Weiterhin Optimierungsbedarf gibt es bei den radioaktiven Abgaben des Kernkraftwerks Mühleberg über den Wasserpfad. Diese Abgaben haben aber gemäss Bundesamt für Gesundheit (BAG) keine gesundheitlichen Auswirkungen¹; selbst wenn das Fluss- oder Seewasser als Trinkwasser verwendet wird.

Die Emissionen und Immissionen der schweizerischen Kernanlagen sind, abgesehen von der erwähnten Erhöhung bei den gasförmigen Iod-Abgaben im KKL, mit den Vorjahren vergleichbar und führen bei Kleinkindern in der unmittelbaren Umgebung von Kernanlagen jährlich zu einer Dosis von weniger als 0,01 mSv. Der Hauptbeitrag stammt dabei vom radioaktiven Kohlenstoffisotop ¹⁴C, das im Reaktor durch Kernreaktionen von Neutronen mit Stickstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff entsteht. Einen entscheidenden Beitrag zu diesen tiefen Abgabewerten hat der sehr pflichtbewusste und verantwortungsvolle Strahlenschutz, der in den Kernanlagen betrieben wird.

¹ <http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/12128/14756/index.html?lang=de>

Die mittlere Individualdosis der beruflich strahlenexponierten Personen hat sich gegenüber den letzten Jahren nicht wesentlich geändert und liegt mit 0,6 mSv weit unterhalb des Grenzwerts für beruflich strahlenexponierte Personen (20 mSv) und der mittleren jährlichen Strahlendosis der Bevölkerung in der Schweiz (5,5 mSv). Die höchste Individualdosis von knapp 11 mSv hat eine Person akkumuliert, die Arbeiten in mehreren Kernanlagen ausführte. Damit liegen auch 2013 alle Strahlendosen der beruflich strahlenexponierten Personen im Aufsichtsbereich des ENSI klar unter dem vom Bundesrat festgelegten Grenzwert.

Den Arbeiten in hohen und variablen Strahlenfeldern sowie auch denen unter schwierigen Bedingungen (Lärm etc.) wird noch vermehrt Beachtung geschenkt. Dies zeigt beispielsweise der Einsatz von Funk- und Teledosimetern sowie das Üben an «Mock-Ups». Das ENSI kommt zum Schluss, dass in den schweizerischen Kernanlagen weiterhin ein sehr konsequenter Strahlenschutz betrieben wird. Messmittel spielen im Strahlenschutz eine sehr wichtige Rolle. Das ENSI überzeugt sich mittels Inspektionen und Vergleichsmessungen von Aerosol und Jodfiltern, von Abwasserproben sowie im Bereich der Personendosimetrie davon, dass die nötigen kalibrierten resp. geeichten Strahlenschutzmessmittel vorhanden sind, dass diese bestimmungsgemäss eingesetzt werden und dass korrekte Messwerte ermittelt werden.

Zur Überwachung der Umweltradioaktivität betreibt das ENSI seit vielen Jahren 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. Neu können auch mobile Lanthan-Bromid-Detektoren eingesetzt werden, falls das MADUK eine Erhöhung der Dosisleistung registrieren sollte. Damit kann ein Gamma-Spektrum am Ort der Erhöhung aufgenommen werden.

Das ENSI betreibt zudem eine nach ISO 17025 akkreditierte Prüfstelle, welche Proben aus Kernanlagen und aus deren Umgebung analysiert und Messungen im Feld durchführt. Die Daten der Umweltüberwachung werden ebenfalls im Jahresbericht des BAG veröffentlicht.

Im Bereich der Ausbreitungsrechnungen erfolgen stündlich Simulationsrechnungen für alle Kernkraftwerksstandorte. Dabei fließen jeweils 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

Bien qu'il ne se base sur aucun fondement scientifique, le public qualifie en partie la radioactivité provenant des installations nucléaires de plus dangereuse que la radioactivité d'origine naturelle ou issue d'applications médicales. Les exploitants d'installations nucléaires s'efforcent de maintenir leurs rejets largement en dessous des limites fixées par les autorités. Ces dernières sont établies de sorte que la valeur limite pour l'irradiation de la population, fixée par le Conseil fédéral dans l'ordonnance sur la radioprotection, soit respectée aussi en cas d'hypothèses très défavorables.

Le dixième et présent rapport annuel de radioprotection de l'IFSN récapitule et évalue les rejets de substances radioactives venant des installations nucléaires suisses. En 2013, toutes les installations nucléaires ont respecté les limites avec partiellement de très grandes réserves. A relever cependant dans la centrale nucléaire de Leibstadt une augmentation sensible par rapport aux années précédentes des rejets d'iode par l'air, suite à un endommagement des assemblables combustibles. Il subsiste par ailleurs un besoin d'optimisation concernant les rejets radioactifs de la centrale nucléaire de Mühleberg par le biais de l'eau. D'après l'Office fédéral de la santé publique (OFSP), ces rejets n'ont toutefois pas de conséquence pour la santé¹, même si l'eau de rivière ou l'eau du lac sont utilisées comme eau potable.

Indépendamment de l'augmentation des rejets d'iode gazeux, mentionnée pour la centrale nucléaire de Leibstadt, les émissions et immissions des installations nucléaires suisses sont comparables à celles des années précédentes et conduisent à une dose annuelle de moins de 0,01 mSv pour les enfants en bas âge vivant au voisinage immédiat d'installations nucléaires. La contribution principale provient ici de l'isotope de carbone radioactif ¹⁴C qui se forme dans le réacteur par des réactions nucléaires de neutrons avec de l'azote, du carbone et de l'oxygène. La radioprotection consciencieuse et responsable pratiquée dans les installations

nucléaires contribue de manière déterminante à ces faibles valeurs de rejet.

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 reste, avec 0,6 mSv, largement inférieure à la valeur limite fixée pour les personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession (20 mSv) ainsi qu'à la dose d'irradiation annuelle moyenne de la population en Suisse (5,5 mSv). La dose individuelle la plus élevée de 11 mSv a été accumulée par une personne ayant réalisé des travaux dans plusieurs installations nucléaires. Toutes les doses d'irradiation des personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession dans le domaine de surveillance de l'IFSN sont ainsi restées en 2013 clairement au-dessous de la valeur limite fixée par le Conseil fédéral.

Les travaux dans des champs de rayonnement élevés et variables ainsi que dans des conditions difficiles (bruit, etc.) font l'objet d'une attention soutenue. C'est ce que montrent par exemple l'utilisation de dosimètres à radiotransmission et de téledétecteurs ainsi que les essais sur des modèles («mock-ups»). L'IFSN en conclut qu'une radioprotection très systématique continue d'être mise en œuvre dans les installations nucléaires suisses.

Les instruments de mesure jouent un rôle très important en matière de radioprotection. L'IFSN s'assure que les instruments de mesure de la radioprotection calibrés, respectivement étalonnés, nécessaires sont présents, qu'ils soient correctement utilisés et que des valeurs de mesure correctes soient déterminées. Elle le fait grâce à des inspections et des mesures comparatives d'aérosols et de filtres iode, d'échantillons d'eaux usées ainsi que dans le domaine de la dosimétrie des personnes.

Pour surveiller la radioactivité de l'environnement, l'IFSN exploite depuis de nombreuses années un réseau automatique de mesures du débit de dose pour la surveillance dans l'environnement des centrales nucléaires (MADUK). Les débits de dose mesurés sont accessibles au public sur www.ifs.n.ch. Ils sont aussi mis à la disposition de la Centrale

¹ <http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/12128/14756/index.html?lang=fr>

nationale d'alarme, du Ministère de l'environnement du Bade-Wurtemberg et du «European Radiological Data Exchange Platform EURDEP» du «Joint Research Centre» de la Commission européenne. Depuis peu, des détecteurs lanthane-bromide mobiles peuvent aussi être utilisés au cas où le réseau MADUK enregistrerait une augmentation du débit de dose. Ainsi, il est possible d'enregistrer un spectre gamma sur le lieu de l'augmentation.

L'IFSN exploite en plus un organisme de vérification accrédité selon la norme ISO 17025, qui analyse des échantillons prélevés dans les installations nucléaires et leur environnement et réalise des mesures sur le terrain. Les données de la surveillance de l'environnement sont publiées également dans le rapport annuel de l'OFSP.

Dans le domaine des calculs de propagation, des calculs de simulation horaires sont produits pour tous les sites de centrale nucléaire au moyen des champs tridimensionnels actuels de vent de Météo-Suisse avec une résolution spatiale de 2 km. Les vols de mesure d'aéroradiométrie effectués chaque année permettent de disposer à tout moment d'instruments adaptés, précieux et précis pour l'évaluation actuelle (diagnostic) et une prévision de la situation radiologique.

Preface

To a certain extent, the public regard radiation from nuclear facilities as more dangerous than that from natural sources or medicinal applications even though there is no scientific justification for this view. Operators of nuclear facilities endeavour to keep radiation releases at a level much below the limits specified in law. The latter are defined in such a way that the limit set by the Swiss Federal Council in the Radiological Protection Ordinance for public exposure to radiation is not exceeded even if very unfavourable assumptions were to apply.

In its 10th Annual Report on Radiological Protection, ENSI summarises and analyses the release of radioactive materials from Swiss nuclear facilities. All nuclear facilities complied with the limits in 2013 and in some cases by a very large margin. Nevertheless, fuel rod damage at the Leibstadt nuclear power station did trigger significantly higher releases of airborne iodine than in previous years. In addition, the Mühleberg power station must further reduce its waterborne releases of radiation. However, the Swiss Federal Office of Public Health (FOPH) has confirmed that these releases would not have affected public safety¹, even if river or seawater had been used for drinking water.

With the exception of the aforementioned increase in the release of gaseous iodine from the Leibstadt NPP, emissions from Swiss nuclear facilities were comparable with previous years and the annual dose to which young children in the immediate vicinity of nuclear facilities were exposed was less than 0.01 mSv. The main element contributing to these releases is the radioactive carbon isotope ¹⁴C, which is produced in the reactor as a result of nuclear reactions of neutrons with nitrogen, carbon and oxygen. The low level of releases is to a large extent due to the diligence and responsible actions of nuclear facilities in the discharge of their obligations with regard to radiological protection. The mean individual dose for those exposed to

radiation during their work has not changed significantly in recent years and is at 0.6 mSv significantly below the limit for persons exposed to radiation during their work (20 mSv) and the mean annual dose for the Swiss population as a whole of 5.5 mSv. The highest individual dose was just under 11 mSv and affected one person who had worked in several nuclear facilities. As a result, all doses received by persons exposed to radiation during their work and subject to ENSI surveillance were significantly less than the radiation limit laid down by the Swiss Federal Council.

An increasing amount of attention is being given to work in high and variable radiation fields and to those working in difficult conditions (noise etc.). This is evident, for example from the use of wireless dosimetry and teledosimetry and the use of «mock-ups» for practice drills. ENSI has concluded that Swiss nuclear facilities continue to operate a consistent approach to radiological protection. Measuring equipment plays an extremely important role in radiological protection. Having conducted a range of inspections and comparative measurements of aerosol and iodine filters and wastewater sampling together with measurements in the field of personal dosimetry, ENSI has concluded that the required calibrated measuring equipment for radiological protection exists, that this equipment is correctly used and provides reliable test data.

For the purpose of monitoring environmental radioactivity, ENSI has for many years operated a network that automatically monitors dose rates in the vicinity of nuclear power plants (MADUK). The dose-rate measurements are displayed on the ENSI website at www.ensi.ch. The rates are also made available to the Swiss National Emergency Operations Centre, the Ministry of the Environment in Baden-Württemberg, Germany and EURDEP, the European Radiological Data Exchange Platform operated by the Joint Research Centre of the European Commission. In addition, it is now possible to deploy mobile lanthanum bromide detectors if MADUK registers an increase in dose rates. These detectors facilitate a gamma spectrum analysis in the event of a recorded increase.

¹ <http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/12128/14756/index.html?lang=de>

For many years, ENSI has maintained a test laboratory accredited under ISO 17025 that analyses samples from nuclear facilities and their immediate vicinity and also conducts field measurements. In addition, the environmental monitoring data is also published in the Annual Report of FOPH, the Swiss Federal Office of Public Health.

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

A: Strahlenschutz in den Kernanlagen

Die physikalische Überwachung der im Aufsichtsbereich des ENSI tätigen strahlenexponierten Personen erfolgt 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 un-

terhalb 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 jeweils alternierend ein Brennelementwechsel oder ein Revisionsstillstand

durchgeführt wird, sind neben den Kollektivdosen von 2013 auch die der beiden vorigen Jahre aufgeführt:

Aktionen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]		
	2013	2012	2011
Brennelementwechsel (2011, 2013)	85		104
Revisionsstillstand (2012)		544	
Leistungsbetrieb	40	40	39
Gesamte Jahreskollektivdosis	125	584	143

KKB 1

Aktionen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]		
	2013	2012	2011
Revisionsstillstand (2011, 2013)	220		399
Brennelementwechsel (2012)		56	
Zwischenabstellung		56	
Leistungsbetrieb	39	41	35
Gesamte Jahreskollektivdosis	259	153	434

KKB 2

Aktionen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]		
	2013	2012	2011
Revisionsstillstand und BE-Wechsel	305	81	503
Leistungsbetrieb	79	709	74
Gesamte Jahreskollektivdosis	384	790	577

Im Kalenderjahr 2013 wurde in den beiden Blöcken des KKB eine Kollektivdosis von 384,1 Pers.-mSv verzeichnet. Die höchste im KKB registrierte Individualdosis betrug 6,2 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 ⁶⁰Co festgestellt, die durch den Betrieb von kerntechnischen Anlagen bedingt war.

Der Block 1 wurde im Berichtsjahr am 28. Mai zum geplanten Brennelementwechsel abgefahren. Nach dem Wechsel wurde der Reaktor am 8. Juni erstmals wieder kritisch. Das Abfahren der Anlage verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden.

Im Vergleich mit den Jahren zuvor sind die Ortsdosisleistungen (ODL) an den Komponenten des Primärkreislaufs im Besonderen an den Hauptkühlmittelleitungen Closure Legs A und B im Mittel um ca. 6% gesunken. Der kontinuierliche Anstieg seit 2005 wurde damit unterbrochen. Die mittleren ODL an den Mänteln der Dampferzeuger zeigen wie in den vergangenen Jahren niedrige Werte. Ebenso liegen die ODL-Werte an den Hot Legs A und B weiterhin auf einem tiefen Niveau.

Die nuklidspezifischen Messungen der Kontamination an relevanten Leitungen im KKB 1 zeigen, dass die beiden Nuklide ⁶⁰Co und ⁵⁸Co dominierend sind. Weitere nachweisbare Nuklide (kurzlebige Aktivierungsprodukte) sind ⁵¹Cr, ⁵⁴Mn, ⁶⁵Zn, ⁵⁹Fe, ⁹⁵Nb/Zr, ^{110m}Ag, und ¹²⁴Sb. Weil Alphastrahler an frei zugänglichen Orten nachgewiesen werden konnten, wurden geeignete Messmittel beschafft und die Strahlenschutzmassnahmen angepasst.

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 85 Pers.-mSv. Die Planungs-dosis von 103 Pers.-mSv wurde somit um 18% un-

terschritten. Die tiefere Kollektivdosis kann auf eine Überschätzung der Anzahl erforderlicher Stunden für die Inspektion des Reaktordeckels zurückgeführt werden. Diese Arbeit wurde in diesem Umfang bis jetzt nur einmal im KKB durchgeführt. Hinreichende Erfahrungen lagen deshalb noch nicht vor und der Zeitaufwand für die Einzelschritte konnte nicht genau abgeschätzt werden.

Das ENSI hat während des Brennelementwechsels drei Inspektionen zu Strahlenschutzthemen durchgeführt, die alle mit «Normalität» bewertet wurden. Im Block 2 wurde im Berichtsjahr zwischen dem 16. August und 17. September die geplante Revisionsabstellung durchgeführt. Das Abfahren verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden.

Die akkumulierte Kollektivdosis betrug 220 Pers.-mSv. Die Planungs-dosis von 287 Pers.-mSv wurde somit um 23% unterschritten. Gemäss Aussage des KKB-Strahlenschutzes ist der hauptsächliche Grund für die deutliche Unterschreitung, dass nur Gerüstbaupersonal mit Erfahrung von Arbeiten in Kernkraftwerken eingesetzt wurde. Von Bedeutung ist aber auch, dass die ganze Revisionsabstellung aus Sicht des Strahlenschutzes problemlos durchgeführt werden konnte. Die ständige Überwachung und Begleitung der Arbeiten durch den Strahlenschutz hat bei den Dosiseinsparungen eine wichtige Rolle gespielt. 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 10% weiter angestiegen. Auf der heissen Seite (Hot Legs) beträgt die Zunahme ca. 5%.

Das ENSI hat während der Revisionsabstellung 7 Inspektionen zu Strahlenschutzthemen durchgeführt, die mehrheitlich mit «Normalität» bewertet wurden. Die am 24. August während der Arbeiten

am Zwischenkühlkreislauf inspizierten Belange wurden unter Anderem zweimal mit Abweichung (A) bewertet. Siehe dazu den ENSI-Aufsichtsbericht für das Jahr 2013.

Strahlenschutzinstrumentierung

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

Im Berichtsjahr hat das KKB das Messsystem zur Überwachung der Kaminfortluft hinsichtlich radioaktiver Aerosole in beiden Blöcken ertüchtigt. Die neuen Probennahmesysteme erfüllen nun die Anforderungen der ENSI-Richtlinie G13 hinsichtlich der Gesamtübertragungsraten für Partikel. Es ist geplant, die neuen Messsysteme im Jahr 2014 definitiv in Betrieb zu nehmen und die alten zurückzubauen.

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 2013 wurden im KKG folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Werte aus dem Jahr 2012):

Aktionen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	
	2013	2012
Revisionsstillstand	602	415
Leistungsbetrieb	69	78
Gesamte Jahreskollektivdosis	671	493

Im Kalenderjahr 2013 belief sich die Kollektivdosis im KKG auf 671 Pers.-mSv (2012: 493 Pers.-mSv). Die höchste im KKG registrierte Individualdosis betrug 9,2 mSv (2012: 6,5 mSv). Der Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr wurde deutlich unterschritten. Es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, die sich nicht mit einfachen Mitteln entfernen liessen. Es sind keine Inkorporationen aufgetreten.

Zwischen dem 4. Mai und dem 2. Juli 2013 war die Anlage für die Revision abgestellt. Bei den Arbeiten während des Revisionsstillstands wurden 602 Pers.-mSv akkumuliert, geplant waren 551 Pers.-mSv. Somit wurde der Planwert um 9% überschritten.

Die Anlage zeigte sich in einem radiologisch sehr sauberen und zonenkonformen Zustand. Die Dosierung von Zink in den Primärkreis wirkt sich auf den Dosisleistungspegel und die akkumulierten Personendosen positiv aus. Im Durchschnitt lag die Dosisleistung an ausgewählten Primärkomponenten um ca. 50% unter dem Wert, der zu Beginn der Zinkdosierung im Jahr 2005 ermittelt worden ist. Im Vergleich zum Vorjahrswert (48%) konnte also eine weitere Reduktion festgestellt werden.

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

Das KKG berichtet, dass beim Abheben des Reaktordeckels die maximale Luftkontamination in den Betriebsräumen des Containments innerhalb von etwa einer Stunde auf rund 150 Bq/m³ (0,3 CA) für das Nuklid ⁶⁰Co stieg. Die Konzentration von

¹³²I stieg kurzfristig auf 190 Bq/m³ (0,005 CA). Die Konzentration von ¹³²I konnte aber mit Hilfe der erweiterten Spülluftkapazität innerhalb von 5 Stunden auf weniger als 50 Bq/m³ gesenkt werden. Kurz danach wurde sogar weniger als 10 Bq/m³ erreicht. Die kontinuierliche Messung und Überwachung der ¹³¹I-Konzentration in der Luft zeigte keine Messwerte über 1 Bq/m³ (0,002 CA). Dies ist laut dem KKG auf die intakten Brennelemente in den letzten Betriebszyklen zurückzuführen.

Die Edalgaskonzentration erreichte bereits beim Entspannen des Reaktordeckels einen Maximalwert von ca. 9000 Bq/m³ (0,005 CA).

Die wichtigsten Arbeiten aus Sicht des Strahlenschutzes während der Revision 2013 waren Sanierungsarbeiten an Stützen eines Druckhalters, die Prüfungen der RDB-Bolzen und der Gewindesacklöcher, die Inneninspektion eines Druckhalters und des Druckhalter-Abblasebehälters, der Austausch von sechs Druckhalter-Heizstäben, die Containment Leckratenprüfung sowie das Öffnen und Schliessen des Reaktordruckbehälters mit den Brennelement-Servicearbeiten. Die Sanierung der Stützen des einen Druckhalters ergab eine Kollektivdosis von 68 Pers.-mSv, und lag damit unter der im Vorfeld abgeschätzten Kollektivdosis von 74 Pers.-mSv. Für die Arbeiten Brennelementwechsel, Beladen und Schliessen des Reaktordruckbehälters und Reaktorgrubenreinigung entsprachen die akkumulierten Kollektivdosen den vorgängig geschätzten Kollektivdosen oder lagen unter diesen Werte.

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

Die vom KKG im Vorfeld ergriffenen Massnahmen waren erfolgreich und haben zu einem unter den gegebenen Umständen guten radiologischen Zustand in der Anlage beigetragen. Insgesamt wurden mit rund 36 Tonnen Blei sehr umfangreiche Abschirmmassnahmen durchgeführt. Das KKG hat den Verlauf der Revision 2013 unter dem Gesichtspunkt der Optimierung gemäss StSV als gut bezeichnet.

Bei seinen Inspektionen konnte sich das ENSI davon überzeugen, dass im KKG ein wirksamer Strahlenschutz betrieben wird. Die Einteilung der Zonen

entsprach der radiologischen Situation. Das Strahlenschutzpersonal begleitete, wie in den Schichtplänen vorgegeben, die Arbeiten in der kontrollierten Zone. Das Verhalten des Personals in den eingerichteten Zonen und an deren Übergängen war diszipliniert und strahlenschutzkonform.

Strahlenschutzinstrumentierung

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

Neben den ENSI-Inspektionen wurden bestimmte Messsysteme im Rahmen von 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 2013 wurden im KKL folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Zahlen aus dem Jahr 2012):

Aktionen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	
	2013	2012
Revisionsstillstand	797	1914
Leistungsbetrieb	470	212
Gesamte Jahreskollektivdosis	1267	2126

Im Berichtsjahr belief sich die im KKL akkumulierte Kollektivdosis auf 1267 Pers.-mSv (TLD-Dosen). Die höchste registrierte Jahresindividualdosis betrug 8,9 mSv. Alle Individualdosen lagen unter dem Do-

sisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, die sich nicht mit einfachen Mitteln entfernen liessen. Inkorporationen von radioaktiven Stoffen oberhalb der Triageschwelle gab es ebenfalls keine.

Die Jahreshauptrevision dauerte vom 2. bis zum 27. September 2013. Während des Zyklus 29 (vor der Revision) ergaben die Abgas- und Reaktorwasseranalysen Hinweise auf Brennelement-Hüllrohrdefekte. Aus diesem Grund hatte das KKL beim Abfahren die Leistung in Intervallen abgesenkt, um eine Verschlechterung des radiologischen Zustands zu verhindern. Zudem hatte sich das KKL entschieden, dieselbe Abfahrprozedur wie im Jahr 2012 anzuwenden. Hierbei wurde die Wasserstoffeinspeisung parallel zur Leistung heruntergefahren und 10 h vor Abschalten des Reaktors beendet. Durch frühzeitiges Schliessen der Ventile zur Sekundäranlage konnte der Übertrag von Iod in das Maschinenhaus deutlich begrenzt werden. Andererseits wurden in der Sekundäranlage neue Hot Spots entdeckt und an einigen Stellen höhere Dosisleistungen angetroffen. Das KKL reagierte darauf mit Absperrungen und Kennzeichnung dieser Stellen oder mit Bergung bzw. Spülung. Das KKL hat sich vorgenommen, in den kommenden Jahren mit verschiedenen Massnahmen auf die Hot Spot Problematik zu reagieren.

Die Dosisleistungen an den Rezirkulationsschleifen waren im Mittel gegenüber dem Vorjahr leicht (um 10% auf 1,62 mSv/h) angestiegen. Ein solcher Anstieg war aufgrund der vor wenigen Jahren eingeführten OLNK und den ⁶⁰Co-Konzentrationswerten im Reaktorwasser während Leistungsbetrieb erwartet worden und wurde in der Strahlenschutzplanung berücksichtigt.

Die Dosisprognose für die gesamte Revision hatte 800 Pers.-mSv ergeben, tatsächlich wurden 797 Pers.-mSv gemessen. Trotz der BE-Schäden sowie einigen wenigen ausserplanmässigen Arbeiten lag die ermittelte Dosis innerhalb der Planungsunsicherheit von $\pm 10\%$. Die Kollektivdosisplanungen der einzelnen Jobs sind in vielen Fällen sehr gut ausgefallen; es wurden oft nur geringe Abweichungen von den geplanten Werten festgestellt. Es gab eine Arbeit mit mehr als 50 Pers.-mSv: Für die Prüfung der Mischschweissnähte an den RDB-N3-Stützen ergab die Strahlenschutzplanung 55 Pers. mSv; tatsächlich wurden 52 Pers.-mSv akkumuliert. Die detaillierte Strahlenschutzplanung hierzu wurde gemäss den Meldekriterien dem ENSI vor der Revision eingereicht. Der Einsatz von Funkdosi-

metern bei neuralgischen Arbeiten wie Taucherarbeiten in der Druckabbaukammer oder Austausch der Steuerstab-Antriebe hat sich sehr positiv auf die Strahlenschutzbegleitung ausgewirkt.

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

1.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2013 wurden im KKM folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Zahlen aus dem Jahr 2012):

Aktionen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	
	2013	2012
Revisionsstillstand	656	596
Zwei Zwischenabstellungen	16 9 resp. 7	–
Leistungsbetrieb	286	263
Gesamte Jahreskollektivdosis	958	859

Im Berichtsjahr belief sich die Kollektivdosis im KKM auf 958 Pers.-mSv. Die höchste im KKM ermittelte Individualdosis betrug 8,4 mSv (2012: 8,0 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.

Im Zyklus 2012/2013 musste der Reaktor zweimal unplanmässig abgestellt werden, um jeweils die Gleitringdichtung der Reaktorummwälzpumpe B auszutauschen. Beim ersten Wechsel, der vom 19. bis zum 22. Januar 2013 dauerte, wurden für sämtliche Arbeiten 9 Pers.-mSv akkumuliert. Beim zweiten, welcher vom 24. bis 27. Mai 2013 dauerte, ist eine Kollektivdosis von 7 Pers.-mSv angefallen.

Vom 11. August bis zum 8. September 2013 war die Anlage für die geplante Jahresrevision abgestellt. Die Kollektivdosis aller Mitarbeitenden im Revisionsstillstand 2013 lag bei 656 Pers.-mSv, die vom KKM vor Beginn der Arbeiten geplante bei 990,0 Pers.-mSv. Der Hauptgrund für die im Vergleich zur Planung geringere Kollektivdosis lag darin, dass für viele Arbeiten im Strahlenfeld weniger Zeit benötigt wurde als in der Planung vorgesehen war. Dank der auch im letzten Betriebszyklus schadenfreien Brennelemente war die Ausgangslage für die Revisionsarbeiten in der ganzen Anlage mit Ausnahme des Drywells radiologisch gesehen günstig. Im Drywell waren im Vergleich zu den Vorjahren die Dosisleistungen höher. Das KKM hat daraufhin zusätzliche Abschirmungen zu den bereits geplanten angebracht, sodass die Ortsdosisleistung

in den Arbeitsbereichen denen der Vorjahre entsprachen. Insgesamt wurden im Drywell 120 Tonnen Blei temporär zur Dosisreduzierung eingesetzt. Die mittlere Dosisleistung, der Mittelwert aus den Dosisleistungen von insgesamt 30 an den beiden Umwälzschleifen gemessenen Punkten, lag bei 1,8 mSv/h. Im Vergleich zu den Vorjahren ist ein kleiner, aber stetiger Anstieg der Dosisleistung erkennbar (2012: 1,71 mSv/h, 2011: 1,67 mSv/h, 2010: 1,67 mSv/h, 2009: 1,60 mSv/h).

Das ENSI inspizierte unter anderem die radiologische Situation bei den ZfP-Arbeiten an den RDB-Stützen N3A und N3B auf +18 m im Drywell, die Reinigung der Reaktorgrube bei der das Dekontpersonal mit Funkdosimetern bezüglich Individualdosis und der Dosisleistung vor Ort überwacht wurde, Strahlenschutzaspekte beim Aus- und Einbau von Steuerstabantrieben und bei den IVVI-Arbeiten am Wasserabscheider und den RDB-Einbauten, Arbeiten am Clean-up-System, den Drywellzugang inklusive administrativer Weisungen und Zuständigkeiten, das Verhalten von Eigen- und Fremdpersonal, die Entwicklung der Individual- und Kollektivdosen für diverse Jobs und den operationellen Strahlenschutz.

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

Nach der Revision, die vom 30. September bis 9. Oktober dauerte, wurden die vor über 20 Jahren ausgebauten Pins and Rollers aus dem bisherigen Lagerort, dem Brennelementladebecken, entfernt. Es wurden Kontaktdosisleistungen bis zu 1500 Sv/h mit einer dafür geeigneten Messsonde unter Wasser an den Rollers (Material: Stellit, eine kobalthaltige Legierung) gemessen. Dank der im Vorfeld gut geplanten Umlade- und Abfüllaktion wurde bei der Aktion auf der +29-m-Ebene insgesamt nur eine Kollektivdosis von 1,3 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.

Im Berichtsjahr hat das KKM die Störfallinstrumentierung zur Überwachung der radioaktiven Edelgase in der Kaminfortluft bei Störfällen aufgrund einer Forderung aus der Stellungnahme des ENSI zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung des KKM ertüchtigt. Das neue Messsystem erfüllt nun die Anforderungen an die Umgebungsbedingungen bei einer Containment-Druckentlastung.

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

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Jodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten bis auf eine Abwasserprobe, die im 3. Quartal erhoben wurde, Übereinstimmung mit den Werten des KKM. Die Abklärungen ergaben, dass die unterschiedlichen Messwerte höchstwahrscheinlich auf eine Querkontamination bei der Probenaufbereitung des KKM zurückzuführen sind. Das KKM hat Verbesserungen bei der Probenaufbereitung eingeführt.
- An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des KKM den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

2. Weitere Kernanlagen

2.1 Paul Scherrer Institut (PSI)

Das PSI ist eine eidgenössische Einrichtung und das grösste Forschungsinstitut für Natur- und Ingenieurwissenschaften in der Schweiz. Seine Mitarbeitenden forschen in den Bereichen Materie und Material, Mensch und Gesundheit sowie Energie und Umwelt. Der Anfang 2011 abgeschaltete 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 Berichtsjahr ereignete sich ein Vorfall mit Strahlenschutzrelevanz. Der Bruch einer unterirdischen Trinkwasserleitung ausserhalb des Forschungsreaktors PROTEUS führte am 2. März 2013 zu einem Wassereinbruch in das PROTEUS-Gebäude. Dabei wurden übergreifend je eine kontrollierte Zone vom Typ I und II geflutet, die radiologische Situation blieb aber während der ganzen Zeit normal. Das Wasser wurde nicht kontaminiert und es wurden keine erhöhten Dosisleistungen gemessen. Mit Hilfe der Feuerwehr und unter Überwachung des Betriebsstrahlenschutzes des PSI wurde das Wasser nach Zustimmung des ENSI aus dem Gebäude abgepumpt. Das ENSI bewertete das Vorkommnis mit INES 0.

Im Jahr 2013 akkumulierten die 1446 beruflich strahlenexponierten Personen des PSI eine Kollektivdosis von 71 Pers.-mSv (2012: 90 Pers.-mSv). Davon stammen 14 Pers.-mSv aus dem Aufsichtsbe-
reich des ENSI mit 154 beruflich strahlenexponierten Personen (2012: 12,3 Pers.-mSv) bei einer höchsten Individualdosis von 1,3 mSv (2012: 1,2 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 eingereich-

ten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Vor-Ort Kontrolle 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 11 Messgeräte ausgetauscht. Der Ersatz erfolgt, weil der Gerätehersteller keine Ersatzteile mehr für die alten Messgeräte bereitstellt.

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

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des PSI.
- An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des PSI den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten bis auf zwei Abweichungen bei den Fingerringdosimetern erbracht. Das PSI hat entsprechende Abklärungen in die Wege geleitet.

2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)

Im Jahr 2013 wurde im ZZL eine Kollektivdosis von 16 Pers.-mSv akkumuliert. Der geplante Wert von 24 Pers.-mSv wurde dank guter administrativer und technischer Strahlenschutzmassnahmen deutlich unterschritten.

Die höchste registrierte Einzeldosis betrug 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. Da in den beiden ersten Quartalen des Berichtsjahres die Plasma-Anlage aufgrund mangelnden Abfallaufkommens nicht in Betrieb war, wurde die Zeit für intensive Instandhaltungsarbeiten genutzt. Im Zeitraum vom 23. September bis zum 11. Dezember 2013 wurde eine Konditionierungskampagne durchgeführt. Die Vorgabe von 500 Stück zu verarbeitenden Fässern wurde mit total 672 Stück übertroffen. Es wurde ein hoher Anteil an Schlämmen verarbeitet. Während der Kampagne konnten die Abfallfässer ohne Probleme verarbeitet werden.

Weitere Aufgaben des ZZL umfassten die Dekontaminationen und Freimessungen diverser Metallteile. Total wurden 62,5 Tonnen Material dem konventionellen Recycling zugeführt.

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

Strahlenschutzinstrumentierung

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

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

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosolfiltern und Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des ZZL.

2.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

Die Kernanlage der EPFL umfasst den Forschungsreaktor CROCUS, das Neutronenexperiment 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 2013 stand der CROCUS-Reaktor Ingenieur- und Physikstudenten der EPFL, Kursteilnehmern der Reaktorschule des PSI und Studenten des Swiss Nuclear Engineering Masterkurses der ETHZ/EPFL während 313,4 Stunden bei kleiner Leistung (bis 100 W) für Ausbildungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 1133 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 7 beruflich strahlenexponierten Personen haben alle 0,0 mSv akkumuliert. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend. Im November 2013 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 2013 vollumfänglich eingehalten wurden.

2.4 Universität Basel

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

Die Nutzung des Reaktors hat sich gegenüber den Vorjahren kaum verändert. Im Berichtsjahr betrug die produzierte Energie 45,5 kWh (2012: 29,5 kWh). Die Nutzung verteilt sich auf die Neutronenaktivierungsanalytik (NAA) für die Universitäten Bern und Basel, die Kurse der Reaktorschule und der Strahlenschutzkurse sowie auf etliche Vorführungen für Besuchergruppen und Schulklassen. Der Reaktorbetrieb erfolgte im Kalenderjahr 2013 störungsfrei bei einer thermischen Leistung von rund 1 kW. Vom Bewilligungsinhaber wurden zwei umfassende Kontrollen der Reaktorschutzinstru-

mentierung durchgeführt und die Reaktorwasseraktivität überprüft, wobei keine Abweichungen von den Vorgaben festgestellt wurden.

Im Jahr 2013 trat ein meldepflichtiges Vorkommnis von sicherheitstechnischer Bedeutung gemäss Richtlinie ENSI-B03 auf. Bei der Vorbereitung zu einem geplanten Abtransport kam es zu einem Absturz eines Brennelementes in das mit Wasser gefüllte Reaktorbecken. Ursache war das versehentliche Auslösen des Greifwerkzeugs. Es kamen keine Personen zu Schaden und die durchgeführten Kontaminationsmessungen zeigten keinen Befund. Das verwendete Greifwerkzeug wurde modifiziert.

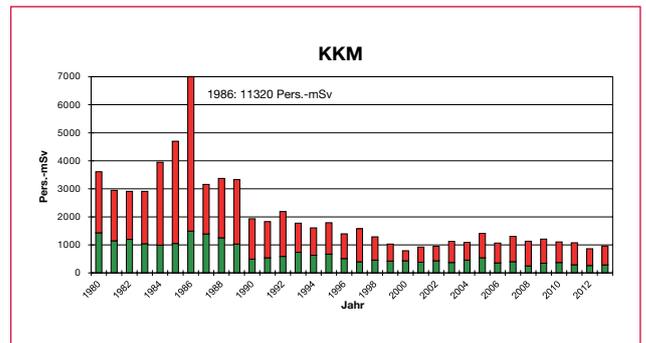
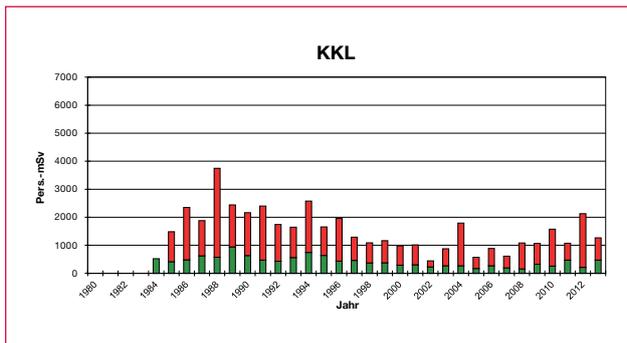
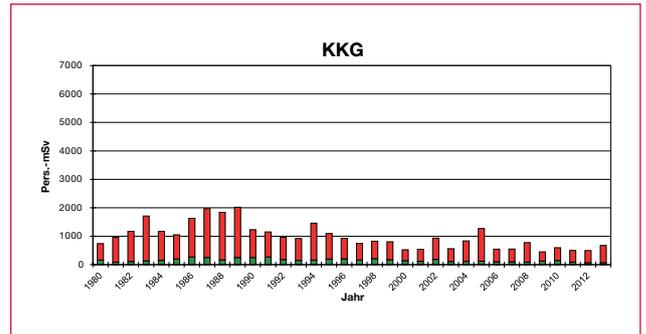
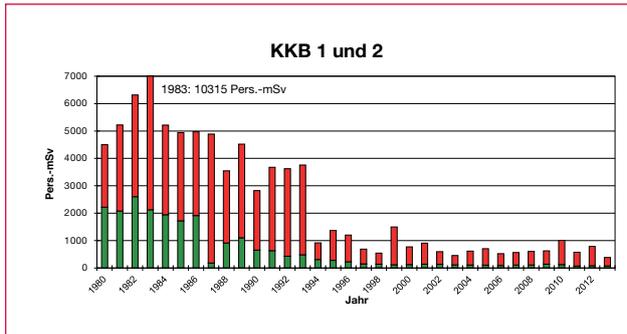
Die drei beruflich strahlenexponierten Personen haben alle 0,0 mSv akkumuliert. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und den Abwasserpfad war unbedeutend. Im November 2013 hat das ENSI seine Jahresinspektion durchgeführt. Dabei wurden technische, organisatorische und personelle Änderungen besprochen und es wurden die Anlagenräume begangen.

Das ENSI stellte fest, dass die vorgegebenen Betriebsbedingungen und die Vorschriften zum Strahlenschutz für das Personal und die Umwelt im Jahr 2013 eingehalten wurden.

3. Grafische Darstellungen

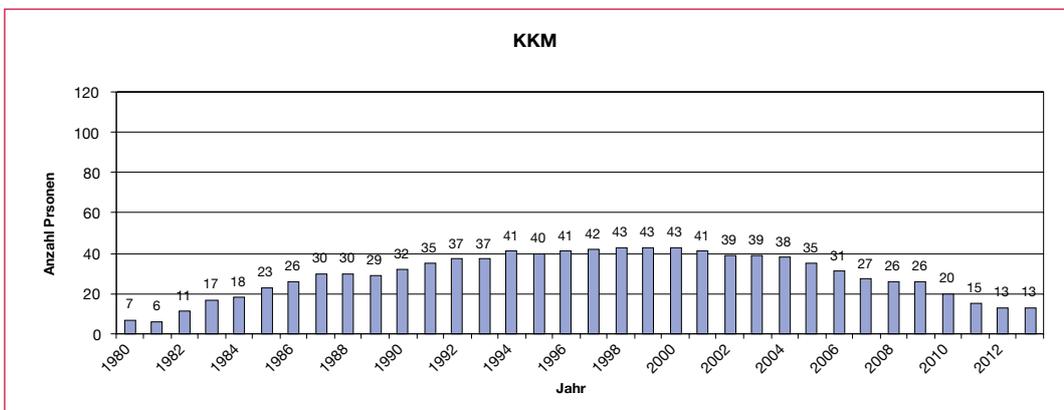
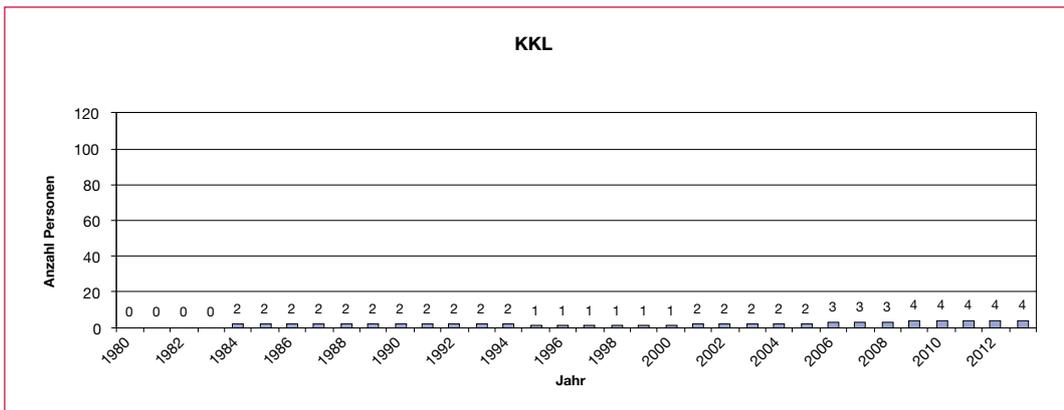
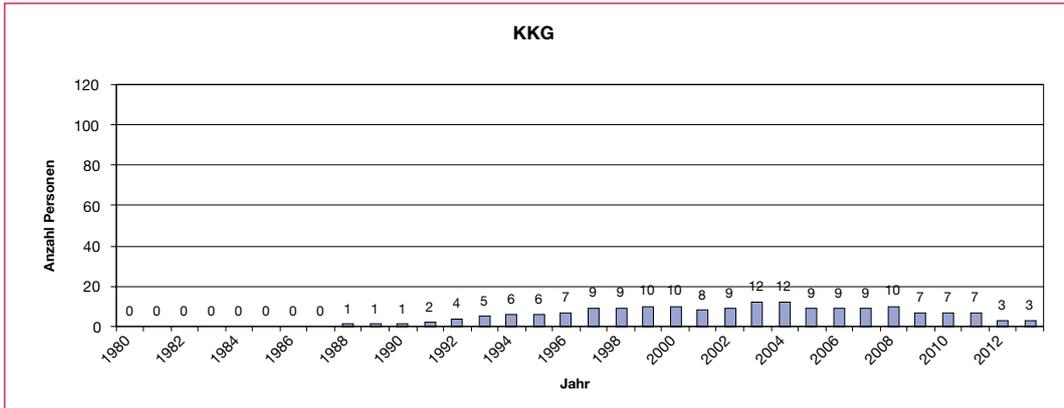
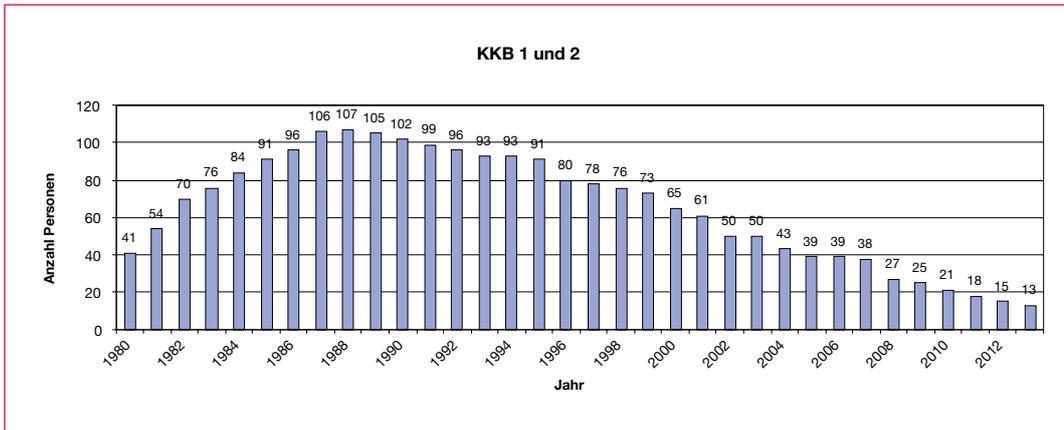
In der Darstellung A.1 sind die Jahreskollektivdosen der Kernkraftwerke seit 1980 enthalten. Die Darstellung A.2 zeigt den Verlauf der Anzahl Personen mit einer beruflichen Lebensdosis von mehr

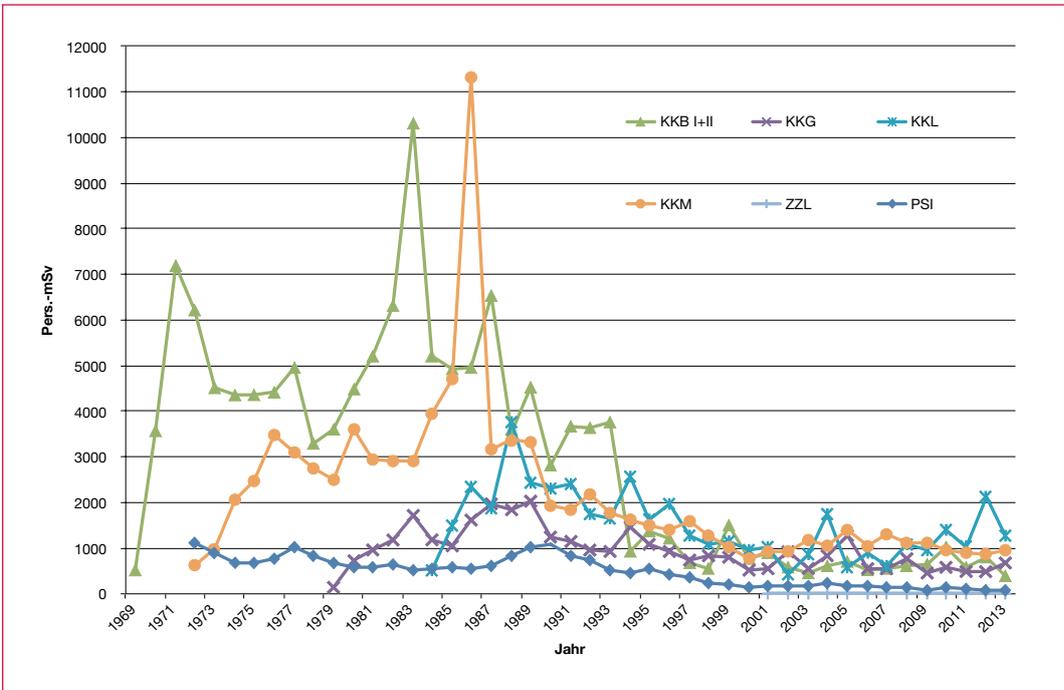
als 200 mSv. Darstellung A.3 gibt die Kollektivdosen in den Kernkraftwerken, im ZZL und im PSI seit Inbetriebnahme der Anlagen wieder.



Darstellung A.1: Jahreskollektivdosen (Pers.-mSv) der Kernkraftwerke von 1980 bis 2013. 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 2013





Darstellung A.3:
 Entwicklung der Kollektivdosen (Pers.-mSv) in den Kernanlagen, 1968 bis 2013

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, wobei es anlagenspezifische Unterschiede berücksichtigt.

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 Neu-

tronendosimetrie 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.

Eine besondere Situation für die Personendosimetrie ergibt sich beim PSI, welches seit dem Jahr 2000 von zwei Behörden (BAG und ENSI) beaufsichtigt wird. Nachdem zahlreiche Personen dieses Instituts ohne getrennte physikalische Kontrolle in beiden Aufsichtsbereichen tätig sind, können die Expositionen in den Kernanlagen nicht genau bestimmt werden.

Für das Jahr 2013 haben die fünf vom ENSI anerkannten Personendosimetriestellen (KKB, KKG, KKL, KKM und PSI) insgesamt 6910 beruflich strahlenexponierte Personen mit einer Kollektivdosis von 3366 Pers.-mSv gemeldet (Mehrfachbuchungen bereinigt, aber ohne Aufsichtstrennung im PSI). Die an den Universitäten verwendeten Dosimeter (für 10 Personen) werden entweder vom In-

stitut Universitaire de Radiophysique (IRA) oder von der SUVA ausgewertet. Die Meldungen der Dosi- metriestelle 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, 2013,
Eigen- und Fremd-
personal

Kernanlage	Anzahl überwachte Personen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
KKB 1 und 2	1276	384
KKG	1301	671
KKL	2072	1267
KKM	1258	958
ZZL	193	16
PSI	1446	71
Universitäten	10	0
Aufsichtsbereich des ENSI	6910	3366

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	428	727	1155	396	716	1112	402	1281	1683	264	670	934	1493	2811	4304
> 1.0– 2.0	27	58	85	25	71	96	58	135	193	47	118	165	157	344	501
> 2.0– 5.0	13	20	33	21	45	66	49	119	168	48	94	142	133	282	415
> 5.0–10.0	1	2	3	9	18	27	7	21	28	12	5	17	30	53	83
> 10.0–15.0														2	2
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total Personen	469	807	1276	451	850	1301	516	1556	2072	371	887	1258	1813	3492	5305
Mittel pro Person [mSv]	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.7	0.6	0.6	0.9	0.7	0.8	0.6	0.6	0.6

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

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

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

Tabelle A.2b:
Kernanlagen
und Forschung

Dosisbereich [mSv]	PSI			Universi- täten	Total Forschung	ZZL			Total KKW	Total Kernanlagen und Forschung
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP		
0.0– 1.0	1113	316	1429	10	1439	63	125	188	4304	5886
> 1.0– 2.0	13	1	14		14	5		5	501	521
> 2.0– 5.0	3		3		3				415	418
> 5.0–10.0									83	83
> 10.0–15.0									2	2
> 15.0–20.0										
> 20.0–50.0										
> 50.0										
Total Personen	1129	317	1446	10	1456	68	125	193	5305	6910
Mittel pro Person [mSv]	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1	0.6	0.5

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	70.3	75.6	145.9	40.6	95.0	135.6	49.7	215.8	265.5	36.7	131.2	167.9	195.9	456.0	651.9
> 1.0– 2.0	37.9	86.4	124.3	35.3	102.8	138.1	86.7	190.9	277.6	72.0	177.8	249.8	232.3	505.6	737.9
> 2.0– 5.0	37.9	58.8	96.7	71.1	135.4	206.5	155.9	391.6	547.5	148.9	279.2	428.1	421.7	895.0	1316.7
> 5.0–10.0	6.2	11.0	17.2	57.5	132.8	190.3	47.3	128.7	176.0	78.5	33.3	111.8	197.5	353.3	550.8
> 10.0–15.0														21.6	21.6
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total [Pers.-mSv]	152.3	231.8	384.1	204.5	466.0	670.5	339.6	927.0	1266.6	336.1	621.5	957.6	1047.4	2231.5	3278.9
Höchste Einzeldosis [mSv]	6.2	5.8	6.2	9.2	8.8	9.2	8.9	7.9	8.9	8.4	8.0	8.4	9.2	10.9	10.9

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	39.3	5.6	44.9	0.0	44.9	6.5	2.6	9.1	651.9	704.1
> 1.0– 2.0	17.3	1.9	19.2		19.2	6.6		6.6	737.9	765.5
> 2.0– 5.0	7.3		7.3		7.3				1316.7	1324.0
> 5.0–10.0									550.8	550.8
> 10.0–15.0									21.6	21.6
> 15.0–20.0										
> 20.0–50.0										
> 50.0										
Total [Pers.-mSv]	63.9	7.5	71.4	0.0	71.4	13.1	2.6	15.7	3278.9	3366.0
Höchste Einzeldosis [mSv]	2.7	1.9	2.7	0.0	2.7	1.6	0.7	1.6	10.9	10.9

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	21	4	9	17	51	4	0	55
> 150–200	13	4	8	8	33	3		36
> 200–250	3	2	2	4	11	1		12
> 250–300	3	1	2	4	10			10
> 300–350	5			2	7			7
> 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	47	11	21	38	117	8		125

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

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

Dosisbereich [mSv]	21–30 Jahre	31–40 Jahre	41–50 Jahre	51–60 Jahre	> 60 Jahre	Kernanlagen und PSI Total
> 100–150			5	35	15	55
> 150–200			1	20	15	36
> 200–250			2	6	4	12
> 250–300				5	5	10
> 300–350			1	2	4	7
> 350–400				1	1	2
> 400–450					1	1
> 450–500						
> 500–550					1	1
> 550–600						
> 600				1		1
Total Personen			9	70	46	125

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	33	2	92	6	906	89	1146	134	1452	103	1349	70	487	17	5886
> 1.0– 2.0	3		2		113	1	114	1	136	1	114		36		521
> 2.0– 5.0			3		83		73	1	135		104		19		418
> 5.0–10.0					15		28		15		24		1		83
> 10.0–15.0							2								2
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total Personen	36	2	97	6	1117	90	1363	136	1738	104	1591	70	543	17	6910
Mittel pro Person [mSv]	0.22	0.00	0.23	0.02	0.60	0.06	0.55	0.05	0.52	0.05	0.51	0.04	0.31	0.07	0.49
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	7.9	0.0	22.5	0.1	667.6	5.6	751.9	6.9	912.2	5.0	812.0	2.8	170.3	1.2	3366.0

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

Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
0.0– 1.0	6		10	2	199	65	313	91	315	54	241	37	98	8	1439
> 1.0– 2.0					1		6		3		4				14
> 2.0– 5.0					1				1		1				3
> 5.0–10.0															
> 10.0–15.0															
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total Personen	6		10	2	201	65	319	91	319	54	246	37	98	8	1456
Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.00	0.00	0.04	0.03	0.06	0.01	0.05	0.01	0.08	0.03	0.03	0.14	0.05
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.0	0.0	7.8	2.0	18.2	1.1	16.5	0.7	19.5	1.1	3.4	1.1	71.4

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 2013

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	2		9	2	30	1	74	3	135	8	127	3	33	1	428
	> 1.0– 2.0					4		6		6		9		2		27
	> 2.0– 5.0							3		5		5				13
	> 5.0–10.0							1								1
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	2		9	2	34	1	84	3	146	8	141	3	35	1	469
	Mittel pro Person [mSv]	0.15		0.07	0.05	0.29	0.00	0.48	0.07	0.38	0.06	0.28	0.23	0.14	0.10	0.32
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.3		0.6	0.1	9.7	0.0	40.0	0.2	55.3	0.5	40.0	0.7	4.8	0.1	152.3

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	1		11		121	2	158	6	177	7	183	3	56	2	727
	> 1.0– 2.0					18		18		12		8		2		58
	> 2.0– 5.0					6		5		6		3				20
	> 5.0–10.0							1		1						2
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	1		11		145	2	182	6	196	7	194	3	58	2	807
	Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.03		0.43	0.25	0.35	0.00	0.29	0.01	0.21	0.13	0.12	0.00	0.29
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.3		63.0	0.5	63.0	0.0	56.9	0.1	40.7	0.4	6.9	0.0	231.8

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	3		20	2	151	3	232	9	312	15	310	6	89	3	1155
	> 1.0– 2.0					22		24		18		17		4		85
	> 2.0– 5.0					6		8		11		8				33
	> 5.0–10.0							2		1						3
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	3		20	2	179	3	266	9	342	15	335	6	93	3	1276
	Mittel pro Person [mSv]	0.10		0.05	0.05	0.41	0.17	0.39	0.02	0.33	0.04	0.24	0.18	0.13	0.03	0.30
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.3		0.9	0.1	72.7	0.5	103.0	0.2	112.2	0.6	80.7	1.1	11.7	0.1	384.1

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2013

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		5		32	3	78	4	115	10	96	5	47		396
	> 1.0– 2.0							7		9		7		2		25
	> 2.0– 5.0					1		1	1	13		2		3		21
	> 5.0–10.0							4		4		1				9
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	1		5		33	3	90	5	141	10	106	5	52		451
	Mittel pro Person [mSv]	0.2		0.04		0.21	0.03	0.50	0.44	0.70	0.07	0.30	0.00	0.36		0.45
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.2		0.2		7.0	0.1	44.7	2.2	98.8	0.7	31.8	0.0	18.8		204.5

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0			5		106		136	8	177	7	211	5	58	3	716
	> 1.0– 2.0			1		17		19		14		18		2		71
	> 2.0– 5.0					16		10		10		8		1		45
	> 5.0–10.0					4		6		2		6				18
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen			6		143		171	8	203	7	243	5	61	3	850
	Mittel pro Person [mSv]			0.37		0.84		0.76	0.03	0.40	0.01	0.50	0.00	0.20	0.00	0.55
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]			2.2		120.0		129.4	0.2	81.0	0.1	121.2	0.0	11.9	0.0	466.0

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	1		10		138	3	214	12	292	17	307	10	105	3	1112
	> 1.0– 2.0			1		17		26		23		25		4		96
	> 2.0– 5.0					17		11	1	23		10		4		66
	> 5.0–10.0					4		10		6		7				27
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	1		11		176	3	261	13	344	17	349	10	113	3	1301
	Mittel pro Person [mSv]	0.20		0.22		0.72	0.03	0.67	0.18	0.52	0.05	0.44	0.00	0.27	0.00	0.52
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.2		2.4		127.0	0.1	174.1	2.4	179.8	0.8	153.0	0.0	30.7	0.0	670.5

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2013

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		4		27		70	6	95	10	125	9	52	1	402
	> 1.0– 2.0	1		1		6		15		14		15		6		58
	> 2.0– 5.0					6		8		12		19		4		49
	> 5.0–10.0					1		2				3		1		7
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	4		5		40		95	6	121	10	162	9	63	1	516
	Mittel pro Person [mSv]	0.45		0.48		1.04		0.77	0.00	0.59	0.06	0.70	0.00	0.56	0.00	0.66
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.8		2.4		41.6		73.1	0.0	71.1	0.6	113.6	0.0	35.4	0.0	339.6

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	20	2	43	1	302	10	239	6	309	6	246	5	92		1281
	> 1.0– 2.0	1		1		37		28		41		18		9		135
	> 2.0– 5.0			1		24		25		37		29		3		119
	> 5.0–10.0					6		8		2		5				21
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	21	2	45	1	369	10	300	6	389	6	298	5	104		1556
	Mittel pro Person [mSv]	0.20	0.00	0.25	0.00	0.61	0.18	0.71	0.08	0.63	0.00	0.65	0.10	0.30		0.60
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	4.3	0.0	11.1	0.0	226.0	1.8	212.2	0.5	245.1	0.0	194.3	0.5	31.2		927.0

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	23	2	47	1	329	10	309	12	404	16	371	14	144	1	1683
	> 1.0– 2.0	2		2		43		43		55		33		15		193
	> 2.0– 5.0			1		30		33		49		48		7		168
	> 5.0–10.0					7		10		2		8		1		28
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	25	2	50	1	409	10	395	12	510	16	460	14	167	1	2072
	Mittel pro Person [mSv]	0.24	0.00	0.27	0.00	0.65	0.18	0.72	0.04	0.62	0.04	0.67	0.04	0.40	0.00	0.61
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	6.1	0.0	13.5	0.0	267.6	1.8	285.3	0.5	316.2	0.6	307.9	0.5	66.6	0.0	1266.6

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2013

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			1		32	4	34	7	64	3	81	2	35	1	264
	> 1.0– 2.0					8		3	1	18	1	12		4		47
	> 2.0– 5.0					1		9		16		18		4		48
	> 5.0–10.0					2		4		3		3				12
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen			1		43	4	50	8	101	4	114	2	43	1	371
	Mittel pro Person [mSv]			0.60		0.82	0.00	1.29	0.34	1.04	0.48	0.92	0.00	0.50	0.00	0.91
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]			0.6		35.1	0.0	64.3	2.7	105.5	1.9	104.7	0.0	21.3	0.0	336.1

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0			5		117	4	127	4	184	7	148	6	65	3	670
	> 1.0– 2.0	1		1		36	1	18		26		27		8		118
	> 2.0– 5.0			1		23		18		29		19		4		94
	> 5.0–10.0					1		1		1		2				5
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	1		7		177	5	164	4	240	7	196	6	77	3	887
	Mittel pro Person [mSv]	1.30		0.73		0.88	0.24	0.66	0.00	0.70	0.06	0.73	0.02	0.48	0.00	0.70
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.3		5.1		156.0	1.2	108.6	0.0	169.1	0.4	143.1	0.1	36.6	0.0	621.5

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			6		149	8	161	11	248	10	229	8	100	4	934
	> 1.0– 2.0	1		1		44	1	21	1	44	1	39		12		165
	> 2.0– 5.0			1		24		27		45		37		8		142
	> 5.0–10.0					3		5		4		5				17
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	1		8		220	9	214	12	341	11	310	8	120	4	1258
	Mittel pro Person [mSv]	1.30		0.71		0.87	0.13	0.81	0.23	0.81	0.21	0.80	0.01	0.48	0.00	0.76
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.3		5.7		191.1	1.2	172.9	2.7	274.6	2.3	247.8	0.1	57.9	0.0	957.6

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2013

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	6			19	2	123	8	259	20	408	31	428	19	167	
> 1.0– 2.0	1			1		18		31	1	47	1	43		14		157
> 2.0– 5.0						8		21	1	48		44		11		133
> 5.0–10.0						3		12		7		7		1		30
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		7		20	2	152	8	323	22	510	32	522	19	193	3	1813
Mittel pro Person [mSv]		0.33		0.19	0.05	0.61	0.01	0.71	0.23	0.66	0.12	0.56	0.04	0.42	0.03	0.58
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		2.3		3.8	0.1	93.4	0.1	230.5	5.1	337.1	3.7	290.2	0.7	80.3	0.1	1047.4

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	20	2	61	1	565	15	543	20	690	17	639	14	218	6	
> 1.0– 2.0	2		1		93	1	76		82		67		22		344	
> 2.0– 5.0				3		74		52		86		59		8	282	
> 5.0–10.0						12		16		8		17			53	
> 10.0–15.0								2							2	
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		22	2	65	1	744	16	689	20	866	17	782	14	248	6	3492
Mittel pro Person [mSv]		0.25	0	0.29	0.00	0.76	0.22	0.73	0.04	0.63	0.04	0.64	0.07	0.35	0.00	0.64
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		5.6	0.0	18.7	0.0	565.1	3.5	502.0	0.7	548.5	0.6	499.2	1.0	86.6	0.0	2231.5

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	26	2	80	3	688	23	802	40	1098	48	1067	33	385	9	
> 1.0– 2.0	3		2		111	1	107	1	129	1	110		36		501	
> 2.0– 5.0				3		82		73	1	134		103		19	415	
> 5.0–10.0						15		28		15		24		1	83	
> 10.0–15.0								2							2	
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		29	2	85	3	896	24	1012	42	1376	49	1304	33	441	9	5305
Mittel pro Person [mSv]		0.27	0	0.26	0.03	0.73	0.15	0.72	0.14	0.64	0.09	0.61	0.05	0.38	0.01	0.62
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		7.9	0.0	22.5	0.1	658.5	3.6	732.5	5.8	885.6	4.3	789.4	1.7	166.9	0.1	3278.9

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2013

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	2	1	17	1	22	1	14		4		63
	> 1.0– 2.0					1				4						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				1	3	1	17	1	26	1	14		4		68
	Mittel pro Person [mSv]				0.00	0.43	0.00	0.03	0.00	0.37	0.00	0.12		0.00		0.19
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]				0.0	1.3	0.0	0.5	0.0	9.6	0.0	1.7		0.0		13.1

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	3		2		24		27	1	28		35	1	3	1	125
	> 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	3		2		24		27	1	28		35	1	3	1	125
	Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.00		0.00		0.03	0.00	0.02		0.04	0.00	0.00	0.00	0.02
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.0		0.0		0.7	0.0	0.5		1.4	0.0	0.0	0.0	2.6

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		2	1	26	1	44	2	50	1	49	1	7	1	188
	> 1.0– 2.0					1				4						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		2	1	27	1	44	2	54	1	49	1	7	1	193
	Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.00	0.00	0.05	0.00	0.03	0.00	0.19	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.08
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.0	0.0	1.3	0.0	1.2	0.0	10.1	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	15.7

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2013

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

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	6			19	3	125	9	276	21	429	32	442	19	171	
> 1.0– 2.0	1			1		19		31	1	52	1	43		14		163
> 2.0– 5.0						8		21	1	48		44		11		133
> 5.0–10.0						3		12		7		7		1		30
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		7		20	3	155	9	340	23	536	33	536	19	197	3	1881
Mittel pro Person [mSv]		0.33		0.19	0.03	0.61	0.01	0.68	0.222	0.65	0.11	0.54	0.04	0.408	0.03	0.56
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		2.3		3.8	0.1	94.7	0.1	231.0	5.1	347.8	3.7	291.9	0.7	80.3	0.1	1061.6

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	21	2	63	1	581	15	555	21	706	17	662	14	218	6	
> 1.0– 2.0	2		1		93	1	77		81		67		22		344	
> 2.0– 5.0			3		74		52		86		59		8		282	
> 5.0–10.0					12		16		8		17				53	
> 10.0–15.0							2								2	
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		23	2	67	1	760	16	702	21	881	17	805	14	248	6	3563
Mittel pro Person [mSv]		0.24	0	0.28	0.00	0.744	0.22	0.72	0.03	0.62	0.04	0.62	0.07	0.349	0.00	0.63
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		5.6	0.0	18.7	0.0	565.1	3.5	502.7	0.7	547.9	0.6	500.6	1.0	86.6	0.0	2233.0

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	27	2	82	4	706	24	831	42	1135	49	1104	33	389	9	
> 1.0– 2.0	3		2		112	1	108	1	133	1	110		36		507	
> 2.0– 5.0			3		82		73	1	134		103		19		415	
> 5.0–10.0					15		28		15		24		1		83	
> 10.0–15.0							2								2	
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		30	2	87	4	915	25	1042	44	1417	50	1341	33	445	9	5444
Mittel pro Person [mSv]		0.26	0.00	0.26	0.03	0.72	0.144	0.70	0.132	0.63	0.086	0.59	0.05	0.375	0.01	0.61
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		7.9	0.0	22.5	0.1	659.8	3.6	733.7	5.8	895.7	4.3	792.5	1.7	166.9	0.1	3294.6

Verteilung der Extremitätendosen 2013

Dosisintervall [mSv]	Haut			Extremitäten		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen- personal	Fremd- personal	Total	Eigen- personal	Fremd- personal	Total
0– 25	469	807	1276	10	10	20
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	469	807	1276	10	10	20

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	54	151	205	3	4	7
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	54	151	205	3	4	7

Tabelle A.13b:
Kernkraftwerk
Gösgen (KKG)

Verteilung der Extremitätendosen 2013

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	516	1556	2072	5	7	12
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	516	1556	2072	5	7	12

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	107	217	324	11	13	24
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	107	217	324	11	13	24

Verteilung der Extremitätendosen 2013

Dosisintervall [mSv]	Haut			Extremitäten		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen- personal	Fremd- personal	Total	Eigen- personal	Fremd- personal	Total
0– 25	1146	2731	3877	29	34	63
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	1146	2731	3877	29	34	63

Tabelle A.13.e:
Alle Kernkraftwerke

Dosisintervall [mSv]	Haut			Extremitäten		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen- personal	Fremd- personal	Total	Eigen- personal	Fremd- personal	Total
0– 25	1129	317	1446	78	6	84
> 25– 50				1		1
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	1129	317	1446	79	6	85

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

Verteilung der Extremitätendosen 2013

Tabelle A.13g:
Zentrales
Zwischenlager (ZZL)

Dosisintervall [mSv]	Haut			Extremitäten		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen- personal	Fremd- personal	Total	Eigen- personal	Fremd- personal	Total
0– 25	68	125	193	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	68	125	193	0	0	0

Tabelle A.13h:
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	3063	5406	107	40	147
> 25– 50				1		1
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	2343	3063	5406	108	40	148

Triagemessungen des beruflich strahlenexponierten Personals

Resultat der Messungen	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	FP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
alle negativ	425	675	1100	403	738	1141	512	1364	1876	371	887	1258	1711	3664	5375
mind. eine positiv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

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

Resultat der Messungen	PSI			ZZL			Total Kernanlagen und Forschung		
	EP	FP	EP+FP	FP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
alle negativ	59	18	77	67	113	180	1837	3795	5632
mind. eine positiv	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Folgedosis E_{50} des beruflich strahlenexponierten Personals durch Inkorporationen

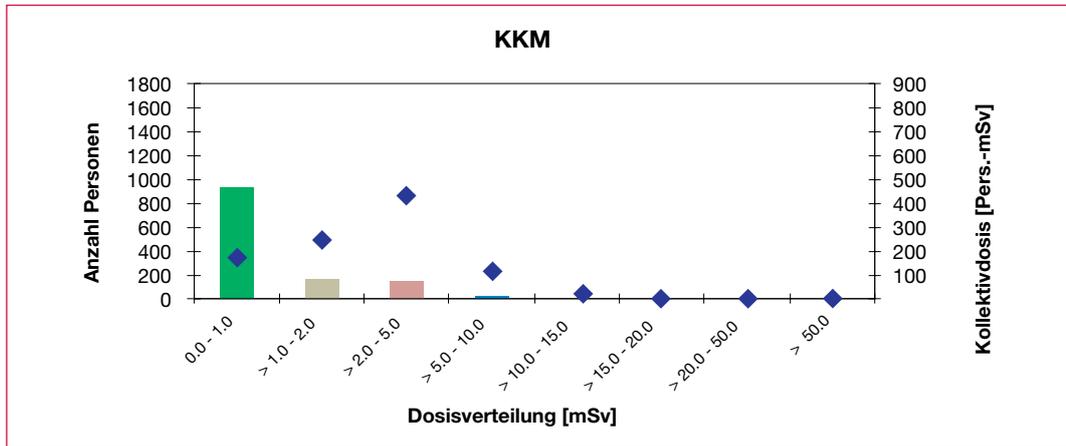
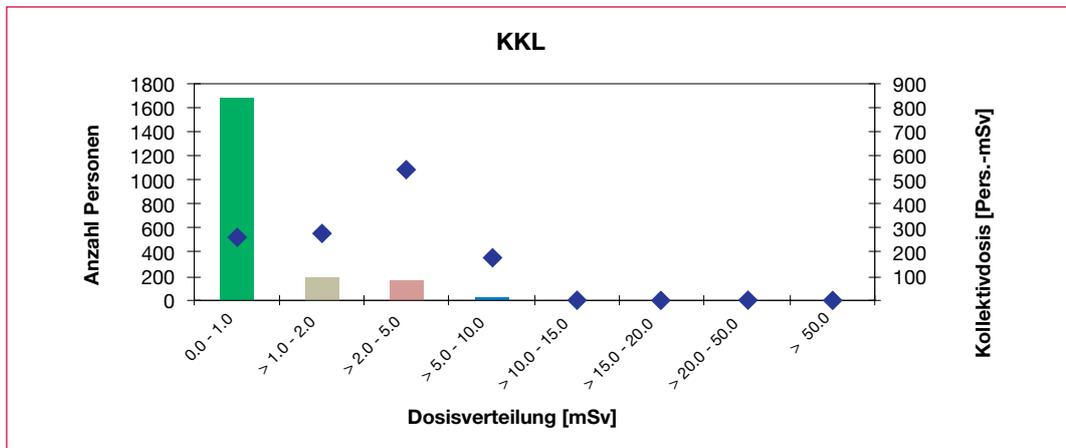
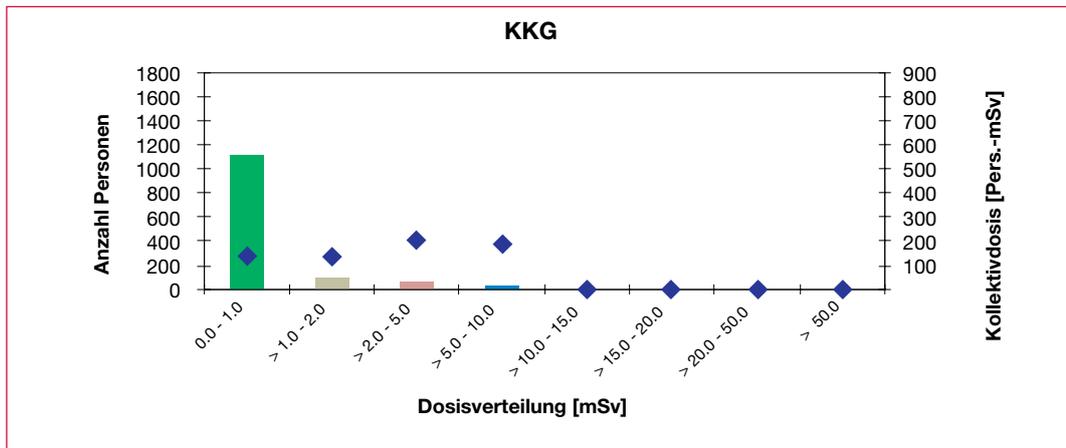
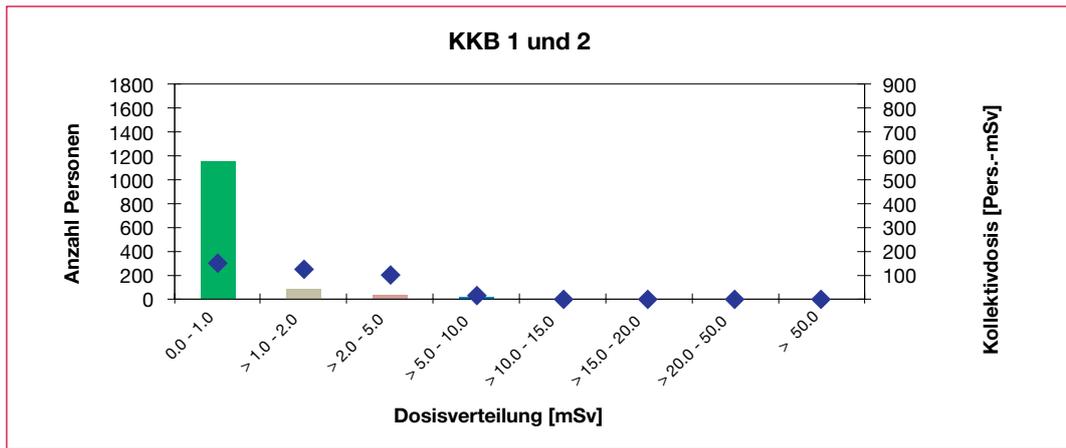
Folgedosis E_{50} Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	FP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
<= 1.0	0	0	0	0	0	0	512	1364	1876	371	857	1228	883	2221	3104
> 1.0– 2.0															
> 2.0– 5.0															
> 5.0–10.0															
> 10.0–15.0															
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total Personen	0	0	0	0	0	0	512	1364	1876	371	857	1228	883	2221	3104

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

Folgedosis E_{50} Dosisbereich [mSv]	PSI			ZZL			Summe Kernanlagen und PSI		
	EP	FP	EP+FP	FP	FP	EP+FP	EP+FP		
<= 1.0	254	8	262	0	0	0	3366		
> 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	254	8	262	0	0	0	3366		

Kollektivdosen und Anzahl dosimetrierter Personen 2013

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



Messmethoden der Personendosimetriestellen im Aufsichtsbereich des ENSI 2013

Mess- stelle	Überwachung der äusseren Bestrahlung									Überwachung der Inkorporationen								
	Ganzkörper			Haut			Extremitäten			Ganzkörper			Schilddrüse			Urin		
	r ¹	m ²	a ³	r ¹	m ²	a ³	r ¹	m ²	a ³	r ¹	m ²	a ³	r ¹	m ²	a ³	r ¹	m ²	a ³
KKB 1 und 2	β, γ, x	DIS	1312	β, γ, x	DIS	1312	β, γ, x	TLD	20	γ	Nal	1100	γ	Nal	1100			
KKG	γ	DIS	1301	γ	DIS	1301	γ	TLD	7	γ	PSC	1141	γ	PSC	1141			
KKL	β, γ	TLD / DIS	2155	β, γ	TLD	2155	β, γ	TLD	12	γ	Nal	1959	γ	Nal	1959			
KKM	γ	TLD / DIS	1258	β, γ	TLD	1258	γ	TLD	24	γ	Nal	1258	γ	Nal	1258			
PSI	β, γ, x β, γ, x n	TLD / DIS PADC	1446 1154	β, γ, x β, γ, x	TLD / DIS	1446	β, γ, x	TLD	85	γ	Ge	259	γ, x	Nal	13	α, β γ, x	LSC / Nal Ge	41
ZZL ⁴	γ	DIS	252	β, γ, x	DIS	252	γ	TLD	0	γ	Nal	233	γ	Nal	233			

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

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

² m = Messmethode:
TLD = Thermolumineszenzdosimeter
DIS = Direct ion Storage
LSC = Flüssigkeitsszintillator
Ge = Reinstgermanium-Detektor
Nal = 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
2013 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

Ab 2013 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%

Tabelle A.17:
Aufteilung der Kollektivdosen auf Betrieb und Revisionsstillstand 1980 bis 2013 in Prozenten

Zusammenstellung der Kollektivdosen

Tabelle A.18:
Paul Scherrer Institut
(PSI), Anzahl Personen,
Kollektivdosen und
Mittel

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

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

Tabelle A.19:
Zentrales Zwischenlager
Würenlingen (ZZL),
Anzahl Personen,
Kollektivdosen und
Mittel 2001 bis 2013

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.

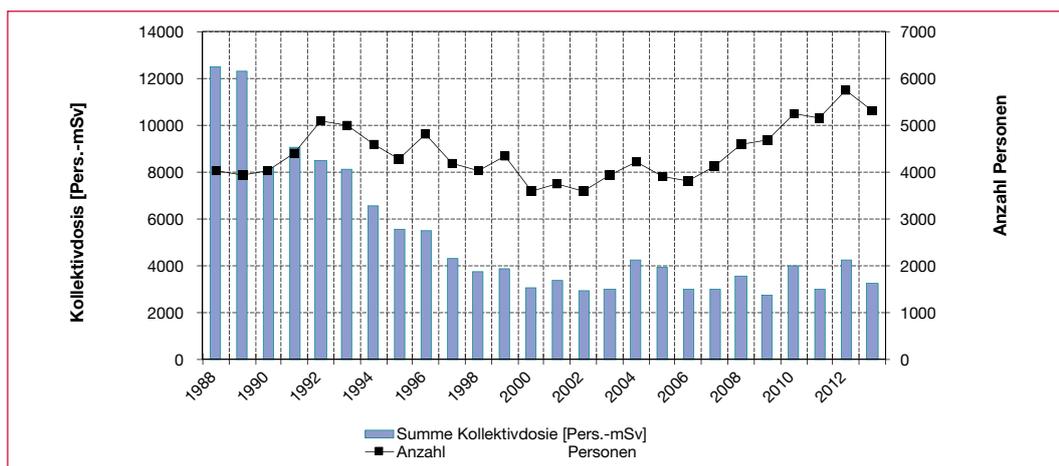
Jahreskollektivdosen in den Kernkraftwerken in der Schweiz

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

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	152	EP	155	EP	0.98
	FP	232	FP	222	FP	1.05
	Summe	384	Summe	377	EP und FP	1.02
KKG**	EP	205	EP	225	EP	0.91
	FP	466	FP	517	FP	0.90
	Summe	671	Summe	742	EP und FP	0.90
KKL***	EP	340	EP	389	EP	0.87
	FP	927	FP	958	FP	0.97
	Summe	1267	Summe	1346	EP und FP	0.94
KKM	EP	336	EP	406	EP	0.83
	FP	622	FP	771	FP	0.81
	Summe	958	Summe	1176	EP und FP	0.81

Tabelle A.21:

Zusammenstellung der mit EPD und der mit Dosimetern der anerkannten Personendosimetriestellen ermittelten Kollektivdosen für das Kalenderjahr 2013

Je nach Kernkraftwerk erfolgt die Meldung der Kollektivdosen unterschiedlich:

- * KKM und KKL melden sowohl EPD- als auch TLD-Dosen, wobei die arbeits- und gruppenspezifischen Dosen auf den EPD basieren. Im Berichtsteil zu den Jobdosen erscheinen, wenn nicht anders vermerkt, die mit den entsprechenden Verhältnissen aus dieser Tabelle umgerechneten EPD-Dosen.
- ** KKB und KKG melden sämtliche Dosen als TLD/DIS-Dosen, wobei werksintern für die Ermittlung der Werte EPD-Daten herangezogen werden. Die anerkannte Dosimetriestelle des KKB verwendet DIS-Dosimeter.
- *** Das KKL hat festgestellt, dass der Quotient EPD/TLD signifikant von der Betriebsart (Leistungsbetrieb oder Revisionsstillstand) abhängt. Begründet wird dies durch eine im Leistungsbetrieb aus ¹⁶N entstehende hochenergetische Gammastrahlenkomponente, die von den EPDs überhöht angezeigt wird.

4.4 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen

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

Über die letzten Jahre konnten die mittleren Individualdosen deutlich gesenkt werden, während sich die Zahl der beruflich strahlenexponierten Personen über einige Jahre konstant verhielt und dann aber wieder steigende Tendenz zeigte. Im Jahr 2013 lag sowohl die Zahl der überwachten Personen mit 6910 (2012: 7321), als auch die Kollektivdosis mit 3366 Pers.-mSv (2012: 4375 Pers.-mSv)

unter dem jeweiligen Wert des Vorjahres. Die mittlere Exposition des Eigen- und Fremdpersonals lag im Jahr 2013 für alle Kernkraftwerke und das ZZL bei 0,6 mSv. Die maximalen Individualdosen, die von einigen Spezialisten an Arbeitsorten mit relativ hoher Ortsdosisleistung oder nach Arbeiten in verschiedenen Kraftwerken akkumuliert werden können, bieten eine stete Herausforderung für den operationellen Strahlenschutz. Im Berichtsjahr 2013 wurde der Jahresgrenzwert von 20 mSv für die Individualdosis des beruflich strahlenexponierten Personals im Aufsichtsbereich des ENSI in allen Kernanlagen deutlich unterschritten, die höchste akkumulierte Individualdosis lag bei 10,9 mSv. Seit Inkrafttreten der heute geltenden Strahlenschutzverordnung im Jahr 1994 gab es im Aufsichtsbereich des ENSI drei Grenzwertüberschreitungen, die aber in jedem Fall unter 50 mSv blieben.

Das ENSI bewertet den Strahlenschutz in den schweizerischen Kernanlagen, nicht zuletzt aus dem gewonnenen Eindruck bei Inspektionen vor

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

4.5 Erwartete Entwicklung der Exposition

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

Das Potenzial der *technischen Massnahmen*, welche für die Reduktion der Dosis eingesetzt werden, wie zum Beispiel temporäre Abschirmungen aus Bleiblechen, ist weitestgehend ausgeschöpft. Optimierungen, sowie schnelleres Auf- und Rückbauen der Abschirmungen, Verfeinerungen beim Design und bei der Planung und ähnliche Massnahmen erlauben die Effizienz dieser Mittel noch zu steigern. Signifikante Beiträge zur Dosisreduktion dürfen aber nicht mehr erwartet werden. Viel mehr werden alterungsbedingte Aufwendungen für die Werkstoffprüfung im Strahlenfeld und die damit verbundene Expositionen des Personals zu beobachten sein.

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

Das Verfahren wird vom KKG seit Anfang 2005 mit Erfolg angewendet. Die Dosisleistung verringerte sich an ausgewählten Primärkomponenten auch im Jahr 2013 weiter gegenüber den Werten zu Beginn der Zinkdosierung. Die auf der Innenseite des RDB-Deckels gemessene Oberflächendosisleistung lag 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 Kobaltnuklide ^{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 beiden Blöcken zu verzeichnen. Als Ursache wurde eine zunehmende Ablagerung von ^{60}Co auf der inneren Oberfläche dieser Rohrleitungsabschnitte identifiziert. Die mittlerweile recht hohen Werte der Ortsdosisleistung (ODL) 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 leicht gesunken, in Block 2 stieg sie, auch wegen der höheren ODL an den Closure Legs, an.

Im KKM wurde über das ganze Jahr DZO mit einer ab Mitte Jahr erhöhten Rate ins Speisewasser eingespeist. Anfangs des Berichtsjahres wurden etwa 199 g Platin und gegen Ende Jahr noch einmal 100 g Platin in das Speisewasser zugegeben. Im Berichtsjahr betrug die mittlere Dosisleistung 1,79 mSv/h. Im Vergleich zu den beiden Vorjahren, bei denen dieser Wert bei 1,71 und 1,67 mSv/h lag, ist dem zufolge ein Anstieg um 4,6% resp. 6,7% festzustellen. Die Tendenz zu niedrigeren Ortsdosisleistungen an den Umwälzschleifen nach der Einspeisung von Platin im KKM scheint damit beendet zu sein. Der Trend wurde seit dem Jahr 2006 beobachtet und wird auf die Edelmetalleinspeisung zurückgeführt. Im Jahr 2004 lag die mittlere ODL an den Umwälzschleifen noch bei ca. 4 mSv/h. 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 zu Beginn des Jahres eine Applikation mit 350 g Platin und im April, Mai und Juli drei Miniapplikationen mit weiteren 350 g Platin durch. Während nahezu des gesamten Zyklus wurde Wasserstoff in den Primärkreislauf zu dosiert. Der Mittelwert der an insgesamt 16 Messpunkten erfassten Dosisleistungen betrug 1,62 mSv/h. Dies ist gegenüber dem Vorjahr 2012 mit 1,45 mSv/h eine leichte Erhöhung um etwa 11%. Die ergriffene Gegenmassnahme, die Zinkkonzentration im Speisewasser zu erhöhen, ergab somit keine lang anhaltende Reduktion der mittleren Dosisleistung.

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

Zusammenfassend erwartet das ENSI für den Strahlenschutz, dass sich der sehr gute Zustand in den schweizerischen Kernkraftwerken halten und vielleicht sogar noch leicht verbessern wird. Für das Anlagenpersonal bedeutet dies eine weitere, wenn auch im Durchschnitt nur kleine 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 Aufsichtsbehörde eine ganz besondere Beachtung zu schenken, damit sich Ereignisse wie im KKB (2009) und im KKL (2010) nicht wiederholen. Die Ausbildung des Personals im Strahlenschutz, das Absperren von Gebieten mit hoher Ortsdosisleistung, die Verwendung von Funkdosimetern, die Einführung der Zinkeinspeisung und der Einsatz von Messgeräten mit Anzeigen sowie Warneinrichtungen ausserhalb von Strahlenfeldern könnten möglicherweise in einigen Anlagen noch zu Verbesserungen beitragen.

B: Umweltradioaktivität bei Kernanlagen, Überwachung

1. Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser und der Abluft lagen im Jahr 2013 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-Piketingenieur 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 aus dem BAG Jahresbericht 2013 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 2013. 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 180 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.

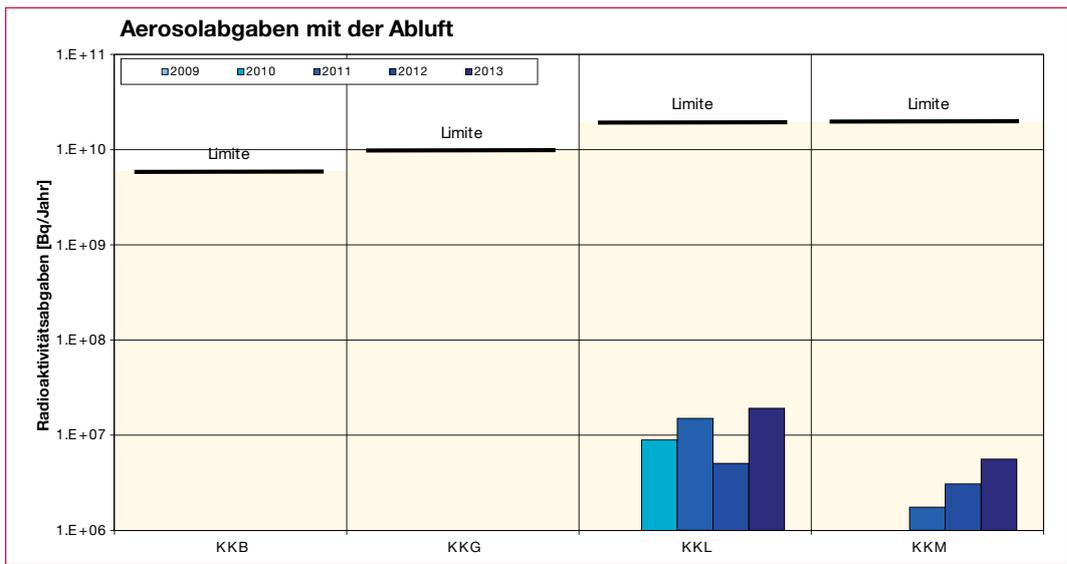
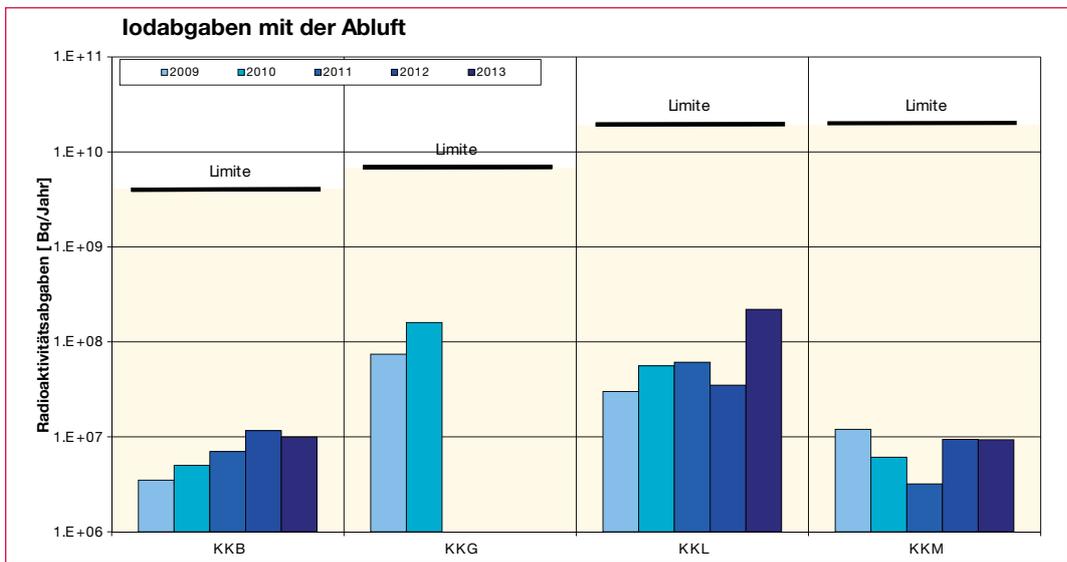
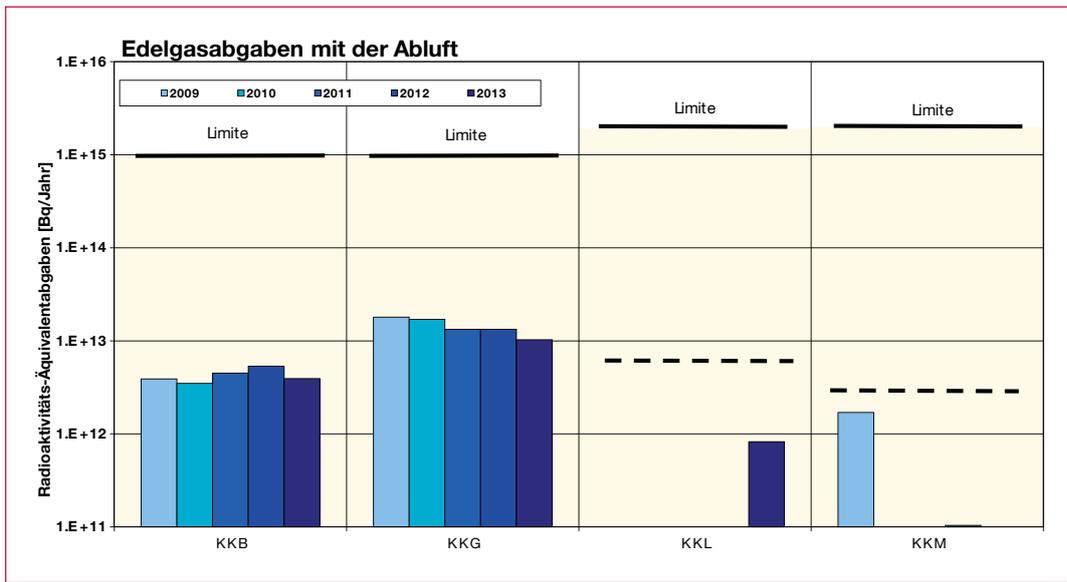
Die aus den Emissionen der Kernkraftwerke errechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in unmittelbarer Nähe der Anlage beträgt unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren beim KKG weniger als 0,001 mSv, beim KKB etwa 0,001 mSv, beim KKM etwa 0,004 mSv und beim KKL ungefähr 0,005 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung betragen somit im Jahr 2013 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 län-

gerer Zeit aus eigener Initiative ^{14}C -Messungen durch. Mitte 1998 wurde die Apparatur des KKL zur Messung von ^{14}C aufgrund der Resultate einer internationalen Vergleichsmessung neu kalibriert, was dazu führte, dass die für Einzelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis seit 1998 etwas höher ist. Das KKG führt seit Ende 2001 Messungen der ^{14}C -Abgaben mit der Abluft durch. Die für Einzelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis der Jahre 2001 bis 2003 werden beim KKG im Nachhinein als um den Faktor 3 zu hoch eingeschätzt, dies aufgrund der Ergebnisse der neuen Kalibrierung der Messapparatur mit zwei diversitären Standards zu Beginn des Jahres 2004. Alle Schweizer Kernkraftwerke haben auch 2013 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 0,006 mSv. Beinahe die gesamte Dosis ergibt sich im PSI durch die Abgabe von kurzlebigen radioaktiven Edelgasen aus den Teilchenbeschleunigern im West-Areal des Institutes. Die vom PSI und vom ENSI unabhängig voneinander durchgeführten Berechnungen zeigen, dass unter ungünstigen Annahmen die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung deutlich unterhalb des für das PSI bewilligten Anteils von 0,15 mSv pro Jahr am quellenbezogenen Dosisrichtwert für den gemeinsamen Standort des PSI und des ZZL liegt. Für das ZZL beträgt der Anteil 0,05 mSv pro Jahr.

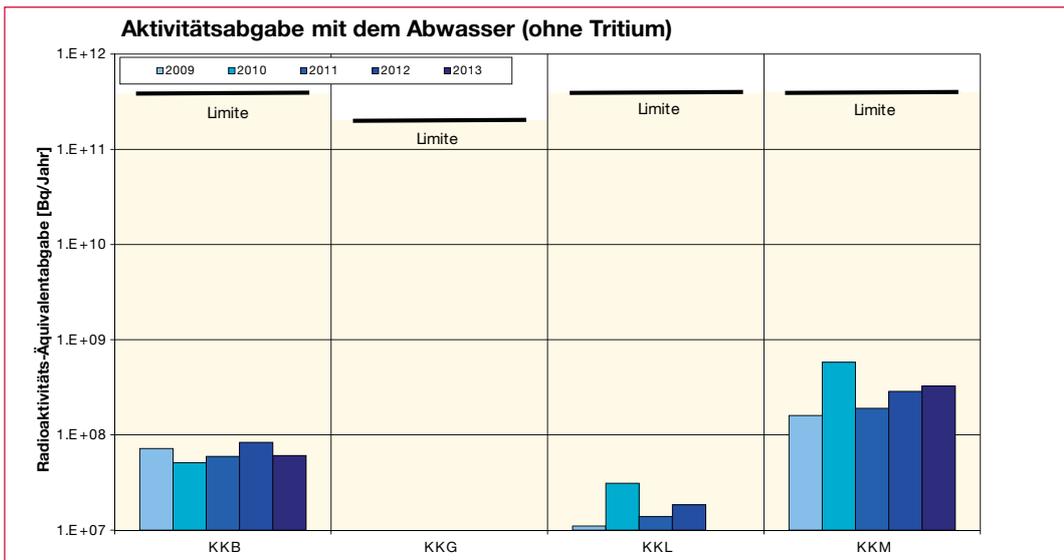
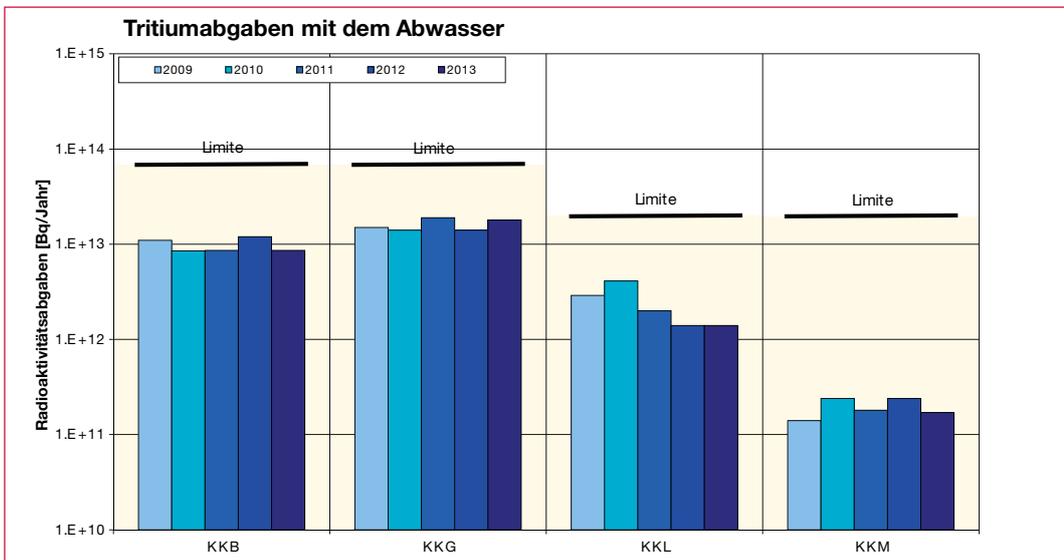
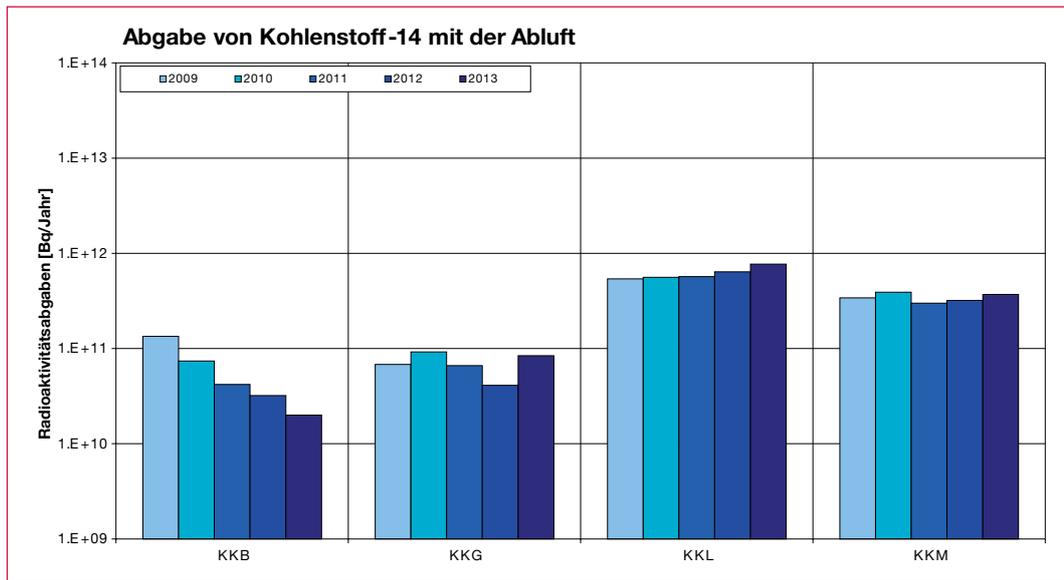
Im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) erfolgten im Berichtsjahr keine weiteren Einlagerungen von Transport- und Lagerbehältern für hoch- und mittelaktive Abfälle, hingegen wurden in der Konditionieranlage grosse Mengen verschiedensten Materials angeliefert und konditioniert. Bei der Plasmaanlage fand 2013 aus logistischen Gründen nur eine Verbrennungskampagne im Herbst statt. Die für das Jahr 2013 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 (2009 bis 2013) 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 3400 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	3,9·10 ⁸	–	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	8,6·10 ¹²	8,6·10 ¹²	7·10 ¹³	12%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	4,1·10 ¹²	3,9·10 ¹³	1·10 ¹⁵	0,4%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,2·10 ⁵	–	6·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	4,5·10 ⁶	4,5·10 ⁶	4·10 ⁹	0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	2,0·10 ¹⁰	–	–	–	<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total					<0,001	<0,001	0,0011	
KKG	Abwasser 7047 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	4,3·10 ⁶	–	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,8·10 ¹³	1,8·10 ¹³	7·10 ¹³	26%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	<9,3·10 ¹²	<1,0·10 ¹³	1·10 ¹⁵	<1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	9,8·10 ⁴	–	1·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	2,8·10 ⁵	–	7·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	8,4·10 ¹⁰	–	–	–	<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total					<0,001	<0,001	0,001	
KKL	Abwasser 14072 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	6,1·10 ⁷	–	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,4·10 ¹²	1,4·10 ¹²	2·10 ¹³	7%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	2,0·10 ¹²	–	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,6·10 ⁷	–	2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	2,2·10 ⁸	2,2·10 ⁸	2·10 ¹⁰	1,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	7,7·10 ¹¹	–	–	–	0,0029	0,0038	0,0065
	Dosis total					0,003	0,0039	0,0067	
KKM	Abwasser 3626 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	2,7·10 ⁹	–	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,7·10 ¹¹	1,7·10 ¹¹	2·10 ¹³	0,8%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	2,9·10 ¹⁰	–	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	5,6·10 ⁶	–	2·10 ¹⁰	<0,1%	0,0027	0,0026	0,0025
		Iod: ¹³¹ I	9,3·10 ⁶	–	2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,7·10 ¹¹	–	–	–	<0,001	0,0012	0,002
	Dosis total					0,0036	0,0038	0,0045	
ZZL	Abwasser 367 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	3,7·10 ⁸	–	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,8·10 ⁹	–	–	–	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	β-/γ-Aerosole	1,2·10 ⁴	–	1·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		α-Aerosole	1,5·10 ⁴	–	3·10 ⁷	–	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	8,3·10 ⁷	–	1·10 ¹²	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,6·10 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 2013 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 2013 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	1,5·10 ¹¹	–	–	–	–
β/γ-Aerosole, ohne Iod	1,7·10 ⁸	–	–	–	1,1·10 ⁵
α-Aerosole	–	–	–	–	–
Iod (Summe aller Isotope)	3,2·10 ⁷	–	–	–	–
Tritium als HTO	1,0·10 ¹¹	3,0·10 ⁷	–	4,7·10 ⁹	1,3·10 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 1282 m ³	Abluft	Aequivalent- abgaben
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]						
Nuklidgemisch ohne Tritium	–	–	–	7,4·10 ⁷	–	1,6·10 ⁷
Tritium	–	–	–	8,0·10 ¹⁰	–	–
Abgaben über die Abluft^{1,2} [Bq/a]						
Edelgase und andere Gase	1,5·10 ¹⁴	3,1·10 ⁹	–	–	1,5·10 ¹⁴	3,4·10 ¹⁴
β/γ-Aerosole, ohne Iod	2,4·10 ¹⁰	2,8·10 ⁶	6,3·10 ³	–	2,4·10 ¹⁰	–
α-Aerosole	–	–	–	–	–	–
Iod (Summe aller Isotope)	5,7·10 ⁷	–	–	–	8,9·10 ⁷	3,9·10 ⁷
Tritium als HTO	1,2·10 ¹²	–	–	–	1,3·10 ¹²	–
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	–	–	–	–	–	–
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:						
Erwachsene	0,0051	<0,00015	<0,00015	<0,00015	–	<0,006
Kind 10j	0,0051	<0,00015	<0,00015	<0,00015	–	<0,006
Kleinkinder	0,0051	<0,00015	<0,00015	<0,00015	–	<0,006
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert⁴	3,4%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	–	<4%

Nuklid β/γ -Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
³ H	8,6·10 ¹²	1,8·10 ¹³	1,4·10 ¹²	1,7·10 ¹¹	8,0·10 ¹⁰	1,8·10 ⁹
⁷ Be					1,4·10 ⁵	
²² Na					9,2·10 ⁴	1,0·10 ⁶
²⁴ Na	2,7·10 ⁶					
⁴⁷ Sc					7,2·10 ⁵	
⁵¹ Cr	6,1·10 ⁴			8,6·10 ⁷		
⁵⁴ Mn	4,7·10 ⁶		5,7·10 ⁶	4,6·10 ⁸	6,2·10 ⁴	
⁵⁷ Co				1,4·10 ⁶	2,3·10 ⁴	
⁵⁸ Co	1,1·10 ⁷		1,3·10 ⁶	5,0·10 ⁸	2,4·10 ³	
⁵⁹ Fe				1,3·10 ⁶		
⁶⁰ Co	6,1·10 ⁷	9,8·10 ⁵	4,4·10 ⁷	1,5·10 ⁹	8,0·10 ⁵	9,9·10 ⁶
⁶⁵ Zn	1,2·10 ⁵		6,1·10 ⁶	6,8·10 ⁷		
⁸⁹ Sr	2,3·10 ⁶			1,3·10 ⁵		
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	5,4·10 ⁵			5,6·10 ⁵	1,3·10 ⁷	
⁹⁵ Nb	1,5·10 ⁵			8,8·10 ⁵		
⁹⁵ Zr	1,7·10 ⁴					
^{99m} Tc	2,2·10 ⁶	8,1·10 ⁴				
¹⁰³ Ru						
¹⁰⁶ Ru						5,5·10 ⁶
¹⁰⁹ Cd		1,3·10 ⁶				
^{110m} Ag	7,1·10 ⁶			6,6·10 ⁵	3,0·10 ⁴	
¹¹¹ In					3,1·10 ⁴	
¹²² Sb	3,2·10 ⁶					
¹²⁴ Sb	5,4·10 ⁷			3,7·10 ⁶		2,0·10 ⁴
¹²⁵ Sb	5,8·10 ⁷		1,1·10 ⁶	4,0·10 ⁶	5,2·10 ⁴	5,0·10 ⁶
^{123m} Te	1,6·10 ⁷	1,2·10 ⁶				
¹³² Te	8,3·10 ⁶	5,5·10 ⁵				
¹²⁵ I					1,2·10 ⁶	
¹³¹ I	2,8·10 ⁷			3,7·10 ⁵		
¹³² I		1,8·10 ⁵				
¹³³ I	1,0·10 ⁷					
¹³⁴ Cs	6,3·10 ⁶				4,9·10 ⁴	3,7·10 ⁶
¹³⁷ Cs	1,1·10 ⁸		9,7·10 ⁵	9,7·10 ⁶	3,5·10 ⁷	3,4·10 ⁸
¹⁴¹ Ce			1,4·10 ⁶			
¹⁴⁴ Ce	4,7·10 ⁵					
¹⁶¹ Tb					2,5·10 ⁶	
¹⁷⁷ Lu					2,2·10 ⁷	
¹⁹⁵ Au					4,4·10 ⁵	
²⁰⁷ Bi					2,1·10 ⁴	
α-Strahler	*)	1,3·10 ⁵	4,2·10 ⁵	2,6·10 ⁴		*)
^{234/238} U					1,4·10 ⁵	
^{239/240} Pu	2,9·10 ³				2,4·10 ⁴	
²³⁸ Pu/ ²⁴¹ Am	5,3·10 ⁴				2,5·10 ⁴	
²⁴² Cm	6,1·10 ³					
^{243/244} Cm	2,8·10 ³					

Tabelle B.3a:
Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2013: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben

*) Angabe umfasst für das KKB und ZZL das 4. Quartal 2012 bis und mit dem 3. Quartal 2013

Tabelle B.3b:
 Abgaben der Kern-
 anlagen mit der Abluft,
 Edelgase und Iod 2013:
 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	$5,9 \cdot 10^{11}$	$6,0 \cdot 10^{11}$	$1,3 \cdot 10^{12}$	$2,1 \cdot 10^{10}$	$1,3 \cdot 10^{12}$	$1,6 \cdot 10^9$
^{11}C					$2,4 \cdot 10^{13}$	
^{14}C (CO_2)	$2,0 \cdot 10^{10}$	$8,4 \cdot 10^{10}$	$7,7 \cdot 10^{11}$	$3,7 \cdot 10^{11}$		$8,3 \cdot 10^7$
^{13}N					$2,5 \cdot 10^{13}$	
^{15}O					$1,0 \cdot 10^{14}$	
^{18}F					$7,9 \cdot 10^{11}$	
^{24}Ne					$1,3 \cdot 10^{12}$	
^{41}Ar				$8,4 \cdot 10^9$	$4,0 \cdot 10^{12}$	
^{85}Kr					$1,5 \cdot 10^{11}$	
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	$1,5 \cdot 10^{11}$		$1,2 \cdot 10^{10}$			
^{87}Kr						
^{88}Kr	$2,6 \cdot 10^{11}$	$9,3 \cdot 10^{11}$				
^{133}Xe	$1,9 \cdot 10^{12}$	$7,4 \cdot 10^{12}$	$9,5 \cdot 10^{11}$			
^{135}Xe	$1,8 \cdot 10^{12}$	$9,3 \cdot 10^{11}$	$4,0 \cdot 10^{11}$	$3,9 \cdot 10^9$		
$^{135\text{m}}\text{Xe}$			$5,9 \cdot 10^{11}$			
^{138}Xe			$4,2 \cdot 10^{10}$			
EG-Aequiv.				$1,7 \cdot 10^{10}$		
EG: β -total						
Andere						
Iod						
^{123}I					$3,2 \cdot 10^7$	
^{125}I					$5,7 \cdot 10^7$	
^{126}I					$4,0 \cdot 10^4$	
^{131}I	$4,5 \cdot 10^6$	$2,8 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^8$	$9,3 \cdot 10^6$		
^{133}I	$2,8 \cdot 10^7$					

Nuklid β/γ -Aerosole	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
⁷ Be						
²⁴ Na					2,3·10 ⁵	
³⁸ S					1,1·10 ⁹	
³⁹ Cl					8,1·10 ⁹	
⁵⁴ Mn			2,4·10 ⁴	9,8·10 ⁵		
⁵⁸ Co				1,1·10 ⁶		
⁶⁰ Co	6,0·10 ⁴	6,9·10 ⁴	1,6·10 ⁵	2,9·10 ⁶	7,3·10 ⁵	1,2·10 ³
⁶⁵ Zn				2,4·10 ⁵		
⁷⁵ Se					6,7·10 ³	
⁷⁷ Br					2,5·10 ⁶	
^{80m} Br					2,2·10 ⁹	
⁸² Br					4,4·10 ⁸	
⁸⁹ Sr			1,4·10 ⁶			
^{99m} Tc					1,6·10 ⁸	
^{123m} Te		1,3·10 ⁴				
¹³¹ I (Aerosol)			8,2·10 ⁶	5,3·10 ⁴		
¹³⁷ Cs	6,0·10 ⁴	2,4·10 ³		1,2·10 ⁵		1,1·10 ⁴
¹⁴⁰ Ba			5,8·10 ⁶	2,2·10 ⁵		
¹⁴⁰ La			3,6·10 ⁶			
¹⁴⁴ Ce		1,4·10 ⁴				
¹⁸¹ Re					5,3·10 ⁷	
^{182m} Re					1,5·10 ⁸	
¹⁸³ Re					6,5·10 ⁶	
¹⁸³ Os					1,8·10 ⁸	
^{183m} Os					4,8·10 ⁸	
¹⁸⁵ Os					1,5·10 ⁷	
¹⁸⁵ W					1,0·10 ⁹	
¹⁹¹ Pt					1,5·10 ⁵	
¹⁹² Au					8,0·10 ⁸	
¹⁹⁴ Au					4,7·10 ⁶	
¹⁹² Hg					5,4·10 ⁸	
^{193m} Hg					1,8·10 ⁸	
¹⁹⁴ Hg					4,7·10 ⁶	
¹⁹⁵ Hg					9,9·10 ⁹	
^{195m} Hg					7,5·10 ⁷	
^{197m} Hg					8,6·10 ⁷	
²⁰³ Hg					6,2·10 ⁶	
Nicht spezifizierte						
α-Aerosole	1,2·10 ⁴	5,1·10 ⁴	5,2·10 ⁴	7,1·10 ⁴		1,5·10 ⁴

Tabelle B.3c:

Abgaben mit der Abluft, Aerosole 2013: 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 normierte Abgabe aufgeführt.
Aerosole: Hier ist in jedem Fall die Summe der Radioaktivität ohne Normierung auf einen Referenzwert angegeben. Der Dosisbeitrag von Aerosolen mit Halbwertszeiten kleiner 8 Tagen ist bei den Kernkraftwerken vernachlässigbar.
Beim KKM ergibt sich der Hauptbeitrag zur Dosis durch die Strahlung der abgelagerten Aerosole, die im Jahre 1986 durch eine unkontrollierte Abgabe in die Umgebung gelangten. Der Dosisbeitrag der Aerosole, welche im Berichtsjahr abgegeben wurden, ist dem gegenüber vernachlässigbar und liegt in der Grössenordnung der anderen schweizerischen Kernkraftwerke.
Iod: Bei den Kernkraftwerken ist die Abgabe von ¹³¹I limitiert; somit ist bei den bilanzierten Abgaben nur dieses Iod-Isotop angegeben.
Beim PSI, bei dem andere Iod-Isotope nachgewiesen werden, ist die Abgabe für die einzelnen Abgabestellen und die Gesamtanlage als Summe der Aktivität der gemessenen Iod-Nuklide angegeben. Für die Gesamtabgabe wird zudem auch ein ¹³¹Iod-Aequivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben, wobei sich der Gewichtungsfaktor aus dem Verhältnis des Ingestionsdosisfaktors des jeweiligen Nuklides zum Ingestionsdosisfaktor von ¹³¹I ergibt. Die Ingestionsdosisfaktoren sind der StSV entnommen.
Für die Berechnung der Jahresdosis werden sowohl für die KKW wie für das PSI immer sämtliche verfügbaren Iod-Messungen verwendet, d.h. es ist beispielsweise für KKB auch der Beitrag von ¹³³I berücksichtigt.
Kohlenstoff ¹⁴C: In den Tabellen ist der als Kohlendioxid vorliegende Anteil des ¹⁴C, der für die Dosis relevant ist, angegeben. Die für ¹⁴C angegebenen Werte basieren bei allen Werken auf aktuellen Messungen.
- 2 Die **Messung der Abgaben** erfolgt nach den Erfordernissen der Reglemente «für die Abgaben radioaktiver Stoffe und die Überwachung von Radioaktivität und Direktstrahlung in der Umgebung des...» jeweiligen Kernkraftwerkes resp. des ZZL oder PSI. Die Messgenauigkeit beträgt ca. $\pm 50\%$. Abgaben unterhalb 0,1% der Jahresabgabelimite werden vom ENSI als nicht-relevant betrachtet und werden in der Spalte «Normiert» nicht ausgewiesen (-). Abgaben kleiner tausend Bq werden in der Tabelle B3 nicht aufgeführt.
- 3 Die **Jahresdosis** ist für Personen berechnet, die sich dauernd am kritischen Ort aufhalten, ihre gesamte Nahrung von diesem Ort beziehen und ihren gesamten Trinkwasserbedarf aus dem Fluss unterhalb der Anlage decken. Die Dosis wird mit den in der Richtlinie ENSI-G14 angegebenen Modellen und Parametern ermittelt.
Dosiswerte kleiner als 0,001 mSv – entsprechend einer Dosis, die durch natürliche externe Strahlung in ca. zehn Stunden akkumuliert wird – werden in der Regel nicht angegeben. Beim PSI wird die Jahresdosis der Gesamtanlage als Summe über die Abgabestellen gebildet.
- 4 **Abgabelimite** gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die Abgabelimite wurden so festgelegt, dass die Jahresdosis für Personen in der Umgebung (vgl. Fussnote 3) für die Kernkraftwerke unter 0,3 mSv/Jahr respektive das Zentrale Zwischenlager in Würenlingen (ZZL) unter 0,05 mSv/Jahr bleibt. Für das Paul Scherrer Institut (PSI) sind die Abgaben gemäss Bewilligung 6/2003 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 Thermolumineszenzdosimetern (TLD) in der Umgebung sowie am Arealzaun überwacht. Zusätzlich dazu führt das ENSI vierteljährlich stichprobenweise Dosisleistungsmessungen am Arealzaun sowie bei Bedarf spezielle Messkampagnen durch.

Die Ortsdosisleistung ist im Nahbereich der Siedewasserreaktoren in Mühleberg und in Leibstadt durch Direkt- und Streustrahlung aus dem Maschinenhaus erhöht. Diese Strahlung resultiert aus dem radioaktiven Zerfall des kurzlebigen Stickstoffnuklids ^{16}N , welches im Reaktor produziert und bei Siedewasserreaktoren mit dem Dampf in die Turbine im Maschinenhaus getragen wird. Des 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. 2 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 $0,19 \mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes und unter Berücksichtigung der Betriebszeit am meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von ca. $1,0 \text{ mSv}$ pro Jahr. Die höchste, mit den TLD am Zaun ermittelte Jahresdosis (nach Abzug des natürlichen Untergrundes von $0,6 \text{ mSv}$) beträgt $0,9 \text{ mSv}$.

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 2013 betrug der höchste, mit einem Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun des PSI ermittelte Wert ca. $0,2 \text{ mSv}$ (ohne natürlichen Untergrund von ca. $0,6 \text{ mSv}$).

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

Die Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Betriebsareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn-, Aufenthalts- und Arbeitsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche nach Art. 102 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung wurden 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 und benachbarten Staaten 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). Von den Kernkraftwerken werden Kaminemissionswerte und wichtige Anlagenparameter der Primär- und Sekundäranlage übernommen und in die MADUK-Zentrale geleitet. Die MADUK-Zentrale des ENSI verarbeitet und archiviert die Daten, sorgt im Bedarfsfall für eine sofortige Alarmierung der ENSI-Notfallorganisation und sichert die Daten langfristig. Des Weiteren sorgen verschiedene Subsysteme für den Da-

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

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

2.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung

Im Jahre 2013 lief die erneuerte MADUK-Zentrale im Parallelbetrieb zum operativen System. Dabei konnten noch Restfehler eliminiert werden. Gleichzeitig wurde auch die MADUK-Bedienoberfläche auf .NET-Technologie migriert. Die für die Umsetzung des Dosismassnahmenkonzeptes benötigten Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen von ADPIC (siehe Kapitel 3) werden in das MADUK-System übernommen und von diesem in den definierten Formaten an die Partner wie KFÜ Baden-Württemberg und Nationale Alarmzentrale weitergeleitet. Im Rahmen der Gesamtnotfallübung Odysseus konnten das neue System und die neuen Abläufe erfolgreich eingesetzt werden.

In Zusammenarbeit mit Swisscom wurden 35 DSL-Router in den Messstationen durch neue Geräte ersetzt. Die Integration und der Austausch der Geräte verliefen ohne Probleme.

2.3 Systemverfügbarkeit und Störungen

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

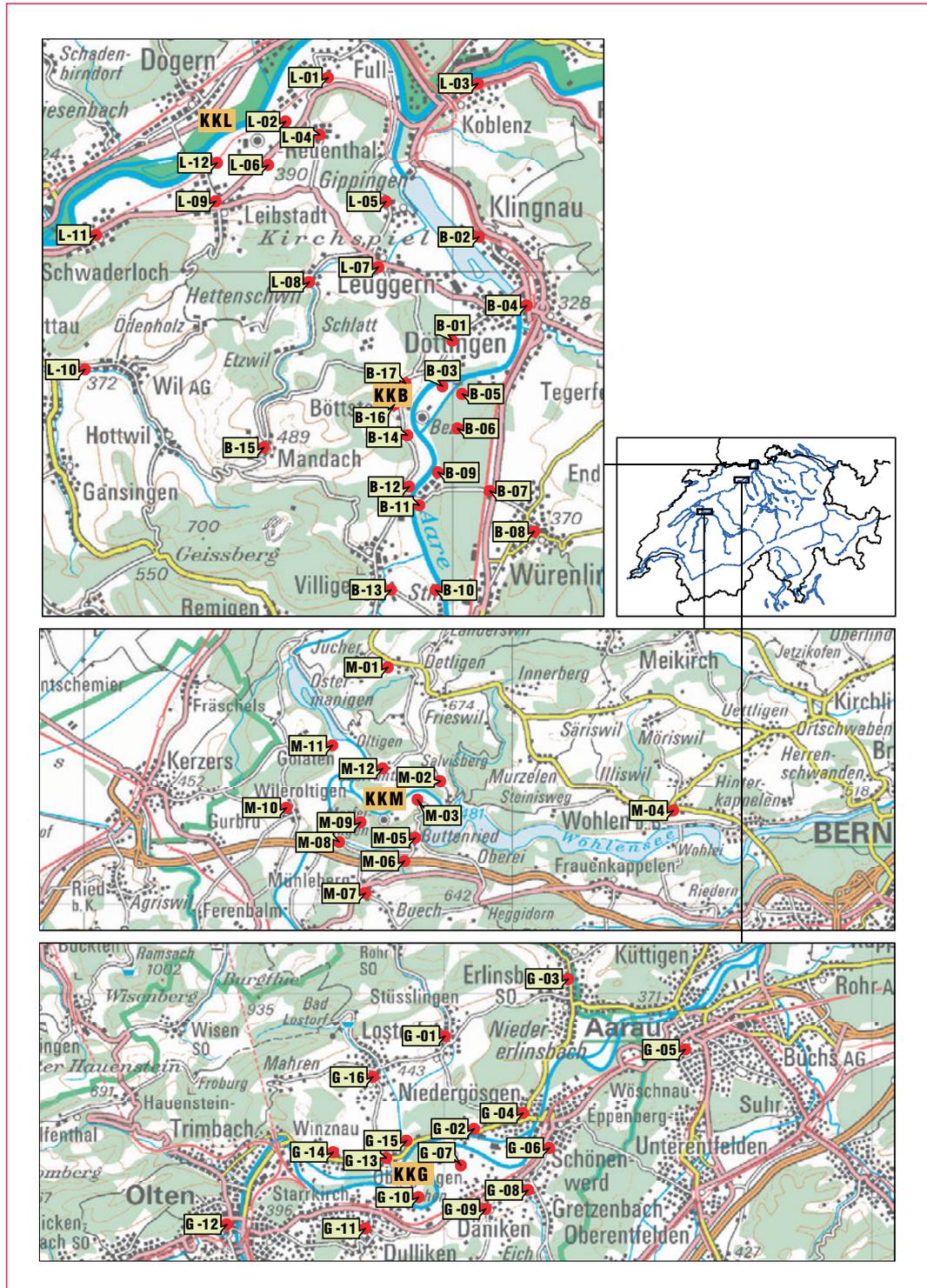
MADUK beurteilt: Systemstörungen, die zu wesentlichen Nutzungseinschränkungen des Systems geführt haben, werden als Ausfallzeit in Stunden erfasst.

Die permanente Übertragung der Anlageparameter erreichte insgesamt wiederum eine sehr hohe Verfügbarkeit. Bei KKB1 und KKB2 kam es im ersten und zweiten Quartal aufgrund von angekündigten Arbeiten zu Unterbrüchen von insgesamt

MADUK-Sondenstandorte

Darstellung B.2:

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



Station	Störungsdauer [h]	Permanenter Datenverlust [h]	Ursache
B-06	13.0	13.0	Blockierter Datenlogger
B-06	30.0	30.0	Blockierter Datenlogger
G-06	2.5	2.5	Defekte Messsonde
L-06	68.0	68.0	Defekter DSL-Router und blockierter Datenlogger
G-07	16.5	16.5	Blockierter Datenlogger
L-01	113.0	113.0	Kabelschaden zwischen Sonde und Datenlogger
B-15	23.1	23.1	Blockierter Datenlogger
L-11	37.5	37.5	Blockierter Datenlogger
G-08	1.1	1.1	Blockierter Datenlogger
B-07	2.3	2.3	Blockierter Datenlogger
L-12	4.0	4.0	Blockierter Datenlogger

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

33,2 Stunden. 3,2 Stunden waren auf Umbauarbeiten am Rack der Übertragungsrechner zurückzuführen, zwei Mal 15 Stunden auf das Stoppen der Übertragungsrechner über Nacht wegen Umbauarbeiten an der Stromversorgung. Bei KKG kam es im zweiten Quartal während des Revisionsstillstands aufgrund angekündigter Unterhaltsarbeiten am Anlageninformationssystem zu Unterbrüchen in der Datenübermittlung von 2 und 1,3 Stunden. Bei KKM führte ein Stromunterbruch in der Versorgung des Kommunikationsrechners zum ENSI zu einem Datenunterbruch von 2 Stunden. Die Tabelle B.4 gibt eine Übersicht über die Störungen an den Messstationen mit Störungsdauer, permanentem Datenverlust und Ursache der Störung. Die Stationselektronik lief auch im 2013 grösstenteils zuverlässig. Es waren bis auf einen defekten DSL-Router keine wesentlichen Kommunikationsunterbrüche zu verzeichnen. Etwas häufiger als im 2012 kam es zu Ausfällen durch blockierte Datenlogger. Der längste Ausfall war auf ein durchtrenntes Kabel zwischen Messsonde und Datenlogger zurückzuführen. Das Kabel musste in der Folge zwischen Messstation und Sonde ersetzt werden. Im Berichtsjahr lag die gemäss Managementhandbuch des ENSI bestimmte Systemverfügbarkeit bei 99,7% (Verfügbarkeit der ANPA- und EMI-Daten eingerechnet). Die Verfügbarkeit der Dosisleistungsdaten aller MADUK-Stationen im Archiv betrug 99,93%.

2.4 Qualitätssicherung

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

In Anlehnung an die «Empfehlungen zur Sicherstellung der Messdatenqualität von Umgebungs-dosimetriesystemen» der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität vom 24. November 2004 werden die MADUK Sonden vor einem ersten Einsatz geeicht. Die Eichung hat eine dreijährige Gültigkeit. Das Messverhalten der Sonden wird zwischen den Eichungen mit halbjährlichen Genauigkeitstests geprüft. Bei den Genauigkeitstests werden mit Hilfe einer Prüfquelle die Resultate der Niederdosis- und Hochdosis-Zählrohre überprüft. Mit einer 460 kBq ¹³⁷Cs-Quelle werden erhöhte Werte bei jeder Sonde während ca. 40 Minuten produziert und mit Sollwerten verglichen. Gleichzeitig wird diese Sondenfunktionskontrolle auch für die Überprüfung der Datenübermittlung, der korrekten Archivierung im MADUK-Datenarchiv sowie der Alarmauslösung gemäss den festgelegten Schwellwerten benutzt. Im Jahr 2013 wurden zwei Funktionsprüfungen durchgeführt. Dabei erfüllten einige Niederdosiszählrohre die Testkriterien nicht. Im Managementhandbuch ist für den Fall einer nicht bestandenen Funktionsprüfung eine Reparatur der Sonde beim Hersteller vorgesehen. Nach Herstellerangabe erfolgt aber bei Erfüllung der Eichkriterien kein Eingriff an der Hardware, sondern es

werden nur neue Referenzwerte angelegt. Eine detailliertere Analyse der Daten aus den Funktionsprüfungen der letzten fünf Jahre zeigte zudem einen allgemeinen Trend zu höheren Empfindlichkeiten bei den Niederdosiszählrohren. Wenn sich dieser Trend fortsetzt, werden sich in Zukunft die Fälle nicht bestandener Funktionsprüfungen häufen. Deshalb wird das Testkriterium der Funktionsprüfung dahingehend angepasst, dass ein zu frühes Zuschlagen des Kriteriums verhindert werden kann, die erforderliche Genauigkeit zur Erfüllung der Eichkriterien aber weiterhin sichergestellt ist. Mit diesem Schritt kann die bisherige Funktionsprüfung beibehalten und die Ergebnisse analog zu den bisherigen ausgewertet werden. Bei anhaltendem Trend zu höheren Empfindlichkeiten werden die Sonden mit den grössten Ist/Soll-Abweichungen im Eichlabor des PSI überprüft, um die tatsächlichen Abweichungen bei der Dosisleistungsmessung bestimmen zu können. Aus den Ergebnissen dieser Überprüfung werden dann die weiteren Massnahmen abgeleitet.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme werden Messungen mittels in-situ-Gammaspektrometrie im Feld durchgeführt. 2013 wurden Messungen bei den Sonden der Messringe Gösigen und Leibstadt durchgeführt. Die Messwerte lagen im Bereich der früheren Jahre. Bei der Station G-15 lag die Th-232 Aktivitätskonzentration knapp oberhalb des statistischen Streubereichs von 30%. Bei den Stationen L-05 (U-235), G-01 (Cs-137), G-02 (Cs-137) und L-04 (Cs-137) lagen die Aktivitätskonzentrationen unterhalb des statistischen Streubereichs. Die Entwicklung der Messwerte an diesen Standorten wird beobachtet.

2.5 Messergebnisse

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

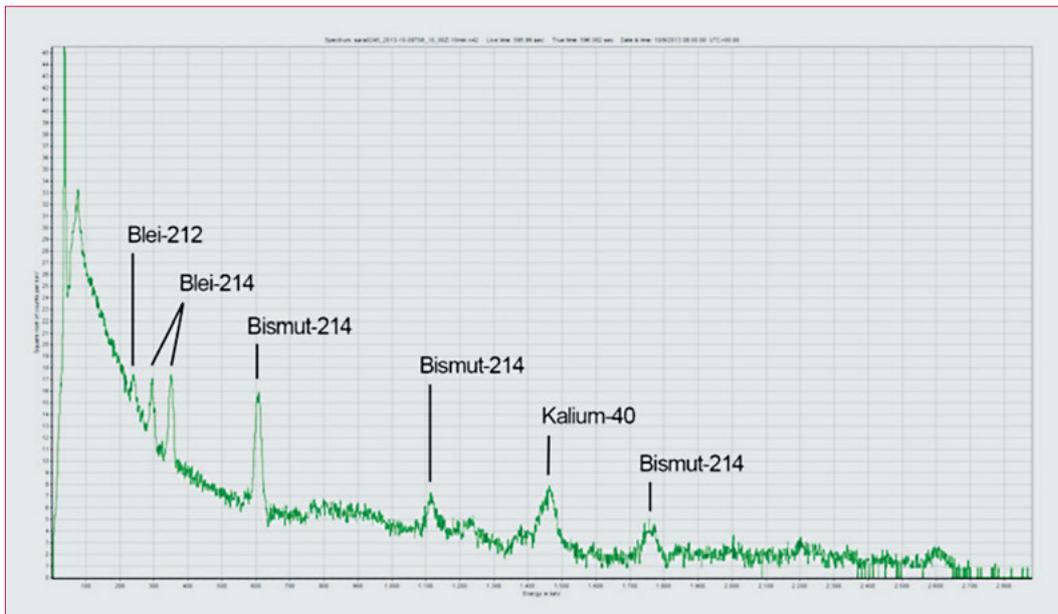
Die jährliche Überprüfungskampagne der NADAM-Sonden an den Standorten, an denen auch eine MADUK-Station in Betrieb ist, führte 2013 bei keiner MADUK-Sonde zu wesentlichen Erhöhungen der Messwerte.

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.

Besonders auffällig waren die Schwellwertüberschreitungen der Nettodosisleistung vom 8. und 9. Oktober bei den Stationen L-06, L-09 und L-12. Zum Zeitpunkt der Erhöhungen lag eine Schwachwindlage vor und es herrschte Hochnebel. Der Wind (Messung Windrichtung Meteostation 10 m) kam durchgehend aus südwestlicher Richtung. Die Stationen mit erhöhten Messwerten lagen nicht in Abwindrichtung des KKL. Die Meteostation Leibstadt (Standort der Station L-06) registrierte am 9. Oktober Niederschlag mit einer maximalen Intensität von 5,5 mm/10 min um 08:50. Da die Erhöhungen aussergewöhnlich lange dauerten, konnten am 9. Oktober bei der Station L-06 (vor dem Einfahrtstor Meteostation) zwischen 10:00 und 10:30 mit einem mobilen Gammaspektrometer drei 10-Minuten-Spektren erfasst werden. Als Spektrometer wurde ein 1,5" Lanthan-Bromid-Detektor der Firma Envinet verwendet. Die Auswertung der Spektren zeigte den natürlichen Ursprung der Dosisleistungserhöhung. Alle gemessenen Spektrallinien zeigten Zerfallsprodukte aus der

Tabelle B.5:
Auflistung der Nettodosisleistungsschwellwertüberschreitungen im Jahr 2013.

Datum	Station	Dauer [h]	Max. ND [nSv/h]	Max. OD [nSv/h]
22.4.2013 22:00	L-06	0.8	63	156
6.5.2013 20:40	B-15	0.2	62	190
6.5.2013 20:40	L-08	0.6	78	196
28.8.2013 15:40	M-04	0.4	56	156
28.8.2013 16:40	G-14	0.4	52	212
6.10.2013 16:50	L-06	0.2	53	157
8.10.2013 17:40	L-06	2.8	179	289
8.10.2013 19:30	L-12	7.2	159	280
9.10.2013 02:10	L-09	0.5	77	197
9.10.2013 04:40	L-12	0.6	69	170
9.10.2013 06:00	L-06	5.5	400	509

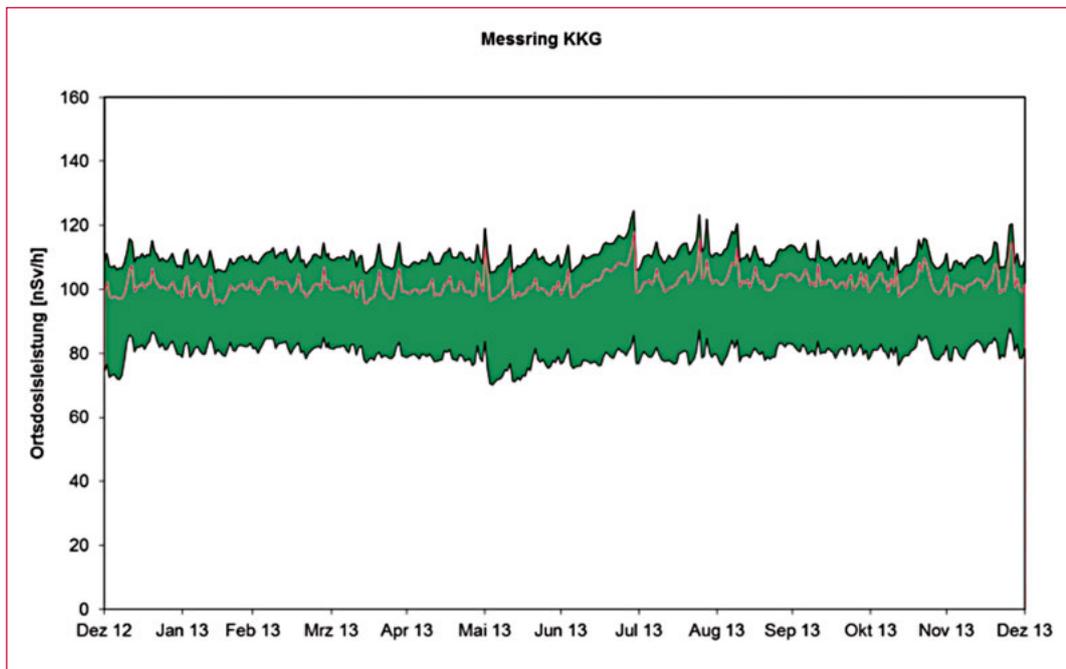
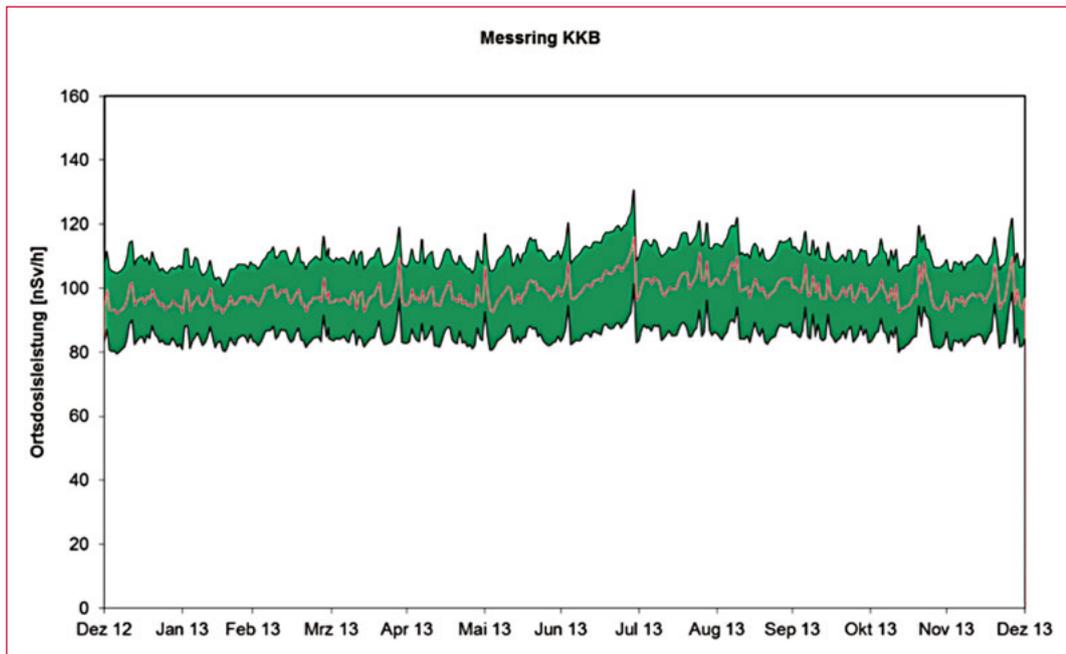


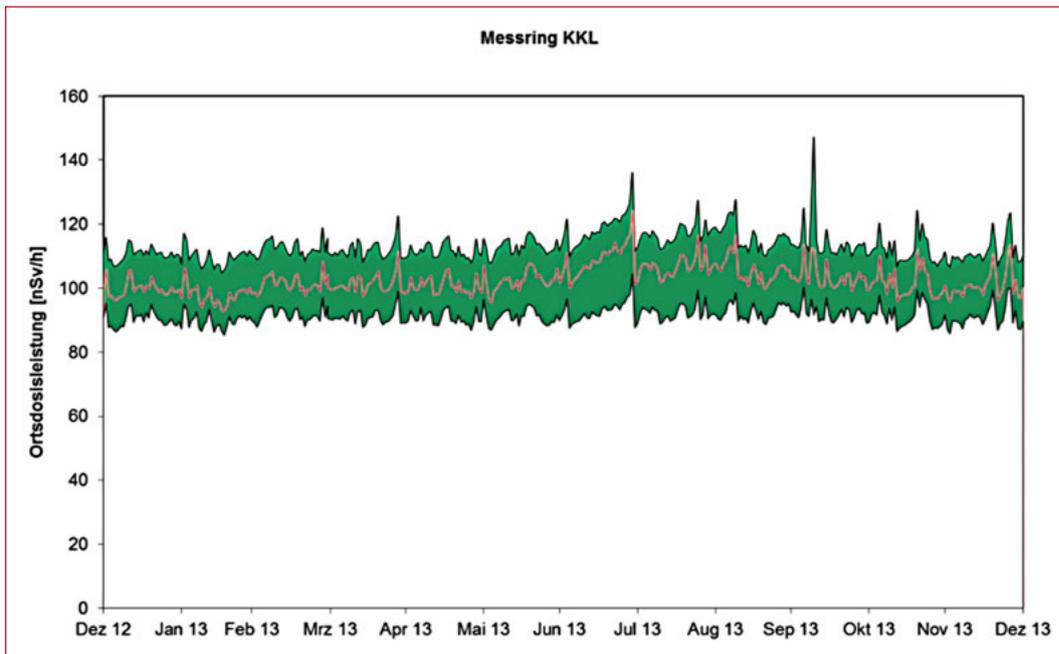
Darstellung B.3:
 Spektrum am Standort
 L-06, Meteostation
 Leibstadt, 09. Oktober,
 10:10 Uhr.

U-238 und Th-232 Reihe (Darstellung B.3). Die Spektrallinie bei etwa 35 keV ist auf Röntgenemissionen des im Detektor intrinsisch vorhandenen La-138 zurückzuführen. Am unteren Ende des Messbereiches, wo durch die Comptonstrahlung eine erhöhte Zählrate vorhanden ist (<100 keV), liegt noch eine visuell sichtbare Erhöhung bei etwa 80 keV. In diesem Energiebereich fallen einige Spektrallinien der Zerfallsreihen U-238 und Th-232 zusammen. Eine eindeutige Zuordnung zu einem Nuklid ist bei dieser Energieauflösung nicht möglich. Die Erhöhung der Ortsdosisleistung ist auf Washout von Radonfolgeprodukten durch lokalen Niederschlag zurückzuführen. Während den Messungen lagen die Ortsdosisleistungen der Station L-06 zwischen 370 und 301 nSv/h. Bei der Fahrt nach Leibstadt konnte beobachtet werden, dass der Niederschlag sehr lokal ausfiel. In Leuggern fiel kein Niederschlag, während in Leibstadt feiner, aber intensiver Regen fiel. Die Untergrenze des Hochnebels lag knapp über dem Kühlturm des KKL.

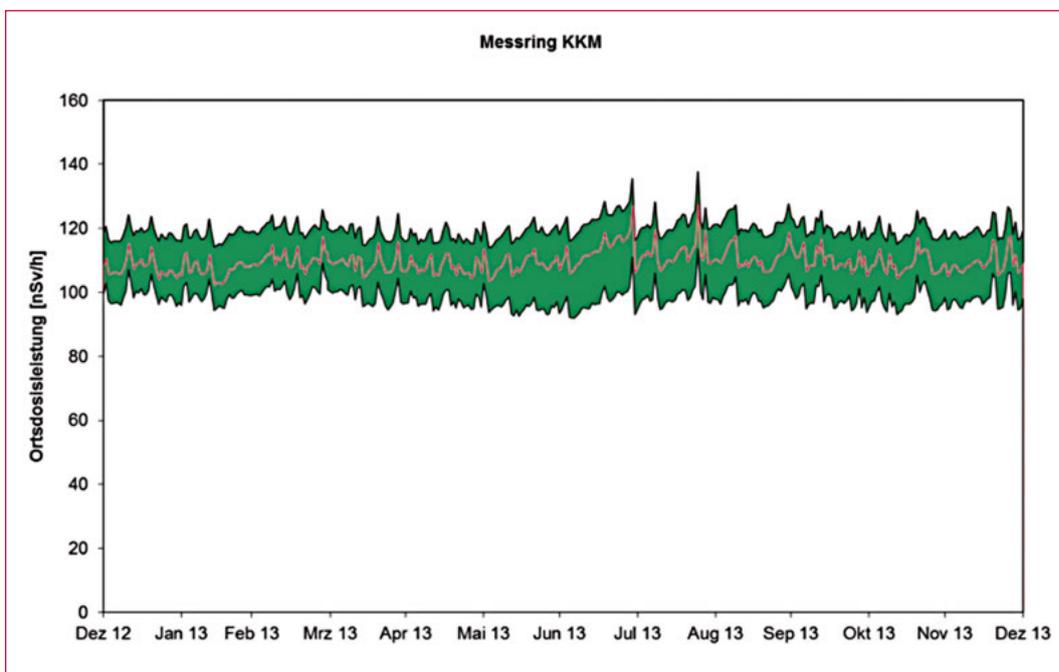
Künstliche Nuklide würden im Spektrum beispielsweise bei 662 keV (^{137}Cs), 364 keV (^{131}I) oder 1173 und 1330 keV (^{60}Co) sichtbar. Die Darstellungen B.4 und B.5 zeigen die Maxima, die Minima und die Mediane der Tagesmittelwerte der jeweiligen Messringe im Berichtsjahr in den Umgebungen der Kernkraftwerke.

Darstellung B.4:
Wertebereiche aus
Tagesmittelwerten
für die Messringe
KKB, KKG.





Darstellung B.5:
 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 der Einsatz der benötigten Modelle festgelegt. Da die Anforderungen der Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität nicht durch ein einziges Ausbreitungsmodell erfüllt werden können, sind spezifische Modelle für den lokalen (Zonen 1 und 2), regionalen (Zone 3 und grenznahes 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 zurückgegrif-

fen 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 Gösigen. Für einen operationellen Einsatz des Modells in der Schweiz waren umfangreiche Anpassungen notwendig, insbesondere bezüglich On-line-Meteorodaten-Erfassung, dreidimensionale Windfelddaten und Visualisierung der Ergebnisse.

Aktueller Stand

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

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

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

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

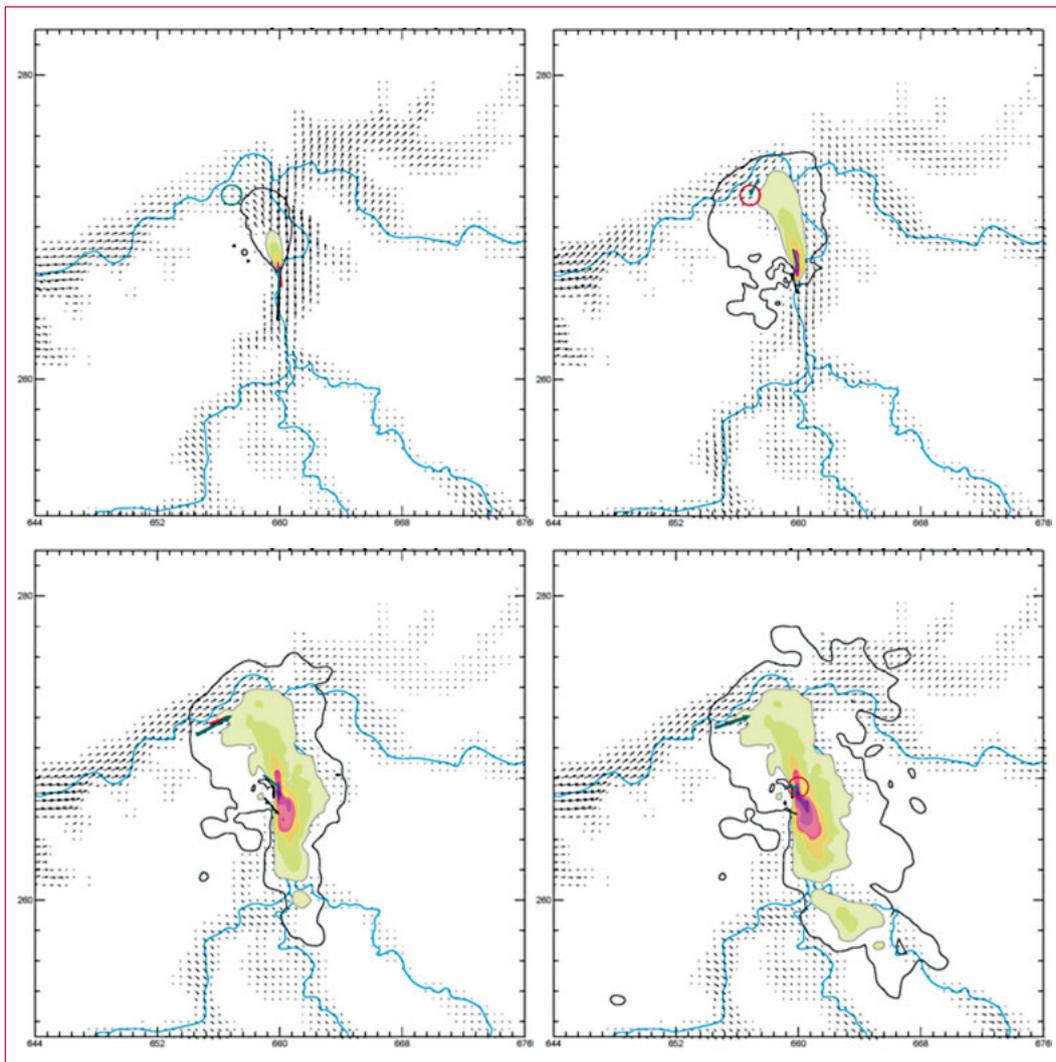
Für die Sicherstellung der Notfallbereitschaft im Ereignisfall muss neben der technischen Verfügbarkeit auch die personelle Bedienung des Systems gewährleistet sein.

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

Beispiele von ADPIC/COSMO-Berechnungen

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

In den Darstellungen B.6 bis B.9 werden Beispiele von ADPIC/COSMO-Simulationen für die vier KKW-Standorte dargestellt. Die Darstellungen stammen aus den Routineberechnungen und zeigen die berechneten integrierten Aktivitätskonzentrationen in Bodennähe als Funktion der Zeit für verschiedene ausgewählte, nicht repräsentative Wetterlagen.



Darstellung B.6:
 Beispiel einer ADPIC/
 COSMO-Simulation
 für KKB
 (Berechnungen mit
 prognostizierten 3D-
 Winddaten aus dem
 COSMO2-Modell)

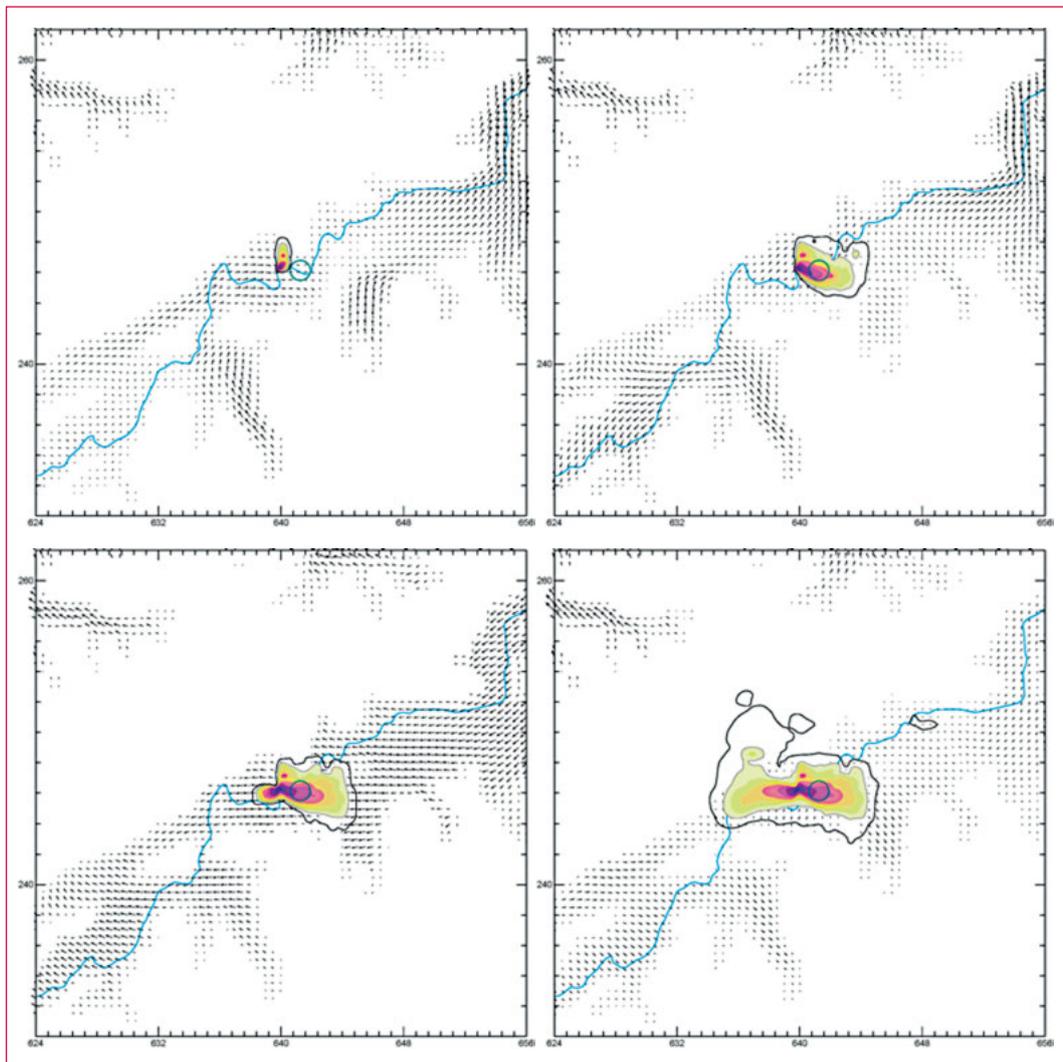
Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 19. Januar 2014 um 14:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 10 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden.

Ausbreitungssituation um 14:50 Uhr (links oben), 16:20 Uhr (rechts oben), 18:20 Uhr (links unten) und 20:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

Vordergrund: Integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit

Hintergrund: 3D-Windfeld auf 400 m über Meer

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

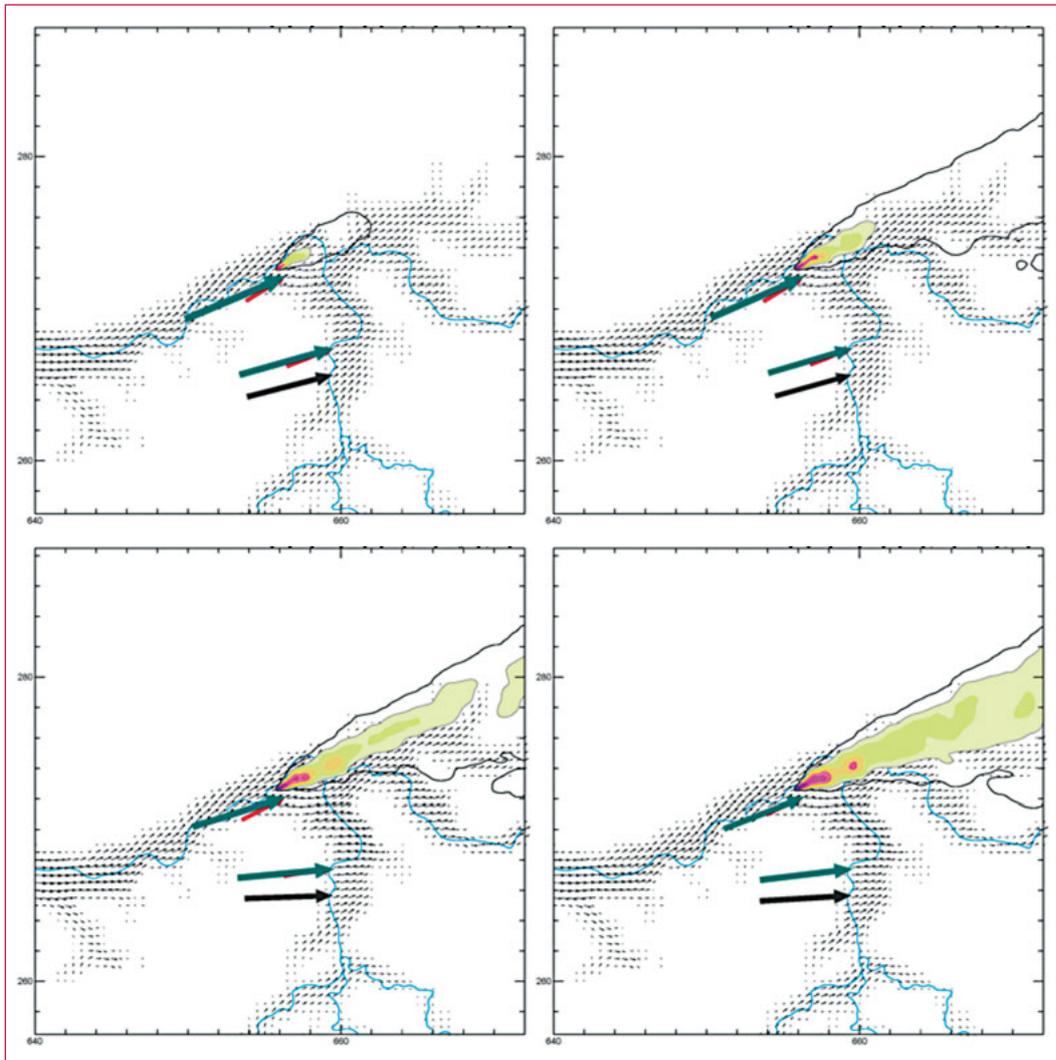


Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 31. Januar 2014 um 7:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 10 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden.

Ausbreitungssituation um 8:20 Uhr (links oben), 9:50 Uhr (rechts oben), 11:30 Uhr (links unten) und 13:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

Vordergrund: Integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit

Hintergrund: 3D-Windfeld auf 450 m über Meer



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

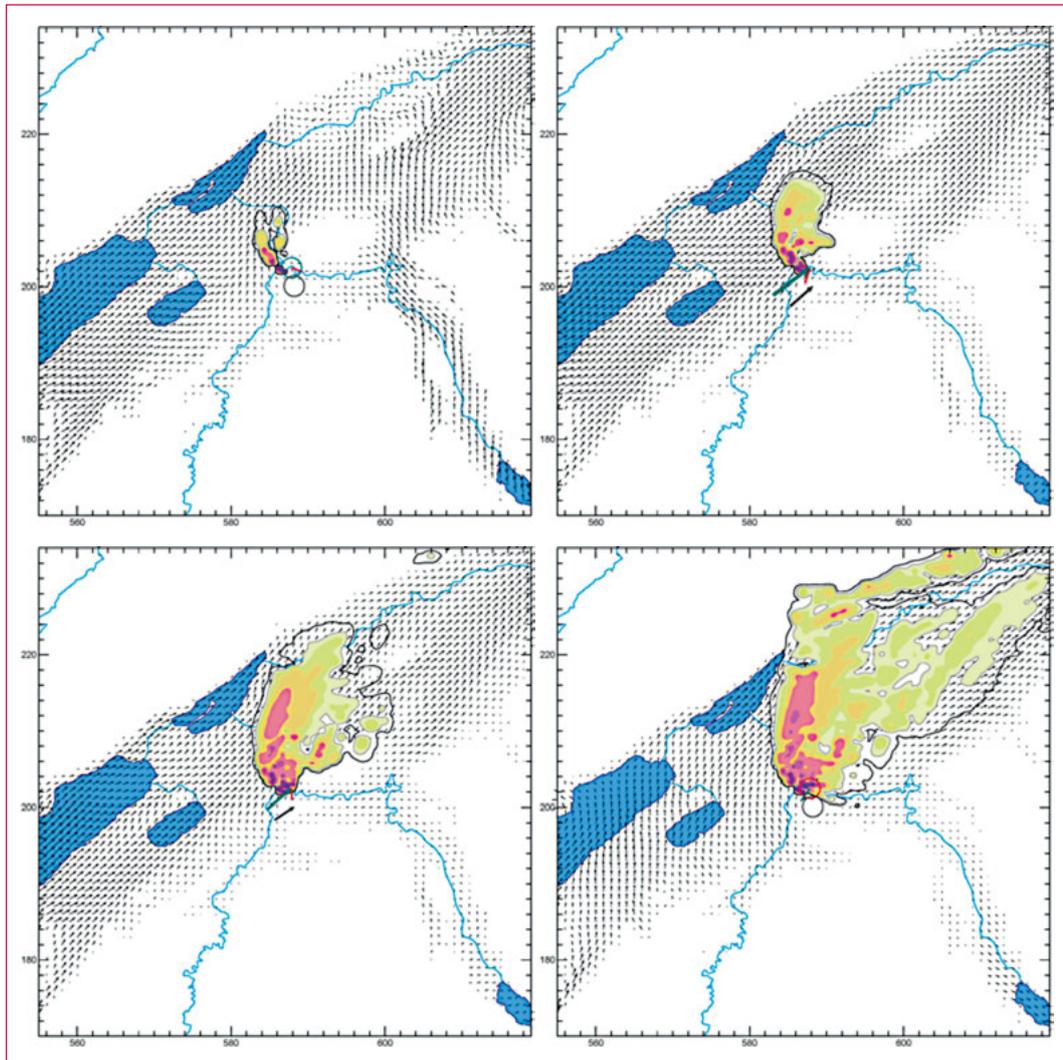
Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 24. Januar 2014 um 4:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 10 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden.

Ausbreitungssituation um 4:20 Uhr (links oben), 5:10 Uhr (rechts oben), 7:30 Uhr (links unten) und 10:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

Vordergrund: Integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit

Hintergrund: 3D-Windfeld auf 400 m über Meer

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



Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 16. Januar 2014 um 5:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 10 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden.

Ausbreitungssituation um 6:10 Uhr (links oben), 8:10 Uhr (rechts oben), 9:40 Uhr (links unten) und 11:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

Vordergrund: Integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit

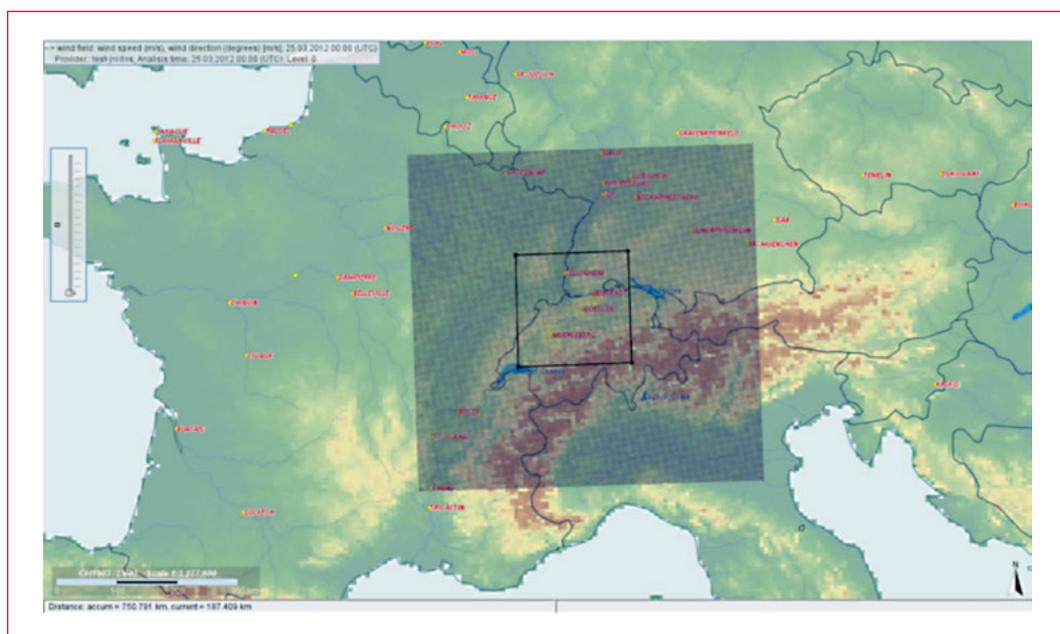
Hintergrund: 3D-Windfeld auf 550 m über Meer

3.3 Projekt RADUK

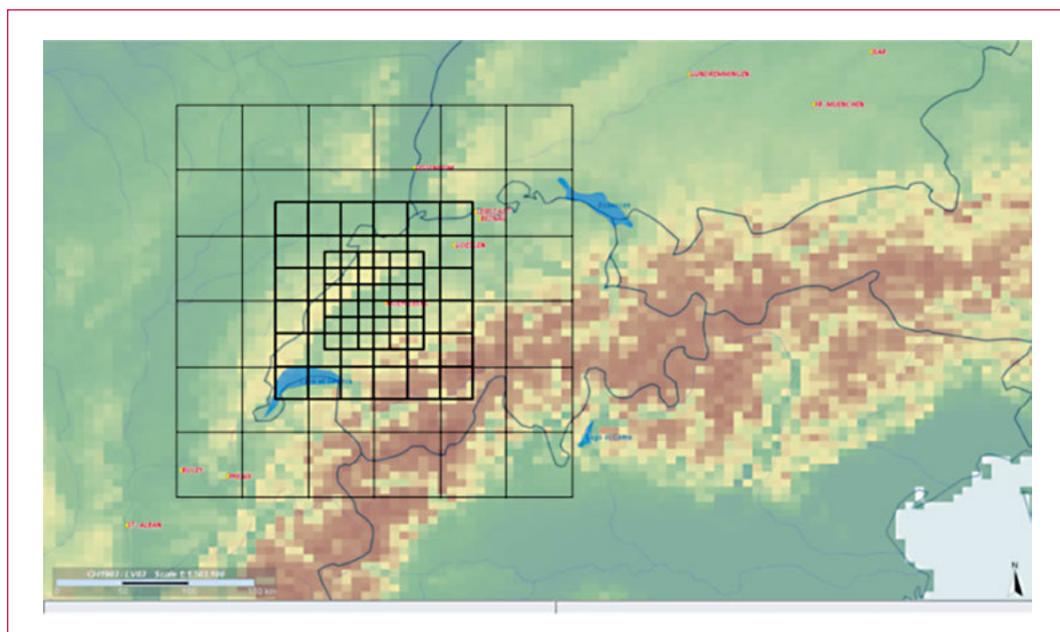
Um auch in Zukunft den gesetzlichen Auftrag zur Durchführung von radiologischen Ausbreitungsrechnungen zu erfüllen, hat das ENSI im Januar 2011 das Projekt RADUK (**R**adiologische **A**usbreitungsrechnungen in **d**er **U**mgebung von **K**ernanlagen) ins Leben gerufen. Mit der Modernisierung des Ausbreitungsrechensystems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

Das zukünftige Ausbreitungsrechensystem soll Anfang 2015 operationell sein und das bestehende ADPIC-System ablösen. Eine wesentliche Neuerung stellt die Erweiterung des Rechengebiets von gegenwärtig maximal 64 x 64 km² auf 500 x 500 km² dar (siehe Darstellung B.10), wobei für den Nahbereich um eine Kernanlage die orografische Auflösung von 250 m beibehalten wird. Für den Fernbereich ab etwa 20 km kann diese Auflösung durch eine Schachtelung von unterschiedlich aufgelösten Gebieten (sog. «Nesting», siehe Darstellung B.11) verringert werden, um im Gegenzug die aufzuwendende Rechenzeit des Hochleistungsrechners zu senken.

Als Plattform für die Meteodatenverarbeitung, Windfeldberechnung sowie Dosisberechnung und



Darstellung B.10:
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.11:
Die Auflösung des Rechengitters nimmt von innen nach aussen hin ab, wobei die minimale Maschengrösse 250 m beträgt. Dadurch kann die Rechenzeit entscheidend verkürzt werden.

Visualisierung ist das Programm JRODOS vorgesehen. JRODOS (**J**ava **R**ealtime **O**nline **D**ecisi**O**n **S**upport) ist ein vom Karlsruher Institut für Technologie entwickeltes Entscheidungshilfesystem für den externen Notfallschutz, welches von vielen europäischen Ländern genutzt wird. Gegenwärtig wird JRODOS von dessen Entwicklern auf die Anforderungen des ENSI adaptiert. In JRODOS wird für die eigentliche Ausbreitungsrechnung das Programm LASAT verwendet. Bei LASAT handelt es sich um ein validiertes Lagrange'sches Partikelmodell nach der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3.

Auch zukünftig setzt das ENSI bei seinen radiologischen Ausbreitungsrechnungen auf die mit einer Gittermaschenweite von 2,2 km hochaufgelösten meteorologischen Prognosedaten des COSMO2-Modells von MeteoSchweiz. Diese Auflösung wird in naher Zukunft durch die Weiterentwicklung des COSMO-Modells auf eine Gittermaschenweite von 1 km weiter erhöht.

Im vergangenen Jahr wurde beim ENSI ein Testsystem mit der aktuellen Version von JRODOS eingerichtet, auf welchem die Funktionalität des Programms getestet werden konnte. Darüber hinaus wurden von den Entwicklern zahlreiche Anpassungen an der JRODOS- und LASAT-Software vorgenommen, um den von der Schweiz an ein solches System gestellten Anforderungen gerecht zu werden. Letztere betrafen z. B. die Darstellung in Schweizer Landeskoordinaten, die Erweiterung des Gitters auf eine Abwinddistanz von bis zu 500 km oder die Verwendung der COSMO-2-Meteorodaten mit einer zeitlichen Auflösung von 10 min. Die angepasste Software wurde auf Ende des Jahres 2013 geliefert und sie wird zu Beginn des Jahres 2014 getestet. Eine weitere Anpassung an die Schweizer Anforderungen und die Ertüchtigung der Software, damit auch in Zukunft mindestens dieselben Möglichkeiten wie aktuell bei ADPIC zur Verfügung stehen, ist für das Jahr 2014 geplant. Gleichzeitig ist die Schulung der Benutzer und die Operationalisierung des ganzen Systems zu planen. Auch die Einbindung in die Notfallorganisation des ENSI soll gemäss Planung im Jahr 2014 vorgenommen werden. Ferner ist ein Parallelbetrieb der beiden Systeme vorzusehen, damit die Ergebnisse der beiden Modelle ausführlich miteinander verglichen werden können und die korrekte Arbeitsweise des neuen Systems sichergestellt werden kann.

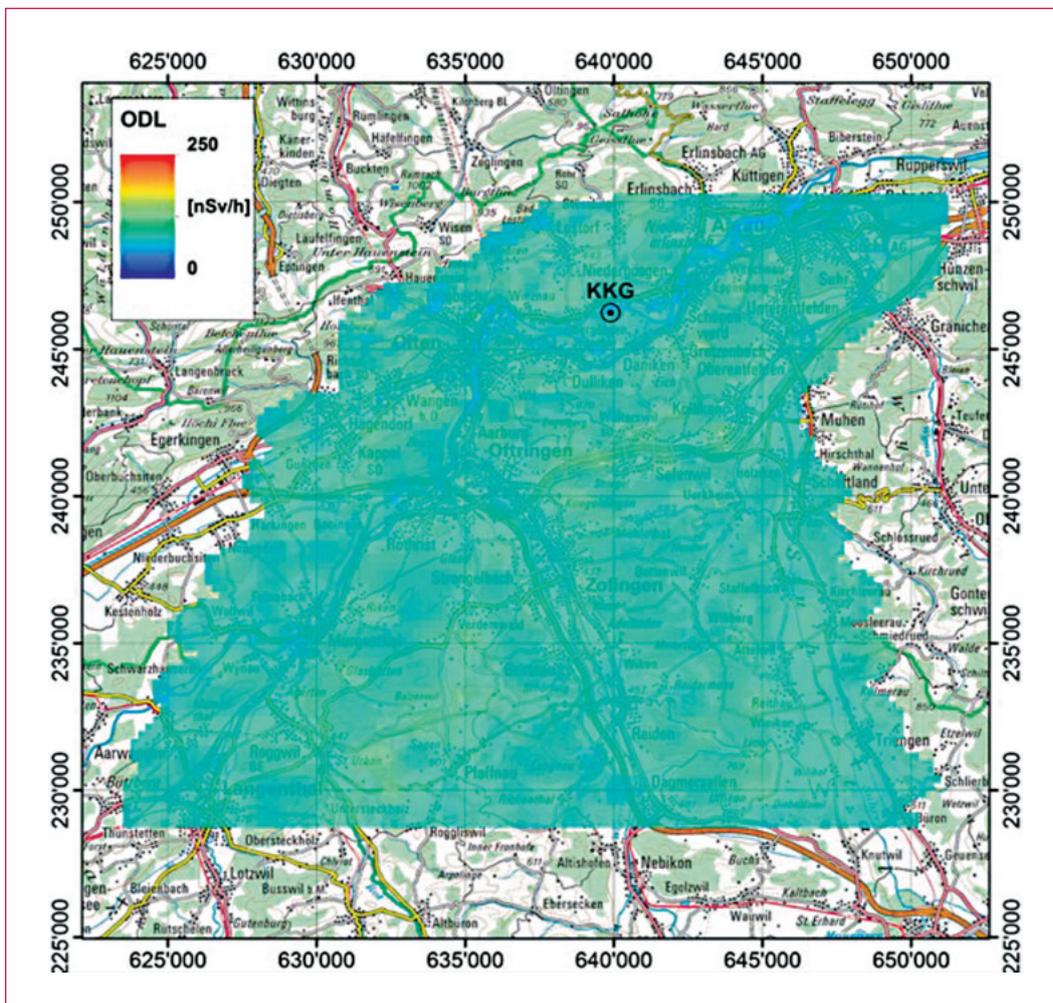
4. Aeroradiometrische Messungen

4.1 Einleitung

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

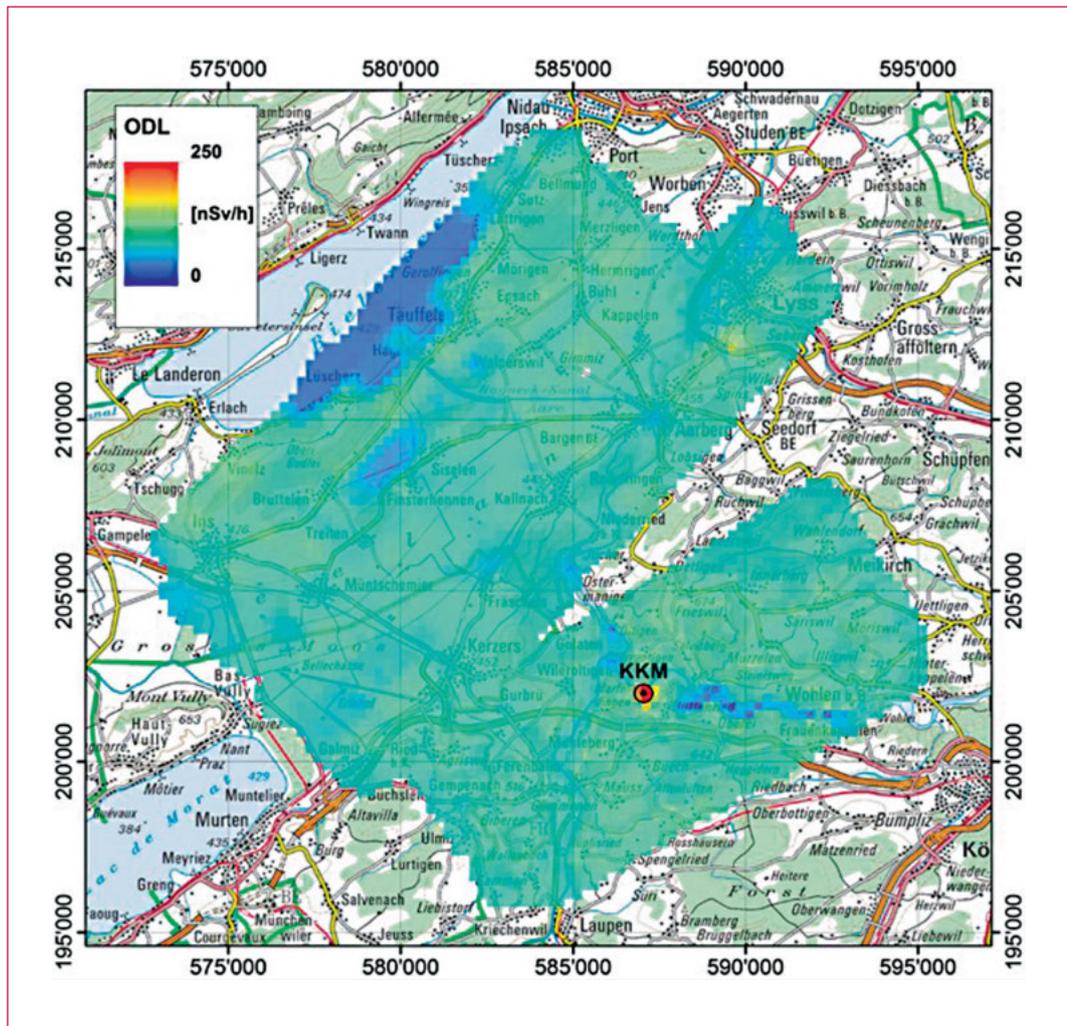
Seit den Messflügen 2001 kommt eine neu entwickelte online Datenauswertungs- und Kartierungssoftware zum Einsatz (Bucher 2001).

Im Jahre 1994 wurde die Aeroradiometrie in die Einsatzorganisation Radioaktivität des Bundes integriert. Als mögliche Einsatzfälle stehen Transport- und Industrieunfälle mit radioaktivem Material, KKW-Störfälle, Abstürze von Satelliten mit Nuklearreaktoren und «Dirty Bombs» im Vordergrund. Die jährlichen Messprogramme werden durch die Fachgruppe Aeroradiometrie zusammengestellt, die sich aus Mitgliedern der beteiligten Stellen zusammensetzt. Der Einsatz erfolgt unter der Regie der Nationalen Alarmzentrale (NAZ). Während der Jahre 2004 und 2005 wurden die Messsysteme erneuert und dabei die online Datenauswertungs- und Kartierungssoftware im Mess-



Darstellung B.12:
Ortsdosisleistung 2013
im Messgebiet KKG und
im Sektor 3 der Zone 2
von KKG. Kartendaten
PK200 © Bundesamt für
Landestopografie.

Darstellung B.13:
 Ortsdosisleistung 2013
 im Messgebiet KKM
 und Sektor 5 in der
 Zone 2 von KKM.
 Kartendaten PK200 ©
 Bundesamt für
 Landestopografie.



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

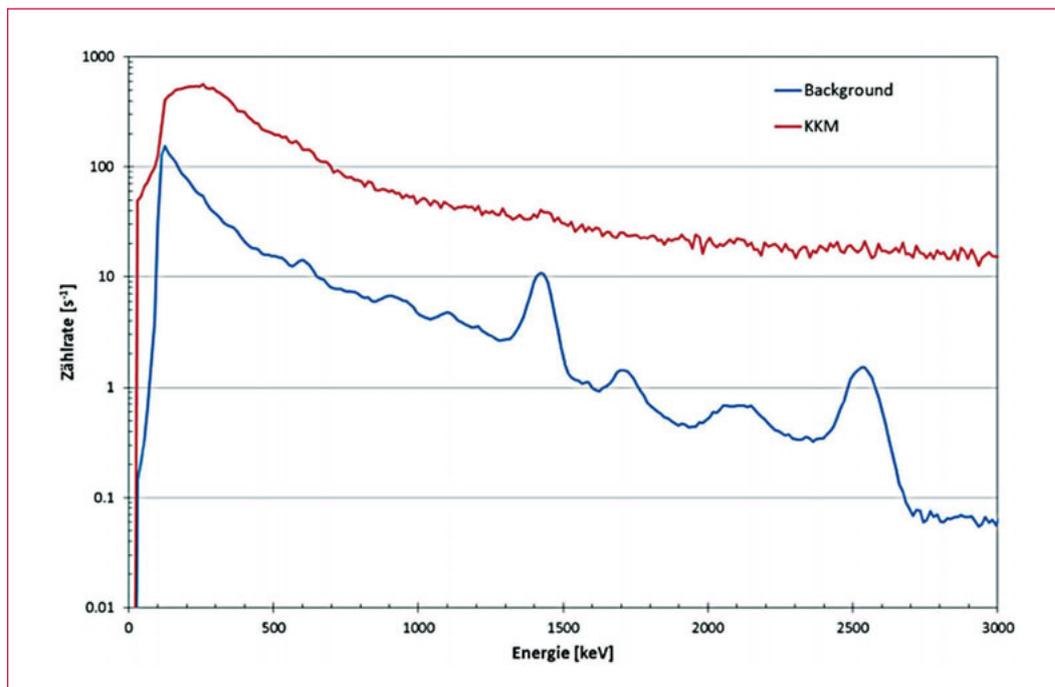
4.2 Messungen und Messresultate 2013

Bei den Messflügen im Juni 2013 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM) abgedeckt. Weiter wurden Thun, Biel und Lyss sowie Sektor 3 in der Zone 2 von KKG und Sektor 5 in Zone 2 von KKM beflogen. Zudem wurde auf dem Waffenplatz Thun die Quellensuche geübt sowie das Kandertal entlang der Bahnlinie und eine Linie von Belp nach Dübendorf gemessen. Im Folgenden werden nur

die Resultate der Messungen in der Umgebung der Kernanlagen diskutiert.

Die Messresultate im Messgebiet KKG zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. KKG mit seinem Druckwasserreaktor konnte aeroradiometrisch weder aufgrund der Ortsdosisleistung (Darstellung B.12) 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 die MMGC- (Man Made Gross Count-) Ratio ein empfindliches Instrument zur Lokalisierung künstlicher Radionuklide dar. Die Ergebnisse im Sektor 3 der Zone 2 sind sehr ähnlich zu denen in der unmittelbaren Umgebung des KKG und weisen keine Besonderheiten auf. Die Unterschiede sind auf Einflüsse der Topographie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen.

Im Gegensatz zu KKG können am Standort von KKM in der Darstellung B.13 erhöhte Messwerte



Darstellung B.14:
 Photonenspektrum 2013 im Bereich des Maschinenhauses des KKM im Vergleich zum Background ausserhalb des Betriebsareals. Die Erhöhung der Zählraten im gesamten Energiebereich ist auf Streustrahlung der hochenergetischen Gammalinien des ^{16}N zurückzuführen.

erkannt werden. Das KKM 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 5 der Zone 2 sind wie bei KKG sehr ähnlich zu denen in der unmittelbaren Umgebung des KKM 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 1661-2914

© ENSI, Juni 2014

ENSI-AN-8780
ISSN 1661-2914

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