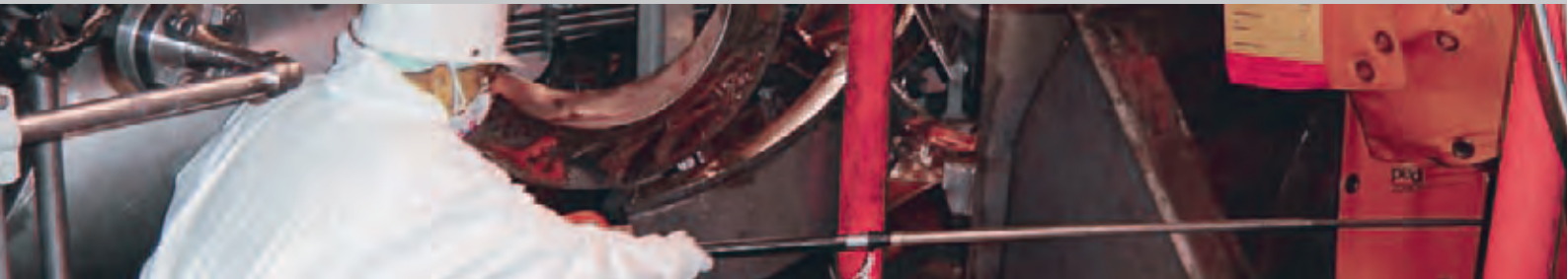




Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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



Strahlenschutzbericht 2011

Strahlenschutzbericht 2011

Rapport sur la radioprotection 2011

Radiological Protection Report 2011

Inhalt

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	47
4.4 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen	57
4.5 Erwartete Entwicklung der Exposition	57

B:	Umweltradioaktivität bei Kernanlagen, Überwachung	61
1.	Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen	61
1.1	Emissionen aus den Kernanlagen	61
1.2	Ortsdosis und Ortsdosisleistungen am Perimeter der Kernanlagen	72
2.	Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)	73
2.1	Übersicht	73
2.2	Systeminstandhaltung und -ergänzung	73
2.3	Systemverfügbarkeit und Störungen	75
2.4	Qualitätssicherung	76
2.5	Messergebnisse	76
3.	Ortsdosimetrie in der Umgebung der Kernanlagen	81
3.1	Einleitung	81
3.2	Auswertemethode	81
3.3	Ergebnisse	83
3.4	Fazit	86
4.	Atmosphärische Ausbreitung	87
4.1	Modellberechnungen im Ereignisfall	87
4.2	Atmosphärisches Ausbreitungsmodell ADPIC	87
5.	Aeroradiometrische Messungen	91
5.1	Einleitung	91
5.2	Messungen und Messresultate 2011	91
5.3	Literatur	94

Vorwort



Der schwere Unfall in Kernanlagen von Fukushima Dai-ichi hat wieder gezeigt, wie wichtig Planung und Durchführung von Massnahmen in den Bereichen Strahlen- und Notfallschutz sind. Natürlich war der Unfall sehr weit weg und die Auswirkungen in der Schweiz eher marginal. Aber trotzdem wurde rasch erkannt, dass auch in der Schweiz Handlungsbedarf besteht und Verbesserungsmassnahmen eingeleitet werden müssen. Der Bundesrat hat daher im Mai 2011 aufgrund eines Berichts des ENSI (http://static.ensi.ch/1312522250/hintergrundinformation_fukushima.pdf) eine Interdepartementale Arbeitsgruppe zur Überprüfung der Notfallschutzmassnahmen bei Extremereignissen in der Schweiz (IDA NOMEX) ins Leben gerufen. Der Bericht sieht 56 Aufträge zur Anpassung der bestehenden gesetzlichen und organisatorischen Massnahmen im Bereich des Strahlen- und Notfallschutzes vor. Von besonderer Wichtigkeit für den Aufsichtsbereich des ENSI sind dabei die Anforderungen hinsichtlich Redundanz- und Ausfallsicherheit für Mess- und Prognosesysteme aber auch für die Telefonie. Zudem hat das ENSI die Überprüfung seiner Referenzszenarien und der Zonen für die Notfallplanung in Angriff genommen.

Der vorliegende achte Jahresbericht des ENSI befasst sich jedoch ausschliesslich mit dem Strahlenschutz in den schweizerischen Kernanlagen. Teil A stellt die Strahlendosen des Personals und die Jobdosen zusammen, während Teil B die radioaktiven Abgaben der Kernanlagen und die Überwachung der Radioaktivität in der näheren Umgebung wiedergibt.

Die Kollektivdosen und die mittleren Individualdosen haben sich gegenüber den letzten Jahren nicht wesentlich geändert. Der Mittelwert der Individualdosen des Personals von Kernanlagen liegt mit 0,6 mSv weit unterhalb des Grenzwerts für beruflich strahlenexponierte Personen (20 mSv) und der mittleren jährlichen Strahlendosis der Bevölkerung in der Schweiz (5.5 mSv, Quelle Bundesamt für Gesundheit, siehe Seite 5).

Die höchste Individualdosis von 11 mSv hat eine bei einer externen Firma angestellte Person bei Arbeiten im Kernkraftwerk Leibstadt akkumuliert. In den Kernkraftwerken Beznau, Gösgen und Mühleberg lag der Maximalwert jeweils unter 10 mSv. Im Gegensatz zu den Jahren 2009 und 2010 blieben alle Strahlendosen unter den gesetzlich vorgegebenen Werten.

Die vergleichsweise tiefen Kollektiv- und Individualdosen wurden dank erprobter Optimierungsmassnahmen, insbesondere bei Arbeiten in hohen und variablen Strahlenfeldern, erzielt. Das ENSI kommt daher zum Schluss, dass in den schweizerischen Kernanlagen weiterhin ein sehr konsequenter Strahlenschutz betrieben wird. Ein besonderes Augenmerk muss aber auf die teilweise ansteigenden Ortsdosisleistungen an einzelnen Komponenten in den Kernkraftwerken Beznau und Leibstadt gelegt werden. Demgegenüber sind die entsprechenden Werte in Mühleberg konstant geblieben, und in Gösgen zeigen sie seit Jahren eine sinkende Tendenz.

Zur Überwachung der Umweltradioaktivität in der Umgebung der Kernanlagen betreibt das ENSI seit vielen Jahren ein Messnetz zur Automatischen

Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK). Die aktuell ermittelten Dosisleistungen sind auf www.ensi.ch (Rubrik «Messenetz MADUK» > «Messwerte Radioaktivität») öffentlich zugänglich. Sie werden auch der Nationalen Alarmzentrale, dem Umweltministerium Baden-Württemberg und der «European Radiological Data Exchange Platform» EURDEP des Joint Research Centre der Europäischen Kommission zur Verfügung gestellt.

Die Emissionen und Immissionen der schweizerischen Kernanlagen sind weiterhin mit den Vorjahren vergleichbar und führen bei Kleinkindern in der unmittelbaren Umgebung einer Kernanlage jährlich zu einer Dosis von weniger als 10 µSv. In der Zwiilag wurden die in den letzten Jahren tendenziell zunehmenden radioaktiven Abgaben über das Wasser durch geeignete Filtrierung wieder reduziert. In Mühleberg ist dies noch nicht genügend erfolgt, und die Umsetzung weiterer Optimierungsmassnahmen für das Abwasser ist geplant.

Beitrag	Dosis (mSv/Jahr)
Radon	3,2
Medizinische Diagnostik	1,2
Terrestrische Strahlung	0,35
Kosmische Strahlung	0,4
Radionuklide im menschlichen Körper	0,35
Übrige	≤0,1
Total	5.5

Strahlendosen der Bevölkerung
Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität in der Schweiz, Ergebnisse 2010, Bundesamt für Gesundheit 2011, Seiten 21-23.

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

Préface

Le grave accident survenu dans les centrales nucléaires de Fukushima Dai-ichi a montré une fois de plus l'importance de la planification et de la réalisation des mesures dans les domaines de la radioprotection et de la protection en cas d'urgence. Certes cet accident a eu lieu très loin de nous et ses effets dans notre pays ont été plutôt marginaux. On a néanmoins rapidement compris qu'en Suisse aussi il fallait agir et introduire des mesures d'amélioration. Sur la base d'un rapport de l'IFSN (http://static.ensi.ch/1312522250/hintergrundinformation_fukushima.pdf), le Conseil fédéral a donc mis en place en mai 2011 un groupe de travail interdépartemental, dans le but de vérifier les mesures de protection prises en cas de situation d'urgence, suite à des événements extrêmes se produisant en Suisse (IDA NOMEX). Le rapport prévoit 56 missions visant à adapter les mesures légales et organisationnelles en place dans les domaines de la radioprotection et de la protection en cas de situation d'urgence. Les exigences en matière de sécurité des dispositifs redondants et de sécurité après défaillances des systèmes de mesures et de pronostics, ainsi que de la téléphonie sont d'une importance particulière pour le domaine de surveillance de l'IFSN. Par ailleurs, l'IFSN s'est attaquée à la vérification de ses scénarios de référence et à l'examen des zones pour la planification d'urgence.

Le huitième et présent rapport annuel de l'IFSN ne traite toutefois que de la radioprotection dans les installations nucléaires suisses. La partie A regroupe les doses d'irradiation du personnel et les doses associées aux différentes tâches, tandis que la partie B indique les rejets radioactifs des installations nucléaires et la surveillance de la radioactivité dans l'environnement immédiat.

Les doses collectives et les doses individuelles moyennes n'ont guère changé par rapport aux dernières années. Avec 0,6 mSv, la valeur moyenne des doses individuelles du personnel des installations nucléaires est largement inférieure à la valeur

limite fixée pour les personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession (20 mSv), ainsi qu'à la dose d'irradiation annuelle moyenne de la population en Suisse (5.5 mSv, source: Office Fédéral de la Santé Publique, voir page suivante). Lors de travaux réalisés dans la centrale nucléaire de Leibstadt, un employé d'une entreprise externe a accumulé la dose individuelle maximale de 11 mSv. Dans les centrales nucléaires de Beznau, Gösgen et Mühleberg, la valeur maximale est restée inférieure à 10 mSv. Contrairement aux années 2009 et 2010, toutes les doses d'irradiation sont restées inférieures aux valeurs légalement prescrites.

Les doses individuelles et collectives relativement basses sont le résultat de mesures d'optimisation éprouvées, notamment lors de travaux dans des champs de rayonnement élevés et variables. L'IFSN en conclut qu'il faut poursuivre une radioprotection systématique dans les installations nucléaires suisses. Mais il faut faire particulièrement attention aux débits de dose locale qui augmentent en partie sur certains composants dans les centrales nucléaires de Beznau et de Leibstadt. En revanche, les valeurs correspondantes à Mühleberg sont restées constantes et affichent depuis des années une tendance à la baisse à Gösgen.

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

Les émissions et immissions des installations nucléaires suisses sont toujours comparables à celles des années précédentes et conduisent pour les petits enfants vivant au voisinage immédiat d'une installation nucléaire à une dose annuelle de moins de 10 micro-Sv. Les rejets radioactifs par le biais de l'eau, qui ont eu tendance à augmenter ces dernières années à Zwiilag, ont été réduits grâce à une filtration adéquate. Cela n'a pas été suffisant à Mühleberg où l'on prévoit de recourir à d'autres mesures d'optimisation pour les eaux usées.

Dans le domaine des calculs de propagation, l'intégration des champs de vent 3D de Météo Suisse s'est terminée avec une résolution spatiale de 2 km; il s'ensuit des calculs de simulation horaires pour tous les sites de centrale nucléaire. Les vols de mesure d'aéroradiométrie effectués chaque année permettent de disposer à tout moment d'instruments adaptables, précieux et précis pour l'évaluation actuelle et la prévision de la situation radiologique.

Part	Dose (mSv/an)
Radon	3,2
Diagnostic médical	1,2
Rayonnement terrestre	0,35
Rayonnement cosmique	0,4
Radiouncléides dans le corps humain	0,35
Autres	≤0,1
Total	5.5

Doses d'irradiation de la population
Radioprotection et surveillance de la radioactivité en Suisse, résultats pour 2010, Office Fédéral de la Santé Publique 2011, pages 21-23.

Preface

The serious accident at the Fukushima Dai-ichi nuclear plants once again highlighted the importance of planning and implementing measures for radiological and emergency protection. Of course, the accident happened a long way away and its impact in Switzerland was somewhat marginal but it was soon realised that action and improvements would be required in Switzerland as well. In May 2011, the Swiss Federal Council, in response to a report by ENSI (http://static.ensi.ch/1312522250/hintergrundinformation_fukushima.pdf) set up an interdepartmental working group to review emergency protection plans in the event of an extreme incident in Switzerland (IDA NOMEX). The report identified 56 instances where modifications would be required to existing statutory and organisational measures for radiological and emergency protection. Of particular importance for the supervisory activities of ENSI were those relating to redundancy, the reliability of monitoring and forecasting systems and also telephony. In addition, ENSI has initiated a review of reference scenarios and emergency planning zones.

However the 8th Annual Report of ENSI deals solely with radiological protection in nuclear facilities in Switzerland: Section A covers both exposure rates for staff and individual job rates whereas Section B deals with releases from nuclear facilities and the monitoring of radioactivity in their immediate vicinity.

Compared with previous years, there was little change in either collective or average individual doses. The average individual exposure rate for personnel in nuclear facilities of 0.6 mSv was significantly lower than both the maximum annual limit for persons exposed to radiation during their work (20 mSv) and the annual average rate of exposure for the population in Switzerland as a whole (5.5 mSv: Source Swiss Federal Office of Public Health, see following page).

The highest individual dose during the year un-

der review was 11 mSv; this involved an individual employed by an external company working at the Leibstadt nuclear facility. At the Beznau, Gösgen and Mühleberg nuclear power plants, maximum rates did not exceed 10 mSv. In contrast to 2009 and 2010, there were no exposure rates in excess of the statutory maximum limits.

The comparatively low collective and individual doses were the result of proven improvements, particularly in areas where personnel are working in high and variable radiation fields. As a result, ENSI has concluded that Swiss nuclear facilities continue to operate a consistent policy of radiological protection. However, particular attention should be given to increases in local dose rates from some individual components in the Beznau and Leibstadt nuclear power plants. In contrast, the corresponding rates in Mühleberg remain constant and at Gösgen, they continue to decline. To monitor environmental radioactivity in the vicinity of nuclear facilities, ENSI has for many years operated a network that automatically monitors dose rates in the vicinity of nuclear power plants (MADUK). The dose rates recorded by MADUK are published on the ENSI website at www.ensi.ch (click on «Emergency Preparedness» and then «Dose Rates»). They are also made available to the Swiss National Emergency Operations Centre, the Ministry of the Environment in Baden-Württemberg and EURDEP, the «European Radiological Data Exchange Platform» operated by the Joint Research Centre of the European Commission.

Emissions from Swiss nuclear facilities are similar to those in previous years. For infants in the immediate vicinity of a nuclear facility that means an annual dose of less than 10 microSv. ZWILAG has now installed appropriate filtration and this has reversed the trend in recent years for increases in water-borne releases of radiation. However, at Mühleberg the reductions are not yet sufficient and further improvements to wastewater systems are planned.

In the field of dispersion calculations, the integration of the MeteoSwiss 3D wind fields with a spatial resolution of 2 km is now completed. As a result, hourly simulations are calculated for all locations with a nuclear power plant. These calculations, combined with the annual aero-radiometric test flights, provide a system of precise instrumentation that is useable, valuable and available at any time for analysing the current situation and forecasting the development of radiation.

Contribution	Dose (mSv/year)
Radon	3,2
Medical	1,2
Terrestrial	0,35
Cosmi radiatio	0,4
Radionuclides in human	0,35
Other	≤0,1
Total	5.5

Exposure rates for the general population in Switzerland
Radiological protection and monitoring of radioactivity in Switzerland:
Results for 2010
[Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität] published by the Swiss Federal Office of Public Health 2011, Pages 21–23.

A: Strahlenschutz in den Kernanlagen

Bei der Auswertung der Daten richtet sich das ENSI nach der «Empfehlung zur Rundung der Dosiswerte der anerkannten Personendosimetriestellen für die Meldung an die Kunden und an das Zentrale Dosisregister», die von der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität (KSR) im Jahr 2004 veröffentlicht wurde. Die Messwerte werden gemäss den international üblichen Rundungsregeln in 0,1 mSv-Schritten gerundet. Ferner werden im untersten Dosisbereich (kleiner als 0,1 mSv) Messwerte 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 Personendosimetriestelle des PSI ermittelten Neutronendosen werden bei der Bestimmung der Ganzkörperdosen berücksichtigt.

In den nachstehenden Kapiteln werden die Resultate der Auswertungen des ENSI dargestellt.

1. Kernkraftwerke

1.1 Kernkraftwerk Beznau (KKB)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2011 wurden im KKB folgende Kollektivdosen ermittelt. Da in den beiden Blöcken jeweils alternierend ein Brennelementwechsel oder ein Revisionsstillstand durchgeführt wird, sind als Vergleich die Kollektivdosen der beiden vorigen Jahre aufgeführt:

Im Kalenderjahr 2011 wurde in den beiden Blöcken des KKB eine Kollektivdosis von 577 Pers.-mSv verzeichnet. Die höchste im KKB registrierte Individualdosis betrug 7,5 mSv und lag deutlich unterhalb des Dosisgrenzwerts der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Das entsprechende betriebseigene Planungsziel von maximal 10 mSv pro Person und pro Jahr wurde somit eingehalten.

Aktionen	Kollektivdosis in Pers.-mSv		
	2011	2010	2009
Brennelementwechsel (2011, 2009)	104		109
Revisionsstillstand (2010)		691	
Leistungsbetrieb	39	63	74
Gesamte Jahreskollektivdosis	143	754	183

KKB 1

Aktionen	Kollektivdosis in Pers.-mSv		
	2011	2010	2009
Revisionsstillstand (2011, 2009)	399		380
Brennelementwechsel (2010)		194	
Leistungsbetrieb	35	60	67
Gesamte Jahreskollektivdosis	434	254	447

KKB 2

Aktionen	Kollektivdosis in Pers.-mSv		
	2011	2010	2009
Revisionsstillstand und BE-Wechsel	503	885	489
Leistungsbetrieb	74	123	123
Gesamte Jahreskollektivdosis	577	1008	612

KKB 1 und 2

Es wurden keine Personenkontaminationen, die nicht mit herkömmlichen Mitteln entfernt werden konnten, festgestellt. Weder bei Mitarbeitern des Eigenpersonals noch des Fremdpersonals wurde eine nachweisbare Inkorporation oberhalb der Triageschwelle von 1200 Bq für ^{60}Co festgestellt, die durch den Betrieb von kerntechnischen Anlagen verursacht wurde. Bei der Messung eines Mitarbeiters des Eigenpersonals vor dem Zutritt zur kontrollierten Zone ergab sich ein Alarm des Triagemonitors infolge einer vorangegangenen nuklearmedizinischen Untersuchung mit $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

Im Block 1 wurde im Berichtsjahr zwischen dem 7. Juni und 20. Juni die geplante Abstellung für einen Brennelementwechsel durchgeführt. Die Stillstandsdauer war mit 13 Tagen um rund 5 Tage länger, als normalerweise für einen einfachen Brennelementwechsel in den Vorjahren benötigt wurde. Dies wurde durch mehrere kleine Revisionsarbeiten bedingt, die nicht auf die grosse Revisionsabstellung im Folgejahr 2012 verschoben werden konnten. Das Abfahren der Anlage verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden.

Die akkumulierte Kollektivdosis betrug 104 Pers.-mSv. Die Planungs-dosis von 100 Pers.-mSv wurde somit eingehalten. Davon stammen 38 Pers.-mSv vom eigentlichen BE-Wechsel, 10 vom Strahlenschutz, 16 von Reinigungsarbeiten und 40 von übrigen Revisionsarbeiten. Im Rahmen der Prognosegenauigkeit entsprachen die effektiv akkumulierten Jobdosen den Planungswerten.

Die mittleren Ortsdosisleistungen (ODL) an den Mänteln der Dampferzeuger im KKB 1 zeigten wie in den vergangenen Jahren niedrige Werte. Hingegen sind die ODL an den Komponenten des Primärkreislaufs im Vergleich zum Vorjahr an den Hauptkühlmittelleitungen Closure Legs A und B um ca. 20 % angestiegen. Der jährliche Anstieg verläuft somit seit 2005 fast konstant. Die ODL-Werte an den Hot Legs A und B liegen bei einem minimalen Anstieg weiterhin auf einem tiefen Niveau. Die nuklid-spezifischen Messungen der Kontamination an relevanten Leitungen im KKB 1 stellen ein sehr uneinheitliches Bild dar. Bei den nachgewiesenen Nuklidgemischen kann zwischen jüngeren und älteren Kontaminationen unterschieden werden. Die jüngeren Nuklidgemische (normiert auf die CS-Werte der Strahlenschutzverordnung Anhang 3, Spalte 12) werden durch das Aktivierungsprodukt ^{95}Zr mit 55 % dominiert. ^{60}Co trägt nur ca. 29 % bei. Die übrigen nachweisbaren Aktivierungs- und Spaltprodukte der Elemente Cr,

Mn, Co, Zn, Nb, Ru, Ag, Sn, Sb und Te tragen in Summe bis zu 16 % zum CS-Wert bei. Bei den älteren Nuklidgemischen dominieren ^{60}Co und ^{137}Cs . Alphastrahler konnten an frei zugänglichen Orten nirgends nachgewiesen werden.

Im Block 2 wurde im Berichtsjahr die geplante Revisionsabstellung vom 12. August bis 1. Oktober durchgeführt. Nach einer Stillstandsdauer von 50 Tagen wurde der Leistungsbetrieb mit 6 Tagen Verspätung auf die ursprüngliche Planung wieder aufgenommen. Das Abfahren der Anlage verlief ebenfalls ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Die akkumulierte Kollektivdosis betrug 399 Pers.-mSv. Die Planungs-dosis von 425 Pers.-mSv wurde damit geringfügig um 6 % unterschritten.

Dieses Bild trifft ebenso für fast alle Jobdosen zu. Einzig beim Umbau des Rundlaufkrans lag die tatsächliche Jobdosis bei lediglich 10 % der prognostizierten Jobdosis. Diese Diskrepanz ist erklärbar durch eine Überschätzung der Personenstunden in der kontrollierten Zone sowie der konservativen Abschätzung der mittleren Ortsdosisleistung. Dagegen wurden die dosisreduzierenden Massnahmen bei einigen Wiederholungsprüfungen durch kurzfristige Erhöhung des Prüfumfanges und Einweisung neuer Mitarbeiter vor Ort konterkariert, was zu einer Erhöhung der tatsächlichen Dosis von ca. 11 % gegenüber der Planung führte.

Die mittleren Ortsdosisleistungen (ODL) an den Mänteln der Dampferzeuger zeigen auch im KKB 2 wie in den vergangenen Jahren niedrige Werte. Die ODL an den Hauptkühlmittelleitungen sind im Vergleich zum Vorjahr um 10 % im Durchschnitt angestiegen. Damit zeigt sich der gleiche Trend wie im KKB 1, allerdings bei niedrigeren ODL und kleinerer Zunahme.

Das ENSI hat bei einer Inspektion festgestellt, dass die Unterdruckstaffelung im Sicherheitsgebäude des KKB 2 nicht den generellen Anforderungen an die kontrollierte Zone entsprach. Das ENSI hat diesen Zustand als Abweichung bewertet. Aufgrund zusätzlicher von KKB durchgeführter Schutz- und Überwachungs-massnahmen sowie dem momentan generell niedrigen Kontaminationslevel innerhalb des Sicherheitsgebäudes hat das ENSI die Korrektur dieses Zustands erst nach Abschluss der Revisionsabstellung verlangt. Stattdessen wurde das KKB aufgefordert, eine korrekte und eindeutig reversible Einstellung der Spülluftanlage des Sicherheitsgebäudes zu testen und diese Einstellungswerte als längerfristig dauerhafte Lösung in den Betriebsvorschriften festzulegen. Diese Forderung wurde vom KKB im Berichtsjahr erfüllt.

Die Feststellungen und Beobachtungen des ENSI anlässlich von 10 Inspektionen mit strahlenschutzrelevanten Prüfpunkten haben gezeigt, dass der Strahlenschutz im KKB gut funktioniert.

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKB wurde im Rahmen verschiedener Inspektionen und Fachgespräche vom ENSI stichprobenweise überprüft. Des Weiteren hat sich das ENSI anhand der vom Betreiber eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Vor-Ort-Kontrollen davon überzeugt, dass die regelmässigen Überprüfungen der Messgeräte durch das Kraftwerkspersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten. Zusätzlich zu den ENSI-Inspektionen wurden wie jedes Jahr bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen verschiedene nationale Labors bzw. Messstellen teilnehmen, überprüft:

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

1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2011 wurden im KKG folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Werte aus dem Jahr 2010):

Aktionen	Kollektivdosis in Pers.-mSv	
	2011	2010
Revisionsstillstand	393	453
Leistungsbetrieb	107	142
Gesamte Jahreskollektivdosis	500	595

Im Berichtsjahr belief sich die Kollektivdosis im KKG auf 500 Pers.-mSv. Die höchste im KKG registrierte Individualdosis betrug 6,2 mSv (2010: 8,4 mSv). Der Dosisgrenzwert der Strahlenschutz-

verordnung 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.

Zwischen dem 4. und 30. Juni 2011 war die Anlage für die Revision abgestellt. Bei den Arbeiten während des Revisionsstillstands wurden 393 Pers.-mSv akkumuliert, geplant waren 567 Pers.-mSv. Somit wurde der Planwert um 31 % unterschritten.

Die Anlage zeigte sich in einem radiologisch sauberen und zonenkonformen Zustand. Die Dosierung von abgereichertem Zink in den Primärkreis wirkte sich auf den Dosisleistungspegel und die akkumulierten Personendosen äusserst positiv aus. Im Durchschnitt lag die Dosisleistung an ausgewählten Primärkomponenten um 44 % unter dem Wert, der zu Beginn der Zinkdosierung im Jahr 2005 ermittelt worden war. Im Vergleich zum Vorjahr wurde eine Reduktion der Dosisleistungen um rund 9 % festgestellt.

Die radiologische Situation aufgrund des immer noch hohen Trampurananteils im Kreislauf als Folge der Brennelementdefekte in den Jahren 2007 bis 2010 erforderte auch in dieser Revision ein intensives Mess- und Überwachungsprogramm. Hierzu hatte das KKG im Vorfeld administrative und technische Schutzmassnahmen vorgesehen, die im Folgenden genannt werden:

- Die Absaugrate der gerichteten Spülluft aus dem Primärkreis wurde erhöht.
- Zur Reduktion des Inkorporationsrisikos durch Iodnuklide wurden fünf Filtermobile mit Aktivkohle beschafft und im Containment benutzt.
- Der Deckelabstellplatz im Containment wurde neu an die Spülluft (Filterbank mit Absolutfilter) angeschlossen.
- Vor dem Anheben des RDB-Deckels und dem Fluten der Reaktorgrube wurde eine Plastikschräge, welche mit einem aufblasbaren Kunststoffring am RDB-Deckelflansch angepresst wurde, gesetzt. Damit wurde ein Grossteil der luftgetragenen Aktivitäten in die Spülluft abgesaugt.
- Zu Beginn der Flutbewegungen in die Reaktorgrube wurde die Einspeiserate aus den Flutbehältern von normalerweise üblichen 40 kg/s auf 15 kg/s reduziert.
- Aerosolmonitore wurden unmittelbar beim Laubecken und bei geöffneten Primärkreislaufarmaturen platziert.

Zusätzlich wurden administrative und organisatorische Massnahmen erarbeitet, die je nach radio-

logischer Situation zu befolgen waren. Eine Zutrittsbegrenzung für das gesamte Containment wurde direkt nach dem Deckelziehen bis zum Abschluss der Reinigungsarbeiten angeordnet.

Beim Abheben des Reaktordeckels stieg die maximale Luftkontamination in den Betriebsräumen des Containments innerhalb von etwa 3 Stunden auf circa 250 Bq/m^3 ^{60}Co (0,5 CA), die Iodkonzentrationen auf circa 76 Bq/m^3 ^{131}I (0,1 CA) und 760 Bq/m^3 ^{132}I (0,02 CA). Die Edelgaskonzentration erreichte bereits beim Entspannen des Reaktordeckels einen Maximalwert von circa $2 \text{ E}+04 \text{ Bq/m}^3$ (0,01 CA).

Mithilfe der Spülluft fiel die ^{132}I -Luftkontamination, welche über Absolut- und Aktivkohlefilter gefahren wird, innerhalb von 5 Stunden auf circa 1/10 des o.g. Maximalwertes; im weiteren Verlauf sank diese unter 20 Bq/m^3 (0,0005 CA). Andere luftgetragene Aktivitäten (^{60}Co , ^{131}I) waren zu diesem Zeitpunkt nicht mehr vorhanden. Neben der kontinuierlichen Überwachung der ^{131}I -Luftkontaminationen wurden im Containment regelmäßig Luftproben gezogen. Die gamma-spektrometrische Auswertung der Aktivkohlefilter im Labor ergab nach dem Entspannen und Ziehen des RDB-Deckels ein ^{131}I zu ^{132}I Verhältnis von 1:10.

Während der gesamten Revision wurde kein vermehrtes Ansprechen der Alarmer an den Personenmonitoren festgestellt. Die eingeleiteten Massnahmen erwiesen sich als äusserst wirkungsvoll.

Die Diskrepanz von 174 Pers.-mSv zwischen der geplanten und tatsächlichen Dosis ergibt sich hauptsächlich aus den Arbeiten zum Gehäuseoberteilwechsel an den drei Hauptkühlmittelpumpen, bei denen deutlich weniger Dosis akkumuliert wurde als im Vorfeld geplant worden war.

Die Dosisleistungswerte an den drei Hauptkühlmittelpumpen waren um circa 50 % niedriger als im Jahr 2008 gemessen wurde. Diese Werte wurden aber für die Abschätzung der diesjährigen Jobdosen verwendet. Das KKG vermutet, dass die Zink-Dosierung für diese positive Entwicklung verantwortlich ist. Weiterhin führte die Neuentwicklung eines speziellen Sprühkranzes, der bei der Dekontamination der entsprechenden Pumpenkomponenten in der AMDA-Anlage eingesetzt wurde, zu höheren Dekontfaktoren bei den Gehäuseoberteilen. Ausserdem konnte der Arbeitsplatz in einen Bereich mit geringerer Dosisleistung verlagert werden. In der Planung war dies noch nicht so vorgesehen gewesen.

Die vom KKG im Vorfeld ergriffenen Massnahmen waren beispielhaft und haben zu einem unter den

gegebenen Umständen guten radiologischen Zustand in der Anlage beigetragen. Insgesamt wurden mit rund 35 Mg Blei sehr umfangreiche Abschirmmassnahmen durchgeführt.

Bei seinen Inspektionen konnte sich das ENSI davon überzeugen, dass im KKG ein wirksamer Strahlenschutz betrieben wird. Die Einteilung der kontrollierten 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 teilgenommen und den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeit für die externe Personendosimetrie nicht erbracht. Die für einen solchen Fall vorgesehenen Abklärungen werden durchgeführt, der Nachweis konnte nachträglich erbracht werden.

1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2011 wurden im KKL folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Zahlen aus dem Jahr 2010):

Aktionen	Kollektivdosis in Pers.-mSv	
	2011	2010
Revisionsstillstand	598	1203
Leistungsbetrieb	416	201
Gesamte Jahreskollektivdosis	1014	1404

Im Berichtsjahr belief sich die im KKL akkumulierte Kollektivdosis auf 1014 Pers.-mSv (TLD-Dosen). Die höchste registrierte Jahresindividualdosis betrug 10,9 mSv. Alle Individualdosen lagen unter dem Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, die sich nicht mit einfachen Mitteln entfernen liessen. Inkorporationen von radioaktiven Stoffen oberhalb der Triageschwelle gab es ebenfalls keine.

Die Jahreshauptrevision dauerte vom 3. bis zum 30. August 2011 (27 Tage). Dank des schadenfreien Brennstoffs war die radiologische Situation im Maschinenhaus wie in den Vorjahren günstig. In der Primäranlage war die ⁶⁰Co-Konzentration im Reaktorwasser während des 27. Zyklus von 6,5 E+6 Bq/m³ auf 1,3 E+7 Bq/m³ angestiegen. Es wurde daher mit einer Zunahme der OD an Systemen gerechnet. Die Referenzmessungen an den Umwälzschleifen ergaben einen Durchschnittswert von 2,43 mSv/h (2010: 1,14 mSv/h). Der Anstieg der Ortsdosisleistungen in den begehbaren Bereichen des Drywell belief sich auf ca. 50 %. Als erste Massnahme hat das KKL zu Beginn des neuen 28. Zyklus die Zinkeinspeisung erhöht. Es zeichnete sich bis Ende des Jahres 2011 eine Verringerung der ⁶⁰Co-Aktivitätskonzentrationen im Primärwasser ab. Die Entwicklung der Aktivitätskonzentrationen und Dosisleistungen im KKL wurde vom ENSI aufmerksam verfolgt.

Die Jahreshauptrevision des KKL war vom 3. bis 25. August 2011 geplant und sollte 22 Tage dauern. Durch die reaktive Kontrolle der drei Blocktransformatoren verzögerte sich das Wiederanfahren bis zum 30. August 2011. Die Revisionsarbeiten in der kontrollierten Zone waren bis zum 25. August 2011 fast alle abgeschlossen, so dass in den fünf zusätzlichen Tagen nur 16 Pers.-mSv akkumuliert wurden. Die Dosisprognose für die gesamte Revision hatte 720 Pers.-mSv ergeben, tatsächlich erreicht wurden 604 Pers.-mSv (EPD-Wert). Gründe für die niedrigere Kollektivdosis sind u.a. das zonenkonforme Verhalten des gesamten Personals, umfangreiche Abschirmmassnahmen und die Verlegung der Drywell-Garde-

robe in einen Bereich mit niedrigerer Ortsdosisleistung. Es waren 860 Mitarbeiter von Fremdfirmen angemeldet, schliesslich arbeiteten 1100 Personen Fremdpersonal in der Anlage.

Die Kollektivdosisplanungen der einzelnen Jobs sind in vielen Fällen sehr gut ausgefallen; es wurden oft nur geringe Abweichungen von den geplanten Werten festgestellt. Nicht routinemässige Arbeiten waren die Inspektion der Recirc-Pumpen mit einer Istdosis von 13,1 Pers.-mSv (geplant waren 19 Pers.-mSv), das Guide Tube Vacuuming «von oben» mit einer Istdosis von 1,1 Pers.-mSv (geplant 5 Pers.-mSv) und die Vorbereitungen sowie die Vermessungsarbeiten im Rahmen des Projekts YUMOD mit einer Istdosis von 43,5 Pers.-mSv (geplant 45 mSv).

Es ist festzustellen, dass für viele Arbeiten in diesem Jahr eine genauere Planung als im letzten Jahr möglich war, da die Zeitdauer für die Tätigkeiten von den Fachabteilungen korrekter als im letzten Jahr abgeschätzt worden war und obwohl sich die Ortsdosisleistungen im Drywell im Vergleich zum Vorjahr deutlich erhöht hatten.

Die Drywell-Garderobe für den Zutritt zum Zonentyp III wurde verlegt. Auf die Errichtung des bisher üblichen Podestes über der Druckabbaukammer (DAK) wurde verzichtet. Stattdessen wurden die Umkleide und der Zonenübertritt vor dem Materialtor des Containments platziert, wo auch die Ortsdosisleistung geringer ist. Die Behinderung von Transporten durch das Materialtor wurde durch das Verschieben der Transporte auf Randzeiten gering gehalten.

Das KKL hat in der Revision erstmalig Funkdosimeter eingesetzt, mit denen die Individualdosis des vor Ort eingesetzten Personals bei Arbeiten in komplexen Strahlenfeldern vom Strahlenschutz zeitnah überwacht wurde. Arbeiten mit voraussichtlicher Kollektivdosis grösser 50 Pers.-mSv waren während der Revision nicht geplant und sind auch nicht vorgekommen.

Im Mai 2011 wurden die vorgesehenen Instandhaltungsarbeiten am Not- und Nachkühlssystem 11TH durchgeführt. Die erreichte Kollektivdosis betrug 89 Pers.-mSv, geplant waren 94,4 Pers.-mSv. Die wichtigste dosisminimierende Massnahme war dabei die chemische Dekontamination der Pumpe 11TH11D001. Im Oktober 2011 wurde das Not- und Nachkühlssystem 21TH revidiert, der Arbeitsumfang war geringer als bei der Division 11. Die Kollektivdosis betrug 64 Pers.-mSv, geplant waren 60 Pers.-mSv. Beide Arbeiten wurden durch den Anstieg der Dosislei-

stungen im Vergleich zu den Vorjahren an den Komponenten und in den Anlageräumen etwas erschwert.

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 hat das KKL das Messsystem zur Überwachung der Containmentluft hinsichtlich radioaktiver Edelgase und Aerosole ersetzt und mit einer zusätzlichen Jod-Messung ergänzt.

Als Folge einer Forderung des ENSI im Rahmen der Periodischen Sicherheitsüberprüfung 2009 hat das KKL das Konzept der Strahlungs- und Aktivitätsüberwachung in der Anlage sowie die Auslegung der einzelnen Messsysteme überprüft und dabei eine Reihe von Verbesserungsmassnahmen identifiziert. Insbesondere müssten einige Messsystemen aufgrund ihres Alters und der fehlenden Unterstützung durch den Hersteller bei Reparaturen ersetzt werden.

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 Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des KKL den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeit erbracht.

1.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2011 wurden im KKM folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Zahlen aus dem Jahr 2010):

Aktionen	Kollektivdosis in Pers.-mSv	
	2011	2010
Revisionsstillstand	786	736
Leistungsbetrieb	105	370
Gesamte Jahreskollektivdosis	891	1106

Im Berichtsjahr belief sich die Kollektivdosis im KKM auf 891 Pers.-mSv (TLD). Die höchste im KKM ermittelte Individualdosis betrug 8,5 mSv (TLD, 2010: 9,2 mSv). Die in der Strahlenschutzverordnung festgelegte Jahreslimite von 20 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen wurde somit eingehalten. Im Berichtszeitraum traten weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen auf.

Vom 30. Juni bis zum 9. September 2011 war die Anlage für die Jahresrevision abgestellt. Das KKM beschloss Ende Juni, die Anlage vorzeitig abzustellen, um erforderliche Nachrüstungsmassnahmen durchzuführen. Die gesamte Abstellungsdauer war deshalb länger als die ursprünglich geplante Jahresrevision. Die Kollektivdosis aller Mitarbeitenden im verlängerten Revisionsstillstand 2011 lag bei 786,6 Pers.-mSv (EPD), der vom KKM vor Beginn der Arbeiten geschätzte (und revidierte) Wert lag bei 875 Pers.-mSv. Dank der auch im letzten Betriebszyklus schadenfreien Brennelemente sowie der vorgezogenen Jahresrevision war die Ausgangslage für die eigentlichen Revisionsarbeiten im August radiologisch gesehen günstig. Die Dosisleistungen an den Kerneinbauten und am Reaktorwasser-Reinigungssystem sind im Vergleich zum Vorjahr etwa gleich geblieben.

Folgende Revisionsarbeiten können als Beispiele für die während der Jahresrevision durchgeführten Arbeiten erwähnt werden. Im Drywell wurden umfangreiche Handprüfungen an der Frischdampfleitung sowie Elektrikerarbeiten durchgeführt. In den beiden Reko-Räumen im Maschinenhaus wurde mit der Sanierung der Oberflächen von Wänden begonnen und eine erdbebensichere Abschirmwand mit Eingangstür montiert. Ferner wurde im Maschinenhaus eine

motorisierte Absperrklappe ins Hilfskühlwassersystem eingebaut und die Konstruktion der KRA-Filter optimiert. Auf +29 m im Reaktorgebäude liefen Arbeiten mit Inspektionen der Schweissnähte und des Kernmantels im Reaktordruckbehälter. Weiter wurden Schweissnähte am Dampftrockner visuell inspiziert. Im Reaktorgebäude wurden für die vom ENSI geforderten Einspeiseleitungen zur zusätzlichen Kühlung des Brennelementlagerbeckens zwei Durchbrüche gebohrt und mit entsprechenden Rohren verschlossen.

Eine während etwa zwei Wochen nicht mehr auffindbare aktive Materialprobe wurde nach intensiven Suchaktionen des KKM in einem Abfallfass gefunden.

Die Edelmetalleinspeisung wurde fortgesetzt. Gemeinsam mit der kontinuierlichen Zugabe von Wasserstoff sollen dadurch die Einbauten im Reaktordruckbehälter vor Spannungsrisskorrosion geschützt werden.

Strahlenschutzinstrumentierung

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

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

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

■ Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Jodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKM.

■ An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe und interne Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des KKM die Anforderungen für die Anerkennung als interne Dosimetriestelle nur teilweise erfüllt. Das KKM hat als Sofortmassnahme die Messvorrichtung überprüfen lassen und den defekten Detektor zur Reparatur ans Herstellerwerk gesandt. Das ENSI wurde sofort informiert. Es hat die Anerkennung der Dosimetriestelle KKM für interne Dosimetrie dem bis auf Weiteres sistiert.

2. Weitere Kernanlagen

2.1 Paul Scherrer Institut (PSI)

Das PSI ist das grösste eidgenössische Forschungsinstitut für Natur- und Ingenieurwissenschaften. Zusammen mit in- und ausländischen Hochschulen, Instituten, Kliniken und Industriebetrieben arbeitet es in den Bereichen Materialwissenschaften, Elementarteilchen-Physik, Umwelt- und Energieforschung, Biowissenschaften sowie Strahlenmedizin. Der Anfang 2011 abgeschaltete Nullleistungs-Forschungsreaktor PROTEUS, das Hotlabor, die Anlagen für die Behandlung und Lagerung radioaktiver Abfälle sowie die im Rückbau befindlichen Forschungsreaktoren SAPHIR und DIORIT sind Kernanlagen und werden durch das ENSI beaufsichtigt.

An vier Gebinden in der Halle A/B des Gebäudes OBGA wurden im Dezember vom PSI schadhafte Stellen entdeckt, an denen der Farbanstrich abblätterte. Es handelte sich um verschweisste Stahlzylinder vom Abfallgebindetyp (AGT) J-P-1241 mit Tritium-haltigen MIF-Abfällen. Bei einem der Zylinder wurde eine Undichtigkeit festgestellt. Konfektioniert und als gasdicht zertifiziert wurden die Zylinder von der externen Firma, bei der die Abfälle angefallen sind. Weitere Untersuchungen werden vom PSI und der Firma durchgeführt.

Im Jahr 2011 akkumulierten die 1397 beruflich strahlenexponierten Personen des PSI eine Kollektivdosis von 100,7 Pers.-mSv (2010: 129,5 Pers.-mSv). Davon stammen 11,7 Pers.-mSv aus dem Aufsichtsbereich des ENSI (2010: 14,3 Pers.-mSv) bei einer höchsten Individualdosis von 0,7 mSv (2010: 0,8 mSv).

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des PSI wurde im Rahmen verschiedener Inspektionen und Fachgespräche vom ENSI stichprobenweise überprüft. Des Weiteren hat sich das ENSI anhand der eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Vor-Ort-Kontrollen davon überzeugt, dass die regelmässigen Überprüfungen der Messgeräte durch das Personal bis auf wenige Abweichungen konform mit den Vorgaben der Richtlinie HSK-G13 durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Die Erneuerung der Fortluftüberwachung des Hochkamins am PSI-Ost wurde im Dezember 2011 mit ihrer Inbetriebnahme erfolgreich abgeschlossen.

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 und interne Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des PSI den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)

In der Berichtsperiode wurde im ZZL eine Kollektivdosis von 15,2 Pers.-mSv akkumuliert. Der geschätzte Wert von 20,9 Pers.-mSv wurde dank guter administrativer und technischer Strahlenschutzmassnahmen deutlich unterschritten.

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

Zu den im Berichtsjahr ausgeführten strahlenschutzrelevanten Tätigkeiten des ZZL-Betriebs zählen unter anderem das Handling von Transport- und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente, der Empfang und die Einlagerung von CSD-C-Kokillen aus der Wiederaufarbeitungsanlage La Hague in Frankreich, die Anlieferung von radioaktiven Stoffen zur weiteren Verarbeitung im ZZL, die Konditionierung von radioaktiven Abfällen sowie die Verbrennungs- und Schmelzkampagnen in der Plasma-Anlage. Ferner wurde erstma-

lig die vorgeschriebene wiederkehrende Prüfung an den beiden Shuttle-Behältern, die für die Transporte von abgebrannten Brennelementen zwischen dem Kernkraftwerk Mühleberg und dem ZWILAG verwendet werden, erfolgreich ausgeführt.

Die Plasma-Anlage wurde auch im Jahr 2011 erfolgreich zur Endkonditionierung brennbarer und schmelzbarer radioaktiver Abfälle betrieben. Während der beiden Kampagnen im Frühling und im Herbst konnte die geplante Anzahl Abfallfässer ohne Probleme verarbeitet werden.

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

Strahlenschutzinstrumentierung

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

Im Berichtsjahr wurde ein Projekt für den Ersatz der bestehenden Filterbandaerosolmonitore zur Überwachung der Radioaktivität in der Raumluft und der Raumabluft installiert. Es ist geplant, die Geräte durch das Folgeprodukt des gleichen Herstellers zu ersetzen. Auch wurde die Elektronik der Messsysteme zur radiologischen Überwachung der Fortluft aus Gebäuden, der Abluft aus der heissen Zelle und des Rauchgases aus der Plasma-Anlage erneuert.

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

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von 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'Énergie et des Particules (IPEP) angehört. Im Jahr 2011 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 110,3 Stunden bei kleiner Leistung (unter 100 W) für Ausbildungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 159,0 Wh thermische Energie erzeugt. Reparaturen und Modernisierung an hydraulischen Komponenten wurden im Frühling 2011 ausgeführt. Deshalb waren die Betriebsstunden des CROCUS-Reaktors geringer als im Durchschnitt der vergangenen Jahre. Das Experiment CARROUSEL wurde für Praktika verwendet. Die Neutronenquelle LOTUS war nicht in Betrieb.

Die alte Lüftungsanlage in der kontrollierte Zone wurde während des Sommers durch eine neue Anlage ersetzt. Die bei der Demontage angefallene Abfallmenge von ca. 52,5 Tonnen wurde als inaktiv freigemessen und konventionell entsorgt. Das ENSI hat vor dem geplanten Abtransport des Materials eine Inspektion durchgeführt und dabei Stichproben erhoben.

Im Jahr 2011 lag die Dosis des Personals unterhalb der Nachweisgrenze. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend. Im Dezember 2011 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 2011 eingehalten wurden.

2.4 Universität Basel

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

Die Nutzung des Reaktors hat sich gegenüber den

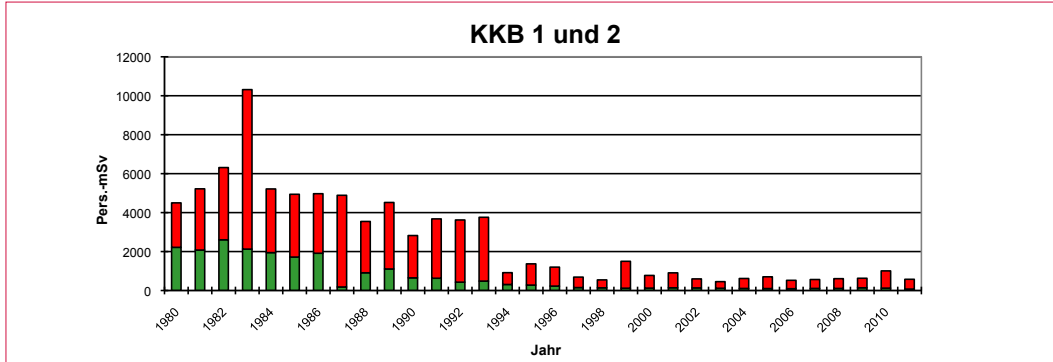
Vorjahren kaum verändert. Im Berichtsjahr betrug die produzierte Energie 31,7 kWh. Die Nutzung verteilt sich auf die Neutronenaktivierungsanalytik (NAA) für die Universitäten Bern und Basel, die Kurse der Reaktorschule und der Strahlenschutzkurse sowie auf etliche Vorführungen für Besuchergruppen und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

Im Jahr 2011 traten keine meldepflichtigen Vorkommnisse von sicherheitstechnischer Bedeutung gemäss Richtlinie ENSI-B03 auf. Die Dosen des Personals lagen unterhalb der Nachweisgrenze. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und den Abwasserpfad war unbedeutend. Im Oktober 2011 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 2011 eingehalten wurden.

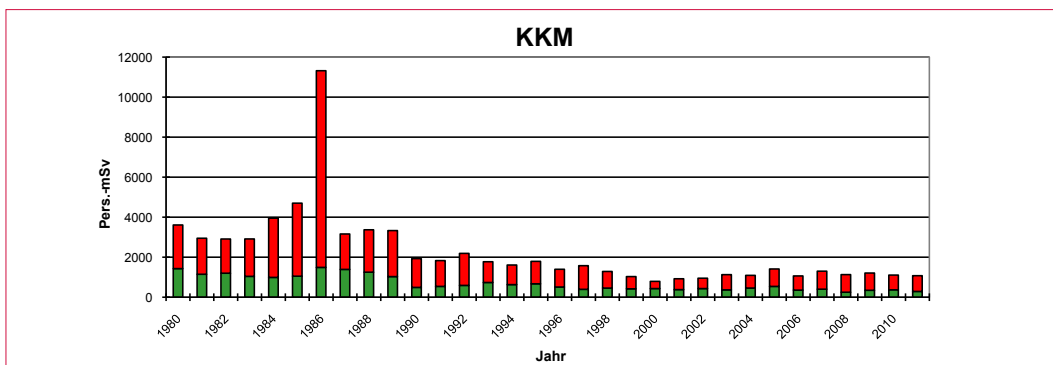
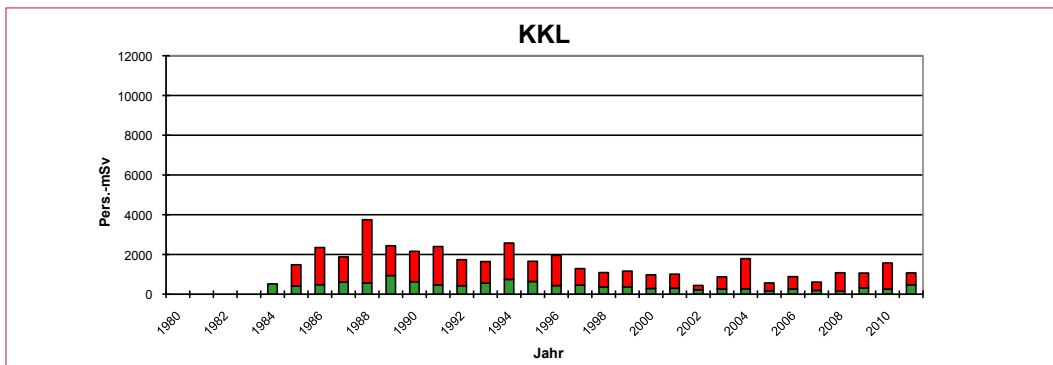
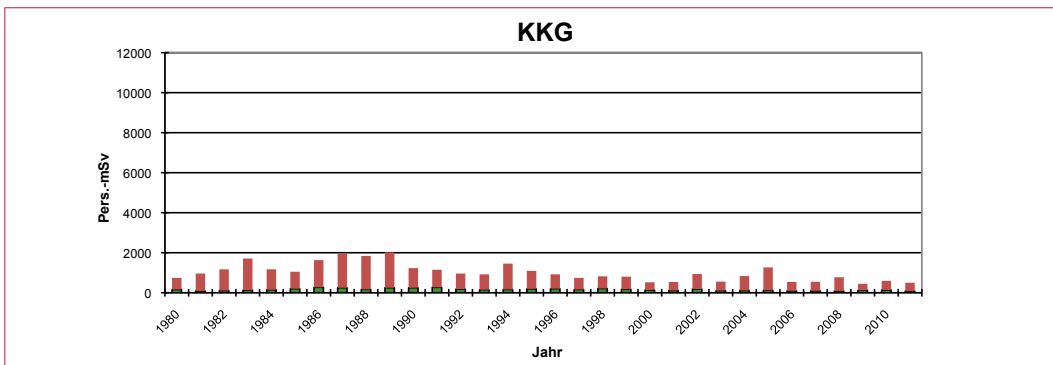
3. Grafische Darstellungen

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.

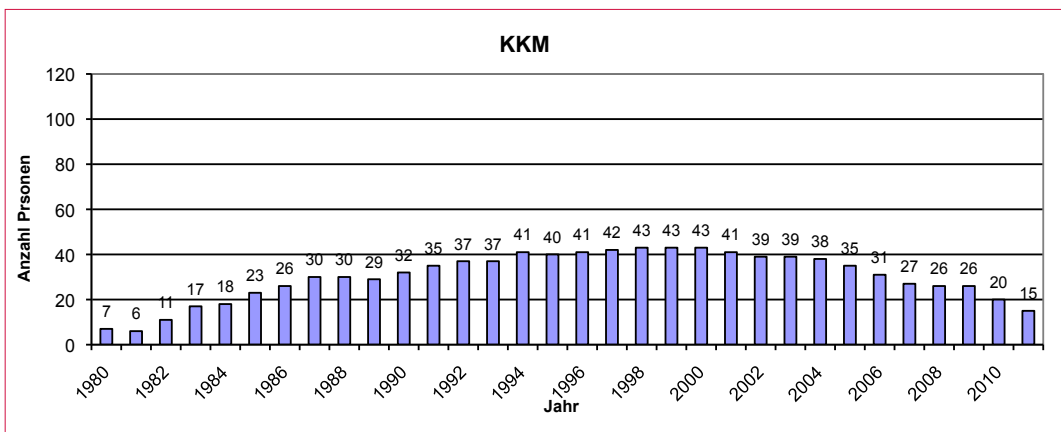
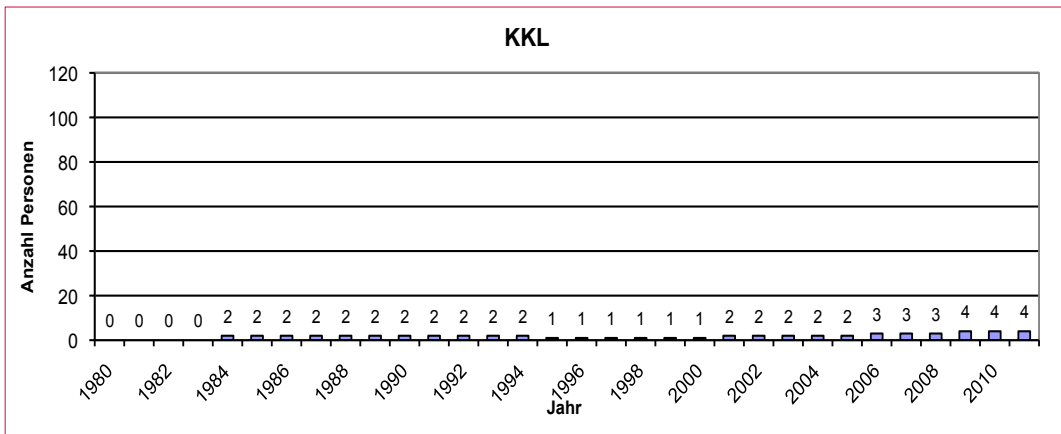
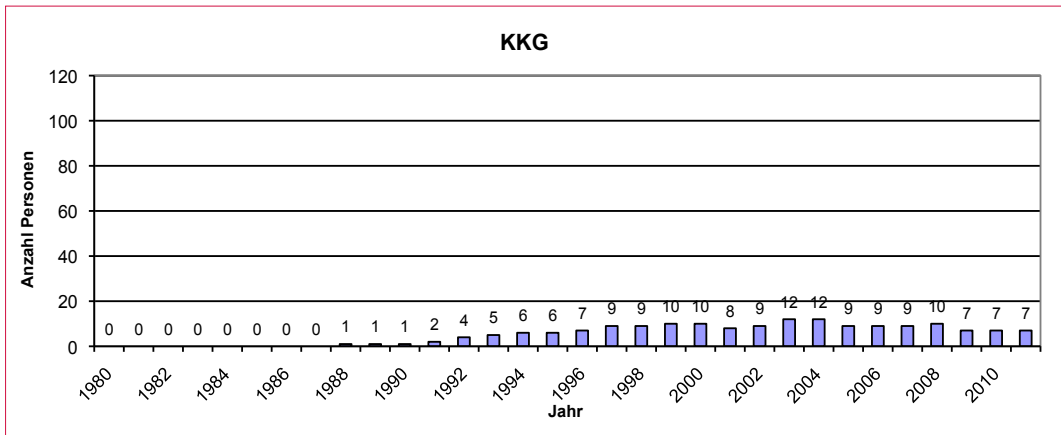
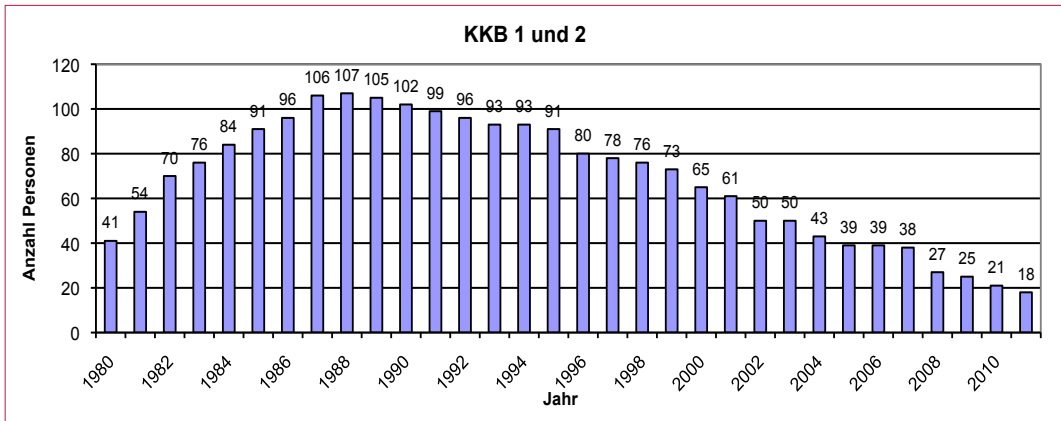
Darstellung A.3 gibt die Kollektivdosen in den Kernkraftwerken, im ZZL und im PSI seit Inbetriebnahme der Anlagen wieder.



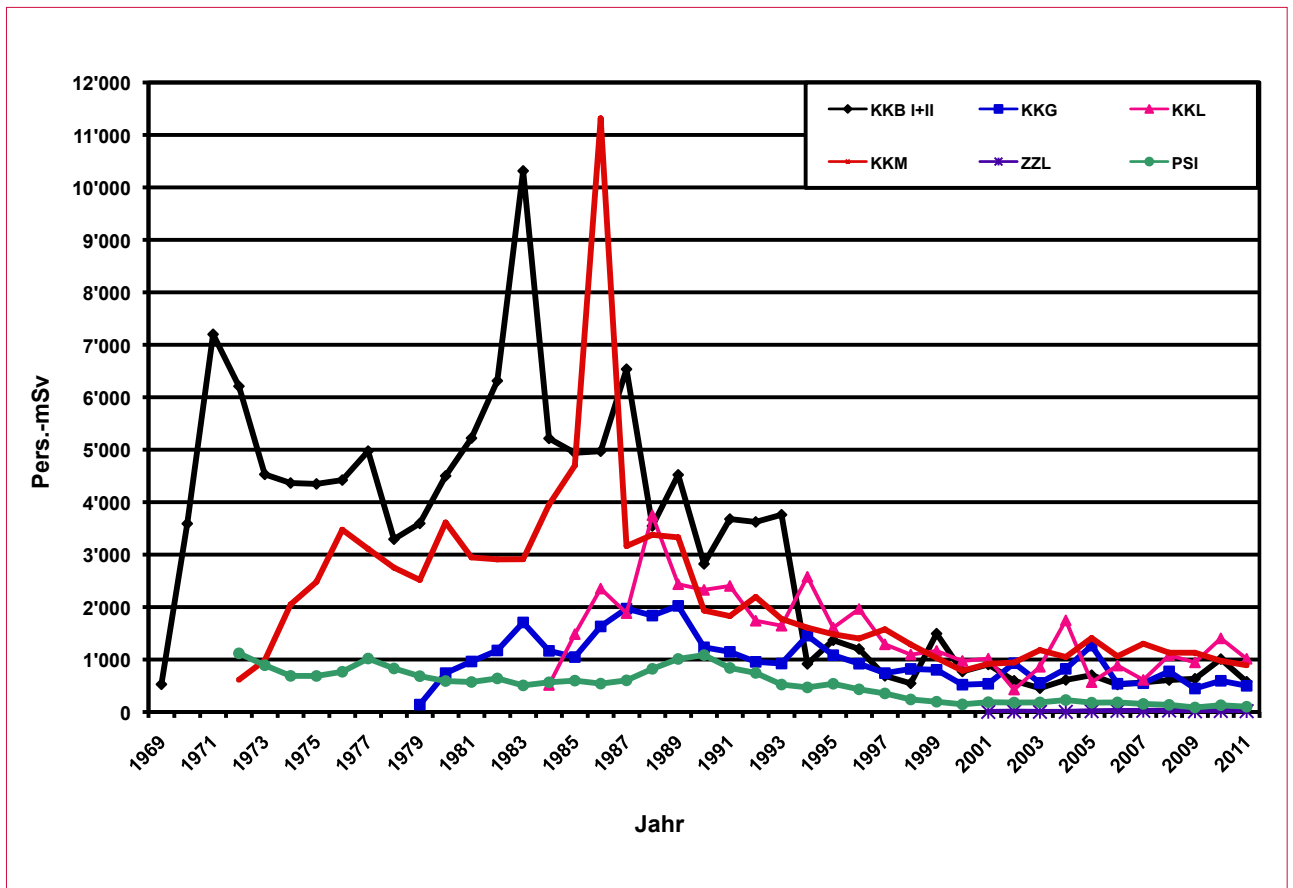
Darstellung A.1: Jahreskollektivdosen (Pers.-mSv) der Kernkraftwerke von 1980 bis 2011. Rot bezeichnet sind die Daten aus den Revisionsstillständen, grün diejenigen aus dem Leistungsbetrieb.



Darstellung A.2: Anzahl Personen mit einer beruflichen Lebensdosis über 200 mSv, Kernkraftwerke, 1980 bis 2011.



Darstellung A.3: Entwicklung der Kollektivdosen (Pers.-mSv) in den Kernanlagen, 1968 bis 2011.



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 BAG weiterzuleiten.

Die Strahlenschutzverordnung schreibt vor, dass die maximale Exposition jeder einzelnen beruflich strahlenexponierten Person 20 mSv pro Jahr nicht überschreiten darf. In der Richtlinie ENSI-B02 wird festgelegt, dass für geplante Stillstände oder Arbeiten mit einer erwarteten Jobdosis von über 50 Pers.-mSv die ausgearbeiteten Planungen rechtzeitig der Aufsichtsbehörde vorgelegt werden müssen. Das ENSI prüft die eingereichten Strahlenschutzplanungen. Damit wird auch der in der Strahlenschutzverordnung verlangten Optimierung der radiologischen Schutzmassnahmen Folge geleistet. In der Richtlinie ENSI-G15 «Strahlenschutzziele für

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

Zur Ermittlung der Dosen und zum Nachweis der Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben betreibt jedes Kernkraftwerk und das PSI eine vom ENSI anerkannte Personendosimetriestelle, die die Dosimeter des Eigen- und des Fremdpersonals auswertet und die akkumulierten Dosen registriert. Für das ZZL übernimmt das KKB diese Aufgabe. Die Neutronendosimetrie wird für alle Anlagen von der Personendosimetriestelle 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-B02 werden die akkumulierten Dosen dieser zwischen den Kernanlagen wechselnden Personen einerseits als Eigenpersonal-Dosen der einen Anlage und andererseits als Fremdpersonal-Dosen einer anderen Anlage gemeldet. Da beide Dosimetriestellen dieselben Dosen melden,

Tabelle A.1: Zusammenfassung der Kollektivdosen in den schweizerischen Kernanlagen 2010, Eigen- und Fremdpersonal.

Kernanlage	Anzahl überwachte Personen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
KKB 1 und 2	1458	577.0
KKG	1154	500.3
KKL	1804	1014.3
KKM	1281	891.4
ZZL	159	15.2
PSI	1397	100.7
Universitäten	70	0.0
Aufsichtsbereich des ENSI	6649	3088.7

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 der Gesamtsumme der Personen. Ausserdem ergeben sich durch Rundungen nicht relevante Ungenauigkeiten.

Für das Jahr 2011 haben die fünf vom ENSI anerkannten Personendosimetriestellen (KKB, KKG,

KKL, KKM und PSI) insgesamt 6579 beruflich strahlenexponierte Personen mit einer Kollektivdosis von 3089 Pers.-mSv gemeldet (Mehrfachbuchungen bereinigt). Die an den Universitäten verwendeten Dosimeter (für 70 Personen) werden entweder vom Institut Universitaire de Radiophysique Appliquée (IRA) oder von der SUVA ausgewertet. Die Meldungen der Dosimetriestelle des PSI umfassen Dosen, die sowohl in Anlagen aus dem Aufsichtsbereich des BAG als auch in Anlagen aus dem Aufsichtsbereich des ENSI akkumuliert wurden.

Anzahl beruflich strahlenexponierte Personen

Tabelle A.2a: Kernkraftwerke

Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW ¹⁾		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	FP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
0.0 - 1.0	405	885	1290	369	623	992	407	1094	1501	264	732	996		2793	4236
> 1.0 - 2.0	39	50	89	27	69	96	44	97	141	42	110	152	152	312	464
> 2.0 - 5.0	21	46	67	24	36	60	38	102	140	36	76	112	119	263	382
> 5.0 - 10.0	7	5	12	3	3	6	9	10	19	11	10	21	30	35	65
> 10.0 - 15.0								3	3					3	3
> 15.0 - 20.0															
> 20.0 - 50.0															
> 50.0															
Total Personen	472	986	1458	423	731	1154	498	1306	1804	353	928	1281		3406	5150
Mittel pro Person [mSv]	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.8	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6

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

Tabelle A.2b: Kernanlagen und Forschung

Dosisbereich [mSv]	PSI			Univer- sitäten ²⁾	Total Forschung	ZZL			Total KKW EP+FP	Total Kernanlagen und Forschung ¹⁾
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP		
0.0 - 1.0	1065	308	1373	70	1443	55	99	154	4236	5706
> 1.0 - 2.0	9	4	13		13	5		5	464	482
> 2.0 - 5.0	11		11		11				382	393
> 5.0 - 10.0									65	65
> 10.0 - 15.0									3	3
> 15.0 - 20.0										
> 20.0 - 50.0										
> 50.0										
Total Personen	1085	312	1397	70	1467	60	99	159	5150	6649
Mittel pro Person [mSv]	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1	0.6	0.5

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

²⁾ EPF Lausanne und Universität Basel

Kollektivdosis pro Dosisbereich der beruflich strahlenexponierten Personen

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

Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW ¹⁾		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
0.0 - 1.0	69.0	91.0	160.0	47.2	92.5	139.7	56.1	151.6	207.7	53.2	128.7	181.9	225.7	412.3	638.0
> 1.0 - 2.0	56.3	73.2	129.5	41.8	103.2	145.0	69.8	144.5	214.3	62.7	162.4	225.1	230.6	461.2	691.8
> 2.0 - 5.0	66.5	145.6	212.1	72.1	109.2	181.3	109.6	319.5	429.1	106.3	233.1	339.4	354.5	828.2	1182.7
> 5.0 - 10.0	44.8	30.6	75.4	17.5	16.8	34.3	60.0	71.1	131.1	76.8	68.2	145.0	199.1	231.7	430.8
> 10.0 - 15.0								32.1	32.1					32.5	32.5
> 15.0 - 20.0															
> 20.0 - 50.0															
> 50.0															
Total [Pers.-mSv]	236.6	340.4	577.0	178.6	321.7	500.3	295.5	718.8	1014.3	299.0	592.4	891.4	1009.9	1965.9	2975.8
Höchste Einzeldosis [mSv]	7.5	7.1	7.5	6.2	6.2	6.2	9.3	10.9	10.9	8.5	8.0	8.5	9.3	11.1	11.1

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

Tabelle A.3b: Kernanlagen und Forschung

Dosisbereich [mSv]	PSI			Univer- sitäten ²⁾	Total Forschung	ZZL			Total KKW	Total Kernanlagen und Forschung ¹⁾
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP	EP+FP	
0.0 - 1.0	40.3	8.2	48.5	0.1	48.6	5.0	2.8	7.8	638.0	691.0
> 1.0 - 2.0	12.2	5.4	17.6		17.6	7.4		7.4	691.8	716.9
> 2.0 - 5.0	34.6		34.6		34.6				1182.7	1217.5
> 5.0 - 10.0									430.8	430.8
> 10.0 - 15.0									32.5	32.5
> 15.0 - 20.0										
> 20.0 - 50.0										
> 50.0										
Total Pers.-mSv]	87.1	13.6	100.7	0.1	100.8	12.4	2.8	15.2	2975.8	3088.7
Höchste Einzeldosis [mSv]	4.9	1.6	4.9	0.0	4.9	1.9	0.3	1.9	11.1	11.1

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

²⁾ EPF Lausanne und Universität Basel

Verteilung der beruflichen Lebensdosis des Eigenpersonals

Tabelle A.4a: Kernanlagen

Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM	KKW Total	PSI	ZZL	Kernanlagen und PSI Total
> 100 - 150	25	5	469	17	516	4	60	580
> 150 - 200	17	4	12	11	44	3		47
> 200 - 250	5	5	5	6	21	1		22
> 250 - 300	4	1	3	3	11	1		12
> 300 - 350	6	1	1	1	9			9
> 350 - 400	1			2	3			3
> 400 - 450				1	1			1
> 450 - 500								0
> 500 - 550				2	2			2
> 550 - 600	1				1			1
> 600	1				1			1
Total Personen	60	16	490	43	609	9	60	678

Personen mit einer beruflichen Lebensdosis unter 100 mSv sind in den Tabellen 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	43	109	164	195	69	580
> 150 - 200			4	28	15	47
> 200 - 250			1	10	11	22
> 250 - 300			2	7	3	12
> 300 - 350				6	3	9
> 350 - 400				2	1	3
> 400 - 450					1	1
> 450 - 500						0
> 500 - 550					2	2
> 550 - 600					1	1
> 600				1		1
Total Personen	43	109	171	249	106	678

Dosismittelwerte, Kollektivdosen und Anzahl Personen nach Alter und Geschlecht

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

Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
[mSv]															
0.0 - 1.0	25		72	2	869	99	1089	112	1520	106	1290	63	449	10	5706
> 1.0 - 2.0	4		4		84	1	100		149		116		24		482
> 2.0 - 5.0			1		89	1	81	1	109		87	1	23		393
> 5.0 - 10.0					9		16		22		17		1		65
> 10.0 - 15.0							1		1		1				3
> 15.0 - 20.0															
> 20.0 - 50.0															
> 50.0															
Total Personen	29		77	2	1051	101	1287	113	1801	106	1511	64	497	10	6649
Mittel pro Person [mSv]	0.28		0.24	0.05	0.55	0.09	0.52	0.05	0.50	0.03	0.48	0.11	0.32	0.03	0.46
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	8.1		18.5	0.1	582.8	9.0	668.5	5.7	900.1	3.4	726.1	7.2	158.8	0.3	3088.6

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

Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
[mSv]															
0.0 - 1.0	3		12	1	183	79	323	72	344	56	235	37	93	5	1443
> 1.0 - 2.0					2		4		6		1				13
> 2.0 - 5.0					1	1	5		1		1	1	1		11
> 5.0 - 10.0															
> 10.0 - 15.0															
> 15.0 - 20.0															
> 20.0 - 50.0															
> 50.0															
Total Personen	3		12	1	186	80	332	72	351	56	237	38	94	5	1467
Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.00	0.00	0.05	0.06	0.10	0.01	0.07	0.01	0.07	0.14	0.06	0.06	0.07
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.0	0.0	8.8	4.8	33.9	1.0	23.7	0.4	16.6	5.4	5.8	0.3	100.7

¹⁾ Aufsichtsbereich des BAG mit einbezogen

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2011

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

Eigenpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19-20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	3		12		23	1	68	7	127	5	118	5	36		405
	> 1.0 - 2.0			1		6		8		14		9		1		39
	> 2.0 - 5.0							5		10		6				21
	> 5.0 - 10.0					1		3		3						7
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	3		13		30	1	84	7	154	5	133	5	37		472	
Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.15		0.62	0.00	0.76	0.19	0.61	0.08	0.38	0.20	0.13		0.50	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		1.9		18.7	0.0	64.1	1.3	94.3	0.4	50.1	1.0	4.8		236.6	

Fremdpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0			3		149	3	162	6	270	8	219	4	58	3	885
	> 1.0 - 2.0			1		10		14		15		10				50
	> 2.0 - 5.0					15		12		14		5				46
	> 5.0 - 10.0					2		2		1						5
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen			4		176	3	190	6	300	8	234	4	58	3	986	
Mittel pro Person [mSv]			0.50		0.54	0.07	0.48	0.00	0.32	0.03	0.23	0.00	0.05	0.00	0.35	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]			2.0		94.5	0.2	90.9	0.0	94.7	0.2	54.9	0.0	3.0	0.0	340.4	

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	3		15		172	4	230	13	397	13	337	9	94	3	1290
	> 1.0 - 2.0			2		16		22		29		19		1		89
	> 2.0 - 5.0					15		17		24		11				67
	> 5.0 - 10.0					3		5		4						12
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	3		17		206	4	274	13	454	13	367	9	95	3	1458	
Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.23		0.55	0.05	0.57	0.10	0.42	0.05	0.29	0.11	0.08	0.00	0.40	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		3.9		113.2	0.2	155.0	1.3	189.0	0.6	105.0	1.0	7.8	0.0	577.0	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2011, Fortsetzung

Tabelle A.7: Kernkraftwerk Gösgen (KKG)

Eigenpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	4			1	31	2	75	4	110	9	88	2	43		369
	> 1.0 - 2.0						1	6		9		7		4		27
	> 2.0 - 5.0					1		8		7		6		2		24
	> 5.0 - 10.0									3						3
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	4			1	32	3	89	4	129	9	101	2	49		423	
Mittel pro Person [mSv]	0.08			0.10	0.25	0.40	0.48	0.20	0.55	0.01	0.38	0.00	0.33		0.42	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.3			0.1	7.9	1.2	43.0	0.8	70.4	0.1	38.4	0.0	16.4		178.6	

Fremdpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0			4		98	3	126	6	164	2	170	5	43	2	623
	> 1.0 - 2.0	1				19		12		15		19		3		69
	> 2.0 - 5.0					12		8		5		10		1		36
	> 5.0 - 10.0									1		2				3
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	1		4		129	3	146	6	185	2	201	5	47	2	731	
Mittel pro Person [mSv]	1.30		0.05		0.67	0.10	0.46	0.00	0.35	0.10	0.45	0.00	0.26	0.00	0.44	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.3		0.2		86.0	0.3	67.8	0.0	64.2	0.2	89.6	0.0	12.1	0.0	321.7	

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	4		4	1	129	5	201	10	274	11	258	7	86	2	992
	> 1.0 - 2.0	1				19	1	18		24		26		7		96
	> 2.0 - 5.0					13		16		12		16		3		60
	> 5.0 - 10.0									4		2				6
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	5		4	1	161	6	235	10	314	11	302	7	96	2	1154	
Mittel pro Person [mSv]	0.32		0.05	0.10	0.58	0.25	0.47	0.08	0.43	0.03	0.42	0.00	0.30	0.00	0.43	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.6		0.2	0.1	93.9	1.5	110.8	0.8	134.6	0.3	128.0	0.0	28.5	0.0	500.3	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2011, Fortsetzung

Tabelle A.8: Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)

Eigenpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total	
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F		
	0.0 - 1.0	2		6		22	1	77	5	90	14	134	8	48			407
	> 1.0 - 2.0					5		7		16		16					44
	> 2.0 - 5.0					10		4		7		12		5			38
	> 5.0 - 10.0							1		2		6					9
	> 10.0 - 15.0																
	> 15.0 - 20.0																
	> 20.0 - 50.0																
	> 50.0																
Total Personen	2		6		37	1	89	5	115	14	168	8	53			498	
Mittel pro Person [mSv]	0.05		0.18		1.06	0.00	0.52	0.04	0.58	0.08	0.71	0.00	0.40			0.59	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.1		1.1		39.2	0.0	46.5	0.2	66.4	1.1	119.5	0.0	21.4			295.5	

Fremdpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total	
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F		
	0.0 - 1.0	10		28		278	3	185	9	293	10	200	4	72	2		1094
	> 1.0 - 2.0			1		26		22		23		21		4			97
	> 2.0 - 5.0					30		19		27		22		4			102
	> 5.0 - 10.0					1		3		4		2					10
	> 10.0 - 15.0							1		1		1					3
	> 15.0 - 20.0																
	> 20.0 - 50.0																
	> 50.0																
Total Personen	10		29		335	3	230	9	348	10	246	4	80	2		1306	
Mittel pro Person [mSv]	0.13		0.28		0.52	0.27	0.67	0.00	0.57	0.02	0.62	0.10	0.35	0.00		0.55	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.3		8.0		175.3	0.8	153.4	0.0	199.2	0.2	152.5	0.4	27.7	0.0		718.8	

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total	
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F		
	0.0 - 1.0	12		34		300	4	262	14	383	24	334	12	120	2		1501
	> 1.0 - 2.0			1		31		29		39		37		4			141
	> 2.0 - 5.0					40		23		34		34		9			140
	> 5.0 - 10.0					1		4		6		8					19
	> 10.0 - 15.0							1		1		1					3
	> 15.0 - 20.0																
	> 20.0 - 50.0																
	> 50.0																
Total Personen	12		35		372	4	319	14	463	24	414	12	133	2		1804	
Mittel pro Person [mSv]	0.12		0.26		0.58	0.20	0.63	0.01	0.57	0.05	0.66	0.03	0.37	0.00		0.56	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.4		9.1		214.5	0.8	199.9	0.2	265.6	1.3	272.0	0.4	49.1	0.0		1014.3	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2011, Fortsetzung

Table A.9: Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)

Eigenpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	1		2		26	4	37	5	81	3	77	3	25		264
	> 1.0 - 2.0					4		7		15		10		6		42
	> 2.0 - 5.0					1		7	1	11		12		4		36
	> 5.0 - 10.0					2		2		5		2				11
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	1		2		33	4	53	6	112	3	101	3	35		353	
Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.60		1.00	0.05	0.88	0.38	0.97	0.33	0.81	0.00	0.67		0.85	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		1.2		32.9	0.2	46.6	2.3	109.1	1.0	81.7	0.4	23.6		299.0	

Fremdpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	1		5		131	4	150	5	180	12	172	3	64	5	732
	> 1.0 - 2.0	3		1		16		22		32		31		5		110
	> 2.0 - 5.0			1		17		15		26		11		6		76
	> 5.0 - 10.0					2		2		2		3		1		10
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	4		7		166	4	189	5	240	12	217	3	76	5	928	
Mittel pro Person [mSv]	1.28		0.59		0.72	0.38	0.64	0.00	0.73	0.00	0.56	0.00	0.58	0.00	0.64	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	5.1		4.1		120.1	1.5	121.5	0.0	174.6	0.0	121.8	0.0	43.7	0.0	592.4	

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	2		7		157	8	187	10	261	15	249	6	89	5	996
	> 1.0 - 2.0	3		1		20		29		47		41		11		152
	> 2.0 - 5.0			1		18		22	1	37		23		10		112
	> 5.0 - 10.0					4		4		7		5		1		21
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	5		9		199	8	242	11	352	15	318	6	111	5	1281	
Mittel pro Person [mSv]	1.02		0.59		0.77	0.21	0.69	0.21	0.81	0.07	0.64	0.07	0.61	0.00	0.70	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	5.1		5.3		153.0	1.7	168.1	2.3	283.7	1.0	203.5	0.4	67.3	0.0	891.4	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2011, Fortsetzung

Tabelle A.10: Kernkraftwerke gesamt

Eigenpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	10		20	1	101	8	256	21	408	31	417	18	152		1443
	> 1.0 - 2.0			1		15	1	28		54		42		11		152
	> 2.0 - 5.0					12		24	1	35		36		11		119
	> 5.0 - 10.0					3		6		13		8				30
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	10		21	1	131	9	314	22	510	31	503	18	174		1744
	Mittel pro Person [mSv]	0.04		0.20	0.10	0.75	0.16	0.64	0.21	0.67	0.08	0.58	0.08	0.38		0.58
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.4		4.2	0.1	98.7	1.4	199.9	4.6	340.4	2.6	289.6	1.4	66.6		1009.9

Fremdpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	11		40		586	12	505	19	761	19	622	8	204	6	2793
	> 1.0 - 2.0	4		3		67		67		86		72		13		312
	> 2.0 - 5.0			1		76		52		73		50		11		263
	> 5.0 - 10.0					6		10		9		9		1		35
	> 10.0 - 15.0							1		1		1				3
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	15		44		735	12	635	19	930	19	754	8	229	6	3406
	Mittel pro Person [mSv]	0.51		0.33		0.65	0.23	0.68	0.00	0.57	0.02	0.55	0.05	0.38	0.00	0.58
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	7.7		14.3		476.1	2.8	432.1	0.0	528.5	0.4	417.2	0.4	86.4	0.0	1965.9

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	21		60	1	687	20	761	40	1169	50	1039	26	356	6	4236
	> 1.0 - 2.0	4		4		82	1	95		140		114		24		464
	> 2.0 - 5.0			1		88		76	1	108		86		22		382
	> 5.0 - 10.0					9		16		22		17		1		65
	> 10.0 - 15.0							1		1		1				3
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	25		65	1	866	21	949	41	1440	50	1257	26	403	6	5150
	Mittel pro Person [mSv]	0.32		0.28	0.10	0.66	0.20	0.67	0.11	0.60	0.06	0.56	0.07	0.38	0.00	0.58
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	8.1		18.5	0.1	574.8	4.2	632.0	4.6	868.9	3.0	706.8	1.8	153.0	0.0	2975.8

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2011, Fortsetzung

Tabelle A.11: Zentrales Zwischenlager (ZZL)

Eigenpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0					4	1	13	1	23	1	10		2		55
	> 1.0 - 2.0							1		3		1				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					4	1	14	1	26	1	11		2		60	
Mittel pro Person [mSv]					0.08	0.00	0.16	0.10	0.32	0.00	0.14		0.00		0.21	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]					0.3	0.0	2.2	0.1	8.3	0.0	1.5		0.0		12.4	

Fremdpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	1		4		11		17		33	1	27	1	4		99
	> 1.0 - 2.0															
	> 2.0 - 5.0															
	> 5.0 - 10.0															
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	1		4		11		17		33	1	27	1	4		99	
Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.00		0.00		0.04		0.03	0.00	0.04	0.00	0.00		0.03	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.0		0.0		0.6		1.0	0.0	1.2	0.0	0.0		2.8	

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	1		4		15	1	30	1	56	2	37	1	6		154
	> 1.0 - 2.0							1		3		1				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		4		15	1	31	1	59	2	38	1	6		159	
Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.00		0.02	0.00	0.09	0.10	0.16	0.00	0.07	0.00	0.00		0.10	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.0		0.3	0.0	2.8	0.1	9.3	0.0	2.7	0.0	0.0		15.2	

Ganzkörperdosen des beruflich strahlenexponierten Personals durch äussere Bestrahlung 2011, Fortsetzung

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

Eigenpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	10		20	1	105	9	269	22	431	32	427	18	154		1498
	> 1.0 - 2.0			1		15	1	29		57		43		11		157
	> 2.0 - 5.0					12		24	1	35		36		11		119
	> 5.0 - 10.0					3		6		13		8				30
	> 10.0 - 15.0															
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	10		21	1	135	10	328	23	536	32	514	18	176		1804	
Mittel pro Person [mSv]	0.04		0.20	0.10	0.73	0.14	0.62	0.20	0.65	0.08	0.57	0.08	0.38		0.57	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.4		4.2	0.1	99.0	1.4	202.0	4.7	348.2	2.6	291.1	1.4	66.6		1021.7	

Fremdpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	12		43		592	12	516	19	773	19	638	8	206	6	2844
	> 1.0 - 2.0	4		3		67		67		86		72		13		312
	> 2.0 - 5.0			1		76		52		73		50		11		263
	> 5.0 - 10.0					6		10		9		9		1		35
	> 10.0 - 15.0							1		1		1				3
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	16		47		741	12	646	19	942	19	770	8	231	6	3457	
Mittel pro Person [mSv]	0.48		0.30		0.64	0.23	0.67	0.00	0.56	0.02	0.54	0.05	0.37	0.00	0.57	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	7.7		14.3		475.4	2.8	432.7	0.0	529.0	0.4	418.4	0.4	86.4	0.0	1967.5	

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich	16 - 18 Jahre		19 - 20 Jahre		21 - 30 Jahre		31 - 40 Jahre		41 - 50 Jahre		51 - 60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	[mSv]	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0 - 1.0	22		63	1	697	21	785	41	1204	51	1065	26	360	6	4342
	> 1.0 - 2.0	4		4		82	1	96		143		115		24		469
	> 2.0 - 5.0			1		88		76	1	108		86		22		382
	> 5.0 - 10.0					9		16		22		17		1		65
	> 10.0 - 15.0							1		1		1				3
	> 15.0 - 20.0															
	> 20.0 - 50.0															
	> 50.0															
Total Personen	26		68	1	876	22	974	42	1478	51	1284	26	407	6	5261	
Mittel pro Person [mSv]	0.31		0.27	0.10	0.66	0.19	0.65	0.11	0.59	0.06	0.55	0.07	0.38	0.00	0.57	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	8.1		18.5	0.1	574.4	4.2	634.7	4.7	877.2	3.0	709.5	1.8	153.0	0.0	2989.2	

Verteilung der Extremitätendosen 2011

Tabelle A.13: Kernanlagen und Forschung (PSI)

Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW			PSI			ZZL			Total
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	
0 - 25	15	20	35	426	734	1160	3	12	15	9	6	15	453	772	1225	3	81	84	0	0	0	1309
> 25 - 50		4	4										4	4								4
> 50 - 75																						
> 75 - 100																						
> 100 - 125																						
> 125 - 150																						
> 150 - 175																						
> 175 - 200																						
> 200 - 300																						
> 300 - 400																						
> 400 - 500																						
> 500																						
Total Personen	15	24	39	426	734	1160	3	12	15	9	6	15	453	776	1229	3	81	84	0	0	0	1313

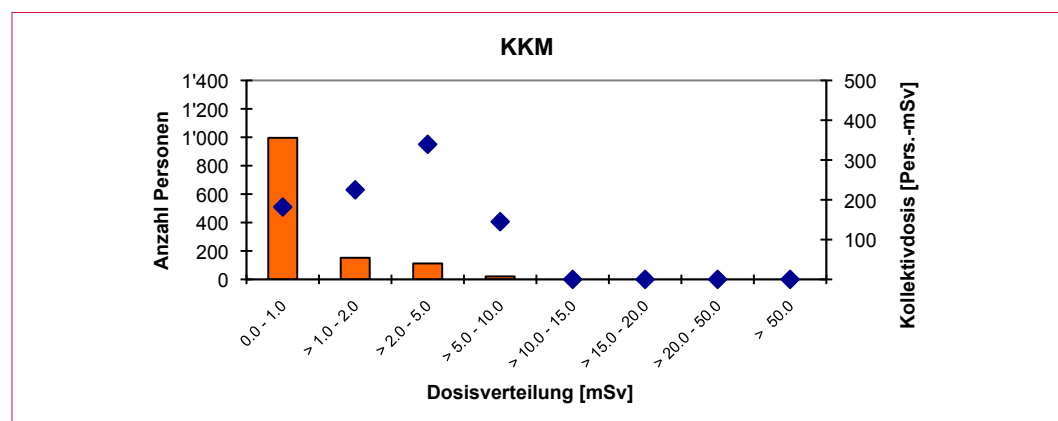
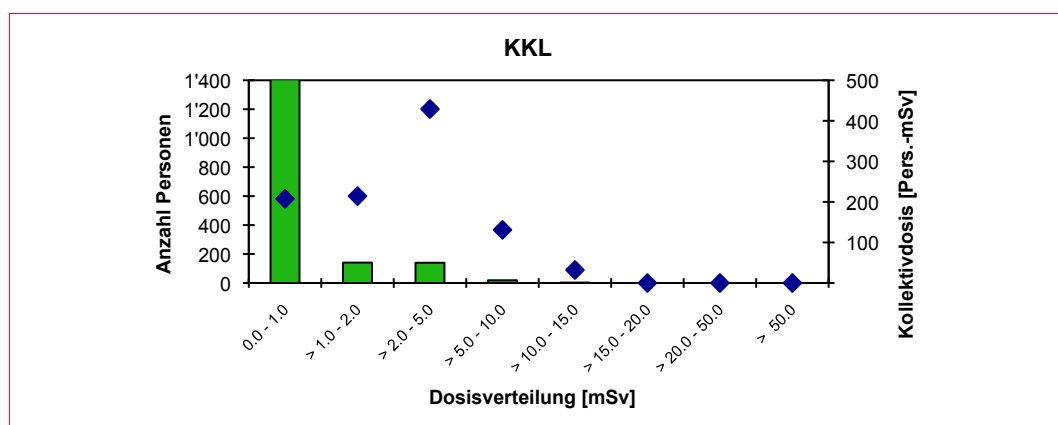
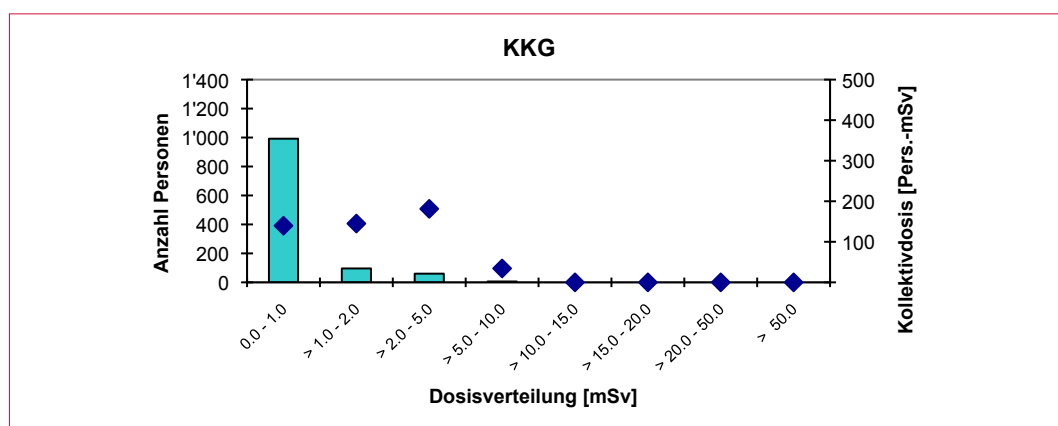
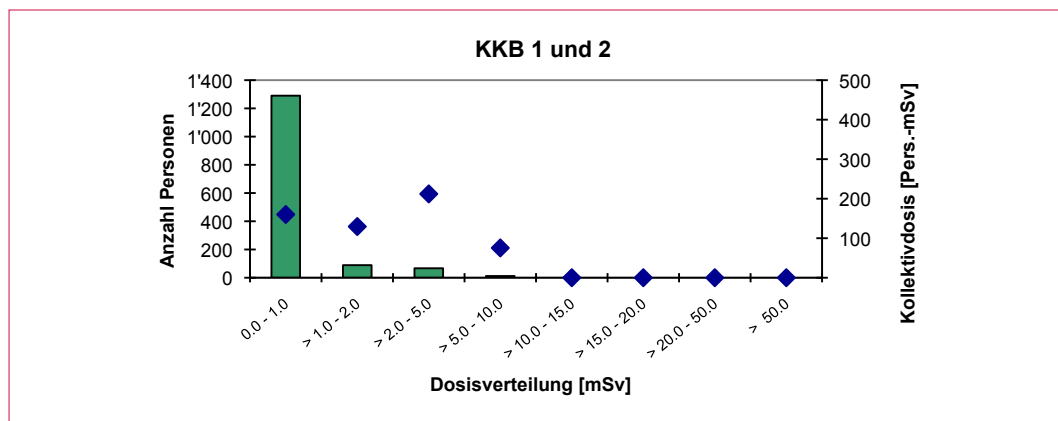
Folgedosis E_{50} des beruflich strahlenexponierten Personals durch Inkorporationen

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

Folgedosis E_{50} Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW			PSI			ZZL			Total
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	
≤ 1.0	411	886	1297	383	707	1090	508	1416	1924	353	928	1281	1655	3937	5592	257	14	271	62	122	184	6047
> 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	411	886	1297	383	707	1090	508	1416	1924	353	928	1281	1655	3937	5592	257	14	271	62	122	184	6047

Kollektivdosen und Anzahl dosimetrierter Personen 2011

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



Messmethoden der Personendosimetriestellen im Aufsichtsbereich des ENSI 2011

Tabelle A.15: Vom ENSI anerkannte Personendosimetriestellen und deren Messmethode

Messstelle	Überwachung der äusseren Bestrahlung									Überwachung der Inkorporationen								
	Ganzkörper			Haut			Extremitäten			Ganzkörperzähler			Schilddrüse			Urin		
	r ¹⁾	m ²⁾	a ³⁾	r ¹⁾	m ²⁾	a ³⁾	r ¹⁾	m ²⁾	a ³⁾	r ¹⁾	m ²⁾	a ³⁾	r ¹⁾	m ²⁾	a ³⁾	r ¹⁾	m ²⁾	a ³⁾
KKB 1 und 2	β, γ, x	DIS	1458	β, γ, x	DIS	1458	β, γ, x	TLD	39	γ	Nal	1297	γ	Nal	1297			
KKG	γ	DIS	1154	γ	DIS	1154	γ	TLD	6	γ	PSC	1090	γ	PSC	1090			
KKL	β, γ	TLD	1897	β, γ	TLD	1897	β, γ	TLD	15	γ	Nal	1924	γ	Nal	1924	β, γ	Ge	0
KKM	γ	TLD	1281	β, γ	TLD	1281	γ	TLD	15	γ	Nal	1281	γ	Nal	1281			
PSI	β, γ, x	TLD /	1397	β, γ, x	TLD /	1397	β, γ, x	TLD	84	γ	Ge	263	γ, x	Nal	15	a, β	LSC /	32
	β, γ, x	DIS		β, γ, x	DIS											γ, x	Nal	
	n	Cr-39	1097														Ge	
ZZL ⁴⁾	γ	DIS	157	β, γ, x	DIS	157	γ	TLD	0	γ	Nal	184	γ	Nal	184			

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

²⁾ m = Messmethode: TLD = Thermolumi-esenzdosimeter
 DIS = Direct ion Storage
 Cr-39 = Spaltspurdosimeter
 LSC = Flüssigkeitsszintillator
 Ge = Reinstgermanium-Detektor
 Nal = Nal (TI)-Szintillator

³⁾ a = Anzahl der überwachten Personen

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

Zusammenstellung der Kollektivdosen

Tabelle A.16: Relative Aufteilung der Kollektivdosen auf Betrieb und Revisionsstillstand 1980 bis 2011 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

Tabelle A.17: Aufteilung der Kollektivdosen auf Betrieb und Revisionsstillstand 1980 bis 2011 in Prozenten

Jahr	Relative Aufteilung der Jahreskollektivdosen [%]									
	KKB 1 und 2		KKG		KKL		KKM		Total	
	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand
1980	49%	51%	22%	78%			40%	60%	43%	57%
1981	40%	60%	9%	91%			39%	61%	36%	64%
1982	41%	59%	9%	91%			41%	59%	38%	62%
1983	21%	79%	8%	92%			36%	64%	22%	78%
1984	37%	63%	13%	87%	100%	0%	25%	75%	33%	67%
1985	35%	65%	19%	81%	28%	72%	22%	78%	28%	72%
1986	38%	62%	17%	83%	20%	80%	13%	87%	20%	80%
1987	4%	96%	13%	87%	33%	67%	44%	56%	21%	79%
1988	26%	74%	9%	91%	15%	85%	37%	63%	23%	77%
1989	24%	76%	12%	88%	39%	61%	31%	69%	27%	73%
1990	23%	77%	20%	80%	29%	71%	25%	75%	25%	75%
1991	17%	83%	23%	77%	20%	80%	30%	70%	21%	79%
1992	12%	88%	19%	81%	25%	75%	27%	73%	19%	81%
1993	13%	87%	16%	84%	34%	66%	42%	58%	24%	76%
1994	34%	66%	11%	89%	29%	71%	39%	61%	28%	72%
1995	20%	80%	18%	82%	39%	61%	37%	63%	30%	70%
1996	19%	81%	22%	78%	22%	78%	37%	63%	25%	75%
1997	22%	78%	22%	78%	36%	64%	25%	75%	27%	73%
1998	25%	75%	25%	75%	34%	66%	35%	65%	31%	69%
1999	8%	92%	22%	78%	32%	68%	41%	59%	24%	76%
2000	16%	84%	27%	73%	29%	71%	55%	45%	32%	68%
2001	16%	84%	21%	79%	30%	70%	41%	59%	28%	72%
2002	23%	77%	20%	80%	51%	49%	46%	54%	33%	67%
2003	25%	75%	19%	81%	31%	69%	33%	67%	29%	71%
2004	17%	83%	14%	86%	15%	85%	42%	58%	22%	78%
2005	14%	86%	9%	91%	30%	70%	38%	62%	24%	76%
2006	18%	82%	18%	82%	30%	70%	33%	67%	27%	73%
2007	19%	81%	18%	82%	31%	69%	31%	69%	26%	74%
2008	18%	82%	11%	89%	15%	85%	22%	78%	17%	83%
2009	22%	78%	27%	73%	30%	70%	29%	71%	28%	72%
2010	12%	88%	24%	76%	16%	84%	33%	67%	21%	79%
2011	13%	87%	17%	83%	44%	56%	27%	73%	29%	71%

Tabelle A.18: Kollektivdosen der Kernkraftwerke 2011

Anlage	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM	Total
Pers.-mSv	577.0	500.3	1014.3	891.4	2975.8

Jahreskollektivdosen (TLD)

Anlage	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM	Total
Pers.-mSv	502.5	412.8	604.0	786.7	2306.0

Kollektivdosen der Revisionsstillstände (EPD)

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

Kalenderjahr	PSI-Gesamtpersonal		
	Anzahl Personen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person [mSv]
1972	268	1'118.0	4.2
1973	288	892.0	3.1
1974	287	688.0	2.4
1975	288	687.0	2.4
1976	294	767.0	2.6
1977	360	1'019.0	2.8
1978	351	830.0	2.4
1979	358	683.0	1.9
1980	337	590.0	1.8
1981	380	572.0	1.5
1982	374	640.0	1.7
1983	382	507.0	1.3
1984	374	566.0	1.5
1985	383	598.0	1.6
1986	380	541.0	1.4
1987	423	603.3	1.4
1988	1180	822.9	0.7
1989	1199	1'011.2	0.8
1990	1217	1'085.3	0.9
1991	1257	840.0	0.7
1992	1164	745.0	0.6
1993	1112	523.3	0.5
1994	1129	469.1	0.4
1995	1156	537.8	0.5
1996	1179	431.9	0.4
1997	1161	354.2	0.3
1998	1260	239.5	0.2
1999	1245	195.9	0.2
2000	1197	145.7	0.1
2001	1137	188.6	0.2
2002	1156	179.6	0.2
2003	1142	182.7	0.2
2004	1232	228.0	0.2
2005	1313	177.7	0.1
2006	1342	183.4	0.1
2007	1375	154.4	0.1
2008	1454	136.3	0.1
2009	1486	85.9	0.1
2010	1491	129.5	0.1
2011	1397	100.7	0.1

Tabelle A.20: Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL), Kollektivdosen des dosimetrierten Personals 2001 bis 2011

Kalender- jahr	Eigenpersonal			Fremdpersonal			Total		
	Anzahl Personen	Kollektiv- dosis	Mittel pro Person	Anzahl Personen	Kollektiv- dosis	Mittel pro Person	Anzahl Personen	Kollektiv- dosis	Mittel pro Person
		[Pers.-mSv]	[mSv]		[Pers.-mSv]	[mSv]		[Pers.-mSv]	[mSv]
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

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 HSK-Richtlinie R-12 «Erfassung und Meldung der Dosen des strahlenexponierten Personals der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts» regelt unter anderem die Minimalanforderungen an die elektronischen Personendosimeter (EPD) hinsichtlich der Warn- und Schutzfunktion und der Möglichkeit, diese Geräte für die Ermittlung der Jobdosen einzusetzen. Elektronische Dosimeter haben zusätzlich den Vorteil, dass sie 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 Entwick-

lung eines für die spezifischen Gegebenheiten optimalen Systems offen bleiben soll. Computerbasierte, vernetzte Systeme haben sich bewährt und werden nun mehrheitlich auch eingesetzt.

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

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

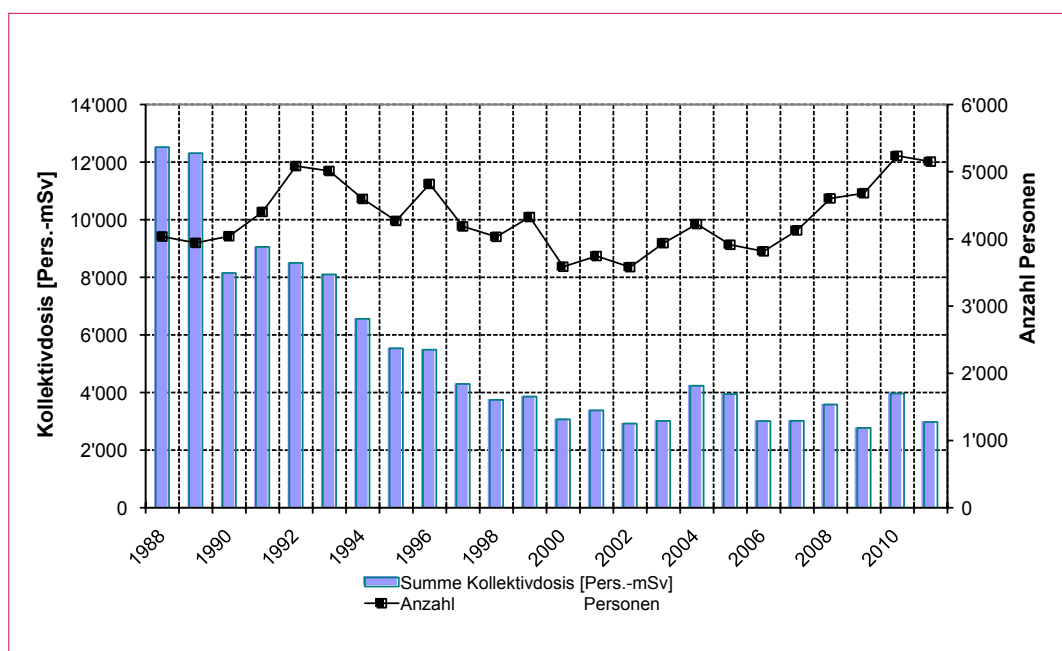
Jahreskollektivdosen in den Kernkraftwerken der Schweiz

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

Jahr	Summe Kollektivdosis [Pers.-mSv]	Anzahl Personen
1988	12 520	40 035
1989	12 310	3 941
1990	8 150	4 040
1991	9 056	4 402
1992	8 500	5 084
1993	8 100	5 011
1994	6 559	4 595
1995	5 535	4 268
1996	5 487	4 818
1997	4 297	4 186
1998	3 744	4 031
1999	3 859	4 326
2000	3 068	3 586
2001	3 380	3 745
2002	2 922	3 580
2003	3 013	3 937
2004	4 236	4 221
2005	3 946	3 913
2006	3 009	3 815
2007	3 018	4 127
2008	3 583	4 603
2009	2 770	4 680
2010	3 966	5 236
2011	2 976	5 150

Die Anzahl Personen in dieser Tabelle entspricht der Summe der Meldungen der einzelnen Kraftwerke. Sie enthält demnach Mehrfachmeldungen wegen der Personen, die in mehr als einer Anlage eingesetzt wurden. Weitere Informationen dazu sind im Kapitel 4.2 Personendosimetrie zu finden.

Grafische Darstellung
der Werte aus
Tabelle A.21.

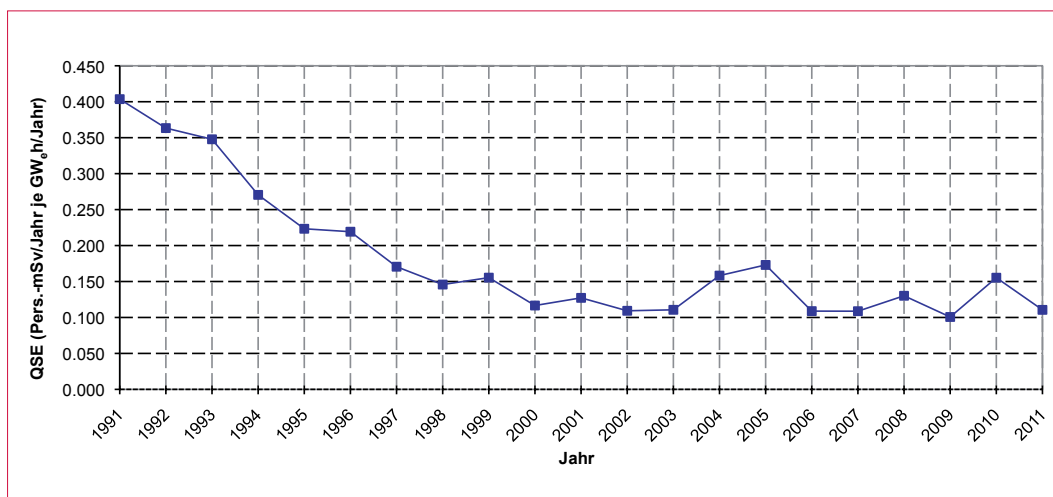


Verhältnis zwischen Dosisaufwand und Energieerzeugung

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

Jahr	Dosis [Pers.-mSv]	Energie [GWh _e]	QSE
1991	9 056	22 438.1	0.404
1992	8 500	23 394.0	0.363
1993	8 100	23 290.8	0.348
1994	6 559	24 250.1	0.270
1995	5 535	24 783.6	0.223
1996	5 487	25 026.6	0.219
1997	4 297	25 190.8	0.171
1998	3 744	25 683.1	0.146
1999	3 859	24 835.0	0.155
2000	3 068	26 310.0	0.117
2001	3 380	26 556.1	0.127
2002	2 922	26 738.9	0.109
2003	3 013	27 233.8	0.111
2004	4 236	26 769.1	0.158
2005	3 954	22 851.6	0.173
2006	3 009	27 649.2	0.109
2007	3 017	27 751.9	0.109
2008	3 583	27 528.0	0.130
2009	2 770	27 514.0	0.101
2010	4 112	26 477.0	0.155
2011	2 976	26 911.0	0.111

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



Grafische Darstellung der Werte aus Tabelle A.22.

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

Vergleich von TLD/DIS zu EPD-Daten

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

Tabelle A.23: Zusammenstellung der mit EPD und der mit Dosimetern der anerkannten Personendosimetriestellen ermittelten Kollektivdosen für das Kalenderjahr 2011

Kernkraftwerk	TLD* [Pers.-mSv]		EPD* [Pers.-mSv]		Verhältnis EPD/TLD*	
	EP	FP	EP	FP	EP	FP
KKB 1 und 2**	EP	237				
	FP	340				
	Summe	577				
KKG**	EP	161				
	FP	319				
	Summe	480				
KKL***	EP	296	EP	341	EP	1.15
	FP	719	FP	734	FP	1.02
	Summe	1014	Summe	1075	EP und FP	1.06
KKM	EP	299	EP	356	EP	1.19
	FP	592	FP	720	FP	1.21
	Summe	891	Summe	1075	EP und FP	1.21

Je nach Kernkraftwerk erfolgt die Meldung der Kollektivdosen unterschiedlich:

* KKM und KKL melden sowohl EPD- als auch TLD-Dosen, wobei die arbeits- und gruppenspezifischen Dosen auf den EPD basieren. Im Berichtsteil zu den Jobdosen erscheinen, wenn nicht anders vermerkt, die mit den entsprechenden Verhältnissen aus dieser Tabelle umgerechneten EPD-Dosen.

** KKB und KKG melden sämtliche Dosen als TLD/DIS-Dosen, wobei werksintern für die Ermittlung der Werte EPD-Daten herangezogen werden. Die anerkannte Dosimetriestelle des KKB verwendet DIS-Dosimeter.

*** Das KKL hat festgestellt, dass der Quotient EPD/TLD signifikant von der Betriebsart (Leistungsbetrieb oder Revisionsstillstand) abhängt. Begründet wird dies durch eine im Leistungsbetrieb aus ¹⁶N entstehende hochenergetische Gammastrahlenkomponente, die von den EPDs überhöht angezeigt wird. Die einzelnen Quotienten für den Revisionsstillstand und den Leistungsbetrieb liegen bei 1,11 und 1,3.

Kollektivdosen in den einzelnen Betriebsphasen

Tabelle A.24: Kollektivdosen in den einzelnen Betriebsphasen
(Pers.-mSv, pro KKW im Berichtsjahr)

Betriebsphasen	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM
Leistungsbetrieb	75	83	471	289
Geplanter Stillstand	503	397	604	787
Ungeplante Stillstände	-	-	-	-
Summe	577	480	1075	1075

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

Personengruppen	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM
Strahlenschutz/Chemie	46	31	110	90
Reinigung/Dekontamination	51	32	75	94
Mechanik	35	71	484	458
Elektrotechnik	9	16	81	51
Brennstoff	66	12	22	1
Gerüstbau	30	0	40	36
Isoleure	19	0	26	51
Betrieb (Schicht)	0	26	109	130
Behörden (SVTI, ENSI)	0	4	10	8
Übrige	308	308	117	156
Abschirmungen	13	0	0	0
Ausserordent. Unterhalt	0	0	0	0
Summe	577	500	1075	1075

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

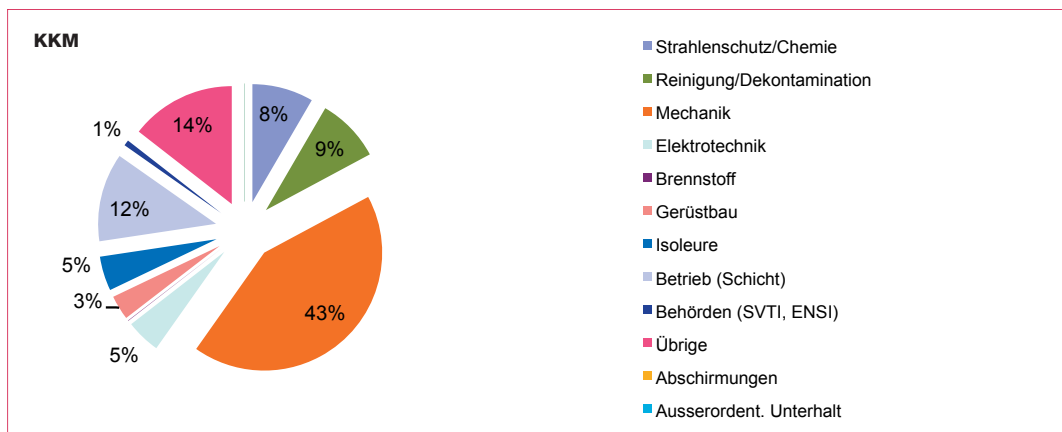
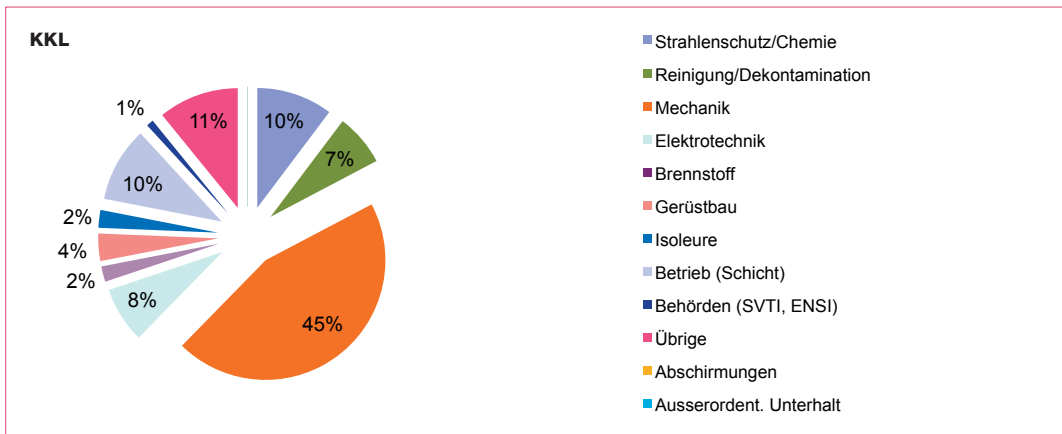
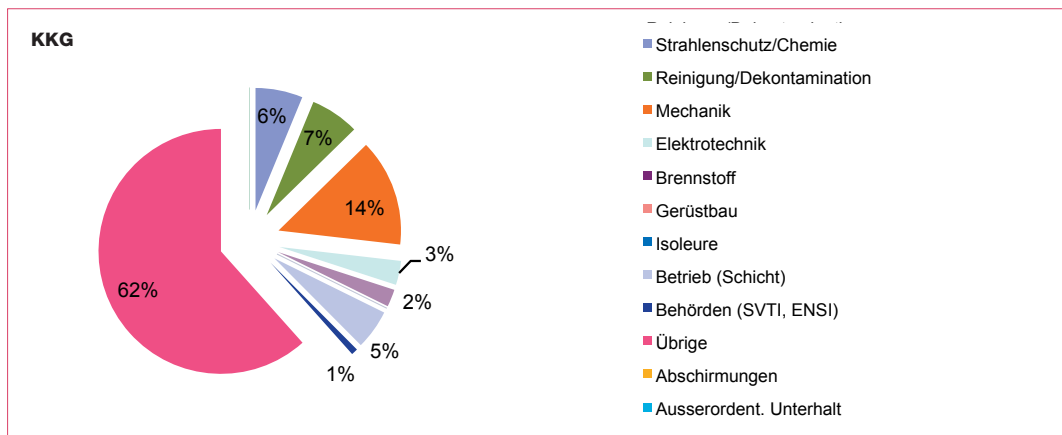
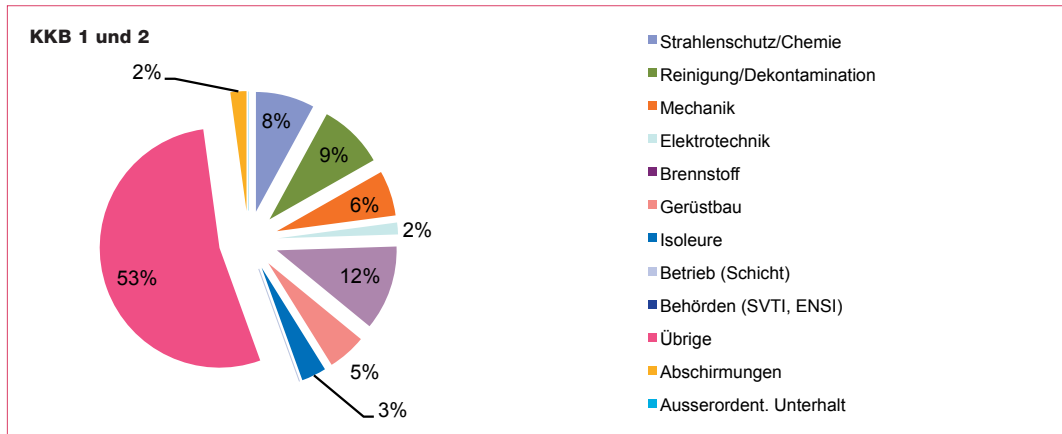


Tabelle A.26: Kollektivdosisanteile im Leistungsbetrieb (Pers.-mSv pro KKW im Berichtsjahr)

Personengruppen	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM
Strahlenschutz/Chemie	0	19	52	24
Reinigung/Dekontamination	0	17	36	20
Mechanik	0	13	193	75
Elektrotechnik	0	3	36	11
Brennstoff	0	10	8	0
Gerüstbau	0	0	11	2
Isloeuere	0	0	3	1
Betrieb (Schicht)	0	17	75	85
Behörden (SVTI/ENSI)	0	0	2	2
Übrige Personengruppen	75	28	55	69
Abschirmungen	0	0	0	0
Ausserordent. Unterhalt	0	0	0	0
Summe	75	107	471	289

KKB bestimmt während des Leistungsbetriebs keine Jobdosen.

Darstellung A.6: Kollektivdosisanteile in Prozent. Anteile kleiner als 1% sind nicht bezeichnet.

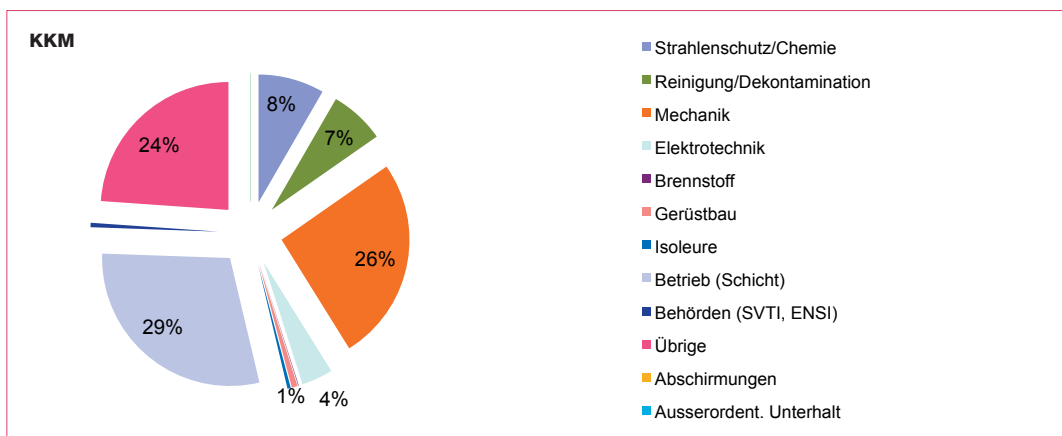
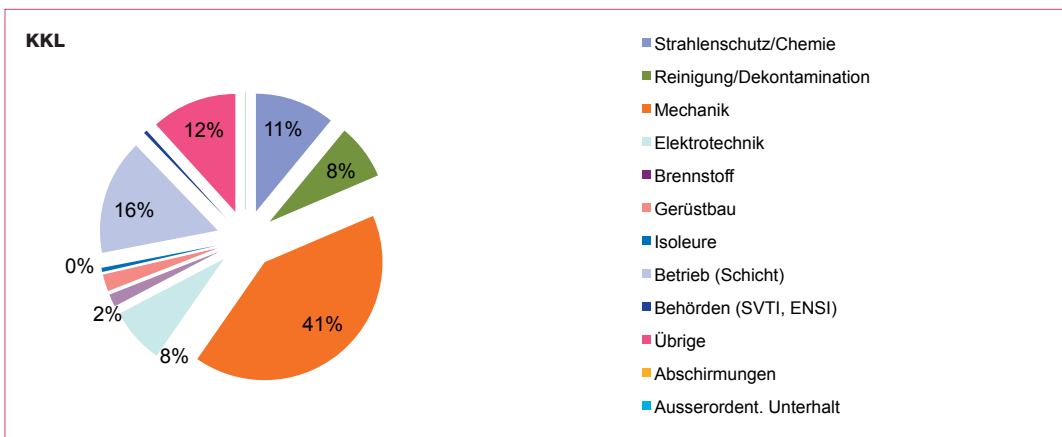
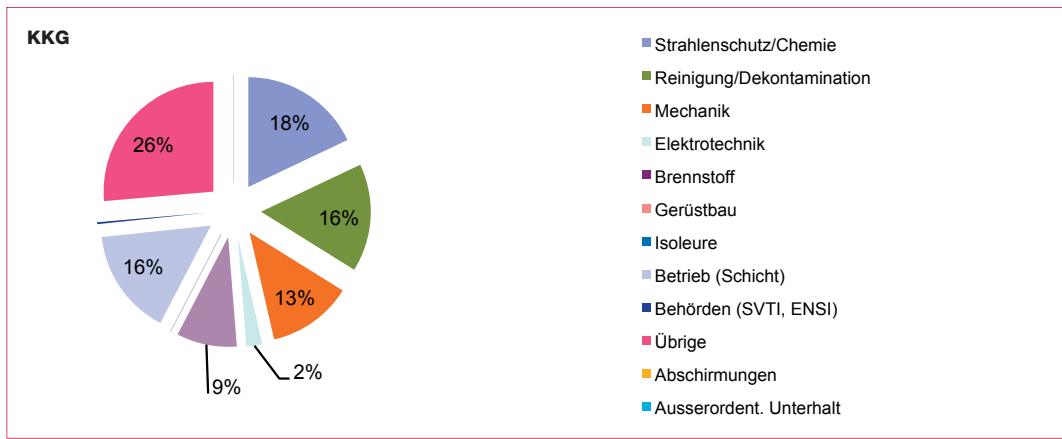
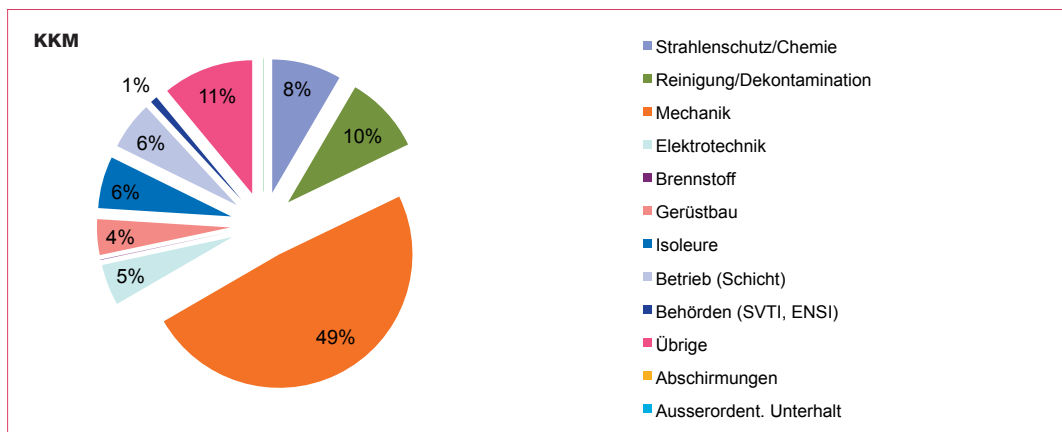
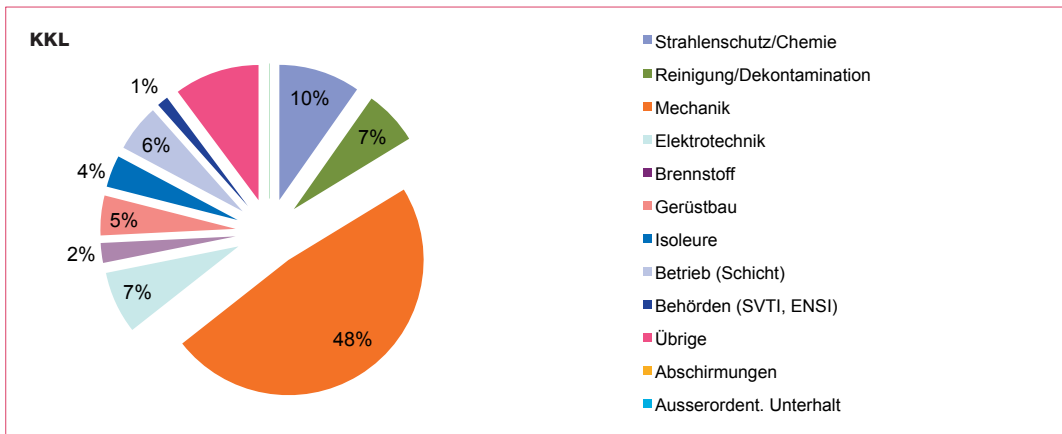
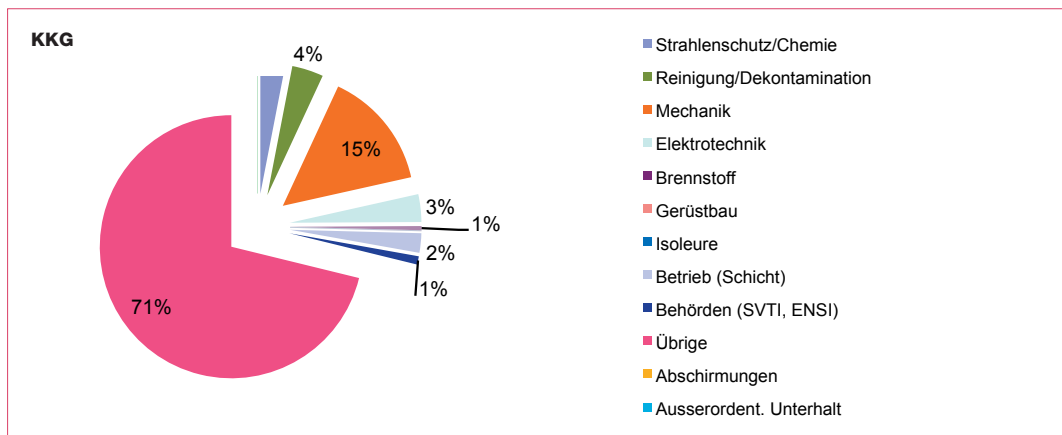
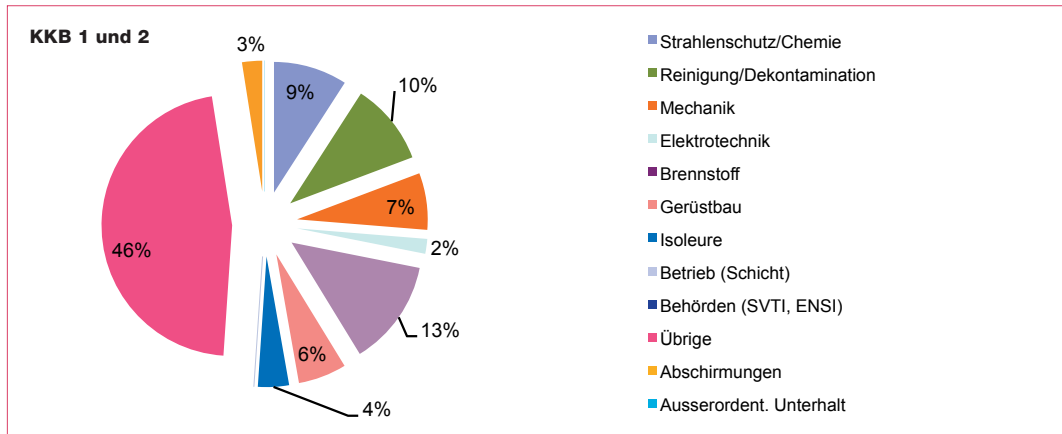


Tabelle A.27: Kollektivdosisanteile; geplanter Stillstand (Pers.-mSv pro KKW im Berichtsjahr)

Personengruppen	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM
Strahlenschutz/Chemie	46	12	59	66
Reinigung/Dekontamination	51	15	39	74
Mechanik	35	57	291	384
Elektrotechnik	9	13	45	39
Brennstoff	66	2	14	0
Gerüstbau	30	0	29	34
Isoleure	19	0	23	50
Betrieb (Schicht)	0	9	34	46
Behörden (SVTI/ENSI)	0	4	8	7
Übrige Personengruppen	233	280	62	87
Abschirmungen	13	0	0	0
Ausserordent. Unterhalt	0	0	0	0
Summe	503	393	604	787

Darstellung A.7: Kollektivdosisanteile; geplanter Stillstand. Anteile kleiner als 10% sind nicht bezeichnet.



4.4 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen

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

Der Quotient aus Dosis pro erzeugter elektrischer Energie QSE ist in den vergangenen Jahren wegen der erreichten Dosisreduktionen, der zeitlich verkürzten Stillstände und aufgrund der Leistungserhöhungen gefallen. Im Jahr 1991 betrug der Wert 0,404 Pers.-mSv pro GWh_{el.}. Gegenwärtig erfolgt eine Stabilisierung zwischen 0,1 bis 0,17 Pers.-mSv pro GWh_{el.}, der im Jahr 2011 erreichte Wert liegt bei 0,111 Pers.-mSv pro GWh_{el.}

Ähnlich verhält es sich mit den mittleren Individualdosen. Über die letzten Jahre konnten die mittleren Individualdosen um rund einen Faktor 2 gesenkt werden, während sich die Zahl der beruflich strahlenexponierten Personen über einige Jahre konstant verhielt und dann aber steigende Tendenz zeigte. Im Jahr 2011 hat sich die Zahl der strahlenexponierten Personen von 5150 im Bereich des Werts vom Jahr 2010 mit 5236 Personen stabilisiert. Die mittlere Exposition des Eigen- und Fremdpersonals liegt im Jahr 2011 für alle Kernkraftwerke und das ZZL bei 0,57 mSv. Die maximalen Individualdosen, die von einigen Spezialisten an Arbeitsorten mit relativ hoher Ortsdosisleistung akkumuliert werden können, bieten eine stete Herausforderung für den operativen Strahlenschutz. Im Berichtsjahr 2011 wurde der Jahresgrenzwert von 20 mSv für die Individualdosis des beruflich strahlenexponierten Personals im Aufsichtsbereich des ENSI in allen Kernanlagen deutlich unterschritten, die höchste Individualdosis von 10,9 mSv erhielt ein Mitarbeiter im KKL. In allen anderen Kernanlagen lagen die maximalen Individualdosen unter 10 mSv. Im Jahr 2010 gab es durch eine ungeplante Exposition von einem Mitarbeiter eine Überschreitung des Jahresgrenzwerts. Im Jahr 2009 gab es eine Überschreitung bei zwei Mitarbeitern. Seit Inkrafttreten der neuen Strahlenschutzverordnung im Jahr 1994 gab es drei Grenzwertüberschreitungen im Aufsichtsbereich des ENSI.

Das ENSI bewertet den Strahlenschutz in den schweizerischen Kernanlagen, nicht zuletzt aus dem gewonnenen Eindruck bei Inspektionen vor Ort, weiterhin als gut. Die Optimierungsanstrengungen, die seit den 90er-Jahren zur Reduktion der Dosen führten, hatten nachhaltigen Erfolg. Die Herausforderung sowohl für die Betreiber als auch für die Aufsichtsbehörde besteht darin, diesen guten Zustand zu erhalten. Ungeplante Expositionen sind 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 vermeidbar.

4.5 Erwartete Entwicklung der Exposition

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

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

Änderungen in der *Wasserchemie der verschiedenen Anlagen* können zu einer Dosisreduktion beitragen. In einigen DWR-Anlagen wurden durch die Einspeisung von Zink, dessen Isotop ⁶⁴Zn vorher abgereichert wurde, die Dosisleistungen an Komponenten des Primärkreislaufes halbiert. Das Zink verdrängt dabei ⁶⁰Co aus den Korrosionsschichten.

In der Schweiz wird das Verfahren vom KKG seit Ende 2004 mit Erfolg angewendet. Im Durchschnitt lag die 2011 gemessene Dosisleistung an ausgewählten Primärkomponenten um 44 % unter dem Wert zu Beginn der Zinkdosierung. Die auf

der Innenseite des RDB-Deckels gemessene Oberflächendosisleistung lag mit 100 mSv/h unter dem Bereich der Vorjahre (2010: 117 mSv/h; 2009: 135 mSv/h; 2008 und 2007: 130 mSv/h) und deutlich unter den Werten der Jahre 2006 (280 mSv/h), 2005 (300 mSv/h) und 2004 (300 mSv/h). Diese Verringerungen der Oberflächendosisleistungen sind erfreulich und tragen zur Minimierung der Kollektiv- und Individualdosen bei.

Das KKB stützt sich 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.

Im KKB 1 haben sich die Ortsdosisleistungen an den Hauptkühlmittelleitungen Hot Legs A und B, der Innenoberfläche des Reaktordeckels sowie den Mänteln der Dampferzeuger A und B in den letzten Jahren praktisch nicht verändert. Im Gegensatz dazu setzt sich der Trend der steigenden Ortsdosisleistungen an den Hauptkühlmittelleitungen Closure Legs A und B weiter fort. Im Jahr 2011 wurde ein mittlerer Anstieg von 14 % gegenüber dem Vorjahr gemessen, die Oberflächenortsdosisleistungen liegen jetzt bei ca. 2,5 mSv/h.

Im KKB 2 ist die Ortsdosisleistung an den Hauptkühlmittelleitungen Hot Legs A und B sowie an den Closure Legs A und B um ca. 10 % angestiegen, an den Mänteln der Dampferzeuger A und B um 8 % gesunken. An der Innenoberfläche des Reaktordruckbehälter-Deckels konnte keine signifikante Veränderung festgestellt werden. Der Trend zu steigenden Ortsdosisleistungen an den Closure Legs A und B setzt sich damit auch im KKB 2 weiter fort, allerdings sind die ODL-Werte weiterhin auf einem tiefen Niveau.

Ein stetiger Anstieg der Dosisleistungen an den Closure Legs wird im KKB 1 und 2 seit Jahren beobachtet. Ursache ist eine zunehmende Ablagerung von ^{60}Co auf der inneren Oberfläche der Rohrleitungen. Die mittlerweile recht hohen ODL-Werte an den Closure Legs in Block 1 machen es erforderlich zu handeln. Im Jahr 2011 wurde deshalb vom KKB die Fahrweise auf einen konstanten pH_{300} -Wert von 7,2 über den gesamten Zyklus umgestellt (Block 1: Juni 2011, Block 2: Oktober 2011). Dieser pH-Wert scheint für KKB 1 und 2 optimal zu sein, wie die Untersuchungen des Crudmaterials im Primärwasser zeigten. Ausserdem erhofft sich das KKB eine bessere Entfernung des ^{60}Co von den Oberflächen durch die Verlänge-

rung der Abkühl- und Reinigungszeit von 130 °C auf 80 °C um 4 Stunden.

Im KKM wurde im Januar 2011 insgesamt 199 g Platin über zehn Tage lang kontinuierlich in das Primärwasser eingespeist. Während des Leistungsbetriebs erfolgte nahezu kontinuierlich die Zudosierung von Wasserstoff. In diesem Jahr wurde an den Messpunkten der Umwälzschleifen eine im Vergleich zum Vorjahr identische Dosisleistung von 1,67 mSv/h gemessen. Die Tendenz zu niedrigeren Ortsdosisleistungen an den Umwälzschleifen nach der Einspeisung von Platin im KKM scheint damit gestoppt zu sein. Der Trend wurde seit dem Jahr 2006 beobachtet und wird auf die Edelmetalleinspeisung zurückgeführt. Im Jahr 2004 war die mittlere ODL an den Umwälzschleifen noch ca. 4 mSv/h. Der Einsatz der seit vielen Jahren im KKM verwendeten Funkdosimeter, z.B. bei der Reinigung der Reaktorgrube zur «Fernüberwachung» des Personals, hat sich wiederum zur Dosisminimierung bewährt.

Das KKL führte die Reapplikation einer Platinverbindung im Januar 2011 mit total 354 g Platin durch. Während nahezu des gesamten Zyklus wurde Wasserstoff in den Primärkreislauf zudosiert. Die Effekte auf die Ortsdosisleistungen an den Umwälzschleifen wurden vom KKL im Berichtsjahr wiederum untersucht. Der Mittelwert der an insgesamt 16 Messpunkten erfassten Dosisleistungen betrug 2,43 mSv/h. Dies ist gegenüber dem Vorjahr 2010 mit 1,14 mSv/h eine knappe Verdoppelung. Da vor der Revision die Zinkkonzentration im Reaktorwasser mit weniger als 4 µg/kg eher tief lag, kommt das KKL beratende Electric Power Research Institute (EPRI) zum Schluss, dass das Verhältnis der gelösten ^{60}Co -Aktivitätskonzentration zur gelösten Zinkkonzentration im Reaktorwasser zu hoch war. Dies wird vom EPRI direkt mit einem Anstieg der Dosisleistung der Rezirkulationsleitung in Verbindung gebracht. Als Gegenmassnahme wurde die Zinkkonzentration im Speisewasser auf einen Mittelwert von 0,48 µg/kg erhöht. Es sind Anzeichen vorhanden, dass die Erhöhung der Ortsdosisleistung auch aus erhöhter Mobilität von aktivierten Korrosions-Produkten entsteht. Ähnliche Phänomene wie an der Umwälzschleife konnten an weiteren Systemen der Primäranlage beobachtet werden. Die Fahrweise ohne Brennelementdefekte hatte in der Sekundäranlage günstige Folgen für die Dosisleistungen während der Revisionsarbeiten. Im Zyklus 28 wurde im Dezember 2011 mit total 384 g eine weitere Platin-Reapplikation durchge-

führt. Ein Punkt zur Minimierung der Aufenthaltszeit im erhöhten Strahlenfeld ist im KKL die bessere Erfassung und Kennzeichnung von Hot-Spots. Hier wurden verschiedene Massnahmen festgelegt, die nun in der Umsetzung sind. Beispielsweise wird eine Hot-Spot-Liste, mit welcher der Strahlenschutz auf Orte erhöhter Ortsdosisleistung aufmerksam macht, geführt. In der JHR 2011 wurden erstmals Funkdosimeter eingesetzt. Mit diesen kann die erhöhte Strahlenexposition einer Person frühzeitig erkannt werden, ohne dass der Strahlenschutz selbst ins Strahlenfeld gehen muss. Der Strahlenschutz kann zeitnah intervenieren und unnötige Dosis vermeiden.

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 geringe Reduktion der Exposition. Bei den maximalen Individualdosen setzt sich der Trend zu Werten im Bereich der Hälfte des Jahresgrenzwertes von 20 mSv fort. Den Arbeiten in hohen und variablen Strahlenfeldern ist seitens der Betreiber und der Aufsichtsbehörden eine ganz besondere Beachtung zu schenken, damit sich Ereignisse wie im KKB (2009) und im KKL (2010) nicht wiederholen. Die Ausbildung des Personals im Strahlenschutz, das Absperren von Gebieten mit hoher Ortsdosisleistung, die Verwendung von Funkdosimetern und der Einsatz von Messgeräten mit Anzeigen sowie Warneinheiten 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 2011 für die vier Schweizer Kernkraftwerke Beznau (KKB 1 und KKB 2), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) und Mühleberg (KKM) sowie für das Paul Scherrer Institut (PSI) und das am gleichen Standort gelegene Zentrale Zwischenlager Würenlingen (ZZL) deutlich unterhalb der Jahres- und Kurzzeit-Abgabelimiten. Die aus den tatsächlichen Abgaben und der Direktstrahlung aus der jeweiligen Anlage errechnete Strahlenexposition liegt selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren für Erwachsene 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-Piketeningenieur 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 Kernanlagen.

Im Rahmen des permanenten Probenahme- und Messprogramms für Immission wurden die wichtigsten Expositionspfade radioaktiver Stoffe in der Umgebung der Kernanlagen überwacht.

Die im Boden gemessenen künstlichen Radionuklide (^{90}Sr , ^{137}Cs) können im Allgemeinen mit den Atomwaffentests oder mit dem Reaktorunfall in Tschernobyl in Verbindung gebracht werden.

Die langjährige Messreihe der Universität Bern von ^{14}C in Baumblättern in der Umgebung der Kernkraftwerke wurde fortgesetzt.

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

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

Detaillierte Messresultate zu diesem Probenahme- und Messprogramm können aus dem BAG Jahresbericht 2011 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 Klein-

kinder in der Umgebung der betreffenden Anlage im Jahr 2011. Die Abgaben des Paul Scherrer Instituts und die daraus in gleicher Weise berechneten Dosiswerte sind in Tabelle B.2 zusammengestellt. Eine nuklidspezifische Aufschlüsselung der Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser ist in Tabelle B.3a, mit der Abluft in den Tabellen B.3b und B.3c aufgelistet. Die Fussnoten zu den Tabellen geben Hinweise zu den Limiten, den Messungen und den bei der Berechnung der Jahresdosis verwendeten Annahmen.

Alle Kernanlagen haben die vorgeschriebenen Jahres- und die Kurzzeitlimiten eingehalten. Die Behörden haben die Messverfahren der Kernanlagen mit über 170 Proben kontrolliert. Dabei wurden Aerosol- und Jodfilter sowie Abwasserproben stichprobenweise analysiert. Die Ergebnisse stimmen überein und zeigen, dass die Abgaberegimente eingehalten werden.

Die aus den Emissionen der Kernkraftwerke errechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in unmittelbarer Nähe der Anlage beträgt unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren beim KKG weniger als 0,001 mSv, beim KKB etwa 0,002 mSv, beim KKM etwa 0,004 mSv und beim KKL ungefähr 0,005 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung betragen somit im Jahr 2011 nur einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwerts.

Das ENSI berücksichtigt bei den Dosisberechnungen auch die formell nicht limitierten ^{14}C -Abgaben, da diese seit einigen Jahren aufgrund der geringen übrigen Abgaben die Dosis dominieren. Das radioaktive Kohlenstoffisotop ^{14}C entsteht im Reaktor durch Kernreaktionen von Neutronen mit Stickstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff. Die ^{14}C -Abgaben der Kernkraftwerke sind systembedingt begrenzt, weil die Abgaberate primär von der Reaktorleistung abhängig ist. Die Kernkraftwerke haben in den letzten Jahren die ^{14}C -Abgaben gemessen und nachgewiesen, dass diese mit den Erfahrungswerten aus der Messkampagne vor etwa zwanzig Jahren und den in der einschlägigen Literatur angegebenen ^{14}C -Abgabewerten für ähnliche Anlagen korrespondieren. Das KKL führt seit längerer Zeit aus eigener Initiative ^{14}C -Messungen durch. Mitte 1998 wurde die Apparatur des KKL zur Messung von ^{14}C aufgrund der Resultate einer

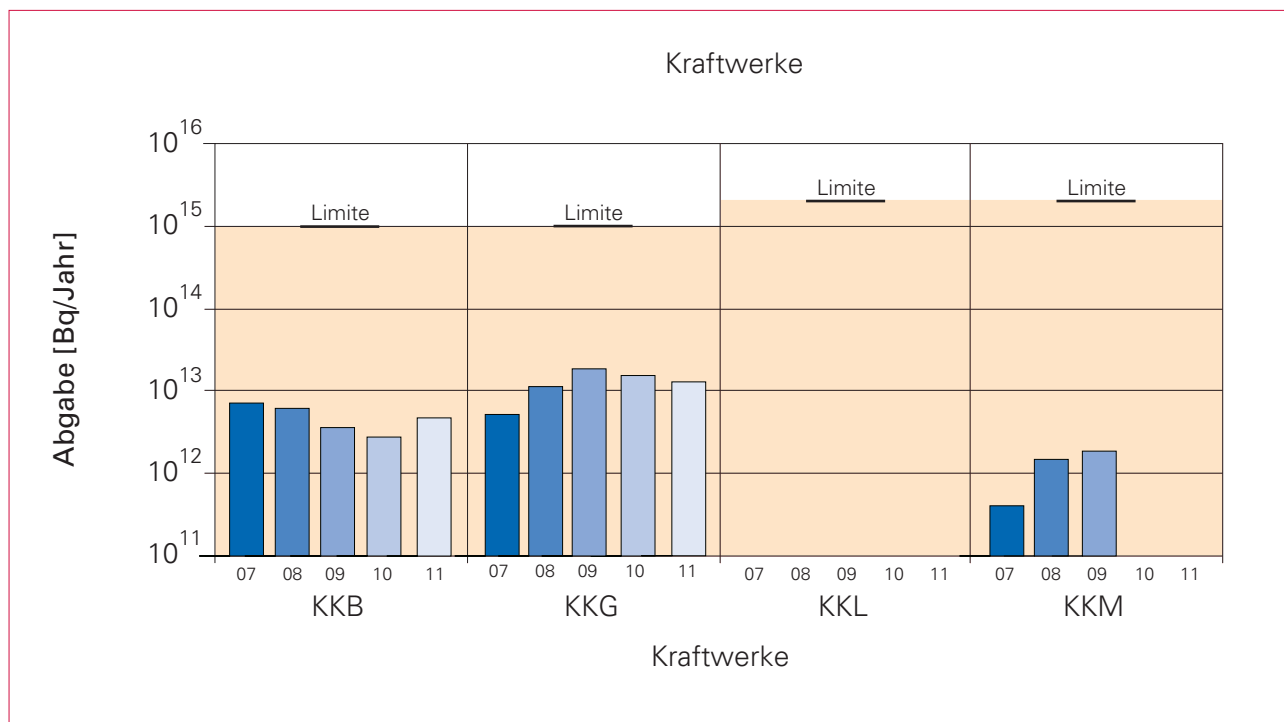
internationalen Vergleichsmessung neu kalibriert, was dazu führte, dass die für Einzelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis seit 1998 etwas höher ist. Das KKG führt seit Ende 2001 Messungen der ^{14}C -Abgaben mit der Abluft durch. Die für Einzelpersonen der Bevölkerung errechnete Dosis der Jahre 2001 bis 2003 werden beim KKG im Nachhinein als um den Faktor 3 zu hoch eingeschätzt, dies aufgrund der Ergebnisse der neuen Kalibrierung der Messapparatur mit zwei diversitären Standards zu Beginn des Jahres 2004. Alle Schweizer Kernkraftwerke führten 2011 die ^{14}C - und die ^3H -Messungen auch nach Abschluss der geforderten einjährigen Messperiode auf freiwilliger Basis fort. Somit konnten auch 2011 zur Ermittlung des jeweiligen Dosisbeitrags von ^{14}C die gemessenen Werte herangezogen werden.

Das PSI ist aufgrund der Bewilligung für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung verpflichtet, sowohl für die einzelnen Anlagen als auch für die Gesamtanlage des PSI die aus den Abgaben resultierende Dosis in der Umgebung zu berechnen. Beim PSI errechnet das ENSI eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von weniger als 0,006 mSv. Beinahe die gesamte Dosis ergibt sich im PSI durch die Abgabe von kurzlebigen radioaktiven Edelgasen aus den Teilchenbeschleunigern im West-Areal des Instituts. Die vom PSI und vom ENSI unabhängig voneinander durchgeführten Berechnungen zeigen, dass unter ungünstigen Annahmen die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung deutlich unterhalb des für das PSI bewilligten Anteils von 0,15 mSv pro Jahr am quellenbezogenen Dosisrichtwert für den gemeinsamen Standort des PSI und des ZZL liegt. Für das ZZL beträgt der Anteil 0,05 mSv pro Jahr.

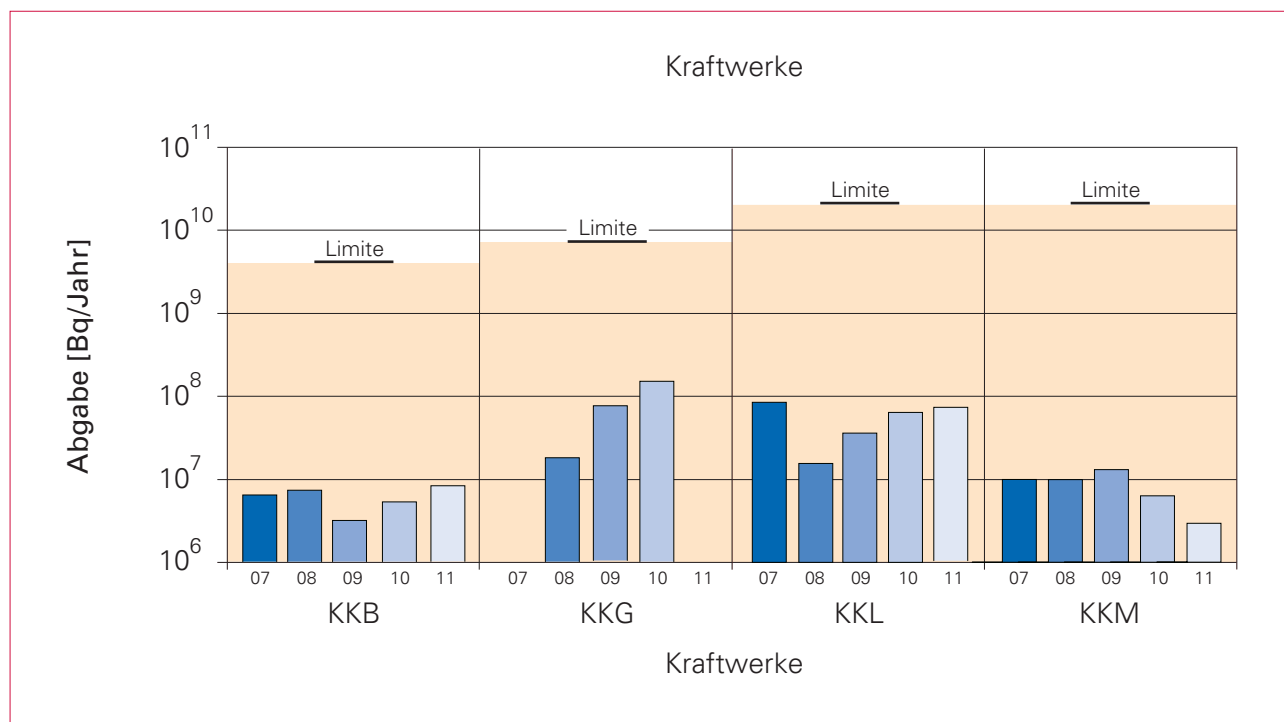
Im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) erfolgten im Berichtsjahr weitere Einlagerungen in die Lagergebäude für hoch- und mittelaktive Abfälle und im Hochregallager der Konditionieranlage. In der Plasma-Anlage fanden wiederum eine Frühjahres- und eine Herbstverbrennungskampagne statt. Die für das Jahr 2011 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 im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten.

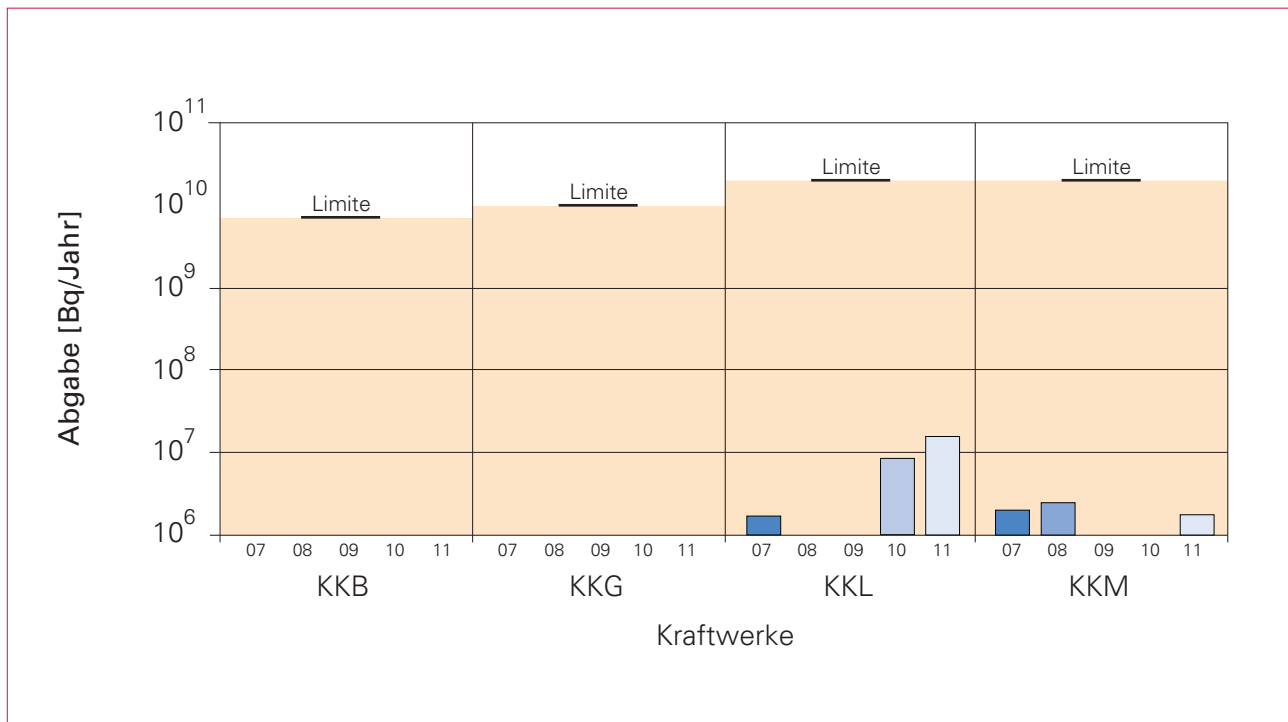
Edelgasabgaben mit der Abluft



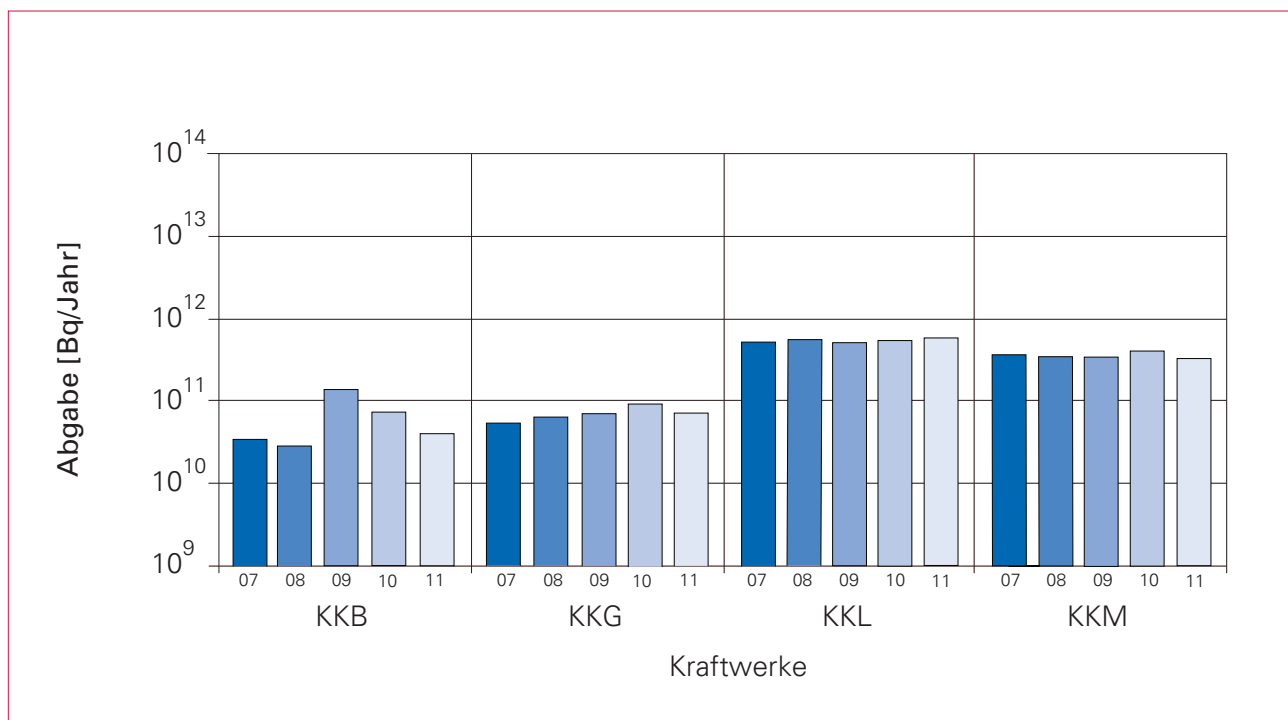
Iodabgaben mit der Abluft



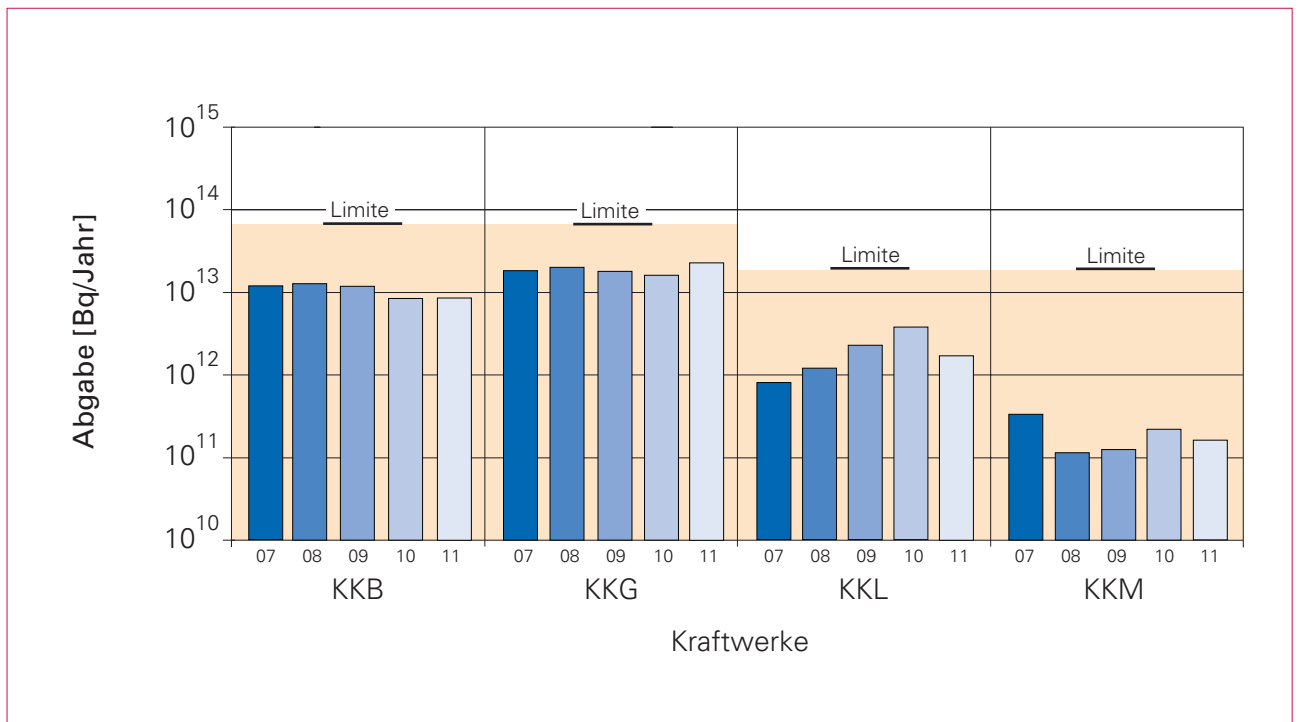
Aerosolabgaben mit der Abluft



Abgabe von Kohlenstoff-14 mit der Abluft



Tritiumabgabe mit dem Abwasser



Aktivitätsabgabe mit dem Abwasser (ohne Tritiumabgabe)

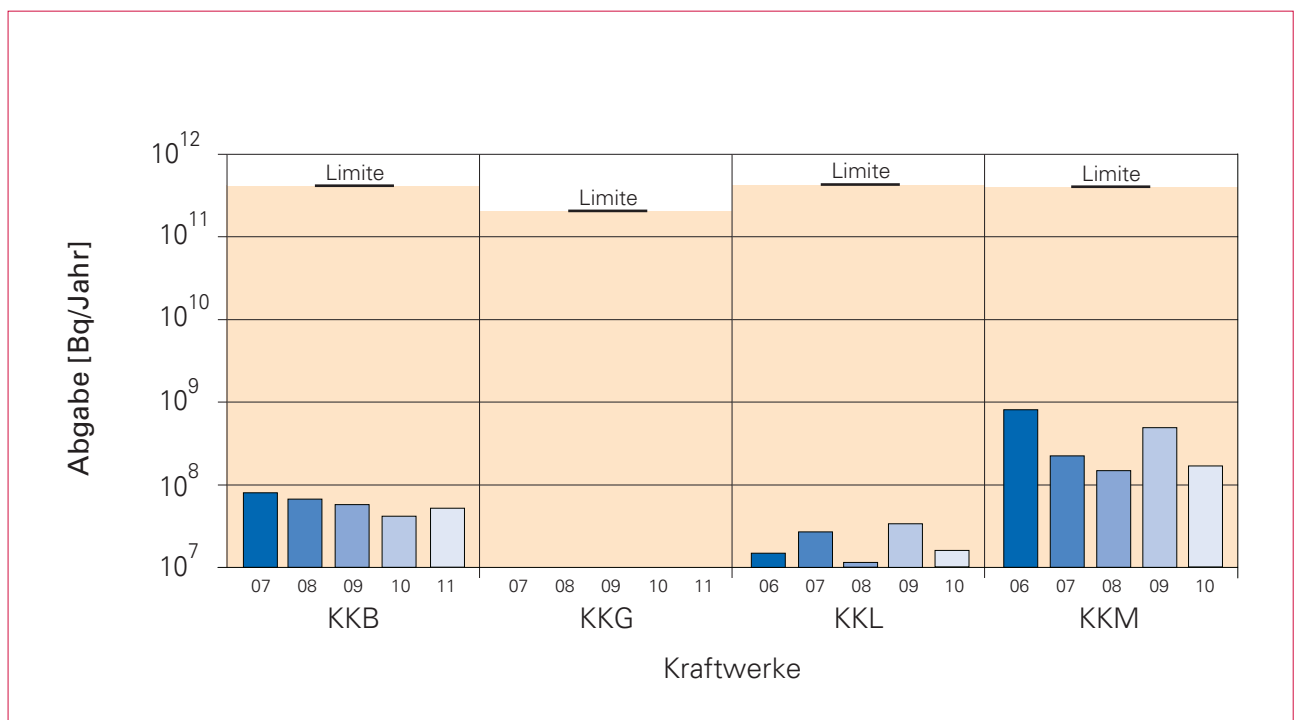


Tabelle B.1: Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2011 für die Kernkraftwerke und das Zentrale Zwischenlager Würenlingen und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung

Ort	Medium	Art der Abgaben ¹	Bilanzierte Abgaben ²				Berechnete Jahresdosis ³		
			Messung	Normiert _{1,2}	Limiten ⁴		Erw. mSv/Jahr	10j Kind mSv/Jahr	1j Kind mSv/Jahr
			Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Prozent der Limite			
KKB1 + KKB2	Abwasser 3 600 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	4,0·10 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	4,6·10 ¹²	4,5·10 ¹²	1·10 ¹⁵	0,5%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	2,0·10 ⁵	-	6·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	3,3·10 ⁶	-	4·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	4,2·10 ¹⁰	-	-	-	<0,001	0,0011	0,0019
	Dosis total						0,001	0,0013	0,0021
KKM	Abwasser 3 574 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,5·10 ⁹	-	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,8·10 ¹¹	1,8·10 ¹¹	2·10 ¹³	0,9%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	8,2·10 ¹⁰	-	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,8·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0,1%	0,0028	0,0028	0,0027
		Iod: ¹³¹ I	3,2·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,0·10 ¹¹	-	-	-	<0,001	0,001	0,0016
	Dosis total						0,0037	0,0038	0,0043
KKG	Abwasser 7 219 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,6·10 ⁶	-	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,9·10 ¹³	1,9·10 ¹³	7·10 ¹³	27%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	<1,2·10 ¹³	<1,4·10 ¹³	1·10 ¹⁵	<1,4%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	3,0·10 ⁴	-	1·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	8,6·10 ⁵	-	7·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	6,6·10 ¹⁰	-	-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total						<0,001	<0,001	<0,001
KKL	Abwasser 13 684 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	8,9·10 ⁷	-	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	2,0·10 ¹²	2,0·10 ¹²	2·10 ¹³	10%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	9,1·10 ¹⁰	-	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,1·10 ⁷	-	2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	6,1·10 ⁷	6,1·10 ⁷	2·10 ¹⁰	0,3%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	5,7·10 ¹¹	-	-	-	0,0021	0,0028	0,0048
	Dosis total						0,0022	0,0029	0,0049
ZZL	Abwasser 468 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	2,8·10 ⁸	-	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,1·10 ¹¹	-	-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	β-/γ-Aerosole	4,1·10 ⁵	-	1·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		α-Aerosole	1,5·10 ⁴	-	3·10 ⁷	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	1,5·10 ⁸	-	1·10 ¹²	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	5,8·10 ¹⁰	-	1·10 ¹⁴	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total						<0,001	<0,001	<0,001

Tabelle B.2: Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2011 und der daraus berechneten Dosen für Einzelpersonen der Bevölkerung

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

	PSI West			Gesamtanlage des PSI ^{2,4}		
	Zentrale Fortluft- anlagen	Injektor II	C-Labor	Abwasser 1527 m ³	Abluft	Aequivalent- abgaben
Abgaben im Abwasser ^{2,4} [Bq/a]						
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	-	3,8·10 ⁷	-	7,6·10 ⁶
Tritium	-	-	-	2,1·10 ¹⁰	-	-
Abgaben über die Abluft ^{2,4} [Bq/a]						
Edelgase und andere Gase	1,7·10 ¹⁴	1,6·10 ¹⁰	-	-	1,7·10 ¹⁴	3,7·10 ¹⁴
β-/γ-Aerosole ⁴ , ohne Iod	2,8·10 ¹⁰	3,0·10 ⁶	8,9·10 ³	-	2,8·10 ¹⁰	-
α-Aerosole	-	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	6,5·10 ⁷	-	5,8·10 ³	-	6,5·10 ⁷	1,5·10 ⁷
Tritium als HTO	1,2·10 ¹²	-	-	-	1,2·10 ¹²	-
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	-	-	-	-	-	-
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:						
Erwachsene	0,0056	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,0060	
Kind 10j	0,0057	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,0060	
Kleinkinder	0,0056	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,0060	
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert ¹	3,7 %	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<4,0%	

Tabelle B.3a: Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2011: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben²⁾

Nuklid	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
β-/γ-Strahler						
³ H	8,6·10 ¹²	1,9·10 ¹³	2,0·10 ¹²	1,8·10 ¹¹	2,1·10 ¹⁰	1,1·10 ¹¹
⁷ Be					7,0·10 ⁶	
²² Na					1,6·10 ⁶	6,2·10 ⁷
²⁴ Na	5,7·10 ⁶					
⁴⁴ Sc					5,8·10 ³	
⁴⁴ Ti					4,5·10 ³	
⁵¹ Cr	7,0·10 ⁵			2,8·10 ⁷		
⁵⁴ Mn	2,4·10 ⁶		9,7·10 ⁶	3,5·10 ⁸	8,9·10 ⁵	1,6·10 ⁵
⁵⁷ Co	1,0·10 ⁴				1,2·10 ⁵	
⁵⁸ Co	5,0·10 ⁷		3,1·10 ⁶	1,8·10 ⁸	1,1·10 ⁴	
⁶⁰ Co	5,0·10 ⁷	4,4·10 ⁵	6,4·10 ⁷	8,6·10 ⁸	8,2·10 ⁵	6,7·10 ⁶
⁶⁵ Zn			1,2·10 ⁷	3,3·10 ⁷	1,2·10 ⁴	
⁸⁸ Zr					2,5·10 ⁵	
⁸⁸ Y					2,2·10 ⁵	
⁸⁹ Sr	2,6·10 ⁶			8,1·10 ⁵		
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	5,7·10 ⁵			1,7·10 ⁶	1,4·10 ⁶	
⁹⁵ Nb	3,0·10 ⁵					
^{99m} Tc	3,4·10 ⁵	5,1·10 ⁴				
¹⁰³ Ru					6,6·10 ⁴	
^{110m} Ag	1,2·10 ⁶					
¹²² Sb	3,5·10 ⁶					
¹²⁴ Sb	6,4·10 ⁷			7,1·10 ⁶		5,4·10 ⁴
¹²⁵ Sb	4,9·10 ⁷			1,1·10 ⁷		3,6·10 ⁶
^{123m} Te	1,1·10 ⁷	7,9·10 ⁵				
¹³² Te	2,1·10 ⁵	3,5·10 ⁵				
¹²⁵ I					1,6·10 ⁷	
¹³¹ I	1,8·10 ⁷				9,9·10 ⁴	
¹³³ I	5,0·10 ⁶					
¹³⁴ Cs	7,0·10 ⁶				4,5·10 ⁵	4,7·10 ⁶
¹³⁷ Cs	1,3·10 ⁸			1,5·10 ⁷	6,4·10 ⁶	2,0·10 ⁸
¹⁷⁷ Lu					2,8·10 ⁶	
α-Strahler	*)	<2,0·10 ⁵	3,3·10 ⁵	3,7·10 ⁵		*)
^{234/238} U					2,1·10 ⁵	
^{239/240} Pu	2,6·10 ³					1,6·10 ³
²³⁸ Pu/ ²⁴¹ Am	5,8·10 ³					1,2·10 ³
²⁴² Cm	2,9·10 ³					1,0·10 ²

*) Angabe umfasst für das KKB und das ZZL das 4. Quartal 2010 bis und mit dem 3. Quartal 2011

Tabelle B.3b: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Edelgase und Iod 2011: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben

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

Tabelle B.3c: Abgaben der Kernlagen mit der Abluft, Aerosole 2011: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben

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

Fussnoten zu den Tabellen B.1 bis B.3

1 Bei der **Art der Abgaben** resp. den **Bilanzierten Abgaben** ist folgendes zu präzisieren:

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

Edelgase: Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-CA-Wert von $2 \cdot 10^5$ Bq/m³ angegeben. Die CA-Werte für die Edelgasnuklide sind dem Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Ein CA-Wert von $2 \cdot 10^5$ Bq/m³ entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Immersions-Dosisfaktor von $4.4 \cdot 10^{-7}$ (Sv/Jahr)/(Bq/m³). Die unnormierte Summe der Edelgasabgaben ist in der Spalte «Messung» angegeben. Beim KKG wird für die Bilanzierung der Edelgase eine β -total-Messung durchgeführt; für die Äquivalent-Umrechnung wurde in diesem Fall ein Gemisch von 80% ¹³³Xe, 10% ¹³⁵Xe und 10% ⁸⁸Kr angenommen.

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

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

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

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

Beim PSI, bei dem andere Iod-Isotope in signifikanten Mengen abgegeben werden, ist die Abgabe für die einzelnen Abgabestellen und die Gesamtanlage als Summe der Aktivität der gemessenen Iod-Nuklide angegeben. Für die Gesamtanlage wird zudem auch ein ¹³¹Iod-Äquivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben, wobei sich der Gewichtungsfaktor aus dem Verhältnis des Ingestionsdosisfaktors des jeweiligen Nuklides zum Ingestionsdosisfaktor von ¹³¹I ergibt. Die Ingestionsdosisfaktoren sind der StSV entnommen. Für die Berechnung der Jahresdosis werden sowohl für die KKW wie für das PSI immer sämtliche verfügbaren Iod-Messungen verwendet, d.h. es ist beispielsweise für KKB auch der Beitrag von ¹³³I berücksichtigt.

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

2 Die **Messung der Abgaben** erfolgt nach den Erfordernissen der Reglemente «für die Abgaben radioaktiver Stoffe und die Überwachung von Radioaktivität und Direktstrahlung in der Umgebung des...» jeweiligen Kernkraftwerkes resp. des ZZL oder PSI. Die Messgenauigkeit beträgt ca. ± 50 %. Abgaben unterhalb 0,1% der Jahresabgabelimite werden vom ENSI als nicht-relevant betrachtet und werden in der Spalte «Normiert» nicht ausgewiesen (-). Abgaben kleiner tausend Bq werden in der Tabelle B3 nicht aufgeführt.

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

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

4 **Abgabelimiten** gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die Abgabelimiten wurden so festgelegt, dass die Jahresdosis für Personen in der Umgebung (vgl. Fussnote 3) für die Kernkraftwerke unter 0,3 mSv/Jahr respektive das Zentrale Zwischenlager in Würenlingen (ZZL) unter 0,05 mSv/Jahr bleibt. Für das Paul Scherrer Institut (PSI) sind die Abgaben gemäss Bewilligung 6/2003 direkt über den quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0,15 mSv/Jahr limitiert.

1.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistungen am Perimeter der Kernanlagen

Die Ortsdosis, respektive die Ortsdosisleistung durch externe Strahlung werden in der Umgebung der Kernanlagen und des PSI mit dem MADUK-Messnetz (siehe Kapitel 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 0,29 $\mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Auf ein Jahr hochgerechnet würde basierend auf diesen Momentanwerten am meist exponierten Ort eine Dosiserhöhung von ca. 1,8 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 mSv eine Dosiserhöhung von 0,7 mSv.

Am Zaun des KKL wurden bei vierteljährlichen Stichproben des ENSI während des Leistungsbetriebes Ortsdosisleistungen zwischen 0,06 $\mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und 0,17 $\mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes und unter Berücksichtigung der Betriebszeit am meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von ca. 0,9 mSv pro Jahr. Die höchste mit den TLD am Zaun ermittelte Jahresdosis (nach Abzug des natürlichen Untergrundes von 0,7 mSv) beträgt 0,6 mSv.

Aufgrund der stichprobenweise vom ENSI gemessenen Ortsdosisleistung am Zaun des Paul Scherrer Instituts, Areal Ost, ergibt sich hochgerechnet auf ein Jahr eine Ortsdosis von 0,6 mSv ohne natürlichen Untergrund. Im Jahr 2011 betrug der höchste, mit einem Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun des PSI ermittelte Wert beim Areal Ost ca. 0,2 mSv (ohne natürlichem Untergrund von ca. 0,6 mSv). Der zugehörige Messpunkt liegt beim Betriebsgebäude für Radioaktive Abfälle des PSI-Ost. Beim PSI-West wurde mittels TLD eine Dosisleistungserhöhung von höchstens 0,3 mSv am Zaun nachgewiesen.

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

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

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

2.1 Übersicht

Das MADUK-System (Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke) inklusive der Einrichtungen zur Übernahme von Anlageparametern (ANPA) und Kaminemissionswerten aus den Kernkraftwerken wurde im Laufe des Jahres 1993 aufgebaut und ab Frühling 1994 in den operationellen Betrieb überführt. Da das System die Dosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke ganzjährig rund um die Uhr misst und überwacht, dient es der Beweissicherung für die Behörden und gegenüber der Öffentlichkeit. Ebenso ermöglicht es das Erkennen von Betriebsstörungen und Unfällen, da Erhöhungen gegenüber den natürlichen Dosiswerten im ENSI automatisch angezeigt werden. Bei einem Störfall unterstützt MADUK die Notfallorganisation bei der Bestimmung des betroffenen Gebietes, der Einschätzung der möglichen Massnahmen und durch den schnellen Datenaustausch mit Behörden.

Das MADUK-Netz zur Messung der Dosisleistungen besteht aus insgesamt 57 Immissionsmessstationen in der Umgebung der vier Kernkraftwerke. Die Messsonden des MADUK-Systems komplettieren und ergänzen das gesamtschweizerische Messnetz zur Radioaktivitätsüberwachung, das mit dem NADAM-Netz auf weitere 64 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 Subsys-

teme für den Datenaustausch mit externen und internen Partnern: Nationale Alarmzentrale (NAZ) in Zürich, Kernreaktorfernüberwachung Baden-Württemberg sowie die Systeme ADAM und ADPIC im ENSI. Die Darstellung B2 auf der nächsten Seite zeigt die Standorte der Messsonden in der Umgebung der Kernkraftwerke.

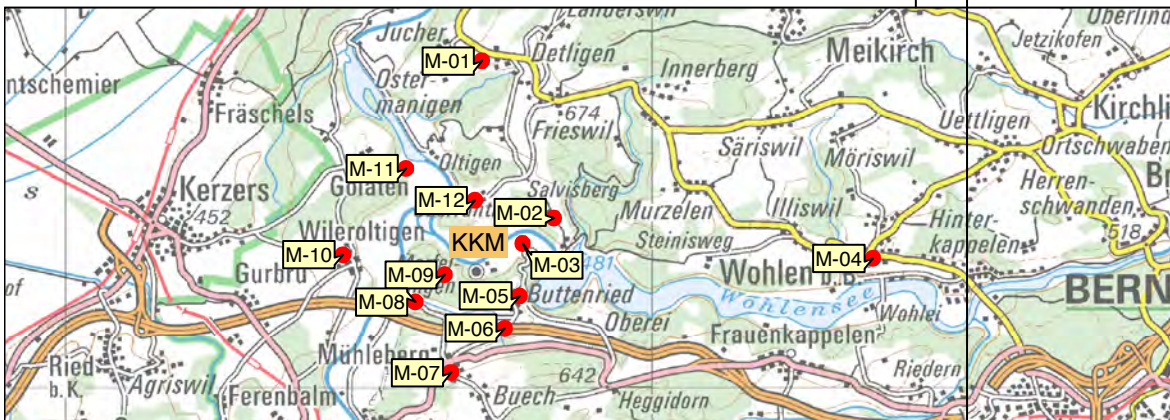
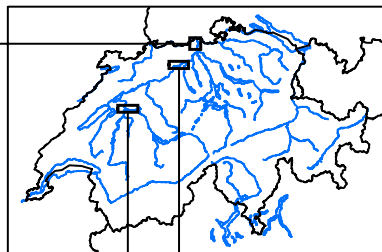
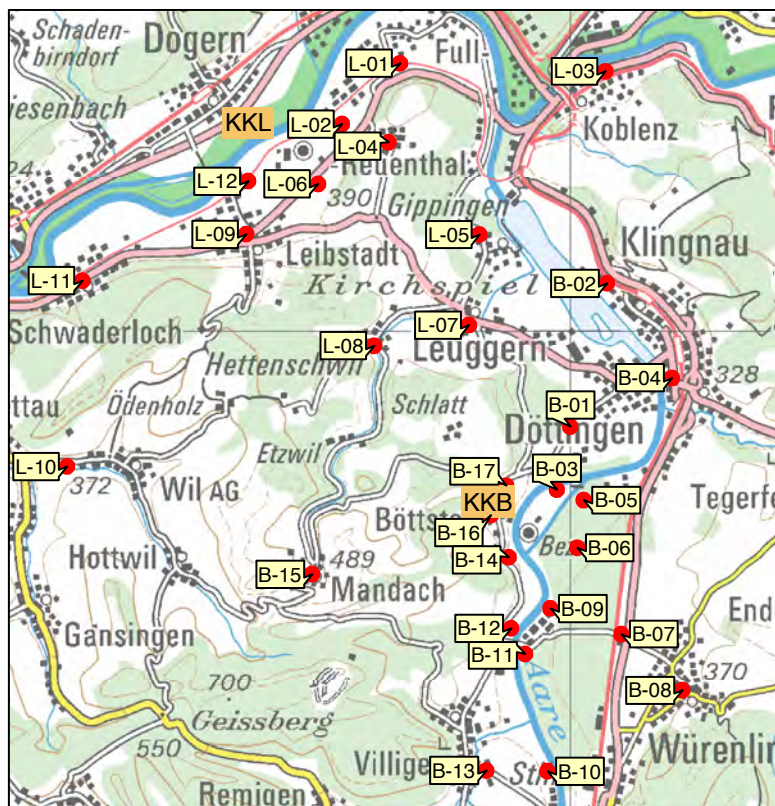
Die Daten von MADUK können mittels einer speziellen Software auf bestimmten Windows-Arbeitsplatzrechnern im ENSI, in den Kernkraftwerken und im Bundesamt für Gesundheit visualisiert werden. Auf der Internetseite www.ensi.ch unter Notfallschutz/Messwerte Radioaktivität sind die Tages-, Stunden- und Zehnminutenmittelwerte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

2.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung

Im Jahre 2011 wurde mit der Erneuerung der MADUK-Zentrale parallel zur bestehenden Infrastruktur begonnen. In einem ersten Schritt wurden die benötigte Hardware beschafft, die Datenbanksysteme aufgebaut und die ersten Erfassungstreiber migriert. Die Rechenwerte sowie die verdichteten Werte wie Stunden-, Tages- und Monatsmittelwerte werden vom operationellen System transferiert und in der neuen Datenstruktur abgelegt. Der Datenzugriff der Bedienoberfläche wurde so umgebaut, dass nun auch auf die neue Datenstruktur zugegriffen und die Daten angezeigt werden können.

Die Software auf dem Datenlogger der MADUK-Stationen wurde insofern ausgebaut, als dass nun die Funktionsprüfung auch ohne Zugang zum Messkasten remote gestartet und gestoppt werden kann. Das Softwaretool für die Remotebedienung wurde intern erstellt und erfolgreich getestet.

MADUK Sondenstandorte



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 eine sehr hohe Verfügbarkeit. Zum Jahresbeginn wurden die ANPA-Daten aufgrund eines Problems bei der Vorbelegung des Kurzzeitarchivs während 56.5 Stunden nicht im MADUK-System archiviert. Die Daten standen aber

für das System ADAM zur Verfügung. Bei KKB fiel aufgrund eines defekten Routers die Datenübertragung während 26.3 Stunden aus. Zusätzlich fiel am Jahresende die Datenübertragung für KKB I für insgesamt 9 Stunden aus. Bei KKG wurde im ersten Quartal ein Unterbruch in der Datenlieferung von 3.8 Stunden registriert, im zweiten Quartal von 3.3 Stunden und im dritten Quartal von 1.2 Stunden. Bei KKL kam es während der Jahresrevision aufgrund von Unterhaltsarbeiten zu Unterbrüchen von insgesamt 31.8 Stunden. Beim KKM führte der Ausfall des Kommunikationsdienstes im zweiten Quartal zu Unterbrüchen von insgesamt 2.5 Stunden. Im vierten Quartal führten Übertragungstests für die Übertragung von Simulator-daten zu einem Ausfall von 2.6 Stunden. Die Tabelle B.4 gibt eine Übersicht über die Störungen an den Messstationen mit Störungsdauer, permanentem Datenverlust und Ursache der Störung.

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

Station	Störungsdauer [h]	Permanenter Datenverlust [h]	Ursache
G-12	1.5	1.5	Versetzen des Stationskastens
M-12	21.5	-	Bei Bauarbeiten gekappte Telefonleitung
M-11	6.6	-	Korrodierte Grobsicherung führte zu Kommunikationsausfall
B-10	2.8	2.8	Problem Datenlogger
L-06	1.6	-	Kommunikationsausfall aufgrund von Wartungsarbeiten Swisscom
M-03	20.8	-	Kommunikationsausfall
L-03	0.7	0.7	Umbauarbeiten am Stationsstandort
G-02, G-04, G-06, G-08	5.2	-	Kommunikationsausfall
B-02, B-04 bis B07, B-08, B-13, B-17, G-01 bis G-16, L-02, L-05, L-07, L-10, L-11, M-01 bis M-07, M-12	2.0	-	Ausfall eines Peer-Routers bei Swisscom führte zum Ausfall der Stationen, die über einen Office Access an die Zentrale angeschlossen sind
M-12	1.5	1.5	Abschluss Umbauarbeiten
M-03	0.5	-	Angekündigte Kabelarbeiten an Telekommunikationskabel
B-07	18.5	18.5	Unterbruch Gebäudestromversorgung
B-14	30.8	-	Kommunikationsunterbrüche
G-02, G-04, G-06, G-08	2.3	-	Kommunikationsunterbruch
B-10	4.2	-	Angekündigte Kabelarbeiten an Telekommunikationskabel
B-14	6.8	-	Kommunikationsunterbruch
B-01	1.3	-	Kommunikationsunterbruch
B-03, B-05, B-06	26.3	-	Kommunikationsunterbruch aufgrund eines defekten Routers

Die nun dreijährige Stationselektronik lief auch im 2011 äusserst zuverlässig. Nur ein Datenlogger zeigte Probleme in der Kommunikation mit einer Sonde, welche zu einem Datenverlust von 2.8 Stunden bei der Station B-10 führten. An den Stationen L-12 (defektes Niederdosiszählrohr) und L-09 (defektes Hochdosiszählrohr) mussten die Sonden ausgetauscht werden.

Defekte Festplatten auf den zentralen Servern führten im April zu einem Ausfall der MADUK-Zentrale von insgesamt 5 Stunden. Eine weitere defekte Festplatte im November hatte keinen Einfluss auf den Betrieb der MADUK-Zentrale. Im Zusammenhang mit einer SAN-Störung in der Büroautomation war der MADUK-Webserver während insgesamt 20 Stunden nicht verfügbar.

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

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 2011 wurden zwei Funktionskontrollen durchgeführt. Zwei Sonden mussten aufgrund von defekten Zählrohren repariert werden. Die übrigen Sonden und die Archivierung der Messwerte funktionierten einwandfrei. Bei der Alarmierung gab es bei der Funktionsprüfung im Frühjahr Probleme. So konnten teilweise die Pager-Meldungen nicht abgesetzt werden. Abklärungen zeigten, dass der Fehler bei der redundant ausgelegten Telefonanlage lag, der Mitte Jahr schliesslich behoben werden konnte.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme werden Messungen mittels In-situ-Gammasspektrometrie im Feld durchgeführt. Im Jahr 2011 wurden Messungen bei den Sonden der Messringe Gösigen und Leibstadt durchgeführt. Die Messwerte lagen im Bereich der früheren Jahre.

2.5 Messergebnisse

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

Da im 2011 auch die NADAM-Station beim Personalrestaurant des PSI erneuert wurde, führte die jährliche Überprüfungskampagne der NADAM-Sonden an den Standorten, an denen auch eine MADUK-Station in Betrieb ist, bei keiner MADUK-Sonde zu wesentlichen Erhöhungen der Messwerte.

Tabelle B.5: Nettodosisleistungsschwellwert-Überschreitungen im Jahr 2011.

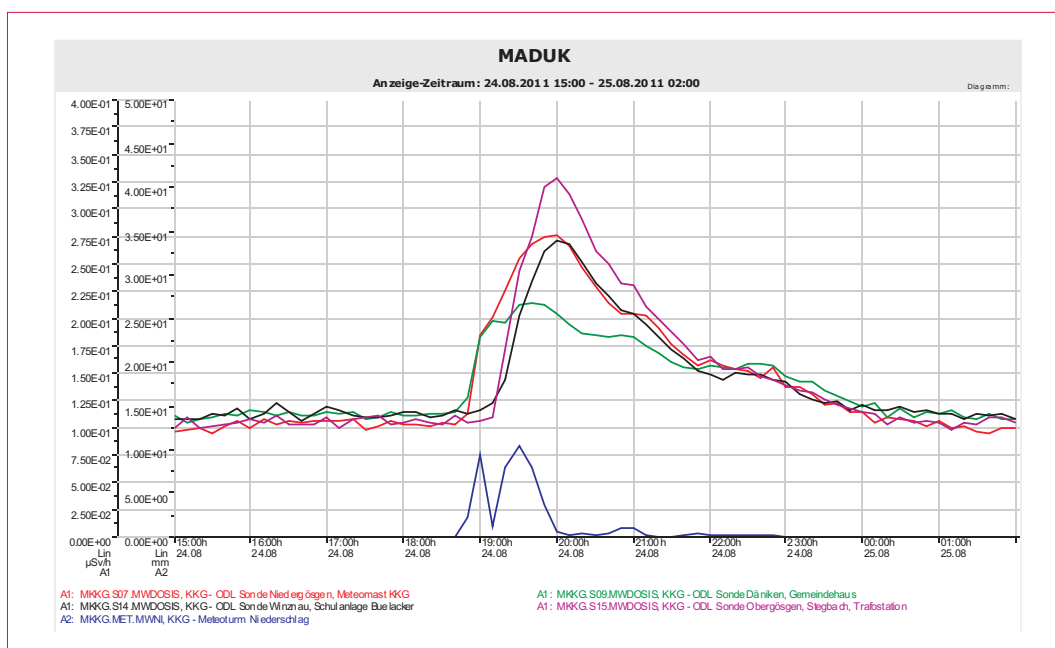
Datum	Station	Dauer [h]	Max. NDl [nSv/h]	Max. NDl [nSv/h]
01. Jan. 22:20	L-12	0.3	58	161
20. Mai. 20:50	G-15	0.3	56	183
14. Jun. 16:30	G-01	0.2	52	182
28. Jul. 13:20	L-01	0.7	70	179
24. Aug. 19:00	G-07	1.7	94	275
24. Aug. 19:00	G-09	0.3	67	214
24. Aug. 20:00	G-14	0.5	62	270
24. Aug. 19:30	G-15	1.7	122	329

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. Am 24. August verursachte ein extremer Niederschlag von bis 10 mm pro 10 Minuten gleich bei vier Sta-

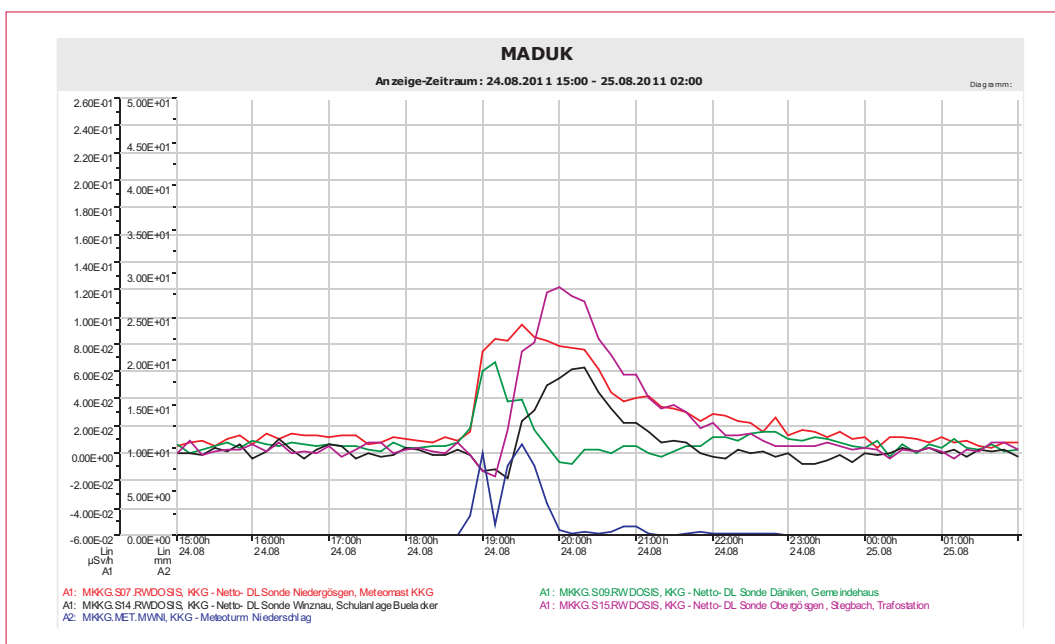
tionen eine Verletzung des Nettodosisleistungsschwellwertes von 50 nSv/h. Die maximal gemessene Dosisleistung betrug bei der Station G-15 329 nSv/h (Darstellungen B.3 und B.4).

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

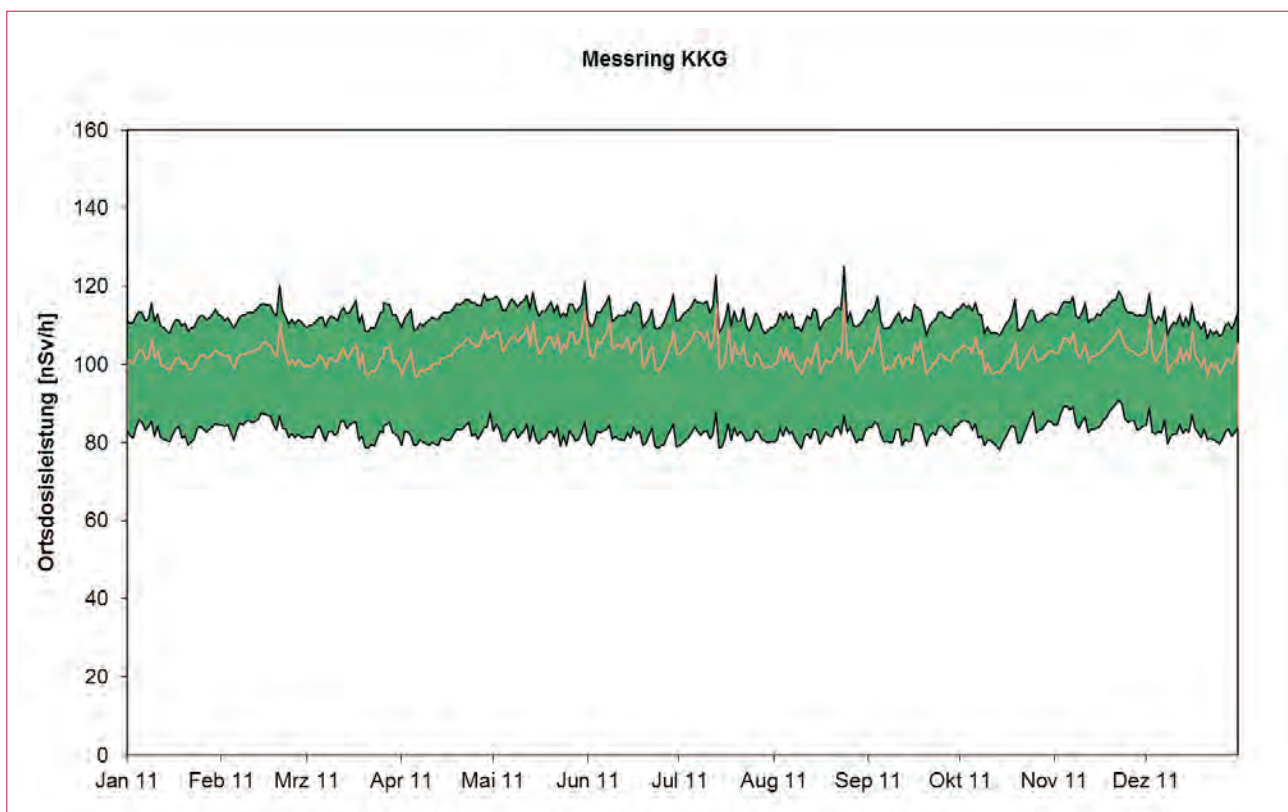
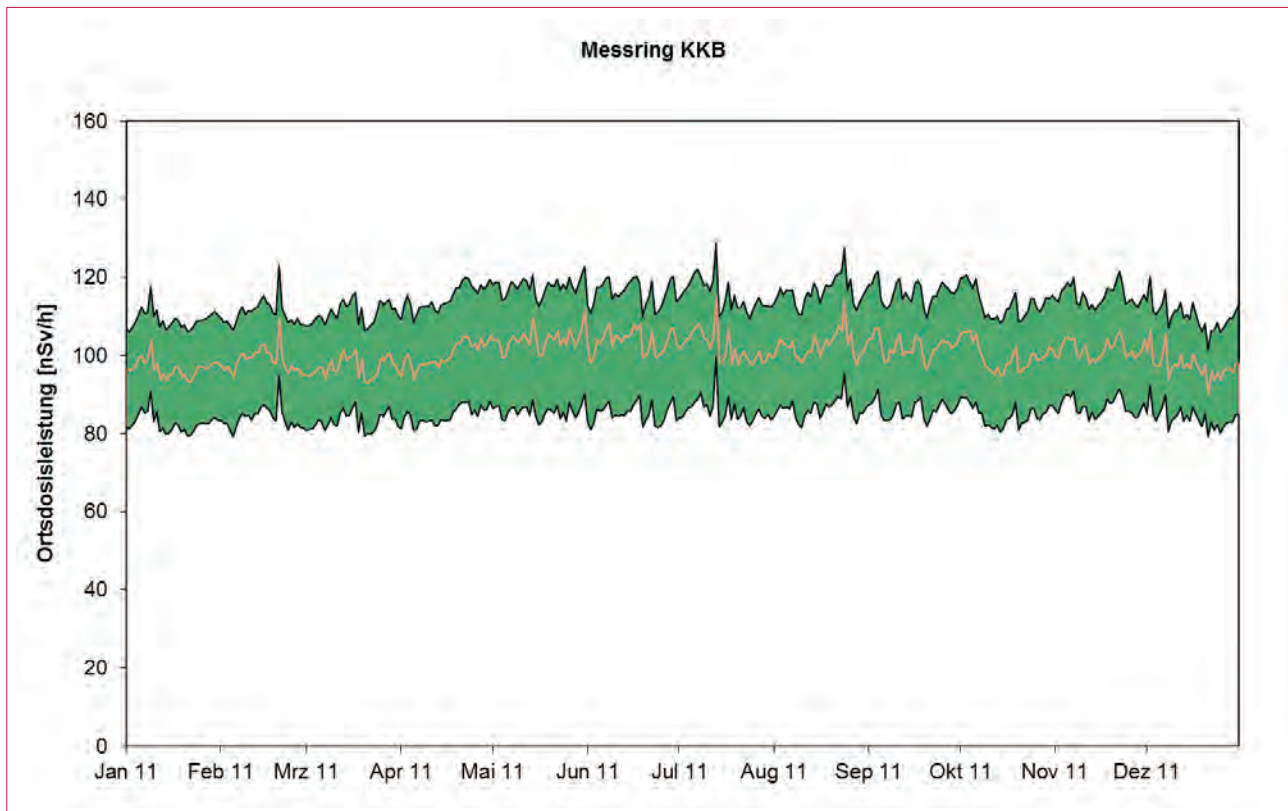
Darstellung B.3: Verlauf der gemessenen Ortsdosisleistungen an den Stationen G-07, G-09, G-14 und G-15 sowie des Niederschlags an der SwissMetNet-Station KKG.



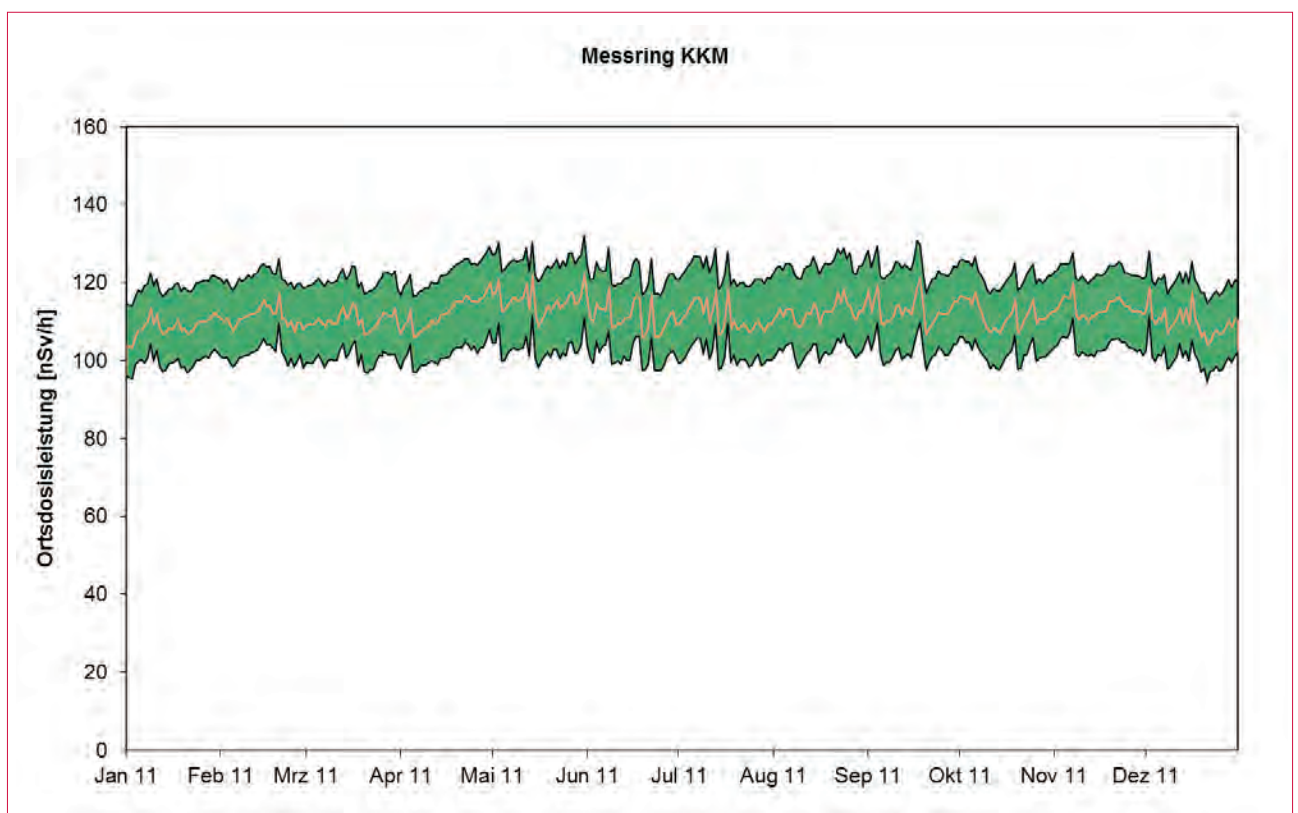
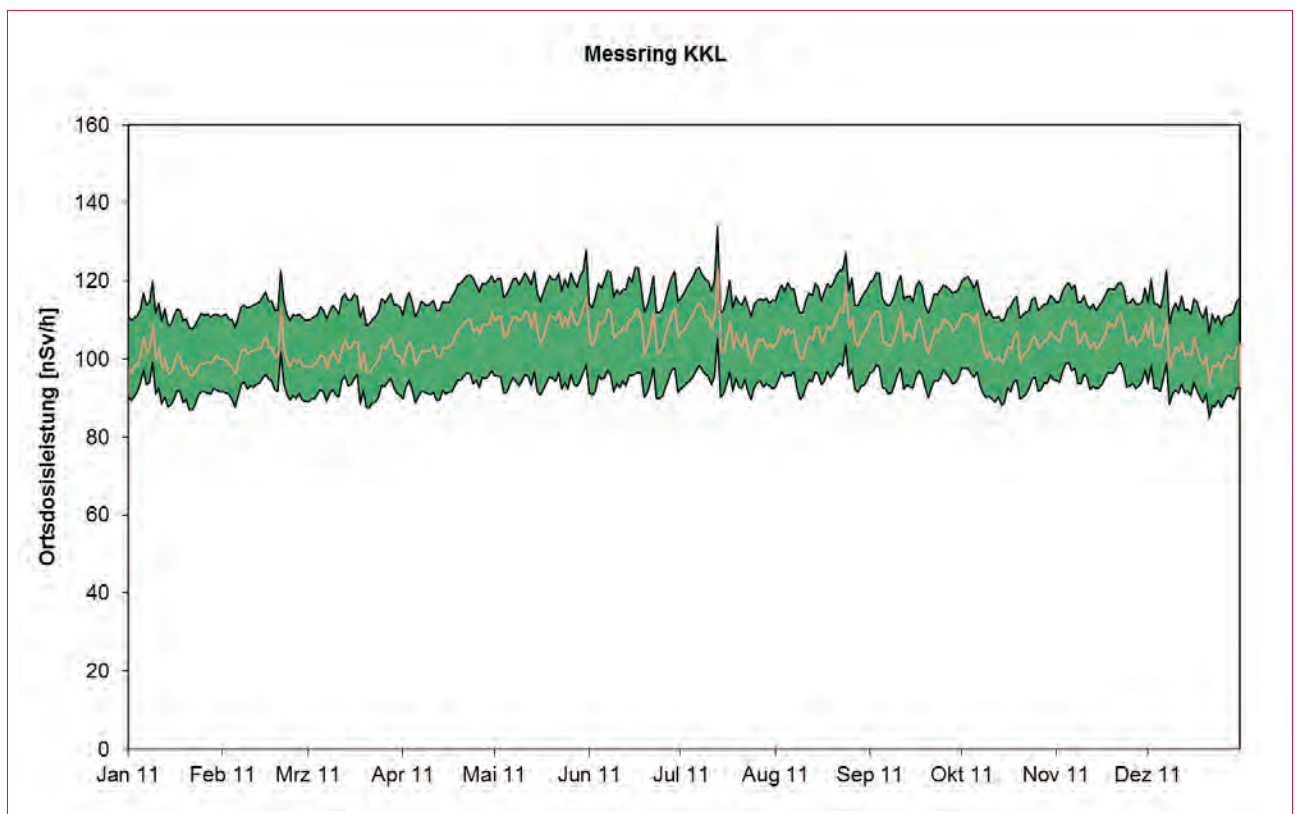
Darstellung B.4: Verlauf der bestimmten Nettodosisleistungen an den Stationen G-07, G-09, G-14 und G-15 sowie des Niederschlags an der SwissMetNet-Station KKG.



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



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



3. Ortsdosimetrie in der Umgebung der Kernanlagen

3.1 Einleitung

Als Teil der Umgebungsüberwachung der schweizerischen Kernanlagen werden quartalsweise Messungen der Ortsdosis mit speziell für Umgebungsmessungen kalibrierten Dosimetern durchgeführt. Die in der Umgebung der Anlagen positionierten Dosimeter sind vor Witterungseinflüssen geschützt an Bäumen, Masten oder Gebäuden einige Meter über dem Boden so angebracht, dass sie ohne Hilfsmittel nicht erreichbar sind. In der Umgebung des Kernkraftwerks Gösgen befinden sich die Dosimeter an 24 Standorten, beim Kernkraftwerk Leibstadt an 21 und beim Kernkraftwerk Mühleberg an 17 Standorten. In der Umgebung des Kernkraftwerks Beznau, des Zentralen Zwischenlagers Würenlingen und des Paul Scherrer Instituts sind zusammen 35 Dosimeter positioniert. In der Darstellung B.7 sind die Messpunkte kartografisch dargestellt.

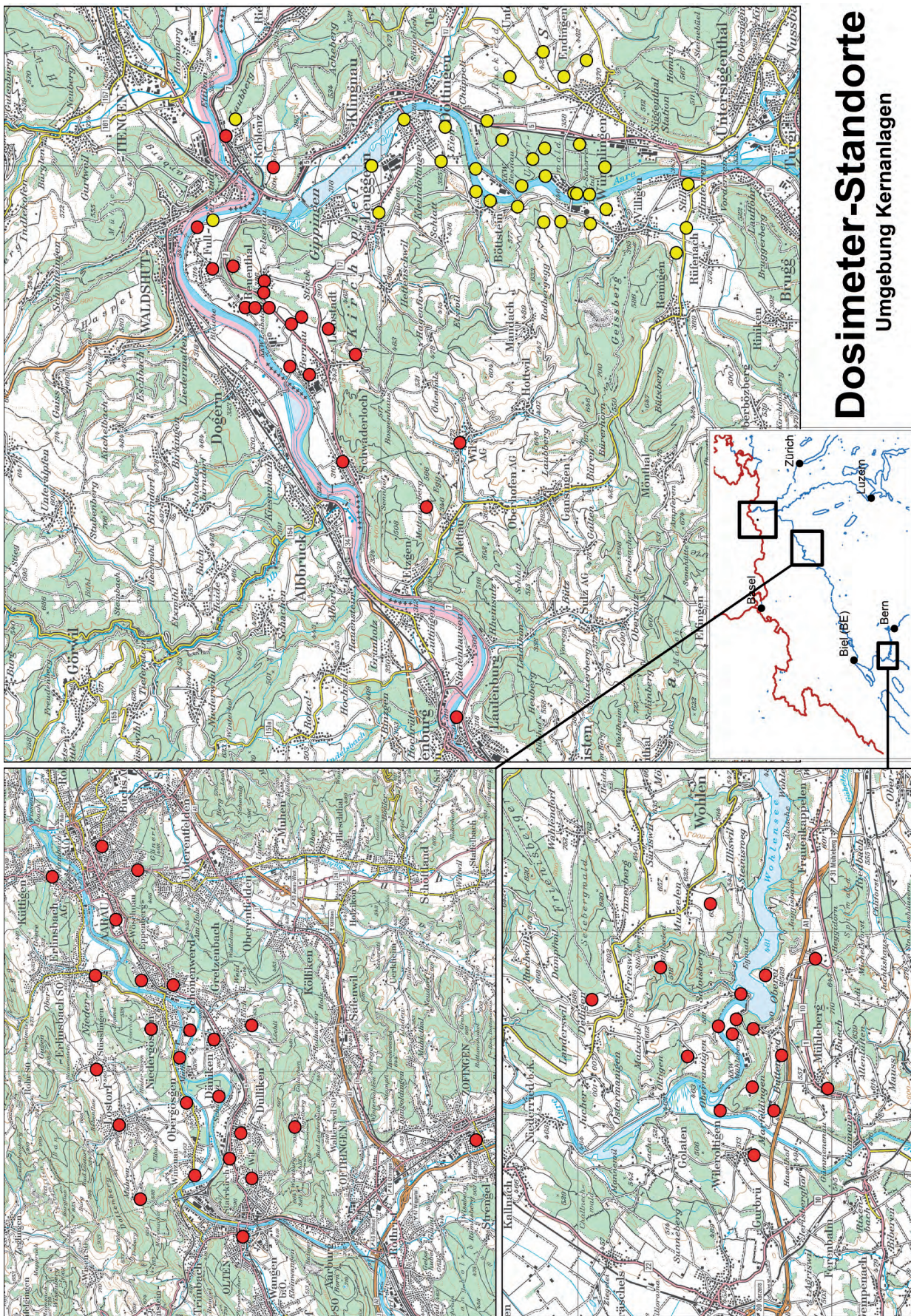
Für die Messungen kommen verschiedene passive Umgebungsdosimeter zum Einsatz. Das PSI und das KKM setzen Thermolumineszenzdosimeter (TLD) auf Basis von Al_2O_3 ein. Das KKG verwendete bis Mitte 2009 TLD-200 ($CaF_2:Dy$), seither EDIS-Dosimeter (Environmental Direct Ion Storage). Das KKL verwendet seit Mitte 2004 den TL-Typ GR200 ($LiF:Mg;Cu;P$). Die Messungen werden pro Ort quartalsweise alternierend mit je zwei Dosimetern durchgeführt.

Das Auslegen, Einsammeln und Auswerten der Dosimeter wird durch die Betreiber durchgeführt. Die TLD resp. EDIS werden quartalsweise durch die anerkannten Personendosimetriestellen des PSI sowie der Kernkraftwerke Mühleberg, Leibstadt und Gösgen ausgewertet. Die Messwerte werden als Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ erhoben (vgl. Strahlenschutzverordnung Anhang 5) und ohne Abzug der natürlichen Untergrundstrahlung im Rahmen der periodischen Berichterstattung an das ENSI gemeldet. Dieses analysiert die Resultate und führt bei signifikanten Veränderungen vor Ort Messungen mit einem In-situ-Gammaspektrometer und einer Hochdruckionisationskammer zur Dosisleistungsmessung durch.

3.2 Auswertemethode

Grundsätzlich erfolgt die Analyse der TLD-Daten nach der sogenannten Methode der ortsspezifischen Parameter (OSP), wie sie beispielsweise in der Loseblattsammlung FS-78-15-AKU Blatt 3.4.1 des Arbeitskreises Umweltüberwachung des deutsch-schweizerischen Fachverbandes für Strahlenschutz beschrieben wird. Um unterschiedliche Quartalslängen auszugleichen, werden die Messwerte auf eine Quartalslänge von 91 Tagen normiert. In der Regel wurden mit Hilfe von Beweissicherungsdaten aus der Zeit vor dem Betrieb der Kernanlage die für jeden Standort charakteristischen, ortsspezifischen Parameter (OSP) bestimmt, indem die zeitliche, insbesondere wetterbedingte Variation der Dosiswerte rechnerisch eliminiert wurden: Der ortsspezifische Parameter ergibt sich als über die Beweissicherungsperiode gemittelte Differenz zwischen den Messwerten eines Dosimeterstandortes und dem jeweiligen Quartalsmittelwert über alle Standorte in der Umgebung einer Kernanlage. Diese Differenzen entsprechen der örtlichen Variation der natürlichen Strahlung in der Umgebung einer Kernanlage. Bei der Auswertung von anfallenden Quartalsdaten wird nun die sogenannte Nettodosis berechnet, indem vom Messwert der aktuelle Quartalsmittelwert und der ortsspezifische Parameter subtrahiert werden. Die Nettodosis entspricht für einen Standort somit der Dosis, welche nicht a priori durch Einflüsse des Wetters und der ortsspezifischen natürlichen Strahlung erklärt werden können. Der Erwartungswert der Nettodosis liegt – innerhalb der Fehlergrenzen – bei null, solange keine neu vorhandenen Strahlenquellen einen zusätzlichen Dosisbeitrag liefern. Abweichungen vom Erwartungswert können sich aber auch dann ergeben, wenn sich aufgrund einer Verschiebung des Standortes resp. baulicher oder sonstiger Änderungen am Standort der ortsspezifische Parameter verändert. Im Weiteren kann auch die Kalibrierung der verwendeten Dosimeter zu einer Verschiebung des Nullpunktes führen, da die Kalibrierunsicherheit ca. 10 μSv beträgt. Schliesslich kann der Wechsel des Dosimetertyps aufgrund unterschiedlicher Energieabhängigkeiten zu systematischen Ände-

Darstellung B.7: Standorte der Dosimeter in der Umgebung der Kernanlagen



Dosimeter-Standorte

Umgebung Kernanlagen

rungen führen. Deshalb wird der ortsspezifische Parameter für einen Standort bei Bedarf aus den Messwerten mehrerer Quartale neu bestimmt, nachdem vor Ort mögliche Ursachen für die Verschiebung geklärt wurden und mittels In-situ-Gammaskpektrometrie nachgewiesen wurde, dass die überwachten Kernanlagen als Ursache für die Veränderung ausgeschlossen werden können.

Die Erkennungsgrenze der Methode liegt für das Vertrauensintervall von 95% ($k=2$) an allen vier Standorten bei etwa 25 μSv pro Quartal oder etwa 10 bis 15% des Bruttomesswertes. Liegen die für einzelne Punkte ermittelten Nettodosen oberhalb dieser Erkennungsgrenze, so werden weitere Abklärungen zu den Ursachen in die Wege geleitet.

3.3 Ergebnisse

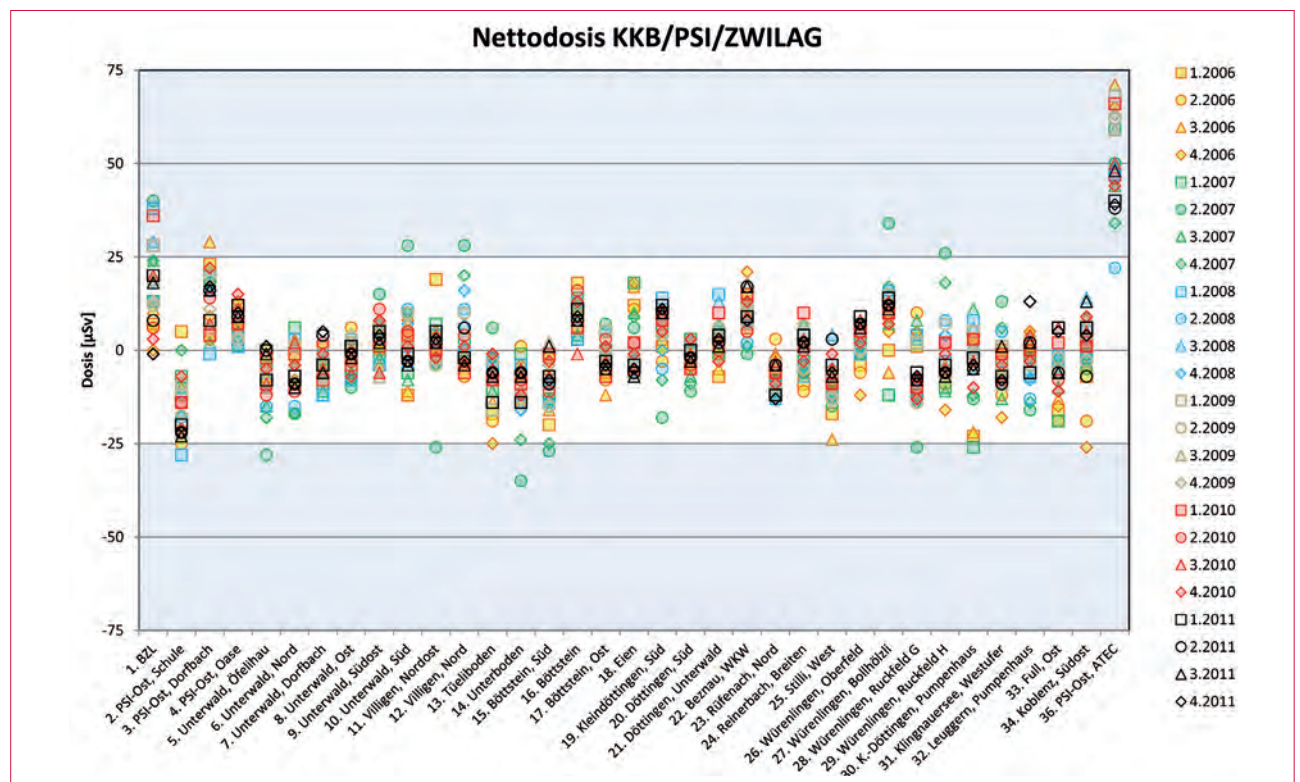
In den Darstellungen B.8 bis B.11 sind die Nettodosen für die Umgebungen von KKB/PSI/ZWILAG, KKG, KKL und KKM für die letzten 6 Jahre grafisch dargestellt. In der Regel liegen die Nettodosen innerhalb einer durch die Mess- und Analyseverfahren bestimmten Streuung relativ nahe beieinander. Durch den erwähnten, alternierenden Einsatz zweier Dosimeter mit einer u.U. etwas unterschiedlichen Kalibrierung kann es zu

einer geringfügigen Aufweitung der Streubreite, im Extremfall sogar zu einer Verteilung mit zwei unterscheidbaren Schwerpunkten an einzelnen Messorten kommen. Die Streubreite liegt aber mit Ausnahme einzelner Ausreißer, welche im Folgenden diskutiert werden, deutlich unterhalb von $\pm 25 \mu\text{Sv}$ pro Quartal.

Im Überwachungsgebiet KKB/PSI/ZWILAG liegt der Schwerpunkt der Messungen in der Regel innerhalb des Nettodosisbandes von $\pm 25 \mu\text{Sv}$ pro Quartal. In der Umgebung des PSI sind die Nettodosen am Zaun beim Bundeszwischenlager und beim Abfalllabor Ost (OALA) durch Direktstrahlung leicht erhöht. Umgerechnet auf ein Jahr ergibt sich eine Netto-Ortsdosis von maximal etwa 0,2 mSv. Diese beiden Dosimeter befinden sich an einem nicht bewohnbaren und nur erschwert begehbaren Ort.

Im 2. Quartal 2007 lagen die Streuung bei den Nettodosen und auch der Dosismittelwert über alle Dosimeter-Standorte höher als normal. Die damals mit dem PSI durchgeführten Untersuchungen und Abklärungen haben keinen Hinweis auf die mögliche Ursache gebracht. Ein Fehler bei der Ermittlung der Bruttodosiswerte ist aber nicht auszuschließen. Wie aus der Figur B.8 zu erkennen ist, handelte es sich um eine Abweichung, die in den übrigen Quartalen nicht auftrat. Wenn man das Quartal 2/2007 von der Betrachtung ausschließt,

Darstellung B.8: Nettodosen in der Umgebung des Kernkraftwerks Beznau (KKB), des Paul Scherrer Instituts (PSI) und des Zentralen Zwischenlagers (ZZL)



liegt die Streubreite der Nettodosis über die betrachtenden 6 Jahre für alle Standorte bei deutlich weniger als $\pm 25 \mu\text{Sv}$.

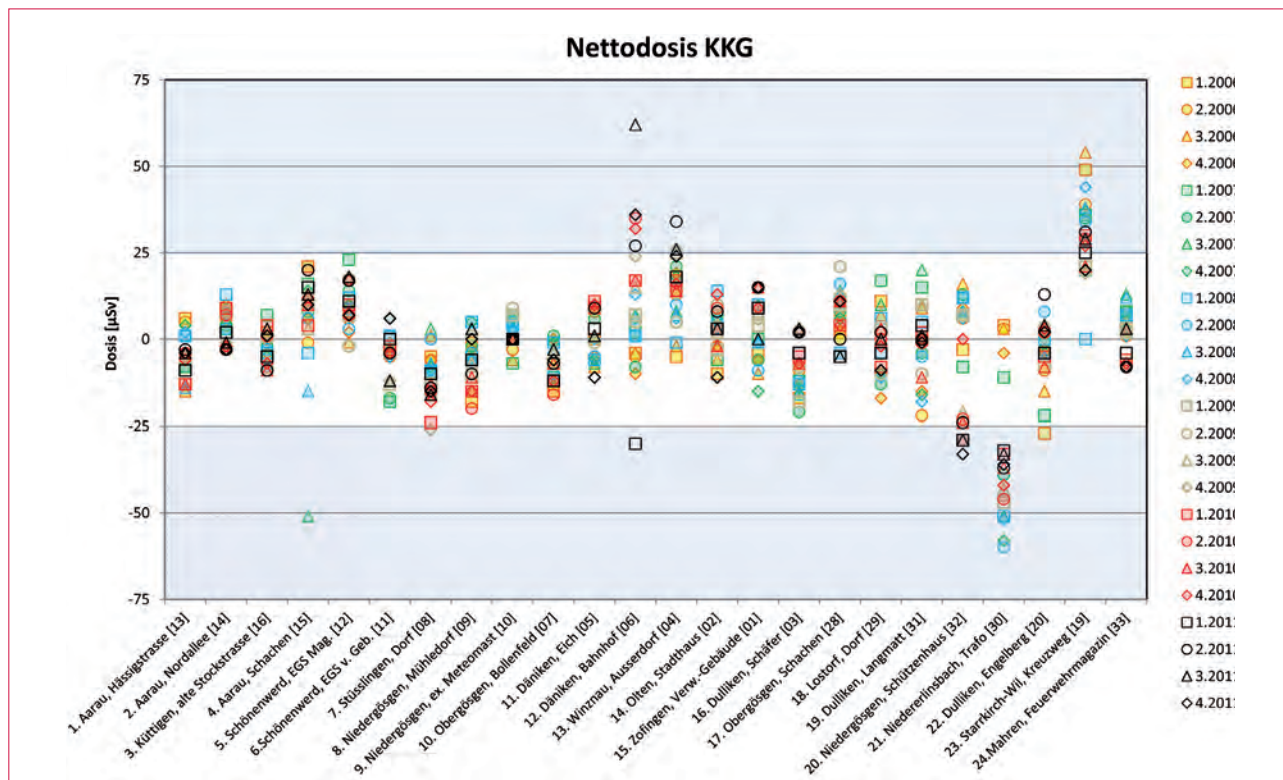
Beim KKG wurde ab Mitte 2009 die Umgebungsdosimetrie von TLD auf EDIS umgestellt. Wie Figur B.9 illustriert, ist die Streuung der Nettodosen an den 24 Messpunkten mit wenigen Ausnahmen deutlich kleiner als $\pm 25 \mu\text{Sv}$. Folgende Ausreisser waren aber zu verzeichnen:

- Im 3. Quartal 2007 und in geringerem Mass im 3. Quartal 2008 lag die Nettodosis am Messpunkt «Aarau Schachen» deutlich unterhalb des Schwerpunkts der Verteilung und des Erwartungswertes. Der tiefe Wert wurde in beiden Fällen mit demselben Dosimeter ermittelt. Da weder zuvor noch danach aussergewöhnliche Werte an diesem Messpunkt zu verzeichnen waren, konnte die Ursache nicht abschliessend geklärt werden.
- Am Messpunkt «Däniken Bahnhof» ist die Streubreite allgemein grösser als bei den anderen Messorten. Zusätzlich fallen ein Ausreisser der Nettodosis nach unten im Quartal 1/2011 und einer nach oben im Quartal 3/2011 auf, die beide mit dem gleichen EDIS-Dosimeter gemessen wurden. Das KKG versucht aktuell, die Ursachen für diese beiden Ausreisser im Berichtsjahr zu klären. Die allgemein grössere Streuung ist bedingt durch die Umstellung auf EDIS: Ganz allgemein

kann festgestellt werden, dass die mit EDIS an diesem Messpunkt ermittelten Nettodosen in der Regel etwas höher liegen als die, welche mit TLD ermittelt wurden. Das ENSI hat deshalb am Messpunkt im Mai 2011 gammaspектrometrische Messungen durchgeführt, konnte dabei aber keine nuklidspezifischen Anomalien feststellen.

- Beim Messpunkt «Winznau Ausserdorf» trat im 2. Quartal 2011 ein Nettodosiswert knapp über der Untersuchungsschwelle von $+25 \mu\text{Sv}$ auf. Die Ursache ist auch hier in einer generellen leichten Verschiebung der Nettodosen seit Einführung der EDIS-Dosimeter zu suchen.
- Am Messpunkt «Niedergösgen Schützenhaus» werden seit Einführung der EDIS-Dosimeter eher tiefere Nettodosiswerte festgestellt. In-situ-gammaspектrometrische Untersuchungen im Mai des Berichtsjahres zeigten aber keine nuklidspezifischen Anomalien.
- Der Messpunkt «Niedererlinsbach Trafo» wurde im Jahr 2007 aufgrund der Erneuerung der Trafoanlage um etwa 150 m im Gelände verschoben. Aufgrund der topografischen Gegebenheiten am neuen Messort ist in der Folge die Nettodosisleistung deutlich gesunken. Gammaspектrometrische Untersuchungen zeigen keine nuklidspezifischen Anomalien, bestätigen aber den Einfluss der unterschiedlichen Topografie.

Darstellung B.9: Nettodosen in der Umgebung des Kernkraftwerks Gösgen (KKG).



■ Am Messpunkt «Starrkirch-Wil, Kreuzweg» liegen die Nettodosen über die letzten 6 Jahre konsistent über dem Erwartungswert. Gammaskpektrometrisch wurde am Messort keine nuklidspezifische Anomalie festgestellt. Vor Ort liess sich aber feststellen, dass im Verlauf der Jahre verschiedene bauliche Veränderungen stattgefunden haben, welche als Erklärung für den festgestellten Anstieg dienen können.

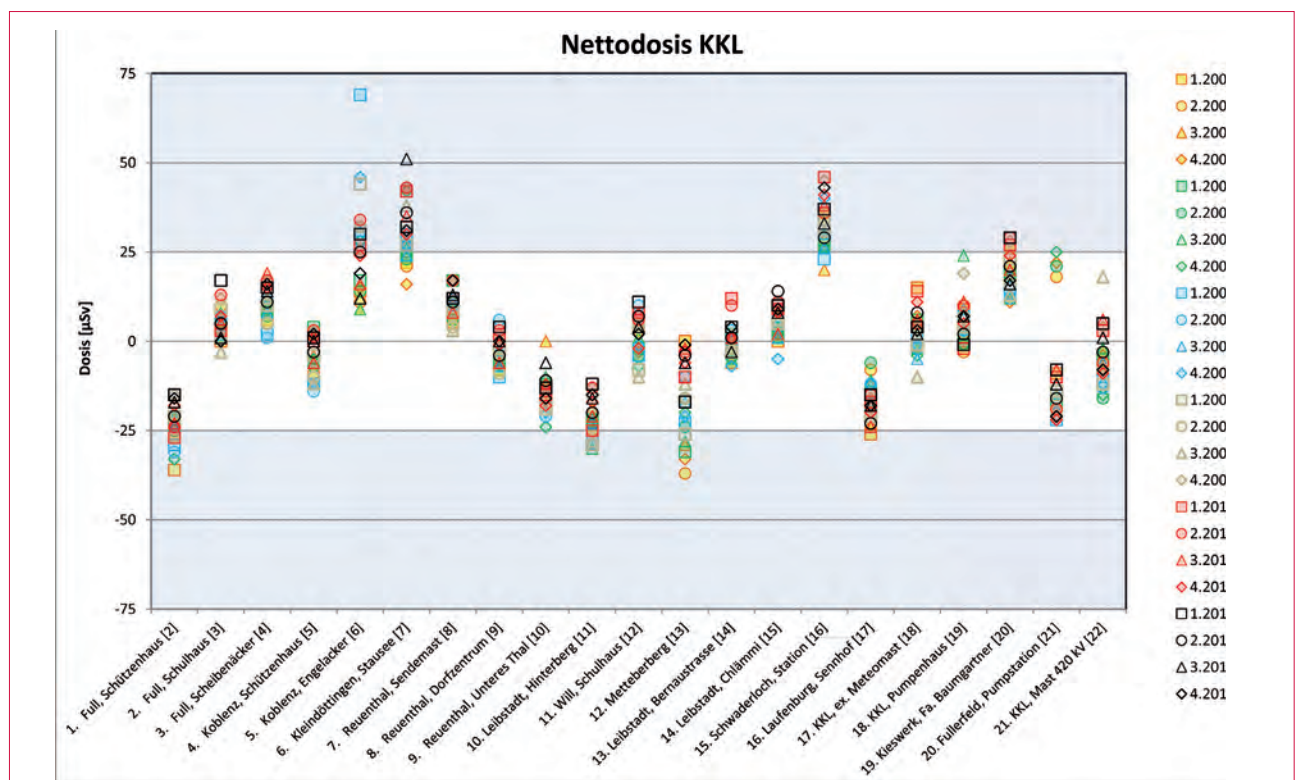
Beim KKL liegen die Streubreiten der Nettodosen an den einzelnen Messorten in der Regel deutlich unter $\pm 25 \mu\text{Sv}$. Allerdings sind für mehrere Messpunkte deutliche Abweichungen des Verteilungsschwerpunkts der Nettodosis zum Erwartungswert festzustellen. Teils sind diese Abweichungen der Umstellung auf GR200-Dosimeter und der damit notwendigen Neukalibrierung der verwendeten Dosimeter zuzuordnen. Weitere Abweichungen bei den nachfolgend beschriebenen Messpunkten sind den Verhältnissen vor Ort zuzuschreiben:

■ Der Schwerpunkt der Nettodosiswerte beim Messpunkt «Full Schützenhaus», die ansonsten eine geringe Streuung aufweisen, ist gegenüber dem Erwartungswert um etwa $25 \mu\text{Sv}$ nach unten verschoben. Eine im Mai 2011 durchgeführte gammaskpektrometrische Untersuchung am Messort zeigte keine nuklidspezifischen Anomalien auf.

■ Am Messpunkt «Koblenz Engelacker» wurden insbesondere in den Quartalen Q1 2008, Q4 2008 und Q1 2009 Ausreisser der Nettodosis nach oben festgestellt. Der Messort an einer Trafostation liegt über einem asphaltierten Platz, der einem Gemüsehändler als Lager dient. Bei einer Vorort-Besichtigung durch das ENSI im Mai 2011 waren direkt vor dem Dosimeter bis in eine Höhe von mehreren Metern leere Harasse aufgestapelt. Aufgrund dieser Nutzung des Messortes scheint es dem ENSI angebracht zu sein, eine Versetzung des TLDs zu veranlassen. Die gammaskpektrometrische Untersuchung vom Ort ergab keine nuklidspezifische Anomalie.

■ Der Schwerpunkt der Nettodosisverteilung beim Messpunkt «Kleindöttigen Stausee» ist deutlich nach oben verschoben. Mit einem am gleichen Standort positionierten TLD der Umgebungsüberwachung KKB/PSI/ZWILAG wird die Dosisverschiebung über die Jahre allerdings nicht bestätigt. Die In-situ-Gammaskpektrometrie an diesem Standort zeigt zwar, dass bis zu $13 \mu\text{Sv}$ der gemessenen Quartalsdosis durch ^{137}Cs im Boden erklärt werden könnte, jedoch fällt der Zeitpunkt, seit dem die Erhöhung festgestellt werden kann, mit der Umstellung des KKL auf GR200 Dosimeter zusammen, so dass es insgesamt wahrscheinlicher ist, dass die Verschiebung auf die damit

Darstellung B.10: Nettodosen in der Umgebung des Kernkraftwerks Leibstadt (KKL).



verbundene Neukalibrierung bzw. unterschiedliche Energieabhängigkeit der beiden TLD-Typen zurückzuführen ist.

- Beim Messpunkt «Schwaderloch Station» ist die seit 2001 festzustellende Verschiebung der mittleren Nettodosis nach oben vermutlich in baulichen Veränderungen begründet. Die Gamma-spektrometrie vor Ort zeigt keine Anomalien.
 - Das Dosimeter beim «Kieswerk Baumgartner» ist unter einem Dach platziert und somit für die Ermittlung der Ortsdosis an diesem Ort nicht repräsentativ. Hier ist die Versetzung des Dosimeters an einen besser geeigneten Ort zu veranlassen.
- Beim Standort des KKM liegt die Streuung der Nettodosis in der Regel deutlich innerhalb eines Bandes von $\pm 25 \mu\text{Sv}$. Der Standort des Dosimeters «Uf em Horn» wurde in den letzten Jahren um etwa 100 m verschoben. Dadurch ist der Schwerpunkt der Nettodosisleistung etwas nach unten versetzt. Die In-situ-Gammaspektrometrie vom Mai 2011 am Messpunkt zeigte keine auffällige Nuklidverteilung.

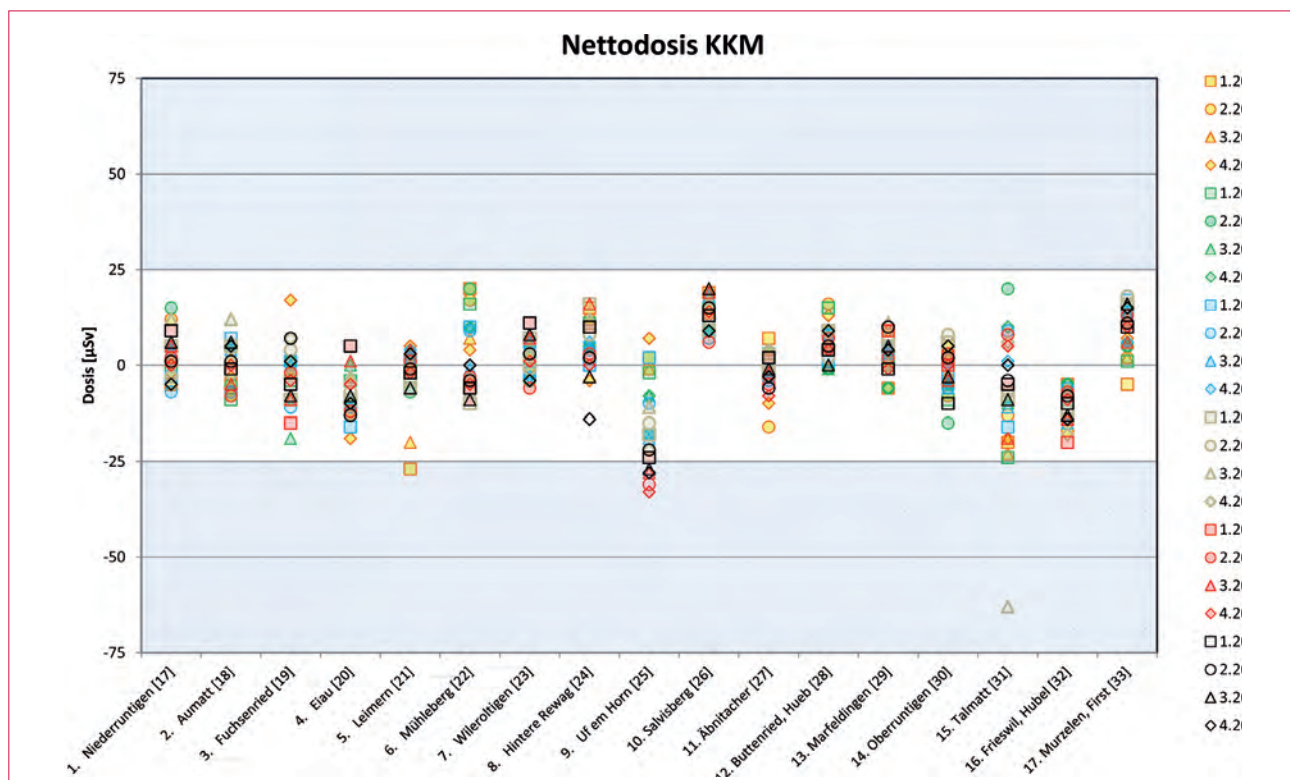
3.4 Fazit

Mit der verwendeten Auswerte- und Analyse-methode können in der Umgebung der schweize-

rischen Kernanlagen bereits kleine Änderungen in der Grössenordnung von etwa 10% des natürlichen Untergrundes bei den mit TLD und EDIS bestimmten Ortsdosen in der Umgebung erkannt werden. Mit den langjährigen Messreihen lassen sich so frühzeitig Tendenzen an einzelnen Messorten feststellen. Die aus diesen Messreihen ermittelten Nettodosen und die im Allgemeinen geringe Streuung belegen die gute Qualität der Messungen. Mit Ausnahme von zwei am Zaun des PSI installierten Dosimetern, bei denen die Direktstrahlung aus dem BZL und dem ATEC nachgewiesen wird, kann gar kein Einfluss des Betriebs der Anlagen auf die gemessenen Ortsdosen nachgewiesen werden.

Im Lauf der Zeit haben die Versetzung von Dosimetern, bauliche Veränderungen an den Messorten und die Verwendung von neuen Dosimetern mit unterschiedlicher Energieabhängigkeit und Neukalibrierung zu deutlich erkennbaren Veränderungen bei den ortsspezifischen Parametern geführt. Da die vor Ort bereits durchgeführten gammaspektrometrischen Untersuchungen keine auf den Betrieb der Kernanlagen zurückzuführenden Nuklide auswiesen, werden die ortsspezifischen Parameter aufgrund der Messungen der letzten vier Jahre neu bestimmt und bei der Datenanalyse ab dem Jahr 2012 verwendet.

Darstellung B.11: Nettodosen in der Umgebung des Kernkraftwerks Mühleberg (KKM).



4. Atmosphärische Ausbreitung

4.1 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) zuständig.

Das ENSI prognostiziert der Entwicklung des Störfalls in der Anlage sowie eine mögliche Ausbreitung der Radioaktivität in der Umgebung und schätzt deren mögliche radiologischen Konsequenzen ab. Das ENSI berät zudem die Nationale Alarmzentrale (NAZ) über die Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung.

Die Eidgenössische Kommission für ABC-Schutz (KomABC) hat in ihrem Konzept hinsichtlich der atmosphärischen Ausbreitungsrechnungen bei Unfällen in Kernanlagen die heute vorhandenen Mittel beurteilt und die Anforderungen an die Resultate der Berechnungen sowie die Verfügbarkeit und den Einsatz der benötigten Modelle festgelegt. Da die Anforderungen der Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität nicht durch ein einziges Ausbreitungsmodell erfüllt werden können, sind spezifische Modelle für den lokalen (Zonen 1 und 2), den regionalen (Zone 3 und grenznahe Ausland) und den grossräumigen (fernes Ausland) Bereich notwendig.

Die Beurteilung der radiologischen Gefährdung bildet die Grundlage für die Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung. Schutzmassnahmen sollten wenn möglich vorsorglich angeordnet werden. In der Vorphase, d.h. vor Freisetzungsbeginn, kann jedoch nicht auf Radioaktivitätsmessungen in der Umgebung zurückgegriffen werden. Die Gefährdung muss vielmehr mittels Modellrechnungen aufgrund der ak-

tuellen 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.

4.2 Atmosphärisches Ausbreitungsmodell ADPIC

Im Ereignisfall wird das komplexe atmosphärische Ausbreitungsmodell ADPIC (Atmospheric Diffusion Particle-In-Cell Model), welches Topografie 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). Dabei werden die 3D-Winddaten (sog. grosse Prognosen) mit einem massenkonsistenten Windfeldmodell auf die vom Ausbreitungsmodell benötigten Auflösungen heruntergerechnet. Die bisherige WINDBANK-Methode bleibt für Spezialanwendungen (Diagnose und Prognose) erhalten.

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

Aktueller Stand

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

- Routinemässige Berechnungen mit einer Einheitsquelle (1 Bq/s ^{137}Cs) werden automatisch

rund um die Uhr im Stundentakt und für drei verschiedene Freisetzungshöhen durchgeführt.

- Im Ereignisfall (und bei Übungen) liegen störfallspezifische Berechnungen spätestens eine Stunde nach der Einsatzbereitschaft der ENSI-Notfallorganisation vor.

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 notwendige Messungen oder Massnahmen entscheiden zu können. Nach dem Wolkendurchzug ist die Beurteilung der tatsächlichen Gefährdung der Bevölkerung aufgrund der in der Wolkenphase erhaltenen Dosen und den noch zu erwartenden Dosen infolge Deposition wichtig. Zudem tragen die Modellberechnungen zur Festlegung des Wolken-

durchzuggebietes als Grundlage für die Optimierung der Messstrategie bei.

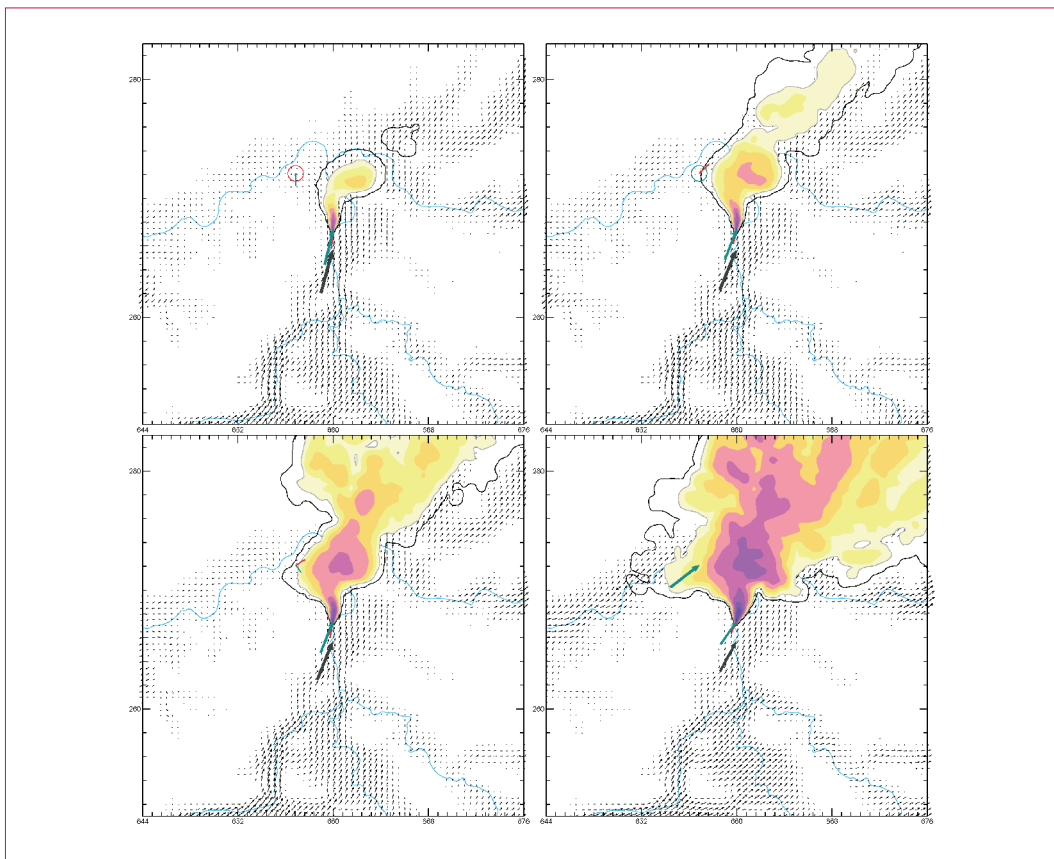
Für die Sicherstellung der Notfallbereitschaft im Ereignisfall muss neben der technischen Verfügbarkeit auch die personelle Bedienung des Systems gewährleistet sein.

Beispiele von ADPIC/COSMO-Berechnungen

Das Ausbreitungsmodell ADPIC ermöglicht im Ereignisfall aufgrund 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.

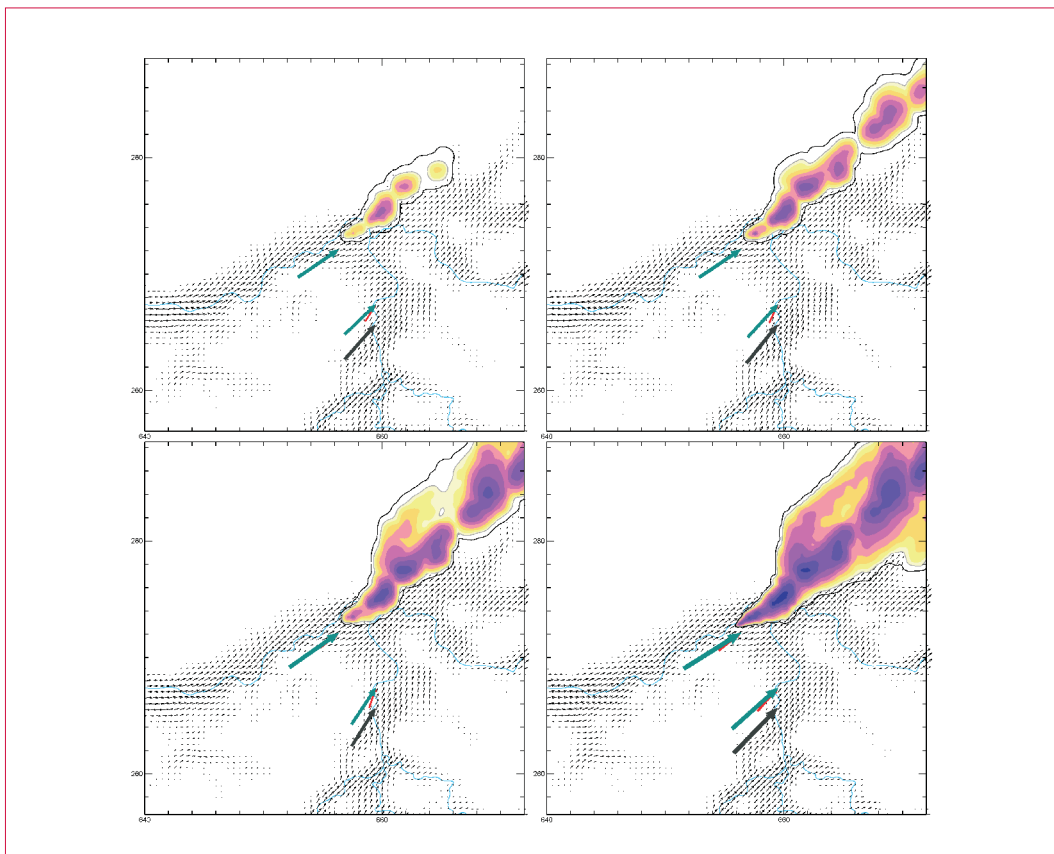
Die 3D-Winddaten aus dem COSMO2-Prognosemodell können in der gegenwärtigen Implementation vollumfänglich in ADPIC verwendet werden. In den Darstellungen B.12 bis B.15 werden Beispiele von ADPIC/COSMO-Simulationen für die vier Kernkraftwerksstandorte dargestellt. Die Darstellungen stammen aus den routinemässigen Berechnungen und zeigen die berechneten Luftaktivitäten als Funktion der Zeit für verschiedene Wetterlagen.

Darstellung B.12: Beispiel einer ADPIC/COSMO-Simulation für KKB (Berechnungen mit prognostizierten 3D-Winddaten aus dem COSMO2-Modell).



Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 20. Dezember 2011 um 06:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 50 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden. Ausbreitungssituation um 06:30 Uhr (links oben), 07:00 Uhr (rechts oben), 08:00 Uhr (links unten) und 12:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit. Vordergrund: integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit. Hintergrund: 3D-Windfeld auf 450 m über Meer.

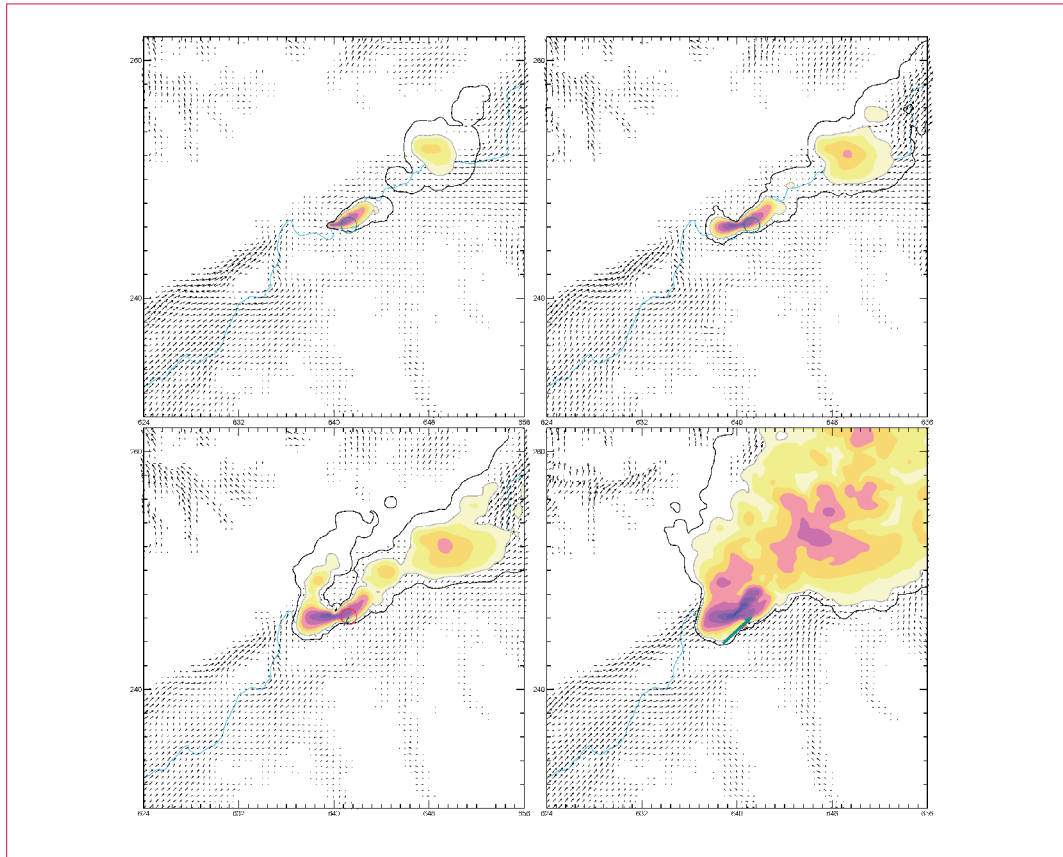
Darstellung B.13: Beispiel einer ADPIC/COSMO-Simulation für KKL (Berechnungen mit prognostizierten 3D-Winddaten aus dem COSMO2-Modell).



Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 6. Dezember 2011 um 01:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 100 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden. Ausbreitungssituation um 01:30 Uhr (links oben), 02:00 Uhr (rechts oben), 03:00 Uhr (links unten) und 07:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit. Vordergrund: integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit. Hintergrund: 3D-Windfeld auf 450 m über Meer.

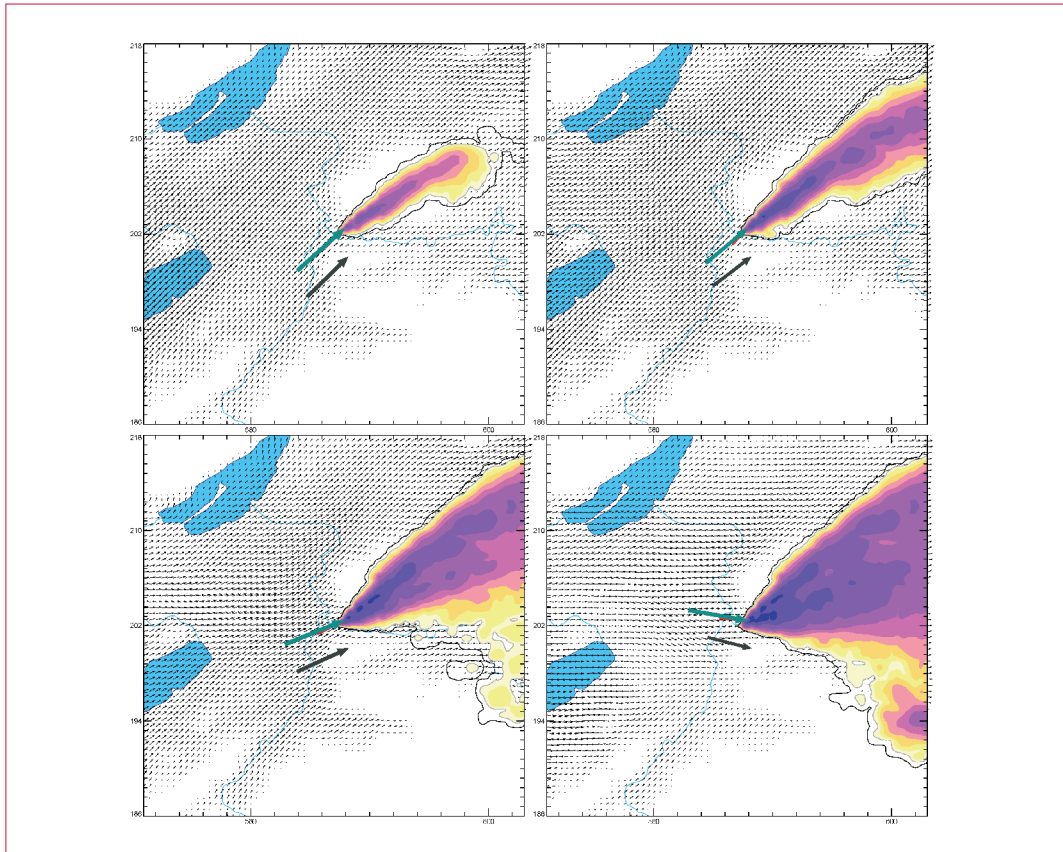
Darstellung B.14: Beispiel einer ADPIC/COSMO-Simulation für KKG (Berechnungen mit prognostizierten 3D-Winddaten aus dem COSMO2-Modell).

Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 1. Dezember 2011 um 22:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 100 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden.
 Ausbreitungssituation um 23:00 Uhr (links oben), 23:30 Uhr (rechts oben), 24:00 Uhr (links unten) und 04:00 Uhr am nächsten Tag (rechts unten) Lokalzeit.
 Vordergrund: integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit.
 Hintergrund: 3D-Windfeld auf 500 m über Meer.



Darstellung B.15: Beispiel einer ADPIC/COSMO-Simulationen für KKM (Berechnungen mit prognostizierten 3D-Winddaten aus dem COSMO2-Modell).

Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 18. Dezember 2011 um 17:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 100 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden.
 Ausbreitungssituation um 17:30 Uhr (links oben), 18:30 Uhr (rechts oben), 20:00 Uhr (links unten) und 23:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.
 Vordergrund: integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit.
 Hintergrund: 3D-Windfeld auf 600 m über Meer.



5. Aeroradiometrische Messungen

5.1 Einleitung

Aeroradiometrische Messungen in der Schweiz begannen 1986. Methodik und Software für Kalibrierung, Datenerfassung, Datenverarbeitung und Kartendarstellung wurden am Institut für Geophysik der ETH Zürich entwickelt (Schwarz 1991). In der Zeit von 1989 bis 1993 wurde die Umgebung der schweizerischen Kernanlagen jährlich aeroradiometrisch auf einer Fläche von jeweils rund 50 km² vermessen. Im Jahre 1994 ging man zu einem Zweijahresrhythmus über, wobei abwechselungsweise zwei bzw. drei Gebiete mit Kernanlagen vermessen werden. 1992 und 1995 wurden ebenfalls am Institut für Geophysik der ETH Zürich zwei neue Messgeräte gebaut (16,8- und 4,0-Liter-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 ins Messsystem integriert. 2006 wurde ein zweiter Detektor mit 16,8 Liter Volumen beschafft, kalibriert und bei den Messflügen 2007 erstmals eingesetzt.

Im Jahre 2010 (Bucher et. al, 2010) wurde mit Hilfe der Auswertung der Langzeitdaten die Nachweisgrenze der Messmethode ermittelt: 0,02 µSv/h werden in 95 von 100 Fällen erkannt (Vertrauensbereich 95 %). Dies entspricht ungefähr 20 % der natürlichen externen Strahlung.

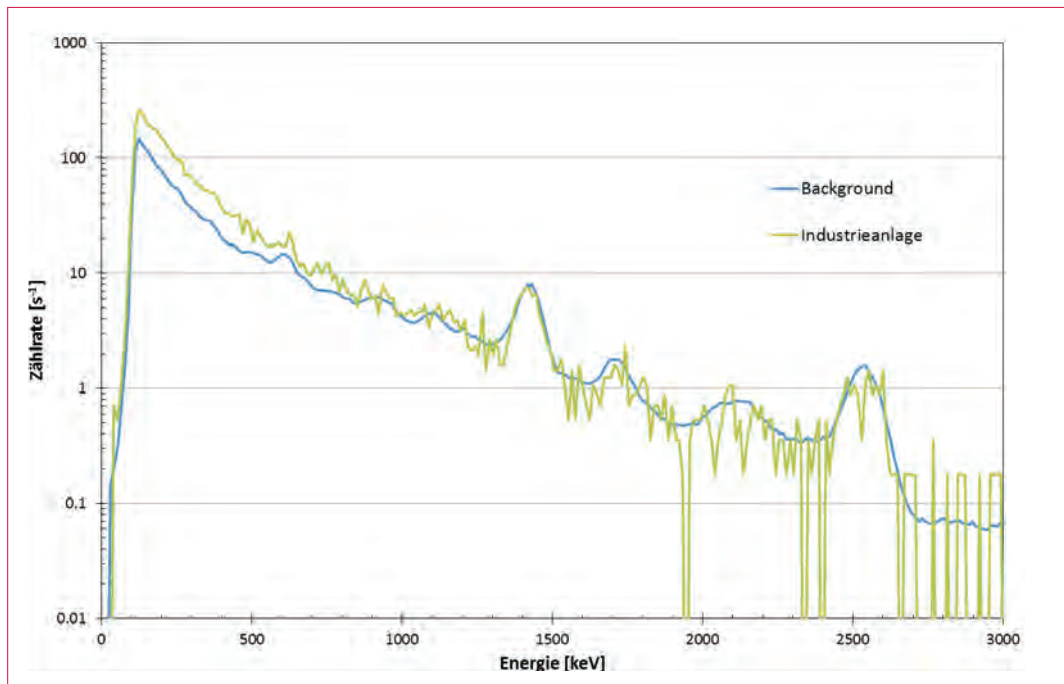
5.2 Messungen und Messresultate 2011

Bei den Messflügen im September 2011 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM) abgedeckt. Weiter wurden Ausbruchsmaterial-Deponien und Tunnelportale der NEAT, die Stadt Chiasso, zwei Referenzflächen des BAG sowie zwei Mülldeponien im Tessin befliegen. Im Folgenden werden nur die Resultate der Messungen in der Umgebung der Kernanlagen diskutiert.

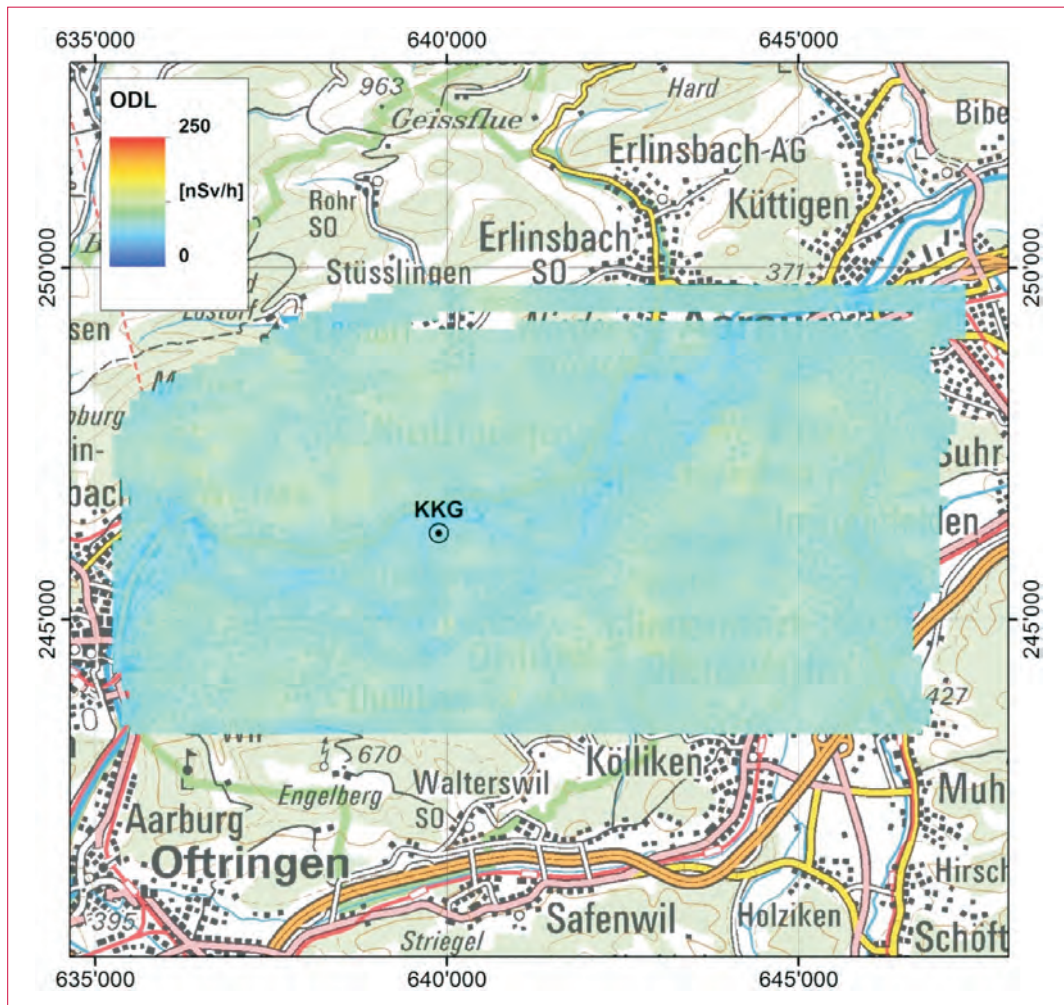
Die Messresultate in den Messgebieten KKG und KKM zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. Das KKG mit seinem Druckwasserreaktor konnte aeroradiometrisch nicht erkannt werden. Südlich von KKG wurde jedoch mit Hilfe der MMGC-Ratio, das Verhältnis zwischen den Zählraten im hochenergetischen (1 400 – 3 000 keV) und im niederenergetischen (400 – 1 400 keV) Bereich, eine industrielle Bestrahlungsanlage detektiert. Die Bestrahlungsanlage war letztmals 1997 detektiert worden. Nach dem Anbringen von zusätzlichen Abschirmungen konnte sie seither aus der Luft nicht mehr spektrometrisch nachgewiesen werden. In den Spektren über der Anlage sind vor allem erhöhte Zählraten im tieferenergetischen Bereich unterhalb von 800 keV zu erkennen und als Streustrahlung zu interpretieren (Darstellung B.16). In der Karte der Ortsdosisleistung (Darstellung 2 B.17) ist die Bestrahlungsanlage nicht zu erkennen.

Das KKM befand sich zum Zeitpunkt der Messflüge im Revisionsstillstand. Die gestreute, hochenergetische Photonenstrahlung, welche sonst in Siedewasserreaktoren durch das Aktivierungsprodukt ¹⁶N im Frischdampf erzeugt wird, konnte deshalb dieses Jahr nicht detektiert werden. hingegen konnte in den über dem Betriebsareal gemessenen Spektren ⁶⁰Co identifiziert werden (Darstellung B.18). Das Signal stammt von auf dem Betriebsareal zwischengelagertem, radioaktivem Abfall. Ausserhalb des Betriebsareals sind keine erhöhten Werte erkennbar.

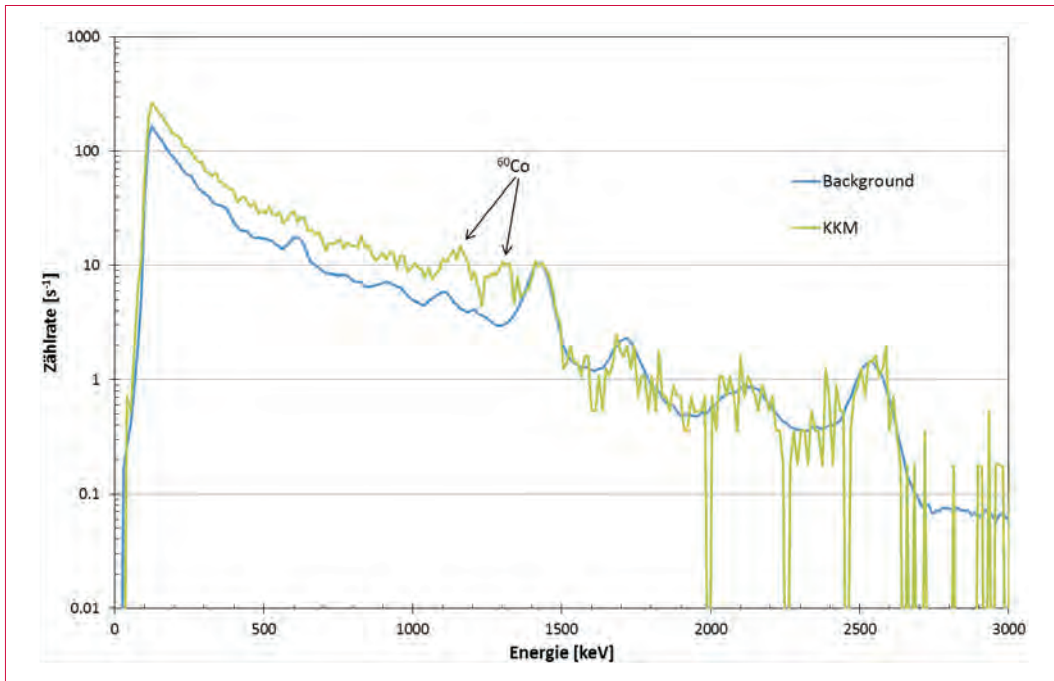
Darstellung B.16: Photonenspektrum über der industriellen Bestrahlungsanlage im Messgebiet KKG im Vergleich zum Background ausserhalb des Betriebsareals. Die Erhöhung der Zählraten im niedrigeren energetischen Bereich ist auf Streustrahlung zurückzuführen.



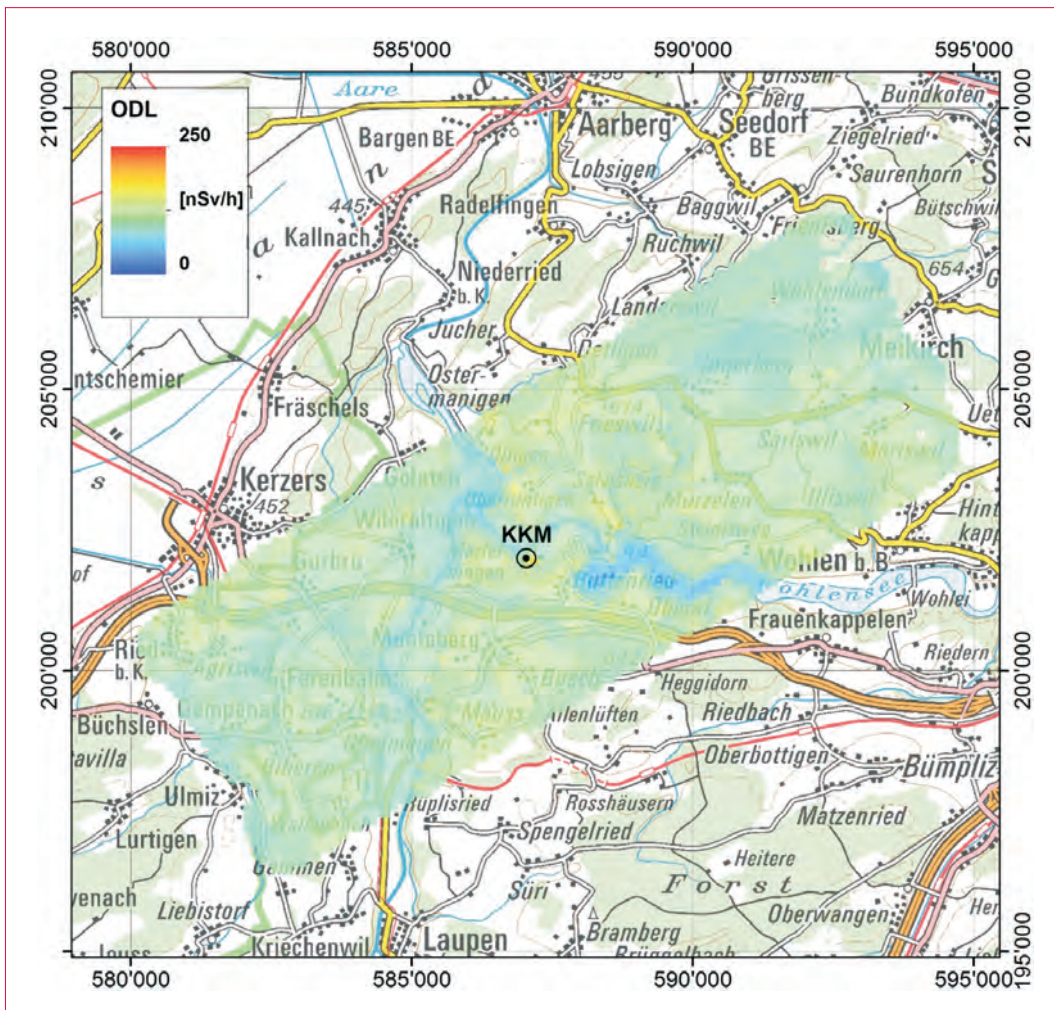
Darstellung B.17: Ortsdosisleistung im Messgebiet KKG. Kartendaten PK200[®] Bundesamt für Landestopografie.



Darstellung B.18: Photonenspektrum über dem KKM im Vergleich zum Backgroundspektrum.



Darstellung B.19: Karte der Ortsdosisleistung im Messgebiet KKM. Kartendaten PK200[®] Bundesamt für Landestopografie.



In der Karte der Ortdosisleistung (Darstellung B.19) ist KKM schwach erkennbar. Ausserhalb des umzäunten Werksareals sind keine erhöhten Werte erkennbar.

Die Wertevariation ausserhalb der Anlagenareale ist auf variable natürliche Radioelementgehalte im Untergrund zurückzuführen. Die tiefsten Werte findet man über den Gewässern, da die terrestrische Strahlung dort durch den Wasserkörper abgeschirmt wird.

5.3 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-7872

ISSN 1661-2914

© ENSI, Juni 2012

ENSI-AN-7872
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