



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 2017

Strahlenschutzbericht 2017

Rapport sur la radioprotection 2017

Radiological Protection report 2017

Rapporto di radioprotezione 2017

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4
Préface	6
Foreword	8
Prefazione	10
A: Strahlenschutz in den Kernanlagen	13
1 Kernkraftwerke	14
1.1 Kernkraftwerk Beznau (KKB)	14
1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)	16
1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)	17
1.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)	18
2 Weitere Kernanlagen	21
2.1 Paul Scherrer Institut (PSI)	21
2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)	21
2.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)	22
2.4 Universität Basel	22
3 Grafische Darstellungen	25
4 Dosimetrie	31
4.1 Einleitung	31
4.2 Personendosimetrie	31
4.3 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen	57
4.4 Entwicklung der Exposition	58
5 Die Crux mit dem Risiko	61

B:	Umweltradioaktivität bei Kernanlagen, Überwachung	65
6	Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen	65
	6.1 Emissionen aus den Kernanlagen	65
	6.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen	80
7	Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)	81
	7.1 Übersicht	81
	7.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung	83
	7.3 Systemverfügbarkeit und Störungen	83
	7.4 Qualitätssicherung	84
	7.5 Messergebnisse	84
8	Atmosphärische Ausbreitung	89
	8.1 Modellberechnungen im Ereignisfall	89
	8.2 Atmosphärisches Ausbreitungs- und Dosisberechnungsmodell JRODOS	89
	8.3 Gesamtnotfallübung 2017	90
9	Aeroradiometrische Messungen	97
	9.1 Einleitung	97
	9.2 Messungen und Messresultate 2017	97
	9.3 Literatur	100

Vorwort

Im vorliegenden Strahlenschutzbericht 2017 vermittelt das ENSI einen Gesamtüberblick über den Strahlenschutz in seinem Aufsichtsbereich. Teil A des Berichtes behandelt den Schutz des Personals von Kernanlagen vor den Gefahren der ionisierenden Strahlung. Er enthält unter anderem die Zusammenstellung der vom Personal akkumulierten Personendosen nach verschiedenen Parametern aufgeschlüsselt. In Anwendung des Optimierungsgebots konnten die Jahreskollektivdosen in den Kernkraftwerken der Schweiz seit Anfang ihres Betriebs dank der grossen Anstrengungen der Betreiber, aber auch der Behörden deutlich reduziert werden. Im Jahr 2017 wurden in den Kernanlagen von insgesamt 5586 dosimetrierten Personen 3478,4 Pers.-mSv akkumuliert. Die Kollektivdosen erreichten einen tiefen Wert, der dem radiologischen Zustand der Anlagen sowie dem notwendigen Umfang an Arbeiten in den kontrollierten Zonen (z. B. zerstörungsfreie Prüfungen) entspricht. Die Erhöhung des Werts für das Berichtsjahr im Vergleich zum Vorjahr ist auf einen geplanten Mehraufwand bei den Prüfungen und sonstigen Tätigkeiten im Strahlenfeld im Kernkraftwerk Leibstadt zurückzuführen.

Die Individualdosen der im Aufsichtsbereich des ENSI beschäftigten Personen sind 2017 mit einem Maximalwert von 14,2 mSv und einem Mittelwert von 0,6 mSv deutlich unter dem Dosisgrenzwert von 20 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen geblieben.

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit der Abluft und mit dem Abwasser aus den Kernanlagen werden im Teil B des Berichts behandelt. Die Betreiber der Kernanlagen hielten die behördlich festgelegten Abgabelimiten auch 2017 ein, teilweise mit beträchtlichen Margen.

Mit sehr konservativen Berechnungen bestätigt das ENSI, dass die Emissionen der schweizerischen Kernanlagen in der unmittelbaren Umgebung zu einer Dosis von weniger als 0,007 mSv pro Jahr führten. Der Vergleich mit der mittleren jährlichen Strahlendosis der Bevölkerung in der Schweiz von 5,8 mSv pro Jahr zeigt, dass der Beitrag aus den Kernanlagen im Bereich von höchstens 0,1 Prozent davon liegt.

Beitrag	Dosis (mSv pro Jahr)
Radon	3,2
Medizinische Diagnostik	1,4
Terrestrische Strahlung	0,35
Kosmische Strahlung	0,4
Radionuklide im menschlichen Körper	0,35
Übrige	≤ 0,1
Total	5,8

Tabelle: Strahlenexposition der Bevölkerung 2017; Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität in der Schweiz, Ergebnisse 2017, Bundesamt für Gesundheit 2018, Seiten 38 und 39

Die flüssigen Abgaben der schweizerischen Kernanlagen lagen zudem unter dem aufgrund internationaler Empfehlungen vom ENSI festgesetzten Zielwert von 1 GBq pro Jahr (ohne Tritium). Tritium ist wie international üblich gemäss den Betriebsbewilligungen der Kernanlagen separat limitiert und dementsprechend zu betrachten. Die Festlegung eines Zielwerts gewährleistet, dass die Möglichkeiten des Standes von Wissenschaft und Technik überprüft und verhältnismässig in technischen Lösungen umgesetzt werden.

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

Das vom ENSI betriebene Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) misst ganzjährig und 24 Stunden pro Tag die Dosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke. Die 10-Minuten-, Stunden- und Tagesmittelwerte der Messungen sind auf der Internetseite des ENSI in Echtzeit abrufbar. Für die Behörden und gegenüber der Öffentlichkeit dient dieses Messnetz der Beweissicherung. Im Berichtsjahr wurden keine erhöhten Ortsdosisleistungswerte, die auf Abgaben der Kernkraftwerke zurückzuführen wären, festgestellt. Einzelne lokal erhöhte Messwerte sind auf Schwankungen der natürlichen (Untergrund-)Strahlung, zum Beispiel nach Regenfällen, zurückzuführen.

Seit Anfang 2016 wird zur Modellierung der atmosphärischen Ausbreitung und zur Dosisberechnung im Ereignisfall das Programm JRODOS (Java-based Realtime Online DecisiOn Support system) eingesetzt. JRODOS erlaubt die direkte Verwendung von 3D-Wettervorhersagedaten aus dem von MeteoSchweiz routinemässig eingesetzten Modell COSMO-1 mit einer Maschenweite von 1 km. Um der kleinräumigen Landschaftsstruktur der Schweiz und des süddeutschen Raumes gerecht zu werden, verwendet JRODOS das feinst aufgelöste Höhenmodell (DHM25) des Bundesamtes für Landestopografie swisstopo. Damit stehen dem ENSI jederzeit einsetzbare, wertvolle und genaue Instrumente für die aktuelle Beurteilung (Diagnose) und die Prognose der radiologischen Lage sowie die Erstellung von Empfehlungen zur Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung zur Verfügung. Diese Instrumente werden regelmässig in Übungen getestet. Turnusgemäss wurde im Jahr 2017 eine Gesamtnotfallübung mit dem Kernkraftwerk Mühleberg durchgeführt. An der Übung war eine Vielzahl von Notfallpartnern der Schweiz beteiligt; zudem nahmen Stäbe oder Ansprechstellen aus dem nahen Ausland sowie die IAEA teil. Bei der Beratung des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz BABS zur Notwendigkeit von Schutzmassnahmen zum Schutz der Bevölkerung setzte das ENSI das Tool JRODOS zeit- und sachgerecht ein. Insgesamt zeichnet sich die Notfallorganisation des ENSI im Hinblick auf ihren gesetzlichen Auftrag gemäss Art. 9 der Notfallschutzverordnung durch einen hohen Leistungsstand aus.

Im Berichtsjahr wurden alle Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung eingehalten. Es gab in den Kernanlagen keine Vorkommnisse, die zu einer unzulässigen Strahlenexposition von Personal oder Bevölkerung geführt haben. Das ENSI kommt zum Schluss, dass in den schweizerischen Kernanlagen weiterhin ein guter Strahlenschutz betrieben wird, bei dem das Optimierungsprinzip konsequent angewendet wird.

MADUK-Messwerte:

<https://www.ensi.ch/de/messwerte-radioaktivitat/>

Monatliche radioaktive Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke:

<https://www.ensi.ch/de/dokumente/document-category/abgaben-radioaktiver-stoffe/>

Préface

Dans le présent rapport sur la radioprotection 2017, l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN donne une vue d'ensemble de la radioprotection dans son domaine de surveillance. La partie A du rapport traite de la protection du personnel des centrales nucléaires face aux dangers du rayonnement ionisant. Elle comprend notamment le récapitulatif des doses individuelles accumulées par le personnel, avec une ventilation selon différents paramètres. En application du principe d'optimisation, les doses collectives annuelles au sein des centrales nucléaires suisses ont pu être réduites de façon significative depuis le début de l'exploitation grâce aux importants efforts déployés par les exploitants, mais aussi les autorités. En 2017, sur les 5586 personnes ayant été mesurées au total, 3478,4 Pers.-mSv ont été accumulés. Les doses collectives ont atteint une valeur basse, correspondant à l'état radiologique des installations et aux travaux rendus nécessaires dans les zones contrôlées (par exemple des essais non destructifs). La hausse de la valeur pour l'année sous revue en comparaison à l'année précédente s'explique par un effort plus important et prévu lors des contrôles et des activités connexes dans le domaine des radiations à la centrale nucléaire de Leibstadt.

Les doses individuelles des personnes travaillant en 2017 dans le domaine sous surveillance de l'IFSN sont restées nettement inférieures à la limite de dose de 20 mSv pour les personnes exposées au rayonnement dans un cadre professionnel, avec une valeur maximale de 14,2 mSv et une valeur moyenne de 0,6 mSv.

Les rejets de substances radioactives depuis les centrales nucléaires par les systèmes d'évacuation d'air et d'eau usés sont abordés dans la partie B du rapport. Les exploitants de centrales nucléaires ont respecté les limites de rejets fixées par les autorités en 2017 également, en affichant en partie des marges importantes. Sur la base de calculs très conservateurs, l'IFSN confirme que les émissions des centrales nucléaires suisses ont conduit dans le voisinage immédiat des centrales à une dose inférieure à 0,007 mSv par année. La comparaison avec la dose de rayonnement de 5,8 mSv absorbée en moyenne par année par chaque habitant suisse

(voir tableau ci-après) montre que la part venant des installations nucléaires se monte au maximum à 0,1%.

Contribution	Dose (mSv par an)
Radon	3,2
Diagnostic médical	1,4
Rayonnement terrestre	0,35
Rayonnement cosmique	0,4
Radionucléides dans le corps humain	0,35
Autres	≤ 0,1
Total	5,8

Tableau: Exposition de la population aux rayonnements ionisants en 2017; Radioprotection et surveillance de la radioactivité en Suisse, Résultats 2017, Office fédéral de la santé publique 2018, pages 84 et 85

Les rejets liquides des installations nucléaires suisses se situaient par ailleurs en dessous de la valeur cible de 1 GBq par année (sans tritium) fixée par l'IFSN sur la base de recommandations internationales. Comme le veulent les autorisations d'exploitations des centrales nucléaires, et en accord avec la pratique internationale, le tritium est limité séparément et doit être examiné en conséquence. La définition d'une valeur cible permet de s'assurer que les possibilités offertes par l'état de la science et de la technique sont vérifiées et appliquées sous forme de solutions techniques, pour autant qu'elles soient appropriées.

Au moyen d'inspections et de mesures comparatives, l'IFSN s'assure que les instruments de mesure servant à la radioprotection, calibrés ou étalonnés, sont disponibles et utilisés de manière conforme afin de déterminer des valeurs de mesure correctes. Pour ce faire, elle exploite un laboratoire d'essais accrédité selon ISO 17025.

Le réseau de mesure exploité par l'IFSN pour la surveillance automatique du débit de dose dans le voisinage des centrales nucléaires (MADUK) mesure toute l'année et 24 heures sur 24 le débit de dose au voisinage des centrales nucléaires. Les valeurs moyennes horaires, journalières et pour 10 minutes peuvent être consultées sur le site de l'IFSN en temps réel. Pour les autorités et vis-à-vis de l'opinion publique, ce réseau de mesure fait office de préservation de preuves. Durant l'année sous re-

vue, il n'a été recensé aucune valeur accrue de débit de dose local pouvant être attribuée à des rejets de centrales nucléaires. Certaines valeurs de mesure accrues au niveau local s'expliquent par des fluctuations du rayonnement naturel (bruit de fond), par exemple après des averses.

Depuis début 2016, le programme JRODOS (Java-based **R**ealtime **O**nline **D**ecisi**O**n **S**upport system) est employé pour la modélisation de la propagation atmosphérique et le calcul de dose en cas d'incident. JRODOS permet l'utilisation directe des données 3D de prévisions météorologiques provenant du modèle COSMO-1 systématiquement utilisé par MétéoSuisse avec un maillage de 1 km. Pour tenir compte de la structure paysagère à petite échelle de la Suisse et de l'espace du sud de l'Allemagne, JRODOS utilise le modèle altimétrique à résolution ultrafine (DHM25) de l'Office fédéral de topographie swisstopo. Avec ces ressources l'IFSN a ainsi à disposition des instruments utilisables, valable et précis pour l'évaluation actuelle (diagnostic) et la prévision de la situation radiologique, ainsi que pour la formulation de recommandation permettant décréter des mesures de protection pour la population. Ces instruments sont régulièrement testés lors d'exercices. En 2017, un exercice général d'urgence a été mené, cette fois avec la centrale nucléaire de Mühleberg. Y ont participé un grand nombre de partenaires de la protection en cas d'urgence, ainsi que des états-majors ou des points de contact des pays avoisinants et de l'AIEA. Dans sa fonction de conseil à l'Office fédéral de la protection de la population OFPP sur la nécessité de prendre des mesures de protection de la population, l'IFSN a employé l'instrument JRODOS de manière ponctuelle et appropriée. De façon générale, l'organisation d'urgence de l'IFSN s'est distinguée par un degré de performance élevé au regard de son mandat tel qu'il est décrit dans l'art. 9 de l'ordonnance sur la protection d'urgence.

Durant l'année sous revue, toutes les valeurs limites de l'ordonnance sur la radioprotection ont été respectées. Les centrales nucléaires n'ont connu aucun événement ayant conduit à une exposition non admissible au rayonnement pour le personnel ou la population. L'IFSN conclut que les centrales nucléaires suisses continuent de mener une radioprotection de bonne qualité en appliquant le principe d'optimisation de manière efficace.

Foreword

In this Radiological Protection Report 2017 the Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI provides an overview of radiological protection in its area of supervision. Part A of the report covers the protection of the staff of nuclear installations against the dangers of ionising radiation. It also includes a survey of the personal doses accumulated by the staff, broken down according to various parameters. Adhering to the obligation to optimise radiological protection, it has proven possible to significantly reduce the annual collective doses in Switzerland's nuclear power plants since they came on stream thanks to major efforts by both the operators and the authorities. During 2017 a total of 5586 classified persons (persons obliged to wear a personal dosimeter for work purposes) received 3478,4 man-mSv across all nuclear installations. The collective doses have reached a low level, commensurate with the radiological condition of the plants and the scope of the work required to be performed in controlled zones (e.g. non-destructive inspections). The increase in the value for the reporting year in comparison with the previous year, can be traced back to extra planned inspections and other activities in the radiation field in Leibstadt Nuclear Power Plant.

With a maximum amount of 14,2 mSv and a mean amount of 0,6 mSv, the individual doses for people employed in ENSI's area of supervision in 2017 was significantly below the dose limit of 20 mSv for classified workers subject to radiation exposure.

The discharge of radioactive substances in the exhaust air and waste water of nuclear power plants is dealt with in Part B of the report. In 2017, nuclear power plant operators have again complied with the release limits specified by the authorities, in some cases by considerable margins.

Based on highly conservative calculations, ENSI can confirm that the emissions of Swiss nuclear installations resulted in a dose of less than 0,007 mSv per year in the immediate surroundings. Comparison with the average annual radiation dose for the Swiss population of 5,8 mSv (see following table) shows that the contribution from nuclear installations is at most 0,1 percent of this figure.

Contribution	Dose (mSv per year)
Radon	3,2
Medical diagnostic	1,4
Terrestrial radiation	0,35
Cosmic radiation	0,4
Radionuclides in the human body	0,35
Other	≤ 0,1
Total	5,8

Table: Radiation exposure of the general population in Switzerland in 2017 [Strahlenexposition der Bevölkerung 2017; Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität in der Schweiz, Ergebnisse 2017, Bundesamt für Gesundheit 2018, pages 38 and 39]

Liquid discharges (excluding tritium) from Swiss nuclear power plants were also below the target value of 1 GBq per year set by ENSI on the basis of international recommendations. In line with internationally accepted practice, tritium is separately limited by the nuclear power plant licenses and monitored accordingly. The specification of a target value ensures that the possibilities available according to the latest state-of-the-art of science and technology are checked and incorporated in technical solutions as appropriate.

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

The network operated by ENSI for automatically monitoring the dose rate in the vicinity of nuclear power plants (MADUK), measures dose rates surrounding the plants all year round and 24 hours a day. The 10-minute, hourly and daily mean rates measured can be viewed on ENSI's website in real time. This monitoring network acts as a means to provide legal conservation of evidence both for the authorities and the public. No local increases in dose rates were detected in the reporting year that could be attributed to discharges from nuclear power plants. Sporadic, locally high measurements are due to fluctuations in natural background radiation, e.g. after rainfall.

The programme JRODOS (Java-based Realtime Online Decision Support system) has been used since the start of 2016 to model atmospheric spread and calculate the dose in the event of an incident. JRODOS allows the direct use of 3D weather forecast data from the COSMO-1 model that is routinely used by MeteoSwiss, the Swiss weather service, with a grid size of 1 km. In order to reflect the smallscale structure of the Swiss countryside and that of southern Germany, JRODOS uses the very high resolution elevation model (DHM25) from the Federal Office of Topography swisstopo. Consequently, ENSI has invaluable, precise instruments available at all times to make up-to-date assessments (diagnostics) and forecasts of the radiological situation which can be used to create recommendations for the implementation of actions to protect the general public. These instruments are regularly tested in exercises. In line with the schedule, an emergency exercise involving all emergency services was carried out at the Mühleberg Nuclear Power Plant in 2017. Many of the Swiss emergency partners participated in the exercise as did the staff or contact points from adjoining countries and the IAEA. ENSI used the JRODOS tool in a timely and correct manner to advise the Federal Office for Civil Protection BABS of the necessity of protective actions to safeguard the population. In total, the emergency organisation of ENSI in respect of its statutory mandate in accordance with Article 9 of the Emergency Preparedness Ordinance demonstrated a high level of performance.

In the reporting year all limits contained in the Federal Ordinance on Radiation Protection were met. There were no events in the nuclear installations leading to an inadmissible exposure of staff or population to radiation. ENSI concludes that Swiss nuclear installations continue to operate good radiological protection in which the optimisation principle is systematically applied.

Prefazione

Nel presente Rapporto di radioprotezione 2017 l'Ispettorato federale di sicurezza nucleare IFNS presenta una panoramica complessiva della radioprotezione nel proprio ambito di sorveglianza. La parte A del Rapporto tratta la tutela del personale degli impianti nucleari esposto ai pericoli delle radiazioni ionizzanti. Essa comprende, inoltre, la composizione delle dosi personali accumulate dal personale, suddivisa in base a diversi parametri. Applicando il principio di ottimizzazione, è stato possibile ridurre considerevolmente le dosi collettive annue nelle centrali nucleari della Svizzera dall'inizio del loro esercizio grazie ai notevoli sforzi dei gestori, ma anche grazie alle autorità. Nel 2017 negli impianti nucleari furono accumulati 3478,4 man-mSv su complessivamente 5586 persone soggette a dosimetria. Le dosi collettive hanno raggiunto un valore molto basso che corrisponde allo stato radiologico degli impianti come pure all'entità necessaria dei lavori nelle zone controllate (per es. prove non distruttive). L'aumento del valore per l'anno del Rapporto rispetto all'anno precedente è attribuibile ad uno sforzo supplementare e programmato per i controlli e per altre attività nel campo di radiazione nella centrale nucleare di Leibstadt.

Le dosi individuali delle persone occupate nell'ambito di sorveglianza dell'IFSN nel 2017 con un valore massimo di 14,2 mSv e un valore medio di 0,6 mSv risultano chiaramente inferiori al valore limite della dose di 20 mSv per le persone esposte professionalmente alle radiazioni.

Le emissioni di sostanze radioattive nell'aria e nelle acque di scarico provenienti dalle centrali nucleari sono trattate nella parte B del Rapporto. I gestori degli impianti nucleari hanno rispettato i limiti delle emissioni stabiliti dalle autorità anche nel 2017, in parte anche con margini considerevoli.

Con calcoli molto conservativi l'IFSN conferma che le emissioni delle centrali nucleari svizzere, rilevate nelle immediate vicinanze, si attestano su una dose appena inferiore a 0,007 mSv l'anno. Il confronto con la dose media annua di radiazioni assorbite dalla popolazione svizzera di 5,8 mSv l'anno (cfr. la tabella seguente) evidenzia che il contributo corrispondente proveniente dagli impianti nucleari è compreso al massimo entro lo 0,1 percento.

Contributo	Dose (mSv all'anno)
Radon	3,2
Diagnostica medica	1,4
Radiazioni terrestri	0,35
Radiazioni cosmiche	0,4
Radionuclidi nel corpo umano	0,35
Altro	≤ 0,1
Totale	5,8

Tabella: Esposizione della popolazione alle radiazioni ionizzanti nel 2017; Radioprotection et surveillance de la radioactivité en Suisse, Résultats 2017, Office fédéral de la santé publique 2018, pagine 84 e 85

I rilasci liquidi delle centrali nucleari svizzere sono risultati inferiori al valore prefissato stabilito dalle raccomandazioni internazionali dell'IFSN di 1 GBq l'anno (senza trizio). Il trizio deve essere considerato limitato separatamente e in modo conseguente, come è usuale a livello internazionale, in conformità alle autorizzazioni d'esercizio per impianti nucleari. La definizione di un valore prefissato garantisce che le possibilità dello stato della scienza e della tecnica siano verificate e attuate in modo proporzionale nelle soluzioni tecniche.

L'IFSN si convince, mediante ispezioni e misurazioni comparative, che sussistano gli strumenti necessari di misurazione della radioprotezione, ben calibrati e tarati, e che tali strumenti siano utilizzati in modo conforme all'uso previsto per determinare valori di misurazione corretti. L'IFSN gestisce a questo fine un laboratorio di prova accreditato in conformità alla norma ISO 17025.

La rete di misurazione gestita dall'IFSN per la sorveglianza automatica delle dosi nei dintorni delle centrali nucleari (MADUK) misura durante tutto l'anno, 24 ore al giorno, la dosimetria nei dintorni delle centrali nucleari. I valori medi giornalieri, orari e misurati a 10 minuti delle misurazioni sono riportati alla pagina internet dell'IFSN e sono richiamabili in tempo reale. Per le autorità e l'opinione pubblica questa rete di misurazione serve come raccolta di prove. Nell'anno del Rapporto non furono rilevati valori elevati delle dosi ambientali, imputabili ai rilasci delle centrali nucleari. I singoli valori di misurazione aumentati a livello locale, sono attribuibili a oscillazioni del fondo di radioattività naturale, ad esempio a seguito di piogge.

Dall'inizio del 2016 per il modello di propagazione nell'atmosfera e per la dosimetria in caso di emergenza si utilizza il programma JRODOS (Java-based Realtime Online DecisiOn Support system). JRODOS consente l'uso di dati meteorologici tridimensionali prognostici, tratti dal modello COSMO-1 utilizzato di routine da MeteoSvizzera con una lunghezza di maglia di 1 km. Per tenere conto della struttura del paesaggio della Svizzera e della Germania meridionale, caratterizzato da spazi ridotti, il sistema JRODOS utilizza il modello altimetrico ad alta risoluzione (DHM25) dell'Ufficio federale di topografia swisstopo. In questo modo l'IFSN dispone sempre di preziosi strumenti di precisione utilizzabili per una valutazione attuale (diagnosi) e una previsione della situazione radiologica e per l'elaborazione di raccomandazioni per l'adozione di misure di protezione per la popolazione. Questi strumenti sono testati regolarmente durante le esercitazioni. Secondo il turno, nel 2017 è stata eseguita un'esercitazione d'emergenza generale con la centrale nucleare di Mühleberg. All'esercitazione hanno partecipato numerosi partner della protezione d'emergenza della Svizzera; inoltre hanno partecipato stati maggiori o centri operativi esteri vicini come pure l'AIEA. Per la consulenza all'Ufficio federale della protezione della popolazione (UFPP) sulla necessità di misure protettive per la protezione della popolazione l'IFSN ha impiegato in modo tempestivo e adeguato il tool JRODOS. Nel complesso l'organizzazione d'emergenza dell'IFSN si distingue per la prestazione d'alto livello per quanto riguarda il suo mandato previsto dalla normativa in conformità all'Art. 9 dell'Ordinanza sulla protezione d'emergenza.

Nell'anno del Rapporto sono stati rispettati tutti i valori limite dell'Ordinanza sulla radioprotezione. Nelle centrali nucleari non si sono verificati eventi che abbiano provocato un'esposizione non ammessa del personale e della popolazione alle radiazioni. L'IFSN è giunto alla conclusione che nelle centrali nucleari svizzere viene esercitata una buona radioprotezione, in cui il principio di ottimizzazione è applicato in modo conforme.

A: Strahlenschutz in den Kernanlagen

Die anerkannten Personendosimetriestellen verwenden für die physikalische Überwachung der im Aufsichtsbereich des ENSI tätigen strahlenexponierten Personen Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD), Direct-Ion-Storage-Dosimeter (DIS) und Radio-Photo-Luminescence-Dosimeter (RPL).

Die Kernanlagen verwenden für die Planung der Revisionskollektivdosen EPD-Werte (EPD = elektronische Personendosimeter). Um die geplanten Revisionskollektivdosen mit den tatsächlich akkumulierten Revisionskollektivdosen zu vergleichen und die Ergebnisse nachvollziehbar zu bewerten, werden im Strahlenschutzbericht deshalb im Text wenn möglich nur EPD-Werte angegeben. Die Revisionskollektivdosen können nicht mit den anerkannten Dosimetern (üblicherweise TLD und DIS) gemessen werden, weil die Revisionsperiode nicht mit der Auswerteperiode der anerkannten Dosimeter übereinstimmt, die einen Monat beträgt und weil eine nachvollziehbare und korrekte Jobdosimetrie dank deren Programmierbarkeit nur mit elektronischen Dosimetern erfolgen kann.

Damit am Ende des Dosimetriejahres eine Gesamtkollektivdosis (Summe aus Leistungsbetriebs- und Revisionskollektivdosen) gebildet werden kann, müssen die EPD-Dosen aus physikalischen Gründen mit Hilfe eines Umrechnungsfaktors an die Werte der anerkannten Dosimeter angepasst werden. Es resultieren im Strahlenschutzbericht unterschiedliche Werte für die Revisionskollektivdosen, sie werden jeweils klar bezeichnet (EPD oder umgerechnete Werte).

Bei der Auswertung der Daten richtet sich das ENSI nach der «Empfehlung zur Rundung der Dosiswerte der anerkannten Personendosimetriestellen für die Meldung an die Kunden und an das Zentrale Dosisregister», die von der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz (KSR) im Jahr 2004 veröffentlicht wurde. Ab 1.1.2018 wurde diese Regelung zur Rundung von Dosiswerten in Art. 32 der Dosimetrieverordnung übernommen. Die Messwerte werden gemäss den international üblichen Rundungsregeln in 0,1 mSv-Schritten gerundet. Ferner werden im untersten Dosisbereich (kleiner als 0,1 mSv) Messwerte unterhalb von 0,075 mSv auf 0 gerundet. Messwerte zwischen 0,075 und 0,1 mSv werden auf 0,1 mSv gerundet. Fallweise können einzelne nicht dosisrelevante numerische Abweichungen zwischen den Auswertungen der Personendosimetriestellen und dem ENSI entstehen. Auch werden die von der Dosimetriestelle des PSI ermittelten Neutronendosen bei der Bestimmung der Ganzkörperdosen berücksichtigt, wenn sie Dosiswerte über der Nachweisgrenze von 0,2 mSv zeigen.

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

1 Kernkraftwerke

1.1 Kernkraftwerk Beznau (KKB)

Schutz des Personals

Im Berichtsjahr wurden im KKB 1 während des ganzjährig andauernden Stillstands verschiedene

Unterhaltsarbeiten durchgeführt. Im KKB 2 wurde eine rund 39-tägige Revisionsabstellung durchgeführt.

KKB 1

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv		
	2015	2016	2017
Brennelementwechsel			
Revisionsstillstand	834	441	79
Zwischenabstellungen			
Leistungsbetrieb	19		
Gesamte Jahreskollektivdosis	853	441	79

KKB 2

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv		
	2015	2016	2017
Brennelementwechsel		26	
Revisionsstillstand	342		247
Zwischenabstellung			
Leistungsbetrieb	32	63	56
Gesamte Jahreskollektivdosis	374	89	303

KKB 1 und 2

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv		
	2015	2016	2017
Revisionsstillstand und BE-Wechsel	1176	467	326
Leistungsbetrieb	51	63	56
Gesamte Jahreskollektivdosis	1227	530	382

Im Kalenderjahr 2017 wurde in den beiden Blöcken des KKB von 1230 dosimetrisch überwachten Personen eine Kollektivdosis von 382 Pers.-mSv verzeichnet. Die höchste im KKB registrierte Individualdosis betrug 5,8 mSv (2016: 8,5 mSv) und lag deutlich unterhalb des Dosisgrenzwerts der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Es wurden keine Personenkontaminationen, die nicht mit herkömmlichen Mitteln entfernt werden konnten, festgestellt. Weder beim Eigenpersonal noch beim Fremdpersonal wurde eine nachweisbare Inkorporation oberhalb der Triageschwelle festgestellt.

Der Block 1 wurde am 13. März 2015 für einen geplanten Revisionsstillstand abgefahren. Das Abfahren der Anlage verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Aufgrund der Komplexität bei der Charakterisierung und Bewertung der Befunde im Grundmaterial des Reaktordruckbehälters (RDB) musste das Wiederanfahren mehrfach verschoben werden, so auch im Berichtsjahr. Daher blieb Block 1 im gesamten Berichtsjahr im Stillstand. Details dazu finden sich im Aufsichtsbericht des ENSI. Während des ganzjährigen Stillstands wurden wenige strahlenschutzrelevante Revisionsarbeiten durchgeführt. Im Februar wurde die RDB-Plattie-

rung im Bereich des Ringes B am Druckgefäss visuell überprüft. Im März wurden Vorbereitungsarbeiten zum Anfahren des Blocks 1 durchgeführt, im Berichtsjahr wurde Block 1 aber nicht angefahren. Die akkumulierte Kollektivdosis für die Revisionsabstellung des Blocks 1 im Berichtsjahr betrug 79 Pers.-mSv (mit elektronischen Dosimetern ermittelt und auf DIS-Werte normiert). Im Vergleich zur Plandosis von 110 Pers.-mSv (aufaddiert aus mehreren eingereichten Strahlenschutzplanungen, wobei manche Arbeiten im Berichtsjahr noch nicht abgeschlossen waren, wie z. B. die Beladung des Reaktors mit Brennelementen, die Schliessung des Reaktors, der Rückbau der Abschirmungen und die Endreinigungen), liegt das Gesamtergebnis im Rahmen der Prognosegenauigkeit von $\pm 20\%$.

Aufgrund des anhaltenden Stillstands des Reaktors hat sich die radiologische Situation seit den Abstellarbeiten im Jahr 2015 nur wenig geändert. Die Dosisleistungen an den unbehandelten Komponenten waren aufgrund des radioaktiven Zerfalls messbar niedriger als im Frühjahr 2015. Bezüglich des Kontaminationszustands, insbesondere der nuklidspezifischen Zusammensetzung, ergab sich keine bedeutende Veränderung gegenüber dem Vorjahr.

Die im Jahr 2015 aufgebauten Standardabschirmungen blieben auch im Jahr 2017 installiert. Im Durchschnitt konnte die ODL im Arbeitsbereich um den Faktor 3,5 gesenkt werden. Vereinzelt wurden deutlich höhere Abschirmfaktoren erreicht.

Block 2 wurde planmässig am 18. August 2017 für die Revision abgestellt. Das Abfahren verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Nach einer Stillstandsdauer von 39 Tagen wurde der Leistungsbetrieb am 27. September 2017 wieder aufgenommen.

Die Ortsdosisleistungen an den Komponenten des Primärkreislaufs haben sich im Vergleich zum Vorjahr, mit Ausnahme der Closure Legs und des RDB-Deckels, nicht signifikant verändert. An den Closure Legs stieg die ODL im Mittel um 8% an. Sie beträgt für das Closure Leg A ca. 1,1 mSv/h und für die B-Seite ca. 1,4 mSv/h. Die Dosisleistung auf der Innenseite des Reaktor-druckbehälterdeckels liegt bei 11,8 mSv/h und ist gegenüber den Werten des Vorjahres um 53,3% angestiegen. Der Deckel wurde im Jahr 2015 ersetzt. Die ODL an den Dampferzeugern ist im Vergleich zum Vorjahr um ca. 0,5% gestiegen und liegt mit ca. 0,13 mSv/h auf sehr niedrigem Niveau.

Bei der Oberflächenkontamination lag der niedrigste Wert für das Verhältnis von Beta/Gamma zu

Alpha in der Reaktorgrube bei 250:1, im Mittel lagen die Verhältnisse in der Reaktorgrube nach der Reinigung bei 2000:1. An den Teilen des Primärkreislaufs sind die Verhältnisse sehr inhomogen, sie lagen zwischen 60 und 35000:1. Die Nuklidzusammensetzung der Kontaminationen bestand grösstenteils aus ^{51}Cr und ^{60}Co . Teilweise wurde auch ^{95}Nb und ^{95}Zr in relevanten Mengen detektiert. In niedrigen Konzentrationen wurden auch andere kurzlebige Aktivierungsprodukte wie ^{54}Mn , ^{58}Co und ^{124}Sb nachgewiesen.

Die mit elektronischen Personendosimetern ermittelte und auf DIS-Werte normierte Kollektivdosis für die Revisionsabstellung betrug 247 Pers.-mSv. Im Vergleich zur Plandosis von 279 Pers.-mSv, lag das Gesamtergebnis 12% unter den Planungswerten. Für viele Arbeiten konnte die Planungs-dosis aufgrund von günstigen Bedingungen (z. B. niedrige radiologische Werte des Beckenwassers) sowie aufgrund des reibungslosen Ablaufs der Arbeiten (Zeitersparnis) unterschritten werden. Die Gründe für Abweichungen der tatsächlich akkumulierten Dosen von den geplanten Werten konnten vom KKB nachvollziehbar dargelegt werden.

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

Strahlenschutzinstrumentierung

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

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 Bundesamt für Gesundheit (BAG) durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Iodfiltern 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 erbrachte

die Dosimetriestelle des KKB den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten.

1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)

Schutz des Personals

Im Berichtsjahr wurden im KKG für rund 1300 beruflich strahlenexponierte Personen folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Werte aus dem Jahr 2016):

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv	
	2016	2017
Revisionsstillstand	350	206
Leistungsbetrieb	89	79
Gesamte Jahreskollektivdosis	439	285

Im Kalenderjahr 2017 belief sich die Kollektivdosis im KKG auf 284,9 Pers.-mSv. Die höchste im KKG registrierte Individualdosis betrug 4,3 mSv (2016: 8,2 mSv). Der Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr wurde somit deutlich unterschritten. Es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, die sich nicht mit einfachen Mitteln entfernen liessen. Es sind keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle aufgetreten.

Zwischen dem 4. und 29. Juni 2017 war die Anlage wie geplant für die jährliche Revision abgestellt. Bei den Arbeiten während des Revisionsstillstands wurden 256 Pers.-mSv akkumuliert (mittels EPD gemessen); geplant waren 339 Pers.-mSv (EPD). Somit wurde der Dosisplanwert um ca. 24% unterschritten.

Während des Ziehens des RDB-Deckels wurde wie in den Vorjahren der Aufenthalt im Containment auf diejenigen Personen begrenzt, die für die Ausführung der entsprechenden Tätigkeiten benötigt wurden. Wegen des nach wie vor im Primärkreislauf enthaltenen Trampurans (siehe ENSI-Strahlenschutzbericht 2010) konnten erhöhte Iod-Konzentrationen in der Raumluft während dieser Tätigkeit nicht ganz ausgeschlossen werden. Als Folge davon wurde eine temporäre Zutrittsbeschränkung eingeführt.

Die kontinuierliche Überwachung der Luftkontamination in den Betriebsräumen des Containments zeigte beim Öffnen des Primärkreises Anstiege der Konzentrationen von ⁶⁰Co (max. 0,08 CA), ¹³²I (max. 0,001 CA) und von Edelgasen (max. 0,002 CA). Von ¹³¹I wurden keine nennenswerten Aktivitätskonzentrationen gemessen. Dies ist auf die zurückliegenden

defektfreien Betriebszyklen zurückzuführen. Bereits wenige Stunden nach dem Anheben des RDB-Deckels sank die Luftkontamination an ¹³²I aufgrund der erweiterten Spülluftkapazität unter die Nachweisgrenze von 0,1 Bq/m³. Andere luftgetragene Aktivitäten (insb. ⁶⁰Co und ¹³¹I) waren zu diesem Zeitpunkt bereits nicht mehr vorhanden.

Nach dem Abfahren der Anlage präsentierte sich die kontrollierte Zone in einem radiologisch und konventionell sauberen Zustand. Der Kontaminationsgrad der kontrollierten Zone blieb auch weiterhin während der Revision niedrig.

Seit Beginn der Zinkdosierung im Jahr 2005 nahm die Dosisleistung an Primärkreislaufkomponenten im Mittel um ca. 70% ab. Die mittlere Dosisleistung an diesen Komponenten nahm gegenüber 2016 um etwa 8% ab. Im Innenbereich des Reaktordeckels betrug die Dosisleistung 60 mSv/h und sie war somit im Vergleich zum Wert im Jahr 2006 (280 mSv/h) rund 80% tiefer.

Als Beispiele für strahlenschutzrelevante Arbeiten können Brennelement-Servicearbeiten, Zerstörungsfreie Prüfungen, das Öffnen und Schliessen des Reaktordruckbehälters, die Reaktorgrubenreinigung, Inneninspektionen von Volumenausgleichs- und Abblasebehältern und Dekontaminationsarbeiten erwähnt werden.

Insgesamt wurden in der kontrollierten Zone für Abschirmungen zur Begrenzung der externen Strahlenexposition rund 24 Mg Blei verwendet. Für die Schweissarbeiten in Zusammenhang mit dem Austausch eines Rohrleitungsstücks wurde vorzeitig und ausserhalb der kontrollierten Zone an einem Mock-up geübt.

Für die drei Arbeiten mit Öffnen des Reaktordruckbehälters (inklusive Vorbereitung und Beladen), Schliessen des Reaktordruckbehälters und mit der Reaktorgrubenreinigung wurden detaillierte Dosis-schätzungen erstellt, die mit geringen, aber nachvollziehbaren Abweichungen eingehalten wurden. Andere strahlenschutzrelevante Arbeiten konnten grundsätzlich mit tieferen Kollektivdosen als geplant abgeschlossen werden. Als Grund für die tieferen Job- und Kollektivdosen können auch die Zinkeinspeisungen und die laufenden Optimierungsanstrengungen des KKG-Strahlenschutzes erwähnt werden.

Die Präsenz des Strahlenschutzes war rund um die Uhr gewährleistet und dieser konnte somit die Arbeiten vor Ort überwachen und begleiten. Die Verstärkung durch externes Fachpersonal trug zu einer günstigen radiologischen Situation sowie zu tieferen Individual-, Job- und Kollektivdosen bei.

Bei seinen Inspektionen konnte sich das ENSI davon überzeugen, dass im KKG die Strahlenschutzplanung und -vorbereitung sowie die Kontrolle und Begleitung der Arbeiten durch das Strahlenschutzpersonal wirksam betrieben wurden. Das Verhalten des Personals in den eingerichteten Zonen und an deren Übergängen war diszipliniert und strahlenschutzkonform.

Strahlenschutzinstrumentierung

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

Am 1. März 2017 fiel ein Monitor zur Überwachung der radioaktiven Edelgase in der Kaminfortluft aufgrund eines Kontaktproblems im Sicherungshalter für rund 1,5 Stunden aus. Trotz dieses Vorkommnisses war die Überwachung der radioaktiven Edelgase in der Fortluft während der gesamten Zeit durch den zweiten Edelgasmonitor gewährleistet.

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 Iodfiltern 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 erbrachte die Dosimetriestelle des KKG den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten.

1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)

Schutz des Personals

Im Berichtsjahr wurden im KKL für 2245 beruflich strahlenexponierte Personen folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Zahlen aus dem Jahr 2016):

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv	
	2016	2017
Revisionsstillstand	915	1871
Leistungsbetrieb	310	257
Gesamte Jahreskollektivdosis	1225	2128

Im Berichtsjahr belief sich die im KKL akkumulierte Kollektivdosis auf 2128 Pers.-mSv (DIS-Dosen). Die höchste registrierte Jahresindividualdosis betrug 12,6 mSv (2016: 10,0 mSv). Alle Individualdosen lagen deutlich unter dem Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Die ursprüngliche Dosisprognose für die geplante Jahreshauptrevision 2017 ergab 1700 Pers.-mSv, tatsächlich wurde in dieser Zeit eine Kollektivdosis von 1621 Pers.-mSv (EPD-Wert) akkumuliert, was innerhalb der Planungsungenauigkeit von $\pm 20\%$ liegt.

Während des 33. Zyklus sowie während den Brennelementinspektionen wurden keine Hinweise auf Brennelementdefekte festgestellt, die zum Austritt von radioaktiven Stoffen aus den Hüllrohren in das Reaktorkühlmittel geführt haben. Es wurde im Berichtsjahr während des Abfahrens kein Iod-Peak festgestellt.

Das KKL beendete aufgrund der Dryout-Analysen den verlängerten Stillstand 2016 erst am 19. Januar 2017. Die geplante Jahreshauptrevision (JHR) im 2017 begann am 18. September und dauerte bis am 7. November 2017. Ab diesem Zeitpunkt befand sich die Anlage bis am 18. Dezember aufgrund von Problemen mit der Qualitätssicherung der neuen Brennelemente erneut in einem verlängerten Stillstand. Die detaillierten Gründe dafür sind im Aufsichtsbericht des ENSI dargelegt.

Der radiologische Zustand im Primärteil der Anlage veränderte sich im Vergleich zum Vorjahr unwesentlich und kann als gut bezeichnet werden. Die getroffenen Massnahmen beim Revisionsstillstand der Anlage führten in den Räumen des Abfahrkühlsystems (RHR) zu einer Stabilisierung oder sogar zu einer Abnahme der Dosisleistung. Der jeweils zum Zeitpunkt «Abfahren» ermittelte Dosisleistungsmittelwert an den Rezirkulationsschleifen lag mit 1,7 mSv/h leicht unter dem Wert des Vorjahrs (1,9 mSv/h).

Es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, die sich nicht mit einfachen Mitteln entfernen liessen. Im Mittel lagen die an den Vor- und Endmonitoren am Zonenausgang gemessenen Personenkontaminationen bezogen auf die Anzahl Austritte im Bereich von 5%. Dies entspricht den strikten betriebsinternen Vorgaben des KKL. Es war eine Inkorporation von radioaktiven Stoffen oberhalb der Triageschwelle zu verzeichnen. Die resultierende Folgedosis E_{50} lag bei 0,175 mSv.

Die Kollektivdosisplanungen der einzelnen Jobs sind in vielen Fällen sehr gut ausgefallen; es wurden oft nur geringe, nachvollziehbare Abweichungen von den geplanten Werten festgestellt.

Gemäss den Meldekriterien entsprechend der Richtlinien ENSI-B03 und ENSI-G15 wurden dem ENSI vor der Revision mehrere Dosisplanungen für Arbeiten mit erwarteten Kollektivdosen von über 50 Pers.-mSv eingereicht. So wurden etwa für die Prüfungen der Längs- und Rundschweissnähte des RDB 172 Pers.-mSv akkumuliert bei prognostizierten 170 Pers.-mSv. Allerdings konnten die Prüfungen aus technischen Gründen nicht wie geplant abgeschlossen werden. Auch stellte das ENSI fest, dass das eingesetzte Fremdpersonal vorgängig nicht ausreichend an einem Mock-up trainiert hatte, wodurch die zugrunde gelegten Planwerte nicht eingehalten werden konnten. Die ausstehenden Schweissnahtprüfungen müssen während der JHR 2018 nachgeholt werden. Diese Arbeiten wurden vom ENSI in Bezug auf den operationellen Arbeitsschutz mit einer Auflage belegt, wonach das Training am Mock-up detailliert nachzuweisen ist. Das ENSI stellte im Rahmen seiner Inspektionstätigkeit fest, dass im KKL ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz praktiziert wird. Die Erfassung und Analyse von Personenkontaminationen an den Endmonitoren und die darauf basierende Einleitung von Optimierungsmassnahmen bewertete das ENSI als gute Praxis (G), weil das Gebot der Optimierung gemäss Art. 4 StSV und die Implementierung des ALARA-Prinzips gemäss IAEA-Safety-Series No. 115 und ICRP-Veröffentlichung 103 konsequent und vorbildlich umgesetzt wurden.

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKL wurde im Rahmen von Inspektionen und Fachgesprächen vom ENSI stichprobenweise überprüft. Des Weiteren überzeugte sich das ENSI anhand der eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Vor-Ort-Kontrollen davon, 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 Iodfiltern 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 erbrachte die Dosimetriestelle des KKL den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten.

1.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)

Schutz des Personals

Im Berichtsjahr wurden im KKM für 1069 beruflich strahlenexponierte Personen folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Zahlen aus dem Jahr 2016):

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv	
	2016	2017
Revisionsstillstand	399	465
Leistungsbetrieb	264	196
Gesamte Jahreskollektivdosis	664	661

Im Berichtsjahr belief sich die Kollektivdosis im KKM auf 661 Pers.-mSv (mittels TLD erfasst). Die höchste ermittelte Individualdosis betrug 8,1 mSv (2016: 7,2 mSv). Der in der Strahlenschutzverordnung festgelegte Jahreshgrenzwert von 20 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen wurde somit deutlich unterschritten. Im Berichtszeitraum traten weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle auf. Das KKM hat im Berichtsjahr die in den Vorjahren etablierte wasserchemische Fahrweise mit Zink-, Edelmetall- und Wasserstoff-Einspeisung fortgesetzt. Der Mittelwert aus insgesamt 30 Dosisleistungsmessungen an verschiedenen Stellen an den beiden Umwälzschleifen lag bei 1,98 mSv/h. Im Vergleich zum Vorjahr stieg somit die Dosisleistung

um rund 53 % an (2016: 1,30 mSv/h). Die Ursache für den Dosisleistungsanstieg ist zum aktuellen Zeitpunkt unbekannt. Es wird jedoch vermutet, dass sie mit dem zeitweisen Ausfall eines von zwei Elektrolyseuren zu tun haben könnte.

Die Auswertung der Messergebnisse aus dem Primärkühlmittel zeigte, dass der Kern in diesem Betriebszyklus defektfrei war. Das allgemeine Kontaminationsniveau innerhalb der Anlage lag im internationalen Vergleich auf einem tiefen Niveau. Vom 13. August bis 6. September 2017 war die Anlage für die geplante Jahresrevision abgestellt. Mit 608,1 Pers.-mSv (EPD) lag die Kollektivdosis aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern im Revisionsstillstand 2017 etwa 10% höher als der vom KKM vor Beginn der Arbeiten geschätzte Wert von 547 Pers.-mSv. Der KKM-Strahlenschutz erklärt den Unterschied mit erhöhtem Arbeitsaufwand bei verschiedenen Tätigkeiten im Strahlenfeld. Zudem muss das höhere Dosisleistungsniveau an den Umwälzschleifen im Drywell mit in Betracht gezogen werden. Die durchschnittliche Dosisleistung an den Frischdampfleitungen ging nach dem Anstieg von 2016 wieder zurück. Die Dosisabschätzung lag aber im anerkannten Toleranzbereich.

Für die Revision 2017 waren keine Arbeiten mit Kollektivdosen von mehr als 50 Pers.-mSv geplant, was die Meldung einer ausführlichen Strahlenschutzplanung zuhanden des ENSI zur Folge gehabt hätte.

Das KKM verfügt über qualifiziertes und erfahrenes Eigenpersonal, um die radiologische Überwachung während einer Jahresrevision effizient ausführen zu können. Grundsätzlich kann das KKM eine grosse Anzahl erfahrener und mit der Anlage vertrauter Personen aus dem Bereich des Fremdpersonals einsetzen. Im Berichtsjahr wurden die Auswirkungen des kleiner werdenden Marktes beim Strahlenschutzpersonal spürbar, was zu einer höher als gewohnten Neupersonal-Quote führte. Dieses Personal wurde gut integriert, wodurch jederzeit ein adäquater Strahlenschutz gewährleistet wurde. Das KKM konnte unter anderem auf die Unterstützung eines anderen KKW zurückgreifen, welches zwei erfahrene Mitarbeiter zur Unterstützung zur Verfügung stellte.

Das Verhalten der in der kontrollierten Zone arbeitenden Personen war bei den verschiedenen Inspektionen des ENSI immer korrekt.

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKM wurde im Rahmen von Inspektionen und Fachge-

sprächen vom ENSI stichprobenweise überprüft. Des Weiteren überzeugte sich das ENSI anhand der eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Kontrollen davon, dass die regelmässigen Überprüfungen der Messgeräte durch das Kraftwerkspersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Am 25. September 2017 fiel ein Messsystem zur Überwachung der Kaminfortluft hinsichtlich radioaktiver Aerosole und Iod-Isotope für rund 2,5 Stunden aus. Die Ursache für dieses Vorkommnis war eine defekte Probenahmepumpe, die nach einem Aerosolfilterwechsel nicht mehr ordnungsgemäss in Betrieb genommen werden konnte. Trotz dieses Vorkommnisses war die Überwachung der radioaktiven Aerosole und Iod-Isotope in der Fortluft während der gesamten Zeit durch ein zweites Messsystem gewährleistet.

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 Iodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKM.
- An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie erbrachte die Dosimetriestelle des KKM den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten.

2 Weitere Kernanlagen

2.1 Paul Scherrer Institut (PSI)

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

Im Jahr 2017 akkumulierten die 1830 beruflich strahlenexponierten Personen des PSI eine Kollektivdosis von 42,2 Pers.-mSv (2016: 64,1 Pers.-mSv für 1716 Personen). Davon stammen 3,5 Pers.-mSv aus dem Aufsichtsbereich des ENSI mit 372 beruflich strahlenexponierten Personen (2016: 10,7 Pers.-mSv für 343 Personen) bei einer höchsten Individualdosis von 0,7 mSv (2016: 1,4 mSv).

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

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des PSI wurde im Rahmen mehrerer Inspektionen und Fachgespräche vom ENSI stichprobenweise überprüft. Des Weiteren überzeugte sich das ENSI anhand der eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Vor-Ort-Kontrollen davon, dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Im Berichtsjahr erteilte das ENSI die Inbetriebnahmefreigabe für die erneuerten ortsfesten Dosisleistungsmessgeräte im DIORIT. Der Ersatz erfolgte, weil der Gerätehersteller keine Ersatzteile mehr für die alten Messgeräte bereitstellte.

Am 24. Oktober und am 27. November 2017 wurde die Hotlabor-Fortluft-Strangüberwachung aufgrund technischer Störungen für je rund 18 Tage ausser Betrieb genommen. Das Messsystem dient zur Überwachung und Bilanzierung der radioaktiven Aerosole in der Fortluft des Hotlabors. Da

der Hotlabor-Fortluftstrang in den Hochkamin geleitet wird, war mit der Hochkamin-Fortluftüberwachung PSI-Ost trotz der Vorkommnisse die Überwachung der Abgaben an die Umwelt zu jedem Zeitpunkt gewährleistet. Die Ursache für die Vorkommnisse war im ersten Fall eine nicht korrekt eingesetzte Filterschublade und im zweiten Fall schien das Schliessen der Filterschublade den Alpha-/Beta-Detektor beschädigt zu haben.

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

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des PSI.
- An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie erbrachte die Dosimetriestelle des PSI den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten.

2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)

Im Jahr 2017 akkumulierten im ZZL 202 beruflich strahlenexponierte Personen eine Kollektivdosis von 18,5 Pers.-mSv. Sie lag damit bei 80% des für das Berichtsjahr geplanten Wertes von 23,1 Pers.-mSv. Ein Grund für die Unterschreitung der geplanten Dosis liegt in der Tatsache, dass einige Arbeiten in Bezug auf die Jobdosis schwer vorherzusagen waren. Werden dann noch nach KSR-Empfehlung viele kleine Dosen unterhalb von 0,075 mSv abgerundet, so kann sich eine Diskrepanz zur Planungs-dosis ergeben.

Die höchste registrierte Einzeldosis betrug 1,9 mSv (2016: 1,0 mSv). Im Berichtsjahr wurden weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle festgestellt. Die durch den Strahlenschutz regelmässig erhobenen Proben zeigten mit einer Ausnahme weder auf den

Oberflächen noch in der Atemluft Hinweise auf unzulässige Kontaminationen. In einem Fall kam es zu einer geringfügigen Kontamination, weil sich aufgrund einer mechanischen Behandlung eines kontaminierten Bauteils feine Partikel von der Oberfläche gelöst und sich grossflächig verteilt hatten. Der betroffene Bereich wurde abgesperrt, dekontaminiert und es wurden Korrekturmassnahmen abgeleitet. Zu den strahlenschutzrelevanten Arbeiten im Berichtsjahr mit signifikanten Beiträgen zur Kollektivdosis zählten unter anderem die Arbeiten an der Ausmauerung der Plasma-Anlage, die Instandhaltungsarbeiten, der Behälterempfang sowie der Verbrennungsbetrieb.

Der Betrieb der Plasma-Anlage, welcher erfolgreich zur Endkonditionierung brennbarer und schmelzbarer radioaktiver Abfälle führt, umfasste im Jahr 2017 zwei Kampagnen. Die erste dauerte vom 18. April bis 7. Juli. Es wurden 660 Fässer verarbeitet. Während der zweiten Kampagne vom 25. September bis 15. Dezember wurden 709 Fässer verarbeitet. In beiden Kampagnen konnte die Vorgabe von 550 zu verarbeitenden Fässern deutlich übertroffen werden.

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

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des ZZL wurde im Rahmen von Inspektionen und Fachgesprächen vom ENSI stichprobenweise überprüft. Des Weiteren überzeugte sich das ENSI anhand der eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Kontrollen davon, dass die regelmässigen Überprüfungen der Messgeräte durch das Personal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

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

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

2.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

Die Kernanlage der EPFL umfasst den Forschungsreaktor CROCUS, das Neutronenexperiment CARROUSEL, die Neutronenquellenkavität LOTUS und die angegliederten Labors. Diese Anlagen sind dem Laboratoire de physique des Réacteurs et de comportement des Systèmes (LRS) zugeteilt, das dem Institut de Physique (IPHY) angehört. Im Jahr 2017 stand der CROCUS-Reaktor Ingenieur- und Physik-Studentinnen und Studenten der EPFL, Kursteilnehmerinnen und Kursteilnehmern der Reaktorschule des PSI und Studentinnen und Studenten des Swiss Nuclear Engineering Masterkurses der ETHZ/EPFL während 201,9 Stunden bei kleiner Leistung (bis 50 W) für Ausbildungs- und Forschungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 364,05 Wh thermische Energie erzeugt. Der Brennstoff des Reaktors wurde im Berichtsjahr anlässlich einer zweijährlichen Kontrollinspektion in Anwesenheit des ENSI überprüft. Das Experiment CARROUSEL wurde für Praktika verwendet.

Die 13 beruflich strahlenexponierten Personen der EPFL haben eine Kollektivdosis von 0,3 Pers.-mSv akkumuliert. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend. Im November 2017 führte das ENSI seine Jahresinspektion durch. 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 2017 vollumfänglich eingehalten wurden.

2.4 Universität Basel

Der Forschungsreaktor AGN-211-P des Departments für Physik und Astronomie der Universität Basel diente vorwiegend der Ausbildung von Studentinnen und Studenten und der Anwendung in Kursen der Neutronenaktivierungsanalytik (NAA). Im Jahr 2015 wurde der Brennstoff des Forschungsreaktors erfolgreich in die USA zurückgeführt. Ein weiterer Betrieb ist somit nicht mehr möglich. Die Universität Basel setzte den Abtransport des Kernbrennstoffs mit der endgültigen Ausserbetriebnahme des Reaktors gleich. Daher wurde der Eigentümer laut Kernenergiegesetzgebung stilllegungspflichtig. Das Stilllegungsprojekt wurde anfangs 2017 eingereicht und wird von den Behörden überprüft.

Die im Reaktorraum gelagerten radioaktiven Quellen befinden sich nicht mehr im Aufsichtsbereich des ENSI, sondern in demjenigen des BAG.

Die drei beruflich strahlenexponierten Personen des Eigen- und die 13 Personen des Fremdpersonals haben im Berichtsjahr während des Normalbetriebs Dosen akkumuliert, die unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und den Abwasserpfad war unbedeutend.

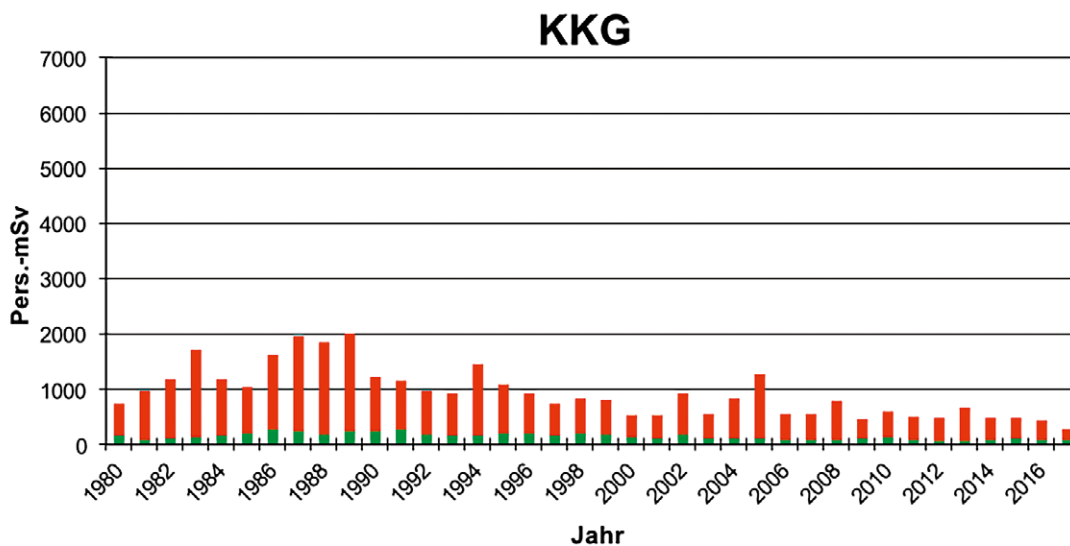
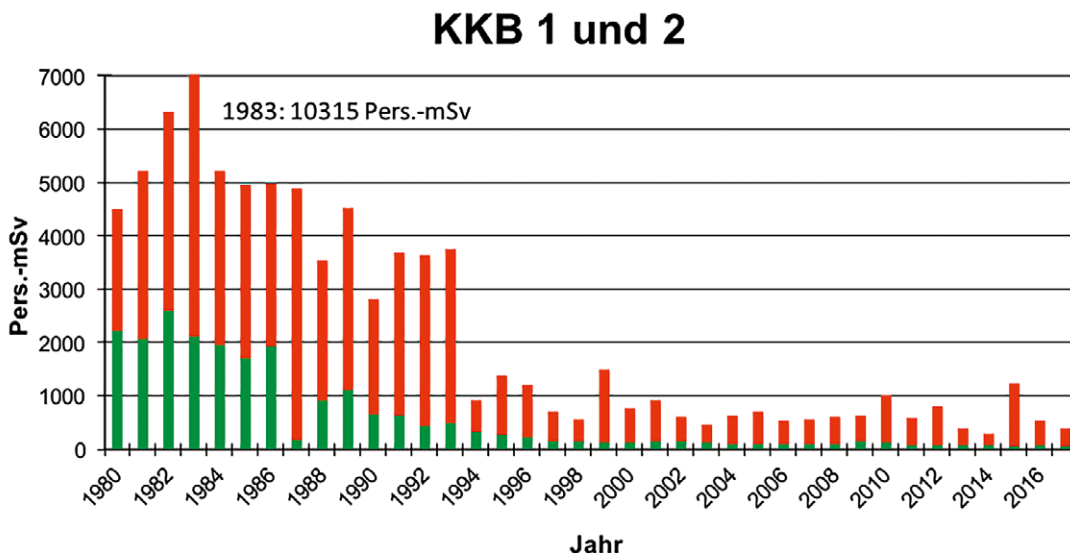
Das ENSI stellte fest, dass die vorgegebenen Betriebsbedingungen und die Vorschriften zum Strahlenschutz für das Personal und die Umwelt im Jahr 2017 eingehalten wurden.

3 Grafische Darstellungen

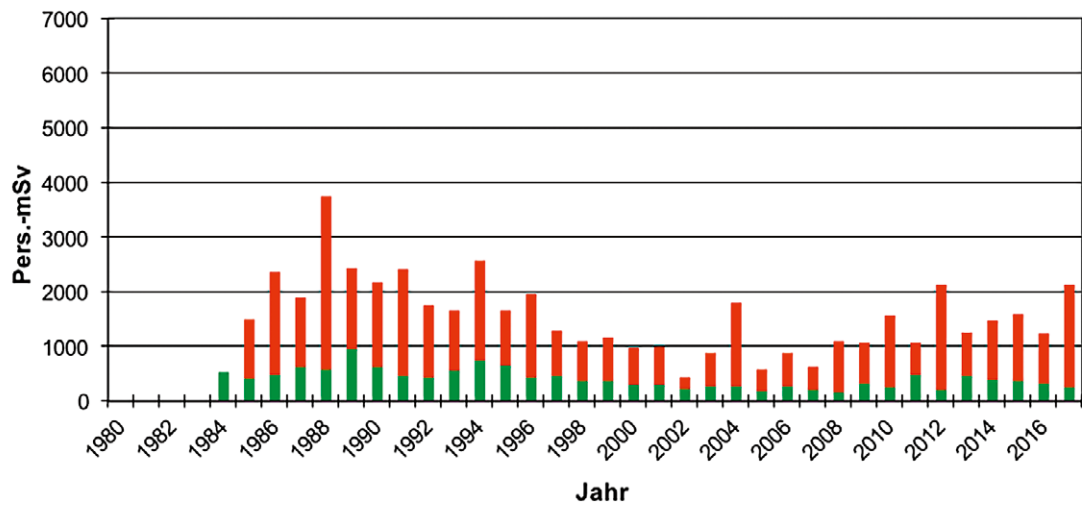
In der Darstellung A.1 sind die Jahreskollektivdosen der Kernkraftwerke seit 1980 enthalten. Die Darstellung A.2 zeigt den Verlauf der Anzahl Personen mit einer beruflichen Lebensdosis von mehr als 200 mSv.

Darstellung A.3 gibt die Kollektivdosen in den Kernkraftwerken, im ZZL und im PSI seit Inbetriebnahme der Anlagen wieder. Die Anzahl Personen kann den Tabellen A.1 und A.20 entnommen werden.

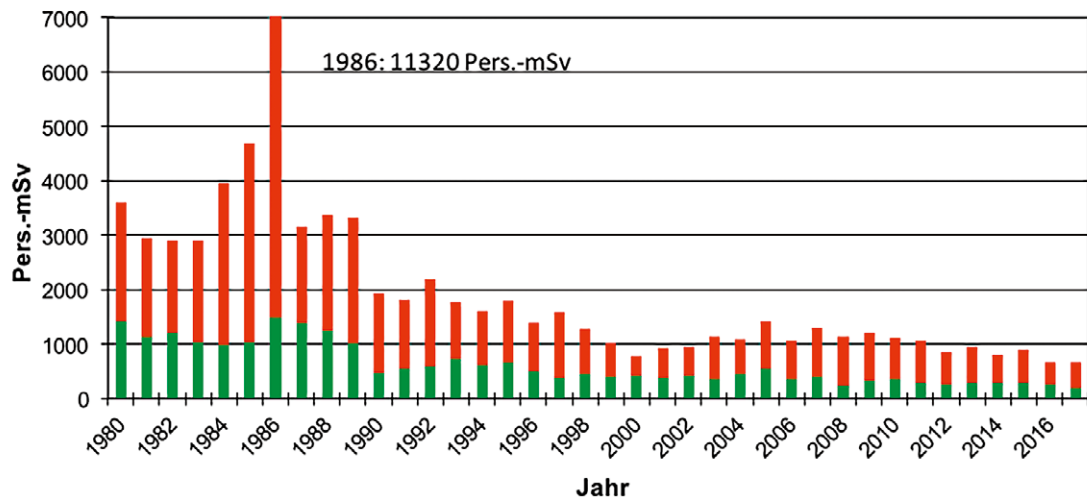
Darstellung A.1: Jahreskollektivdosen (Pers.-mSv) der Kernkraftwerke von 1980 bis 2017. Rot bezeichnet sind die Daten aus den Revisionsstillständen, grün diejenigen aus dem Leistungsbetrieb.



KKL



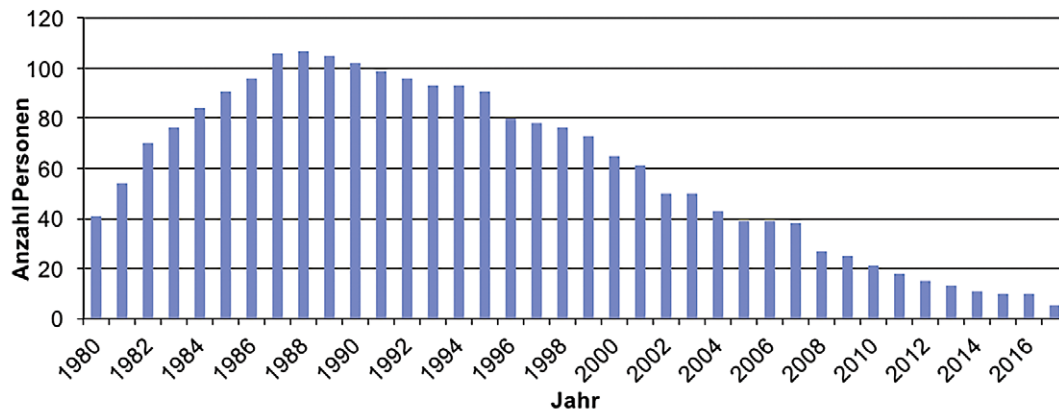
KKM



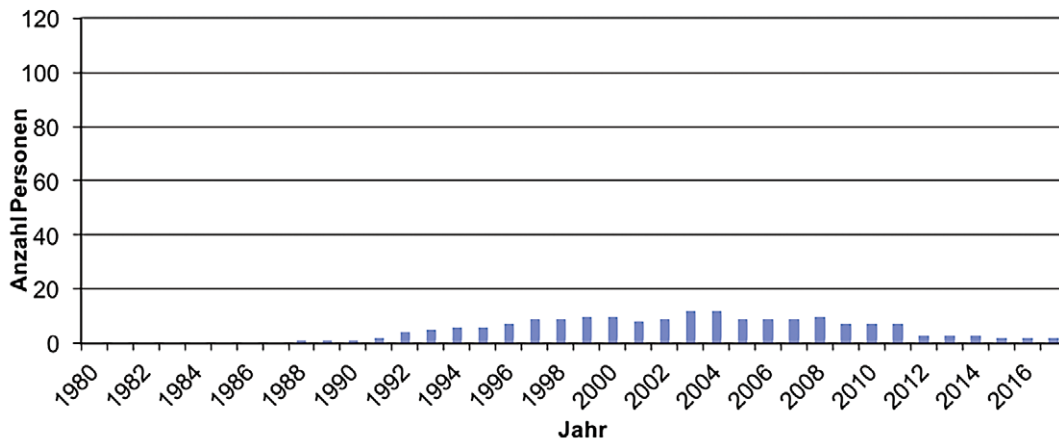
Darstellung A.2:

Anzahl Personen mit einer beruflichen Lebensdosis über 200 mSv, Kernkraftwerke, 1980 bis 2017

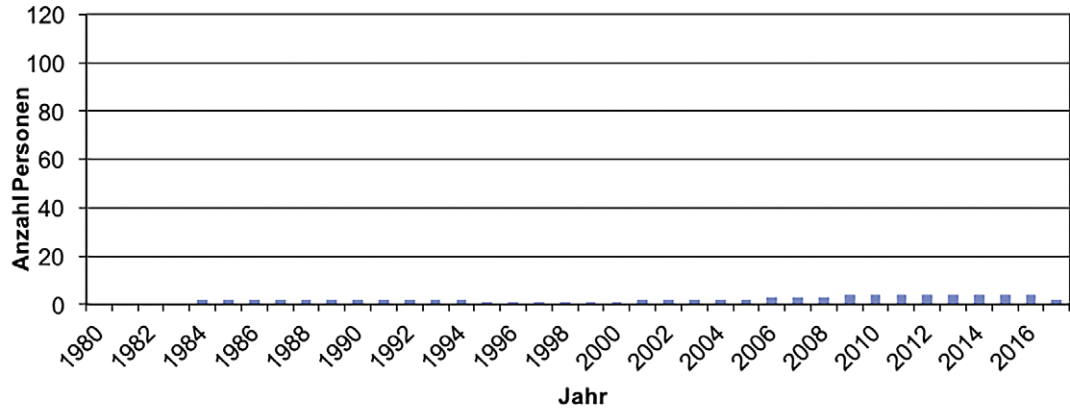
KKB 1 und 2



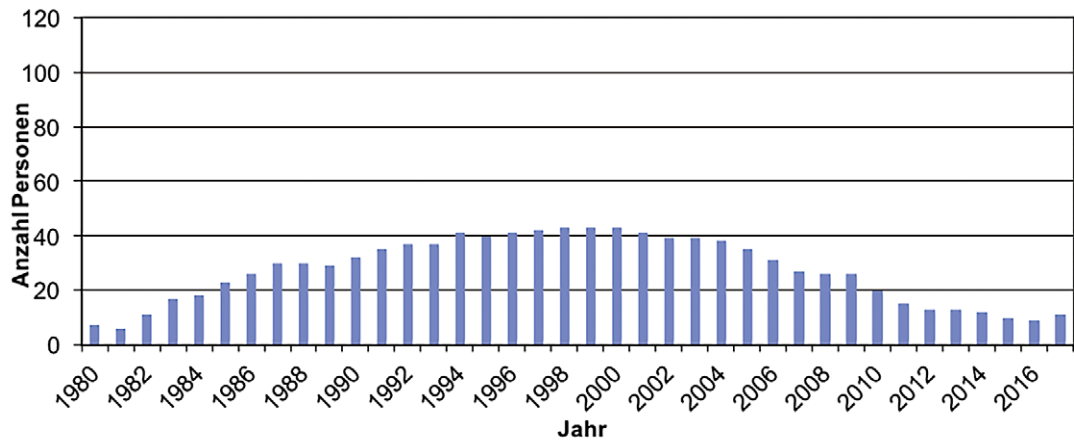
KKG



KKL

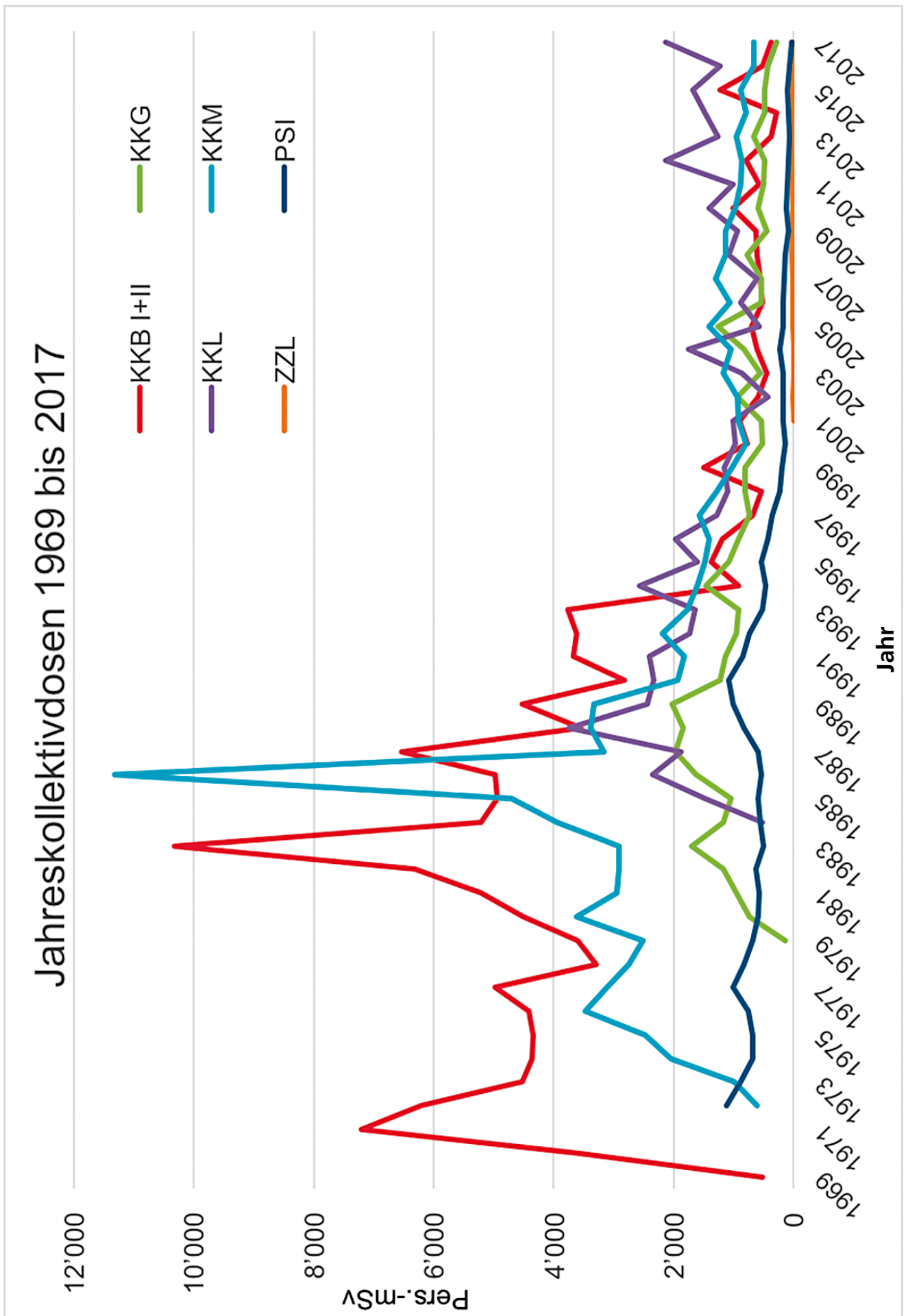


KKM



Darstellung A.3:

Entwicklung der Kollektivdosen (Pers.-mSv) in den Kernanlagen von 1969 bis 2017



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 1994 bildet die Strahlenschutzverordnung die gesetzliche Grundlage zur Überwachung des beruflich und des nichtberuflich strahlenexponierten Personals in der Schweiz. Die Richtlinie ENSI-B09 «Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen» regelt technische Details über die Form und den Umgang mit den zu meldenden Individualdosen und arbeitsspezifischen Kollektivdosen. Aufgabe des ENSI ist es, die Angaben aus den einzelnen Anlagen kritisch zu prüfen, auszuwerten und entsprechend den Vorgaben der Strahlenschutzverordnung an das zentrale Dosisregister beim BAG weiterzuleiten.

Die Strahlenschutzverordnung schreibt vor, dass die maximale Exposition jeder beruflich strahlenexponierten Person 20 mSv pro Jahr nicht überschreiten darf. In der Richtlinie ENSI-B03 «Meldungen der Kernanlagen» wird festgelegt, dass für geplante Stillstände oder Arbeiten mit einer erwarteten Jobdosis von über 50 Pers.-mSv die ausgearbeiteten Planungen rechtzeitig der Aufsichtsbehörde vorgelegt werden müssen. Das ENSI prüft die eingereichten Strahlenschutzplanungen. Damit wird auch ein Beitrag zu der in der Strahlenschutzverordnung verlangten Optimierung der radiologischen Schutzmassnahmen geleistet.

In der Richtlinie ENSI-G15 «Strahlenschutzziele für Kernanlagen» ist für die jährliche Kollektivdosis einer Anlageneinheit (Block) ein Zielwert 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 die Personendosimetriestelle des KKB diese Aufgabe. Die Neutronendosimeter wer-

den für alle Anlagen von der Dosimetriestelle des PSI ausgewertet.

4.2 Personendosimetrie

Das dosimetrierte Personal in den Kernanlagen wird in zwei Kategorien eingeteilt: Es sind dies das Eigenpersonal (EP) und das Fremdpersonal (FP). Es kommt vor, dass Eigenpersonal aus dem Überwachungsbereich einer Personendosimetriestelle vorübergehend in den Überwachungsbereich einer anderen Personendosimetriestelle wechselt und dort als Fremdpersonal geführt wird. Durch die Regelungen in der Richtlinie ENSI-B09 werden die akkumulierten Dosen dieser zwischen den Kernanlagen wechselnden Personen einerseits als Eigenpersonal-Dosen der einen Anlage und andererseits als Fremdpersonal-Dosen der anderen Anlage gemeldet. Da in diesen Fällen beide Dosimetriestellen dieselben Dosen melden, führt dies zu einer doppelten Verbuchung. Anhand der individuellen Dosismeldungen werden solche Doppelverbuchungen vom ENSI bereinigt. Dadurch und durch die in der Einleitung zum Teil A erwähnten Rundungen können sich in den nachfolgenden Tabellen numerische Unterschiede ergeben. Beispielsweise muss die Anzahl der gemeldeten, eine Dosis akkumulierenden Personen aus den einzelnen Kraftwerken nicht immer der Gesamtsumme an Personen entsprechen. Ein Grund liegt in möglichen mehrfachen Besuchen von Anlagen durch dieselbe Person.

Für das Jahr 2017 haben die fünf vom ENSI anerkannten Personendosimetriestellen (KKB, KKG, KKL, KKM und PSI) insgesamt 5586 beruflich strahlenexponierte Personen mit einer Kollektivdosis von 3478,4 Pers.-mSv gemeldet (Mehrfachbuchungen bereinigt). Die an den Hochschulen verwendeten Dosimeter werden für die EPFL vom Institut Universitaire de Radiophysique Appliquée (IRA) und für die Universität Basel von der Suva ausgewertet. Die Meldungen der Dosimetriestelle des PSI umfassen Dosen, die sowohl in Anlagen aus dem Aufsichtsbereich des BAG als auch in Anlagen aus dem Aufsichtsbereich dem ENSI akkumuliert wurden. Die vom PSI für alle Anlagen der Schweiz zur Verfügung

gestellten und ausgewerteten Neutronen-Dosimeter des Typs PADC (siehe auch Tabelle A.15) werden im Aufsichtsbereich des ENSI von den einzelnen Personendosimetriestellen abgegeben und die Resultate ebendort entsprechend verbucht.

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

Tabelle A.1: Zusammenfassung der Kollektivdosen in den schweizerischen Kernanlagen, 2017, Eigen- und Fremdpersonal. Der Wert beim PSI umfasst auch den Aufsichtsbereich des BAG.

Kernanlage	Anzahl überwachte Personen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
KKB 1 und 2	1230	382.4
KKG	1313	284.9
KKL	2245	2128.0
KKM	1069	660.8
ZZL	194	18.5
PSI gesamt	373	3.5
Hochschulen (EPFL und Uni Basel)	29	0.3
Aufsichtsbereich des ENSI	5586	3478.4

Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen

Tabelle A.2a: Anzahl der beruflich strahlenexponierten Personen in Kernkraftwerken aufgeschlüsselt nach Dosisbereich

Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
0.0– 1.0	390	716	1106	466	762	1228	400	1287	1687	246	607	853	1496	2638	4134
> 1.0– 2.0	30	51	81	17	42	59	40	143	183	50	78	128	139	282	421
> 2.0– 5.0	13	27	40	16	10	26	49	220	269	28	45	73	105	311	416
> 5.0–10.0	2	1	3				12	88	100	4	11	15	19	109	128
> 10.0–15.0							1	5	6				1	8	9
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total Personen	435	795	1230	499	814	1313	502	1743	2245	328	741	1069	1760	3348	5108
Mittel pro Person [mSv]	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.7	1.0	0.9	0.7	0.6	0.6	0.5	0.8	0.6

Personal, das in mehreren Anlagen eingesetzt wurde, wird unter «Total KKW» nur einmal gezählt. In allen Anlagen wurden TL- oder DIS-Dosimeter benutzt. Individualdosen können sich aus den in verschiedenen Anlagen akkumulierten Dosen zusammensetzen.

Tabelle A.2b: Anzahl der beruflich strahlenexponierten Personen in weiteren Kern- und Forschungsanlagen, aufgeschlüsselt nach Dosisbereich

Dosisbereich [mSv]	PSI			Hochschulen ¹⁾	Total Forschung	ZZL			Total KKW	Total Kernanlagen und Forschung
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP		
0.0– 1.0	274	99	373	29	402	73	115	188	4134	4607
> 1.0– 2.0						4	2	6	421	425
> 2.0– 5.0									416	417
> 5.0–10.0									128	128
> 10.0–15.0									9	9
> 15.0–20.0										
> 20.0–50.0										
> 50.0										
Total Personen	274	99	373	29	402	77	117	194	5108	5586
Mittel pro Person [mSv]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.7	0.6

Personal, das in mehreren Anlagen eingesetzt wurde, wird unter «Total KKW» nur einmal gezählt. Durch die Addition von in verschiedenen Kernanlagen akkumulierten Individualdosen verändern sich die Personenzahlen in einzelnen Dosisintervallen. Individualdosen können sich aus den in verschiedenen Anlagen akkumulierten Dosen zusammensetzen.

Unter «PSI» und «Total Kernanlagen und Forschung» wird jeweils nur der Beitrag aus dem Aufsichtsbereich des ENSI gezählt.

¹⁾ Hochschulen: EPF Lausanne und Universität Basel

Kollektivdosis pro Dosisbereich der beruflich strahlenexponierten Personen

Tabelle A.3a: Kollektivdosen [Pers.-mSv] in Kernkraftwerken, aufgeschlüsselt nach Dosisbereich sowie die höchste erfasste Einzeldosis

Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
0.0– 1.0	46.3	88.7	135.0	36.1	88.3	124.4	54.5	183.3	237.8	41.5	122.0	163.5	177.3	396.5	573.8
> 1.0– 2.0	43.4	74.9	118.3	26.3	64.6	90.9	58.6	206.4	265.0	72.3	112.1	184.4	203.6	414.2	617.8
> 2.0– 5.0	36.4	76.3	112.7	42.6	27.0	69.6	155.3	731.3	886.6	90.6	135.8	226.4	321.6	1002.1	1323.7
> 5.0–10.0	10.6	5.8	16.4				73.8	595.0	668.8	21.3	65.2	86.5	111.5	724.0	835.5
> 10.0–15.0							10.7	59.1	69.8				10.7	94.6	105.3
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total [Pers.-mSv]	136.7	245.7	382.4	105.0	179.9	284.9	352.9	1775.1	2128.0	225.7	435.1	660.8	824.7	2631.4	3456.1
Höchste Einzeldosis [mSv]	5.5	5.8	5.8	3.9	4.3	4.3	10.7	12.6	12.6	5.7	8.1	8.1	10.7	14.2	14.2

Tabelle A.3b: Kollektivdosen [Pers.-mSv] in weiteren Kern- und Forschungsanlagen, aufgeschlüsselt nach Dosisbereich sowie die höchste erfasste Einzeldosis

Dosisbereich [mSv]	PSI			Hochschulen ¹⁾	Total Forschung	ZZL			Total KKW	Total Kernanlagen und Forschung
	EP	FP	EP+FP			EP+FP				
0.0– 1.0	2.7	0.8	3.5	0.3	3.8	7.6	2.5	10.1	573.8	585.9
> 1.0– 2.0						5.4	3.0	8.4	617.8	624.1
> 2.0– 5.0									1323.7	1327.6
> 5.0–10.0									835.5	835.5
> 10.0–15.0									105.3	105.3
> 15.0–20.0										
> 20.0–50.0										
> 50.0										
Total [Pers.-mSv]	2.7	0.8	3.5	0.3	3.8	13.0	5.5	18.5	3456.1	3478.4
Höchste Einzeldosis [mSv]	0.5	0.7	0.7	0.3	0.7	1.8	1.9	1.9	14.2	14.2

Durch die Addition von in verschiedenen Kernanlagen akkumulierten Individualdosen verändern sich die Personenzahlen in einzelnen Dosisintervallen. Unter «PSI» und «Total Kernanlagen und Forschung» wird jeweils nur der Beitrag aus dem Aufsichtsbereich des ENSI gezählt.

¹⁾ Hochschulen: EPF Lausanne und Universität Basel

Verteilung der beruflichen Lebensdosis des Eigenpersonals

Tabelle A.4a: Kernanlagen und PSI¹, Anzahl Personen, Lebensdosisbereiche in mSv

Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM	KKW Total	PSI	ZZL	Kernanlagen und PSI Total
> 100–150	16	1	9	17	43	3	0	46
> 150–200	5	3	5	6	19	2		21
> 200–250	3	1	2	6	12	1		13
> 250–300	1	1		1	3			3
> 300–350	1			3	4			4
> 350–400				1	1			1
> 400–450								
> 450–500								
> 500–550								
> 550–600								
> 600								
Total Personen	26	6	16	34	82	6	0	88

¹⁾ Aufsichtsbereich des BAG miteinbezogen.

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

Tabelle A.4b: Kernanlagen und PSI¹, Einteilung in Altersklassen, Anzahl Personen, Lebensdosisbereiche in mSv

Dosisbereich [mSv]	21–30 Jahre	31–40 Jahre	41–50 Jahre	51–60 Jahre	> 60 Jahre	Kernanlagen und PSI Total
> 100–150			5	34	7	46
> 150–200				11	10	21
> 200–250			2	8	3	13
> 250–300				2	1	3
> 300–350				3	1	4
> 350–400					1	1
> 400–450						
> 450–500						
> 500–550						
> 550–600						
> 600						
Total Personen			7	58	23	88

¹⁾ Aufsichtsbereich des BAG miteinbezogen.

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

Anzahl Personen, Dosismittelwerte sowie Kollektivdosen, aufgeschlüsselt nach Dosisbereich, aufgeteilt nach Alter und Geschlecht

Tabelle A.5a: Kernanlagen und Forschung (PSI¹, EPFL, Uni Basel), Eigen- und Fremdpersonal, Anzahl Personen, Dosisbereiche in mSv

Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
0.0– 1.0	15	2	72	3	548	47	909	81	1023	83	1320	61	431	12	4607
> 1.0– 2.0			4		37	1	111	2	100	1	138	1	29	1	425
> 2.0– 5.0	2		4		60		100		99	1	136		15		417
> 5.0–10.0					26		33	1	34		28		6		128
> 10.0–15.0					1		4		1		2		1		9
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total Personen	17	2	80	3	672	48	1157	84	1257	85	1624	62	482	13	5586
Mittel pro Person [mSv]	0.45	0.00	0.34	0.00	0.75	0.04	0.76	0.20	0.67	0.09	0.62	0.03	0.37	0.11	0.62
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	7.6	0.0	27.1	0.0	506.8	1.8	880.5	16.5	840.6	7.6	1010.3	2.1	176.1	1.4	3478.4

¹⁾ Aufsichtsbereich des BAG miteinbezogen

Tabelle A.5b: Forschung (PSI¹, EPFL, Uni Basel), Eigen- und Fremdpersonal, Anzahl Personen, Dosisbereiche in mSv

Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
0.0– 1.0		1	6		44	18	62	29	65	30	85	25	33	4	402
> 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	6		44	18	62	29	65	30	85	25	33	4	402
Mittel pro Person [mSv]		0.00	0.00		0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.01
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.0	0.0		0.0	0.0	1.2	0.0	0.8	0.0	0.9	0.0	0.9	0.0	3.8

¹⁾ Aufsichtsbereich des BAG miteinbezogen

Anzahl Personen, Dosismittelwerte sowie Kollektivdosen, aufgeschlüsselt nach Dosisbereich, aufgeteilt nach Alter und Geschlecht

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

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	3			11		14	2	54	5	105	6	160	5	25	
> 1.0– 2.0				1		3		4		9		12		1		30
> 2.0– 5.0						2				4		7				13
> 5.0–10.0								1		1						2
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		3		12		19	2	59	5	119	6	179	5	26		435
Mittel pro Person [mSv]		0.00		0.18		0.67	0.00	0.33	0.00	0.38	0.08	0.30	0.04	0.08		0.31
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.0		2.2		12.7	0.0	19.5	0.0	45.8	0.5	53.7	0.2	2.1		136.7

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	2			5	1	88	1	158	4	175	10	207	3	61	
> 1.0– 2.0						9		19		12		10		1		51
> 2.0– 5.0						10		8		6		3				27
> 5.0–10.0								1								1
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		2		5	1	107	1	186	4	193	10	220	3	62	1	795
Mittel pro Person [mSv]		0.00		0.06	0.00	0.50	0.00	0.44	0.00	0.30	0.00	0.21	0.00	0.14	0.00	0.31
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.0		0.3	0.0	53.7	0.0	81.0	0.0	57.1	0.0	45.1	0.0	8.5	0.0	245.7

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	5			16	1	102	3	212	9	280	16	367	8	86	
> 1.0– 2.0				1		12		23		21		22		2		81
> 2.0– 5.0						12		8		10		10				40
> 5.0–10.0								2		1						3
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		5		17	1	126	3	245	9	312	16	399	8	88	1	1230
Mittel pro Person [mSv]		0.00		0.15	0.00	0.53	0.00	0.41	0.00	0.33	0.03	0.25	0.03	0.12	0.00	0.31
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.0		2.5	0.0	66.4	0.0	100.5	0.0	102.9	0.5	98.8	0.2	10.6	0.0	382.4

Anzahl Personen, Dosismittelwerte sowie Kollektivdosen, aufgeschlüsselt nach Dosisbereich, aufgeteilt nach Alter und Geschlecht

Tabelle A.7: Kernkraftwerk Gösgen (KKG), Anzahl Personen

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	2	1	1		18	6	103	9	133	16	120	10	47		
> 1.0– 2.0							5		7		5				17	
> 2.0– 5.0							6		9		1				16	
> 5.0–10.0																
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	2	1	1		18	6	114	9	149	16	126	10	47		499	
Mittel pro Person [mSv]	0	0.00	0.00		0.09	0.00	0.29	0.02	0.35	0.01	0.13	0.00	0.03		0.21	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0	0.0	0.0		1.7	0.0	32.7	0.2	52.2	0.1	16.8	0.0	1.3		105.0	

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0				3	1	85	2	172	10	154	8	250	5	70	
> 1.0– 2.0						5		14		5		14		4		42
> 2.0– 5.0						1		5		1		2		1		10
> 5.0–10.0																
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen				3	1	91	2	191	10	160	8	266	5	75	2	814
Mittel pro Person [mSv]				0.20	0.00	0.29	0.00	0.30	0.03	0.17	0.03	0.19	0.00	0.21	0.00	0.22
Kollektivdosis [Pers.-mSv]				0.6		26.0	0.0	57.9	0.3	27.6	0.2	51.6	0.0	15.7	0.0	179.9

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	2	1	4	1	103	8	275	19	287	24	370	15	117	2	
> 1.0– 2.0					5		19		12		19		4		59	
> 2.0– 5.0					1		11		10		3		1		26	
> 5.0–10.0																
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	2	1	4	1	109	8	305	19	309	24	392	15	122	2	1313	
Mittel pro Person [mSv]	0.00	0.00	0.15	0.00	0.25	0.00	0.30	0.03	0.26	0.01	0.17	0.00	0.14	0.00	0.22	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.6		27.7		90.6	0.5	79.8	0.3	68.4	0.0	17.0	0.0	284.9	

Anzahl Personen, Dosismittelwerte sowie Kollektivdosen, aufgeschlüsselt nach Dosisbereich, aufgeteilt nach Alter und Geschlecht

Tabelle A.8: Kernkraftwerk Leibstadt (KKL), Anzahl Personen

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	3			5	1	16	2	79	10	102	3	116	11	51	
> 1.0– 2.0								11		13	1	9		6		40
> 2.0– 5.0						2		11		22		11		3		49
> 5.0–10.0								5		2		4		1		12
> 10.0–15.0								1								1
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		3		5	1	18	2	107	10	139	4	140	11	61	1	502
Mittel pro Person [mSv]		0.03		0.28	0.00	0.56	0.00	1.03	0.13	0.83	0.35	0.60	0.05	0.49	0.00	0.70
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.1		1.4	0.0	10.1	0.0	109.8	1.3	114.9	1.4	83.5	0.5	29.9	0.0	352.9

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	5			37		244	13	271	5	267	12	335	6	91	
> 1.0– 2.0				3		15	1	37	1	37		43		5	1	143
> 2.0– 5.0	2			4		37		56		42	1	71		7		220
> 5.0–10.0						17		18	1	24		25		3		88
> 10.0–15.0						1		2				1		1		5
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		7		44		314	14	384	7	370	13	475	6	107	2	1743
Mittel pro Person [mSv]		1.07		0.47		0.98	0.12	1.14	1.74	1.09	0.38	1.08	0.03	0.63	0.70	1.02
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		7.5		20.7		306.7	1.7	437.1	12.2	402.2	4.9	512.6	0.2	67.9	1.4	1775.1

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	8			42	1	260	15	350	15	369	15	451	17	142	
> 1.0– 2.0				3		15	1	48	1	50	1	52		11	1	183
> 2.0– 5.0	2			4		39		67		64	1	82		10		269
> 5.0–10.0						17		23	1	26		29		4		100
> 10.0–15.0						1		3				1		1		6
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		10		49	1	332	16	491	17	509	17	615	17	168	3	2245
Mittel pro Person [mSv]		0.76		0.45	0.00	0.95	0.11	1.11	0.79	1.02	0.37	0.97	0.04	0.58	0.47	0.95
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		7.6		22.1	0.0	316.8	1.7	546.9	13.5	517.1	6.3	596.1	0.7	97.8	1.4	2128.0

Anzahl Personen, Dosismittelwerte sowie Kollektivdosen, aufgeschlüsselt nach Dosisbereich, aufgeteilt nach Alter und Geschlecht

Tabelle A.9: Kernkraftwerk Mühleberg (KKM), Anzahl Personen

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0						29	2	32	5	54	4	85		33	
> 1.0– 2.0						3		7	1	10		24	1	4		50
> 2.0– 5.0								2		8		16		2		28
> 5.0–10.0								1		3						4
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen						32	2	42	6	75	4	125	1	39	2	328
Mittel pro Person [mSv]						0.22	0.00	0.73	0.25	0.88	0.05	0.84	1.20	0.37	0.00	0.69
Kollektivdosis [Pers.-mSv]						7.0	0.0	30.6	1.5	66.2	0.2	104.6	1.2	14.4	0.0	225.7

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	1			4		69	1	129	7	136	8	175	3	71	
> 1.0– 2.0						6		22		14		31		5		78
> 2.0– 5.0						10		9		8		17		1		45
> 5.0–10.0						5		4						2		11
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	1			4		90	1	164	7	158	8	223	3	79	3	741
Mittel pro Person [mSv]	0.00			0.48		0.95	0.10	0.66	0.10	0.43	0.04	0.61	0.00	0.43	0.00	0.59
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0			1.9		85.4	0.1	108.5	0.7	67.9	0.3	136.4	0.0	33.9	0.0	435.1

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	1			4		98	3	161	12	190	12	260	3	104	
> 1.0– 2.0						9		29	1	24		55	1	9		128
> 2.0– 5.0						10		11		16		33		3		73
> 5.0–10.0						5		5		3				2		15
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	1			4		122	3	206	13	233	12	348	4	118	5	1069
Mittel pro Person [mSv]	0.00			0.48		0.76	0.03	0.68	0.17	0.58	0.04	0.69	0.30	0.41	0.00	0.62
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0			1.9		92.4	0.1	139.1	2.2	134.1	0.5	241.0	1.2	48.3	0.0	660.8

Anzahl Personen, Dosismittelwerte sowie Kollektivdosen, aufgeschlüsselt nach Dosisbereich, aufgeteilt nach Alter und Geschlecht

Tabelle A.10: Total aller Kernkraftwerke, Anzahl Personen

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	8	1	17	1	76	12	266	29	392	29	480	26	156	3	
> 1.0– 2.0			1		6		28	1	39	1	51	1	11		139	
> 2.0– 5.0					4		19		42		35		5		105	
> 5.0–10.0							7		7		4		1		19	
> 10.0–15.0							1								1	
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	8	1	18	1	86	12	321	30	480	30	570	27	173	3	1760	
Mittel pro Person [mSv]	0.01	0.00	0.20	0.00	0.37	0.00	0.60	0.10	0.59	0.08	0.46	0.07	0.28	0.00	0.47	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.1		3.6	0.0	31.5	0.0	193.2	3.0	281.9	2.3	259.5	1.9	47.7	0.0	824.7	

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	7		47	2	412	17	563	20	552	25	734	11	243	5	
> 1.0– 2.0			3		31	1	83	1	59		85		18	1	282	
> 2.0– 5.0	2		4		56		81		57	1	100		10		311	
> 5.0–10.0					26		26	1	27		24		5		109	
> 10.0–15.0					1		3		1		2		1		8	
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	9		54	2	526	18	756	22	696	26	945	11	277	6	3348	
Mittel pro Person [mSv]	0.83		0.44	0.00	0.90	0.10	0.91	0.59	0.79	0.20	0.78	0.02	0.46	0.23	0.79	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	7.5	0.0	23.5	0.0	475.2	1.8	684.2	12.9	551.5	5.3	740.8	0.2	127.1	1.4	2631.4	

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	15	1	64	3	488	29	829	49	944	54	1214	37	399	8	
> 1.0– 2.0			4		37	1	111	2	98	1	136	1	29	1	421	
> 2.0– 5.0	2		4		60		100		99	1	135		15		416	
> 5.0–10.0					26		33	1	34		28		6		128	
> 10.0–15.0					1		4		1		2		1		9	
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	17	1	72	3	612	30	1077	52	1176	56	1515	38	450	9	5108	
Mittel pro Person [mSv]	0.45	0	0.38	0.00	0.83	0.06	0.81	0.31	0.71	0.14	0.66	0.06	0.39	0.16	0.68	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	7.6		27.1	0.0	506.7	1.8	877.4	15.9	833.4	7.6	1000.3	2.1	174.8	1.4	3456.1	

Anzahl Personen, Dosismittelwerte sowie Kollektivdosen, aufgeschlüsselt nach Dosisbereich, aufgeteilt nach Alter und Geschlecht

Tabelle A.11: Zentrales Zwischenlager (ZZL), Anzahl Personen

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0				1		3		13	2	25	2	25		2	
> 1.0– 2.0										2		2				4
> 2.0– 5.0																
> 5.0–10.0																
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen				1		3		13	2	27	2	27		2		77
Mittel pro Person [mSv]				0.00		0.00		0.11	0.00	0.22	0.00	0.21		0.00		0.17
Kollektivdosis [Pers.-mSv]				0.0		0.0		1.4	0.0	6.0	0.0	5.6		0.0		13.0

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0				3		17	1	23	3	23	1	36	2	5	
> 1.0– 2.0												2				2
> 2.0– 5.0																
> 5.0–10.0																
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen				3		17	1	23	3	23	1	38	2	5	1	117
Mittel pro Person [mSv]				0.00		0.01	0.00	0.05	0.00	0.02	0.00	0.09	0.00	0.08	0.00	0.05
Kollektivdosis [Pers.-mSv]				0.0		0.1	0.0	1.1	0.0	0.4	0.0	3.5	0.0	0.4	0.0	5.5

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0				4		20	1	36	5	48	3	61	2	7	
> 1.0– 2.0										2		4				6
> 2.0– 5.0																
> 5.0–10.0																
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen				4		20	1	36	5	50	3	65	2	7	1	194
Mittel pro Person [mSv]				0.00		0.01	0.00	0.07	0.00	0.13	0.00	0.14	0.00	0.06	0.00	0.10
Kollektivdosis [Pers.-mSv]				0.0		0.1	0.0	2.5	0.0	6.4	0.0	9.1	0.0	0.4	0.0	18.5

Anzahl Personen, Dosismittelwerte sowie Kollektivdosen, aufgeschlüsselt nach Dosisbereich, aufgeteilt nach Alter und Geschlecht

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

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	8	1	18	1	79	12	279	31	417	31	503	26	158	3	
> 1.0– 2.0			1		6		28	1	41	1	52	1	11		142	
> 2.0– 5.0					4		19		42		38		5		108	
> 5.0–10.0							7		7		4		1		19	
> 10.0–15.0							1								1	
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	8	1	19	1	89	12	334	32	507	32	597	27	175	3	1837	
Mittel pro Person [mSv]	0.01	0.00	0.19	0.00	0.35	0.00	0.58	0.09	0.57	0.07	0.45	0.07	0.27	0.00	0.46	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.1	0.0	3.6	0.0	31.5	0.0	194.6	3.0	288.6	2.3	271.5	1.9	47.7	0.0	844.8	

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	7		49	2	426	18	576	22	551	25	747	11	246	5	
> 1.0– 2.0			3		31	1	83	1	59		86		18	1	283	
> 2.0– 5.0	2		4		56		81		57	1	98		10		309	
> 5.0–10.0					26		26	1	27		24		5		109	
> 10.0–15.0					1		3		1		2		1		8	
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	9		56	2	540	19	769	24	695	26	957	11	280	6	3394	
Mittel pro Person [mSv]	0.83		0.42	0.00	0.88	0.09	0.89	0.54	0.79	0.20	0.77	0.02	0.46	0.23	0.77	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	7.5		23.5	0.0	475.3	1.8	685.3	12.9	551.2	5.3	737.9	0.2	127.5	1.4	2629.8	

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	15	1	67	3	505	30	855	53	968	56	1250	37	404	8	
> 1.0– 2.0			4		37	1	111	2	100	1	138	1	29	1	425	
> 2.0– 5.0	2		4		60		100		99	1	136		15		417	
> 5.0–10.0					26		33	1	34		28		6		128	
> 10.0–15.0					1		4		1		2		1		9	
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	17	1	75	3	629	31	1103	56	1202	58	1554	38	455	9	5231	
Mittel pro Person [mSv]	0.45	0.00	0.36	0.00	0.81	0.06	0.80	0.28	0.70	0.13	0.65	0.06	0.39	0.16	0.66	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	7.6	0.0	27.1	0.0	506.8	1.8	879.9	15.9	839.8	7.6	1009.4	2.1	175.2	1.4	3474.6	

Verteilung der Anzahl Personen des Eigen- und Fremdpersonals in Dosisbereiche von Haut- und Extremitätendosen [mSv]

Tabelle A.13a: Kernkraftwerk Beznau (KKB)

Dosisbereich [mSv]	Haut			Extremitäten*		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total
0– 25	435	795	1230	21	68	89
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	435	795	1230	21	68	89

* Gemäss Richtlinie ENSI-B09 ist pro Person nur die Jahresdosis der am höchsten exponierten Extremität zu berücksichtigen.

Tabelle A.13b: Kernkraftwerk Gösgen (KKG)

Dosisbereich [mSv]	Haut			Extremitäten*		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total
0– 25	34	60	94	6	2	8
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	34	60	94	6	2	8

* Gemäss Richtlinie ENSI-B09 ist pro Person nur die Jahresdosis der am höchsten exponierten Extremität zu berücksichtigen.

Verteilung der Anzahl Personen des Eigen- und Fremdpersonals in Dosisbereiche von Haut- und Extremitätendosen [mSv]

Tabelle A.13c: Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)

Dosisbereich [mSv]	Haut			Extremitäten*		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total
0– 25	502	1743	2245	0	4	4
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	502	1743	2245	0	4	4

* Gemäss Richtlinie ENSI-B09 ist pro Person nur die Jahresdosis der am höchsten exponierten Extremität zu berücksichtigen.

Tabelle A.13d: Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)

Dosisbereich [mSv]	Haut			Extremitäten*		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total
0– 25	93	155	248	7	9	16
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	93	155	248	7	9	16

* Gemäss Richtlinie ENSI-B09 ist pro Person nur die Jahresdosis der am höchsten exponierten Extremität zu berücksichtigen.

Verteilung der Anzahl Personen des Eigen- und Fremdpersonals in Dosisbereiche von Haut- und Extremitätendosen [mSv]

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

Dosisbereich [mSv]	Haut			Extremitäten*		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total
0– 25	1344	486	1830	85	9	94
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	1344	486	1830	85	9	94

* Gemäss Richtlinie ENSI-B09 ist pro Person nur die Jahresdosis der am höchsten exponierten Extremität zu berücksichtigen.

Tabelle A.13f: Zentrales Zwischenlager (ZZL)

Dosisbereich [mSv]	Haut			Extremitäten*		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total
0– 25	77	117	194	0	0	0
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	77	117	194	0	0	0

* Gemäss Richtlinie ENSI-B09 ist pro Person nur die Jahresdosis der am höchsten exponierten Extremität zu berücksichtigen.

Verteilung der Anzahl Personen des Eigen- und Fremdpersonals in Dosisbereiche von Haut- und Extremitätendosen [mSv]

Tabelle A.13g: Alle Kernanlagen (KKW, ZZL und PSI¹⁾)

Dosisbereich [mSv]	Haut			Extremitäten*		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total
0– 25	2485	3294	5779	119	92	211
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	2485	3294	5779	119	92	211

* Gemäss Richtlinie ENSI-B09 ist pro Person nur die Jahresdosis der am höchsten exponierten Extremität zu berücksichtigen,

¹⁾ Aufsichtsbereich des BAG miteinbezogen

Triagemessungen des beruflich strahlenexponierten Personals

Tabelle A.14a: Resultat der Triagemessungen für das beruflich strahlenexponierte Personal (Anzahl Personen beim Eigen- und Fremdpersonal) in Kernanlagen und Forschung (PSI, Gesamtpersonal)

Resultat der Messungen	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
alle negativ	363	636	999	486	718	1204	492	1699	2191	287	693	980	1628	3746	5374
mind. eine positiv	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1

Resultat der Messungen	PSI			ZZL			Summe Kernanlagen		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
alle negativ	42	17	59	76	110	186	1746	3873	5619
mind. eine positiv	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Effektive Folgedosis E_{50} für das beruflich strahlenexponierte Personal durch Inkorporation

Tabelle A.14b: Effektive Folgedosis E_{50} für das beruflich strahlenexponierte Personal, aufgeschlüsselt nach Dosisbereich (Anzahl Personen beim Eigen- und Fremdpersonal) in Kernanlagen und Forschung (PSI, Gesamtpersonal)

Folgedosis E_{50} Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
<= 1.0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
> 1.0– 2.0															
> 2.0– 5.0															
> 5.0–10.0															
> 10.0–15.0															
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total Personen	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1

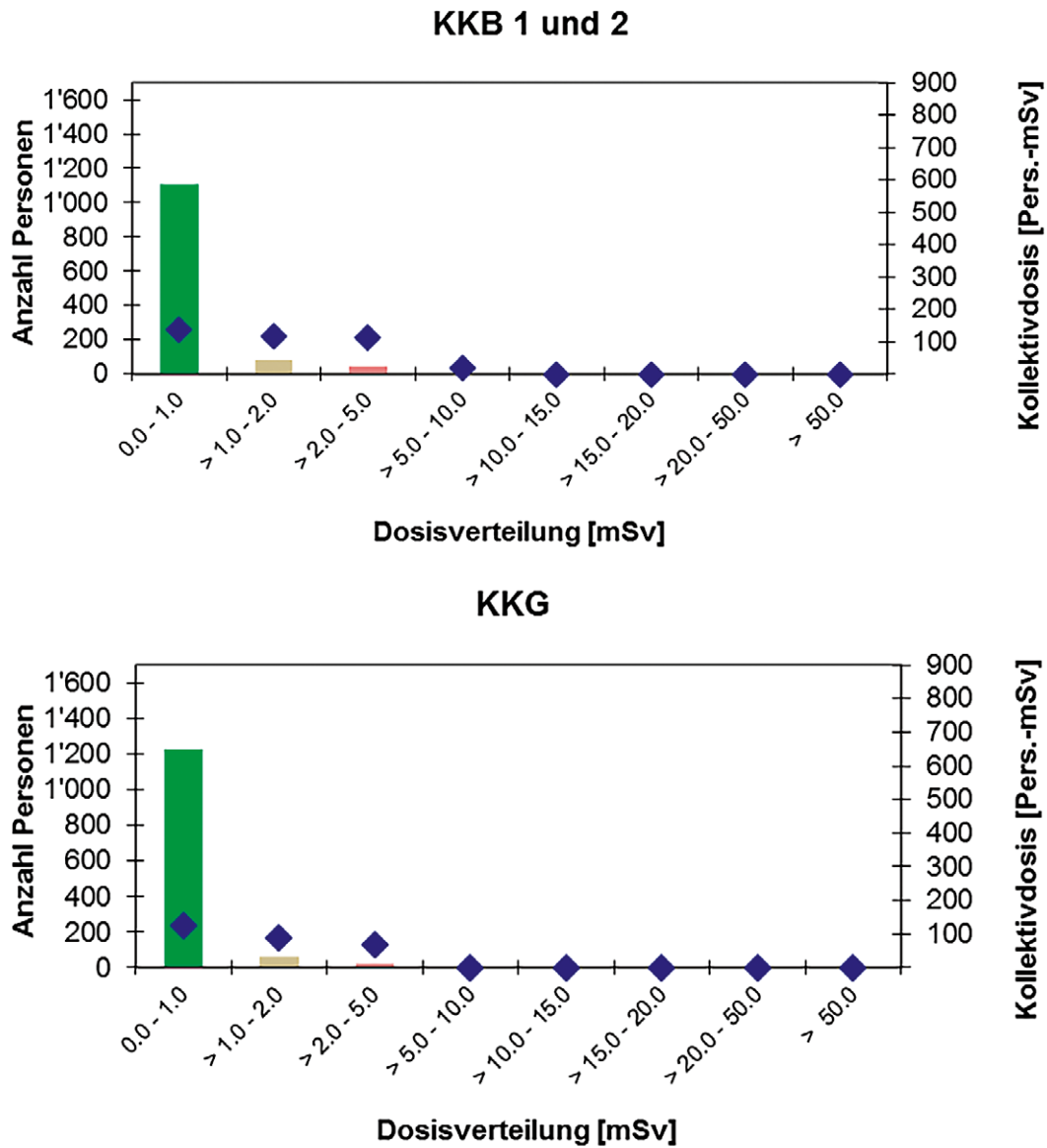
Folgedosis E_{50} Dosisbereich [mSv]	PSI			ZZL			Summe Kernanlagen
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP+FP
<= 1.0	260	13	273	0	0	0	274
> 1.0– 2.0							
> 2.0– 5.0							
> 5.0–10.0							
> 10.0–15.0							
> 15.0–20.0							
> 20.0–50.0							
> 50.0							
Total Personen	260	13	273	0	0	0	274

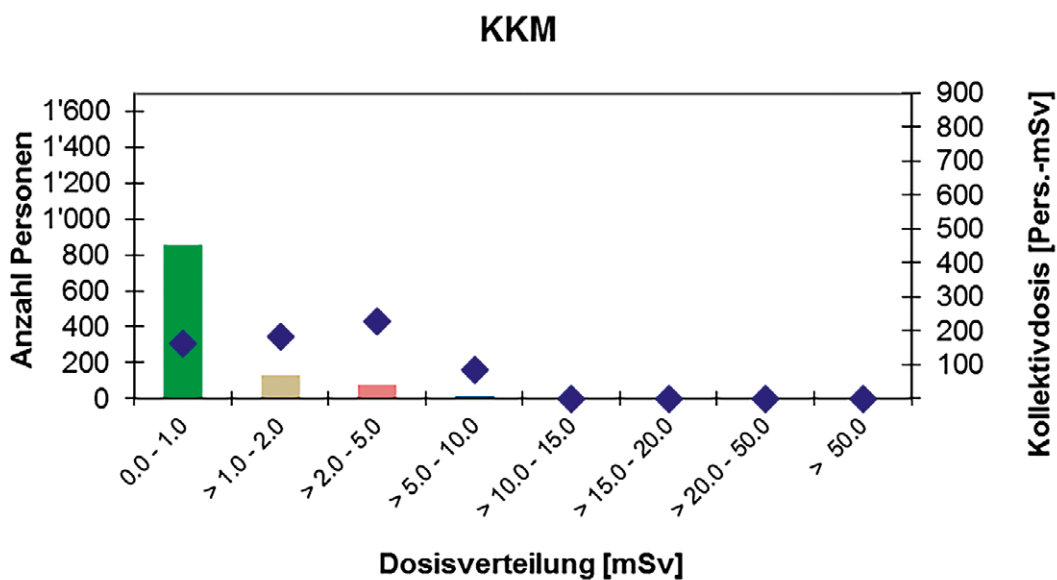
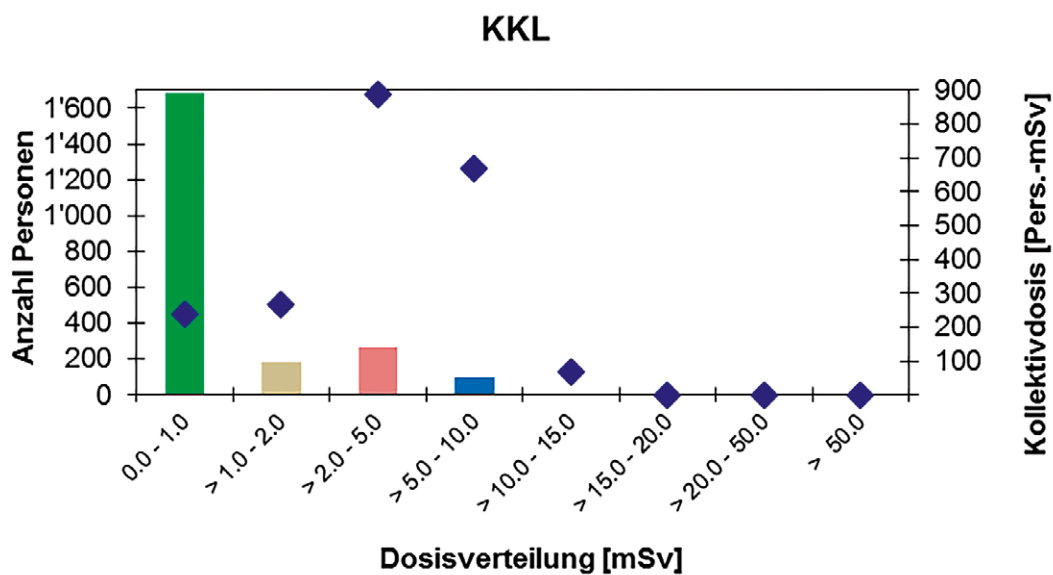
Eine positive Triagemessung ist eine zwingend notwendige Voraussetzung für die Bestimmung einer effektiven Folgedosis.

Im Berichtsjahr ergab sich eine positive Triagemessung, bei der die Folgedosis mit 0,175 mSv deutlich unter 1 mSv lag.

Kollektivdosen und Anzahl dosimetrierter Personen

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





Messmethoden der Personendosimetriestellen im Aufsichtsbereich des ENSI

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

Mess- stelle	Überwachung der äusseren Bestrahlung									Überwachung der Inkorporationen								
	Ganzkörper			Haut			Extremitäten			Ganzkörper- zähler			Schilddrüse			Urin		
	r ¹	m ²	a ³	r ¹	m ²	a ³	r ¹	m ²	a ³	r ¹	m ²	a ³	r ¹	m ²	a ³	r ¹	m ²	a ³
KKB 1 und 2	γ	DIS	1230	β, γ, x	DIS	1230	γ	TLD	0	γ	Nal	0	γ	Nal	0	Alpha	Spektr.	0
KKG	γ	DIS	1313	β, γ, x	DIS	1313	γ	TLD	8	γ	PSC	1203	γ	PSC	1203			
KKL	γ	DIS	2274	β, γ, x	DIS	2274	γ	DIS	4	γ	Nal	2221	γ	Nal	2221			
KKM	γ	TLD / DIS	1069	β, γ, x	TLD / DIS	1069	γ	TLD	16	γ	Nal	980	γ	Nal	980			
PSI	γ, n	RPL / DIS PADC	1830 1449	β, γ, x	RPL / DIS	1830	γ	TLD	94	γ	Ge	270	γ, x	Nal	0	α, β	LSC	41
ZZL ⁴	γ	DIS	194	β, γ, x	DIS	194	γ	TLD	0									

¹ r = Strahlungsart:

α = Alpha
 β = Beta
 γ = Gamma
 n = Neutronen
 x = Röntgen

² m = Messmethode:

TLD = Thermolumineszenzdosimeter
 DIS = Direct Ion Storage
 Cr-39 = Spaltspurdosimeter
 LSC = Flüssigkeitsszintillator
 Ge = Reinstgermanium-Detektor
 Nal = NaI(Tl)-Szintillator
 PADC = Poly-Allyl-Diglycol-Carbonat
 PSC = Plastikszintillator
 RPL = Radio Photo Luminescence

³ a = Anzahl der überwachten Personen

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

Zusammenstellung der Kollektivdosen

Tabelle A.16: Kernkraftwerke: Relative Aufteilung der Kollektivdosen auf Betrieb und Revisionsstillstand von 1980 bis 2017

Jahr	Aufteilung der Jahreskollektivdosen [Pers.-mSv]									
	KKB 1 und 2		KKG		KKL		KKM		Total	
	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand
1980	2217	2283	160	580			1430	2180	3807	5043
1981	2077	3144	90	870			1147	1800	3314	5814
1982	2605	3708	110	1060			1199	1710	3914	6478
1983	2126	8189	130	1580			1042	1870	3298	11639
1984	1946	3269	150	1020	520	0	990	2960	3606	7249
1985	1719	3222	200	850	414	1070	1050	3650	3383	8792
1986	1913	3058	270	1360	480	1870	1490	9830	4153	16118
1987	182	4707	250	1720	620	1260	1390	1770	2442	9457
1988	911	2635	170	1670	570	3180	1250	2120	2901	9605
1989	1106	3415	250	1770	940	1500	1030	2300	3326	8985
1990	651	2172	250	980	630	1530	490	1440	2021	6122
1991	630	3048	270	880	470	1930	540	1290	1910	7148
1992	429	3194	180	780	430	1310	590	1600	1629	6884
1993	484	3276	150	770	561	1084	736	1037	1931	6167
1994	310	607	160	1296	745	1832	630	979	1845	4714
1995	279	1090	193	900	639	1019	671	1121	1782	4130
1996	228	973	201	720	434	1524	510	886	1373	4103
1997	151	538	162	580	458	832	394	1182	1165	3132
1998	139	407	209	612	367	723	456	831	1171	2573
1999	119	1381	174	630	372	793	420	611	1085	3415
2000	124	651	140	382	288	691	432	360	984	2084
2001	141	766	111	429	300	710	380	542	932	2447
2002	135	462	184	750	225	218	432	517	976	1947
2003	116	340	107	450	268	605	368	760	859	2155
2004	107	511	113	721	269	1522	458	634	947	3388
2005	101	603	120	1146	171	398	540	871	932	3018
2006	94	430	96	445	269	616	354	709	813	2200
2007	108	457	97	452	192	420	401	900	798	2229
2008	108	501	88	686	157	924	249	881	602	2992
2009	141	489	122	326	321	745	346	862	930	2422
2010	123	885	142	453	259	1313	370	736	894	3387
2011	75	503	86	413	471	604	289	787	921	2306
2012	82	709	67	426	212	1914	263	596	625	3645
2013	79	305	69	602	470	797	286	672	903	2375
2014	79	212	89	393	398	1080	284	515	849	2200
2015	51	1176	104	389	366	1209	296	597	817	3371
2016	63	467	89	350	310	915	264	399	727	2131
2017	56	326	79	206	257	1871	196	465	588	2868

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

Tabelle A.17: Kernkraftwerke: Aufteilung der Kollektivdosen auf Betrieb und Revisionsstillstand von 1980 bis 2017 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%
2012	10%	90%	14%	86%	10%	90%	31%	69%	15%	85%
2013	21%	79%	10%	90%	37%	63%	30%	70%	28%	72%
2014	27%	73%	18%	82%	27%	73%	36%	64%	28%	72%
2015	4%	96%	21%	79%	23%	77%	33%	67%	20%	80%
2016	12%	88%	20%	80%	25%	75%	40%	60%	25%	75%
2017	15%	85%	28%	72%	12%	88%	30%	70%	17%	83%

Tabelle A.18: Paul Scherrer Institut: Kollektivdosen des gesamten dosimetrierten Personals von 1972 bis 2017

PSI-Gesamtpersonal			
Kalenderjahr	Anzahl Personen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person [mSv]
1972	268	1'118.0	4.2
1973	288	892.0	3.1
1974	287	688.0	2.4
1975	288	687.0	2.4
1976	294	767.0	2.6
1977	360	1'019.0	2.8
1978	351	830.0	2.4
1979	358	683.0	1.9
1980	337	590.0	1.8
1981	380	572.0	1.5
1982	374	640.0	1.7
1983	382	507.0	1.3
1984	374	566.0	1.5
1985	383	598.0	1.6
1986	380	541.0	1.4
1987	423	603.3	1.4
1988	1180	822.9	0.7
1989	1199	1'011.2	0.8
1990	1217	1'085.3	0.9
1991	1257	840.0	0.7
1992	1164	745.0	0.6
1993	1112	523.3	0.5
1994	1129	469.1	0.4
1995	1156	537.8	0.5
1996	1179	431.9	0.4
1997	1161	354.2	0.3
1998	1260	239.5	0.2
1999	1245	195.9	0.2
2000	1197	145.7	0.1
2001	1137	188.6	0.2
2002	1156	179.6	0.2
2003	1142	182.7	0.2
2004	1232	228.0	0.2
2005	1313	177.7	0.1
2006	1342	183.4	0.1
2007	1375	154.4	0.1
2008	1454	136.3	0.1
2009	1486	85.9	0.1
2010	1491	129.5	0.1
2011	1397	100.7	0.1
2012	1449	90.2	0.1
2013	1446	71.4	0.0
2014	1509	81.5	0.1
2015	1581	114.2	0.1
2016	1716	64.1	0.0
2017	1830	42.2	0.0

Tabelle A.19: Zentrales Zwischenlager Würenlingen: Kollektivdosen des dosimetrierten Personals von 2001 bis 2017

Kalenderjahr	Eigenpersonal			Fremdpersonal			Total		
	Anzahl Personen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person	Anzahl Personen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person	Anzahl Personen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person
2001	21	1.3	0.1	35	0.9	0.0	56	2.2	0.0
2002	30	6.1	0.2	61	2.0	0.0	91	8.1	0.1
2003	29	1.8	0.1	59	0.9	0.0	88	2.7	0.0
2004	33	2.6	0.1	71	0.7	0.0	104	3.3	0.0
2005	29	4.9	0.2	79	10.1	0.1	108	15.0	0.1
2006	31	2.7	0.1	70	18	0.3	101	20.7	0.2
2007	40	7.1	0.2	85	15.2	0.2	125	22.3	0.2
2008	50	19.9	0.4	77	7.2	0.1	127	27.1	0.2
2009	52	10.3	0.2	99	2.3	0.0	151	12.6	0.1
2010	56	15.8	0.3	101	2.7	0.0	157	18.5	0.1
2011	60	12.4	0.2	99	2.8	0.0	159	15.2	0.1
2012	67	14.2	0.2	137	4.8	0.0	204	19.0	0.1
2013	68	13.1	0.2	125	2.6	0.0	193	15.7	0.1
2014	71	15.0	0.2	125	3.0	0.0	196	18.0	0.1
2015	72	24.0	0.3	141	4.8	0.0	213	28.8	0.1
2016	75	7.6	0.1	127	0.9	0.0	202	8.5	0.0
2017	77	13.0	0.2	117	5.5	0.0	194	18.5	0.1

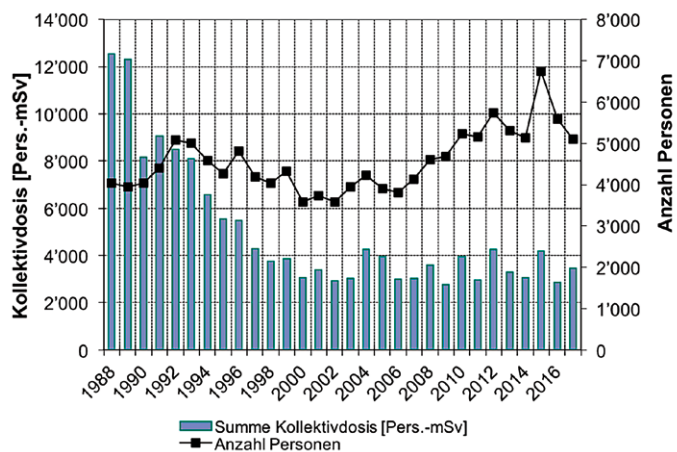
Jahreskollektivdosen in den Kernkraftwerken in der Schweiz

Tabelle A.20: Kernkraftwerke: Summe der Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen von 1988 bis 2017

Jahr	Summe Kollektivdosis [Pers.-mSv]	Anzahl Personen
1988	12'520	4'035
1989	12'310	3'941
1990	8'150	4'040
1991	9'056	4'402
1992	8'500	5'084
1993	8'100	5'011
1994	6'559	4'595
1995	5'535	4'268
1996	5'487	4'818
1997	4'297	4'186
1998	3'744	4'031
1999	3'859	4'326
2000	3'068	3'586
2001	3'380	3'745
2002	2'922	3'580
2003	3'013	3'937
2004	4'236	4'221
2005	3'946	3'913
2006	3'009	3'815
2007	3'018	4'127
2008	3'583	4'603
2009	2'770	4'680
2010	3'966	5'236
2011	2'976	5'150
2012	4'267	5'736
2013	3'279	5'305
2014	3'050	5'144
2015	4'187	6'749
2016	2'857	5'588
2017	3'456	5'108

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

Grafische Darstellung der Daten aus Tabelle A.20:



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

Die elektronischen Personendosimeter (EPD) liefern Messwerte, die von TLD- und DIS-Messwerten der behördlich anerkannten Personendosimetriestellen leicht abweichen können. Diese Abweichungen sind vom EPD-Typ sowie von den 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.21: Zusammenstellung der mit EPD und der mit Dosimetern der anerkannten Personendosimetriestellen ermittelten Kollektivdosen für das Kalenderjahr 2017

Kernkraftwerk	TLD oder DIS [Pers.-mSv]		EPD [Pers.-mSv]		Verhältnis TLD/DIS/EPD	
KKB 1 und 2	EP	137	EP	140	EP	0.97
	FP	246	FP	234	FP	1.05
	Summe	382	Summe	374	EP und FP	1.02
KKG	EP	105	EP	123	EP	0.85
	FP	180	FP	231	FP	0.78
	Summe	285	Summe	354	EP und FP	0.80
KKL	EP	353	EP	363	EP	0.97
	FP	1775	FP	1713	FP	1.04
	Summe	2128	Summe	2076	EP und FP	1.02
KKM	EP	226	EP	310	EP	0.73
	FP	435	FP	555	FP	0.78
	Summe	661	Summe	865	EP und FP	0.76

4.3 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen

Die Kollektivdosen konnten in den vergangenen Jahren deutlich verringert werden und haben sich, nicht zuletzt aufgrund des anfangs der Neunzigerjahre in Kraft getretenen Jahresgrenzwerts für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv, auf einem niedrigen Niveau eingependelt. Verlängerte Revisionsstillstände stechen dann schnell aus dem Verbund der Kollektivdosen heraus, weil mehr Arbeiten im Strahlenfeld durchgeführt werden (siehe Darstellung A.3). Wenn während der Jahresrevisionen umfangreiche Systemänderungen oder grössere Reparaturen vorgenommen wurden, kann eine neuere Anlage eine höhere Jahreskollektivdosis aufweisen als eine ältere.

Der Quotient aus Dosis pro erzeugter elektrischer Energie QSE hat sich aufgrund der erreichten Dosisreduktionen, der in der Mehrheit zeitlich verkürzten Stillstände und aufgrund der Leistungserhöhungen auf einem tiefen Wert eingependelt. Betrug der Wert im Jahr 1991 noch 0,4 Pers.-mSv pro GWh_(e), so erfolgte in den letzten Jahren eine Stabilisierung zwischen 0,1 und 0,2 Pers.-mSv pro GWh_(e). Der im Jahr 2017 erreichte Wert liegt mit 0,17 Pers.-mSv pro GWh_(e) leicht höher als derjenige aus dem Vorjahr. Im Berichtsjahr hat das KKB1 den Leistungs-

betrieb nicht aufgenommen, die während des Jahres akkumulierte Kollektivdosis war daher gering. Das KKL nahm seinen Leistungsbetrieb anfangs 2017 verspätet auf und musste später die Jahreshauptrevision verlängern. In dieser Zeit wurden einige Arbeiten im Strahlenfeld durchgeführt, die zu einer erhöhten Kollektivdosis führten.

Über die letzten Jahre konnten die mittleren Individualdosen deutlich gesenkt werden, während sich die Zahl der beruflich strahlenexponierten Personen im Aufsichtsbereich des ENSI über einige Jahre konstant verhielt und dann aber wieder deutlich steigende Tendenz zeigte. Im Jahr 2017 lag die Zahl der strahlenexponierten Personen mit 5586 gegenüber dem Vorjahr (6153) tiefer, die von diesen Personen akkumulierte Kollektivdosis von 3478 Pers. mSv (2016: 2877 Pers.-mSv) war aber aus den oben erwähnten Gründen höher. Die mittlere Exposition des Eigen- und Fremdpersonals lag im Jahr 2017 für alle Kernkraftwerke und das ZZL trotzdem fast unverändert bei 0,6 mSv. Die maximalen Individualdosen, die von einigen Spezialisten an Arbeitsorten mit relativ hoher Ortsdosisleistung oder nach Arbeiten in verschiedenen Kraftwerken akkumuliert werden können, bieten nach wie vor eine Herausforderung für den operationellen Strahlenschutz. Im Berichtsjahr 2017 wurde der Jahresgrenzwert von 20 mSv für die Individualdosis des beruflich strahlenexponierten

Personals im Aufsichtsbereich des ENSI in allen Kernanlagen eingehalten, die höchste akkumulierte Individualdosis lag mit 14,2 mSv über derjenigen des Vorjahres (10,0 mSv). Seit Inkrafttreten der neuen Strahlenschutzverordnung im Jahr 1994 gab es im Aufsichtsbereich des ENSI drei Grenzwertüberschreitungen, die aber in jedem Fall unter 50 mSv blieben.

Das ENSI bewertet den Strahlenschutz in den schweizerischen Kernanlagen, nicht zuletzt aus dem gewonnenen Eindruck bei Inspektionen vor Ort, weiterhin als gut. Die Optimierungsanstrengungen, die seit den Neunzigerjahren zur Reduktion der Dosen führten, zeigen nachhaltigen Erfolg. Die Herausforderung, sowohl für die Betreiber als auch für die Aufsichtsbehörde, besteht darin, diesen guten Zustand zu erhalten. Trotzdem kann es, wie zum Beispiel beim KKL, eine über mehrere Jahre sichtbare Tendenz zu höheren Kollektivdosen geben. Hier stiegen an verschiedenen Komponenten an den Umwälzschleifen die Werte der Dosisleistungsmessungen an (Umwälzschleifen, Raumstrahlung im Drywell, Reaktordruckgefässeinbauten mit Ausnahme der Innenseite des RDB-Deckels). Der Hauptbeitrag zur Dosisleistung stammt nach Analyse des KKL von ^{60}Co . Als Massnahme wird das KKL diese langlebige Kontamination im Jahr 2018 mittels chemischer Dekontamination entfernen.

Ungeplante Expositionen können durch konsequente Ausbildung des Personals im Strahlenschutz, Planung der Tätigkeiten und deren Abfolge, Absperrungen von Gebieten mit hoher Ortsdosisleistung sowie durch den Einsatz von zusätzlichen Dosisleistungsmessgeräten mit Alarmierungsfunktionen und Fernablesung vermieden werden.

4.4 Entwicklung der Exposition

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

Das Potenzial der technischen Massnahmen, welche für die Reduktion der Dosis eingesetzt werden, wie zum Beispiel temporäre Abschirmungen aus Bleiblechen, ist weitestgehend ausgeschöpft. Optimierungen sowie schnelleres Auf- und Rückbauen der Abschirmungen, Verfeinerungen beim Design und bei der Planung erlauben es, die Effizienz die-

ser Mittel noch zu steigern. Beiträge zu einer weiteren signifikanten Dosisreduktion dürfen aber nicht mehr erwartet werden. Vielmehr werden alterungsbedingte Aufwendungen für die Werkstoffprüfung im Strahlenfeld und die damit verbundene Exposition des Personals zu beobachten sein. Die Gewährleistung der Sicherheit des beruflich strahlenexponierten Personals obliegt dem operationellen Strahlenschutz. Um diese Vorgabe erfüllen zu können, darf zum Beispiel auch die Ausbildung oder der Erfahrungsaustausch mit anderen Kernanlagen oder anderen Ländern nicht vernachlässigt werden.

Änderungen in der Wasserchemie im Druckwasser (DWR) wie auch im Siedewasserreaktor (SWR) können zu einer Dosisreduktion beitragen.

Das Verfahren der DZO-Dosierung (depleted zinc oxide) wird vom KKG seit dem Jahr 2005 mit Erfolg angewendet und hat eine im Vergleich mit diesem Zeitpunkt im Durchschnitt um 69% gesunkene Dosisleistung gebracht, die gegenüber dem Vorjahr noch leicht ausgeprägter war (-69% gegenüber -66%). Die auf der Innenseite des RDB-Deckels gemessene Oberflächendosisleistung lag leicht unter derjenigen des Vorjahres.

Im KKB1 wurde der Sekundärkreislauf für den langen Stillstand so ausgedehnt wie möglich trocken konserviert. Der Kondensator, die Speisewassertanks, die Wasserabscheider-Zwischenüberhitzer und die Dampfleitungen wurden mit einem Entfeuchter getrocknet. Komponenten, welche laut Hersteller nicht trocken konserviert werden konnten, wurden gemäss Vorgaben mittels Deionat konserviert. Da sich der Block 1 im gesamten Berichtsjahr im Stillstand befand, beziehen sich die weiteren Aussagen, wenn nicht anders erwähnt, auf den Block 2. Für den Block 2 stützte sich das KKB zur Dosisreduktion auf die seit einigen Jahren optimierte Abfahrchemie. Dabei wird während der Reinigungsphase auf eine saubere Trennung der beiden Phasen (sauer-reduzierend und sauer-oxidierend) geachtet. Diese Methode trägt dazu bei, dass die beiden Kobaltnuklide ^{60}Co und ^{58}Co aus dem Primärkreislauf entfernt werden können. Damit die Ortsdosisleistung, die durch ^{60}Co verursacht wird, nicht weiter anstieg und um das Korrosionsverhalten der Komponenten des Primärkreislaufs über den gesamten Zyklus zu optimieren, wurde bereits zu Zyklusbeginn ein pH-Wert von 7,2 bei 300°C eingestellt, in dem die Lithiumkonzentration erhöht wurde.

Bislang konnten keine unerwünschten Auswirkungen der 2010 erfolgten Änderung der Reaktorkühl-

mittelchemie bei Leistungsbetrieb festgestellt werden. Die Konzentration von ^{58}Co im Reaktorkühlmittel blieb seit den letzten Zyklen auf niedrigem Niveau während die Konzentration an ^{60}Co konstant blieb. Die Ortsdosisleistungen an den Primärkomponenten veränderten sich im Vergleich zum Vorjahr, mit Ausnahme der Closure Legs und des RDB-Deckels, nicht signifikant. An den Closure Legs wurde eine Erhöhung der Ortsdosisleistung von 8% gemessen und an der Innenseite des neuen RDB-Deckels ein Anstieg der Kontaktdosisleistung von ca. 50%. Die ODL an den Dampferzeugern liegt mit ca. 0,13 mSv/h auf dem Niveau des Vorjahres.

Das KKM setzte im Berichtsjahr die in den Vorjahren erfolgreiche wasserchemische Fahrweise mit Zink-, Edelmetall- und Wasserstoff-Einspeisung fort. Im gesamten Berichtsjahr wurde im KKM Zink ins Speisewasser A dosiert, Sauerstoff ins Rohkondensat A und B und Wasserstoff ins Speisewasser zugegeben. Der Mittelwert aus insgesamt 30 Dosisleistungsmessungen an verschiedenen Stellen an den beiden Umwälzschleifen lag mit 1,98 mSv/h im Vergleich zum Vorjahr um rund 50% höher (2016: 1,30 mSv/h). Die durchschnittliche Dosisleistung an den Frischdampfleitungen ist im Vergleich mit dem Vorjahr um etwa 30% gesunken und betrug rund 220 $\mu\text{Sv/h}$. Im Jahr 2004 lag die mittlere ODL an den Umwälzschleifen noch bei ca. 4 mSv/h. Auch im KKM ist ^{60}Co das für die Dosisleistung bestimmende Nuklid.

Das KKL führte im betrachteten, verkürzten Zyklus im Mai 2017 eine erste Edelmetall-Einspeisung mit 200 g Platin durch. Im Laufe des Berichtsjahres folgten zwei weitere Miniapplikationen, bei denen 250 g Platin im Juni und im August 2017 zugegeben wurden. Während 96,6% des Berichtsjahres wurde zudem Wasserstoff ins Speisewasser zudosiert.

Der Mittelwert der Dosisleistung an den Umwälzschleifen stieg im Vergleich zum Vorjahr am Ende des verlängerten Stillstandes von 1,54 auf 1,74 mSv/h). Der Mittelwert der ^{60}Co -Konzentration im Speisewasser über den gesamten Zyklus stieg im Vergleich zum Vorjahr ebenfalls um etwa 6% auf $1,8\text{E}+7 \text{ Bq/m}^3$ an, obwohl die Zinkeinspeisung im vergangenen, verkürzten Zyklus erhöht worden war und der Kern bei tieferem Durchsatz betrieben wurde. Eine weitere Bildung der in den vergangenen Jahren vermehrt aufgetretenen, so genannten «Hotspots» durch akkumulierte aktivierte Korrosionsprodukte wurde durch den optimierten Betrieb der Systeme verhindert. Diese Entwicklung trug zusätzlich zum Ausmass der Arbeiten im Strah-

lenfeld zum Anstieg der Kollektivdosen während der Stillstände im Vergleich zu den Vorjahren bei. Der Einsatz von Funkdosimetern bewährt sich zunehmend bei Arbeiten in wechselnden Strahlenfeldern. Mit diesen Geräten kann eine erhöhte Strahlenexposition einer Person vermieden werden, ohne dass sich Strahlenschutzfunktionsträger selbst ins Strahlenfeld begeben müssen.

Zusammenfassend erwartet das ENSI für den Strahlenschutz, dass sich der gute Zustand in den schweizerischen Kernkraftwerken halten und vielleicht leicht verbessern wird. Für das Anlagenpersonal bedeutet dies eine weitere, wenn auch im Durchschnitt nur geringe Reduktion der überwiegend geringen Exposition. Bei den maximalen Individualdosen setzt sich der Trend zu Werten im Bereich der Hälfte des Jahresgrenzwertes von 20 mSv fort. Den Arbeiten in hohen und variablen Strahlenfeldern ist seitens der Betreiber und der Aufsichtsbehörden eine ganz besondere Beachtung zu schenken, damit sich Vorkommnisse wie im KKB (2009) und im KKL (2010) nicht wiederholen. Die Ausbildung des Personals im Strahlenschutz, das Absperren von Gebieten mit hoher Ortsdosisleistung, der Einsatz einer so genannten Gamma-Kamera, die Verwendung von Funkdosimetern, die Einführung der Zinkeinspeisung und der Einsatz von Messgeräten mit Anzeigen sowie Warneinrichtungen ausserhalb von Strahlenfeldern könnten in einigen Anlagen noch zu Verbesserungen beitragen.

5 Die Crux mit dem Risiko

Der Mensch ist zeitlebens vielfältigen äusseren Einflüssen ausgesetzt. Unter diesen gibt es eine Vielzahl, die eine schädliche Wirkung ausübt. Eine grundlegende Information, welche wir Menschen dann benötigen, ist ein Mass, das darüber Auskunft gibt, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass wir durch einen solchen Einfluss Schaden nehmen und um welche Art von Schaden es sich handelt. Dieses Mass, formuliert als Risikowert, ist auch ein Werkzeug, mit dessen Hilfe man sich vor den schädigenden Einflüssen schützen kann. Die Schwierigkeit besteht nun darin, es zu bestimmen, in Relation mit anderen Risiken zu bringen und gleichzeitig einen fassbaren Bezug zum täglichen Leben herzustellen.

Grundlagen

Es ist mittlerweile bekannt und anerkannt, dass die ionisierende Strahlung Auswirkungen auf lebende Zellen und Gewebe haben kann. Es ist naheliegend, dass Effekte, welche Zellen und Gewebe betreffen, sich auch auf den Menschen als Individuum auswirken können. Die Strahlenbiologie untersucht die Mechanismen, welche zu den sicht- oder messbaren Effekten führen. Möglichst genaue Kenntnisse über diese Mechanismen erlauben es, den Schutz vor Strahlung zu optimieren oder ihre Wirksamkeit bei Strahlentherapien zu erhöhen.

Mittlerweile besitzen wir ein umfassendes und detailliertes Wissen um die Mechanismen, die die ionisierende Strahlung in den betroffenen Zellen in Gang setzt und dort zu mess- und sichtbaren Effekten führt. Sie haben ihren Ursprung in einzelnen Ereignissen in einzelnen Zellen, können später aber zu Erkrankungen des Menschen führen. Im Bereich der kleineren Dosen spricht man von den so genannten stochastischen oder zufallsbedingten Effekten. Sie umfassen zum Beispiel Mutationen an der Erbsubstanz DNS, welche zu Krebs führen können. Somit ist die ionisierende Strahlung ein kanzerogenes Agens, ein Stoff, der Krebs auslösen kann oder zur Krebsentstehung beitragen kann.

Im Bereich von kleineren Dosen bis ungefähr 100 mSv treten vorwiegend an der Erbsubstanz zufallsbedingte Effekte auf. Es lässt sich aber nicht vorhersagen, ob sie verursacht werden, an welcher Stelle der DNS sie vorliegen werden und ob es sich

um echte Mutationen handelt. Eine zusätzliche Erschwernis bei einer «Vorhersage» der Folgen entsteht dadurch, dass alle Effekte, welche durch ionisierende Strahlung verursacht werden können, auch spontan, also ohne Strahleneinwirkung, auftreten können: Mit absoluter Sicherheit lässt sich biologisch nicht bestimmen, ob ein Effekt tatsächlich strahleninduziert ist oder ob er spontan entstanden ist.

Bei hohen Dosen und den so genannten deterministischen Effekten, bei denen der Schweregrad des Effekts mit der Dosis steigt, sind die individuellen Schwankungen des Ausmasses geringer. Ein Beispiel dafür ist die Akute Strahlenkrankheit, wo es höchstens im Rahmen der Dosisbereiche Unsicherheiten gibt.

Um die Zusammenhänge zwischen einer kleinen Dosis von weniger als 100 mSv und der Wahrscheinlichkeit, mit der ein dadurch verursachter Effekt zustande kommen könnte, darzustellen, wurde das so genannte LNT-Modell entwickelt. LNT bedeutet «linear no-threshold» (linear ohne Schwellenwert). Es wird in diesem Dosisbereich also angenommen, dass sich bei einer Erhöhung der Dosis auch das entsprechende Risiko proportional erhöht und dass es hier keine Schwellendosis gibt, unterhalb der es keine Erhöhung gibt. Rein rechnerisch gibt es keine auch noch so kleine Dosis, die keinen Effekt zeitigt. In strahlenbiologischen Experimenten an Zellen konnten schon messbare Effekte, auch an der DNS, bei sehr kleinen Dosen nachgewiesen werden. Die Zellen besitzen aber ein ausgeklügeltes und verlässliches Reparatursystem, das es ihnen erlaubt, bis zu gewissen Dosen mit DNS-Schädigungen umgehen zu können. Erst wenn dieses Reparatursystem ausgelastet ist oder wenn es genetisch bedingt nicht voll funktionsfähig ist, schlüpfen DNS-Schädigungen durch das zelluläre Kontrollsystem und können dann als Mutationen im Erbgut verbleiben. Da das Reparatursystem ein genetisches System ist, sind die Dosen, bei denen das System ausgelastet ist, einer individuellen Streuung ausgesetzt. Man kennt zudem Erbkrankheiten, die die Funktionsfähigkeit der Reparatur herabsetzen oder ganz ausschalten.

Ohne ausreichende strahlenbiologische Erkenntnisse müssen quantitative Krebsrisiken nach Bestrahlung aus der Auswertung von epidemiologischen Studien von geeigneten Populationen errechnet werden.

Der «Risikowert»

Gemäss der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP¹ liegt das Risiko, nach einer Bestrahlung einen schädlichen Effekt zu erleiden, bei etwa 5,7% pro Doseinheit Sievert. Diese Effekte umfassen das Risiko von 5,5% an Krebs zu erkranken, sie beinhalten aber auch mögliche vererbare Effekte von zusätzlichen 0,2%. Das Mortalitätsrisiko, das Risiko an den genannten Effekten zu sterben und Lebenszeit zu verlieren, wurde zwar mit in die Erhebungen einbezogen, hängt aber sehr stark von der medizinischen Unterstützung ab. Daher nennt die ICRP diesen Risikoeffizienten von 5,7% pro Sievert, der einer schnellen Einschätzung des Folgerisikos dient, den «*detriment-adjusted nominal risk coefficient*». Es handelt sich also dabei um eine Zahl, für deren Bestimmung die nach dem Stand der Wissenschaft denkbaren und nach der Erfahrung möglichen Folgeeffekte berücksichtigt wurden. Die grundlegende Berechnung stützt sich dabei auf die Auswertung der Population der Überlebenden der Kernwaffeneinsätze in Japan Ende des Zweiten Weltkrieges. Im Laufe der Jahre wurde die Zahl unter Berücksichtigung der weiteren Entwicklung der Strahlenbiologie, der Molekularbiologie, der Dosimetrie und durch die Auswertung von anderen Populationen von bestrahlten Personen aktualisiert und verfeinert.

Experimente an Zellen haben gezeigt, dass eine bestimmte Dosis, die über einen längeren Zeitraum mit tieferer Dosisleistung abgegeben wird, eine geringere Wirkung zeigt als dieselbe Dosis, wenn sie mit höherer Dosisleistung in kürzerer Zeit abgegeben wird. Auch muss man in Erwägung ziehen, dass eine «Umrechnung» des Risikos von hohen zu tiefen Dosen aus biologischen und physikalischen Gründen nicht linear vorgenommen werden sollte. Aus diesen Gründen wurde der so genannte Dosis- und Dosisraten-Wirkungsfaktor (DDREF, Dose and Doserate Effectiveness Factor) bestimmt. Er liegt laut ICRP aktuell bei 2, ist aber gleichzeitig Thema vielfältiger Diskussionen.

Bedeutung des Risikos

Der Risiko-Koeffizient bei einer Standarddosis von 1 Sievert liegt bei 5,7%. Dies kann auf verschiedene Arten für den Strahlenschutz eingesetzt werden. Werden zum Beispiel 100 000 Personen mit 100 Millisievert bestrahlt, so errechnet sich, dass ungefähr 570 Personen einen strahlenbedingten Effekt erleiden müssten. Erfährt eine einzelne Person eine Bestrahlung von 100 Millisievert, so wird sich ihr Risiko, zum Beispiel an Krebs zu erkranken, um 0,55% erhöhen. Man darf aber nicht vergessen, dass die Menschen auch spontan an Krebs erkranken können, also addiert sich das strahleninduzierte Risiko zum spontanen Risiko.

Krebs kann in all seinen Erscheinungsformen auch spontan entstehen. Laut dem neuesten Krebsbericht des Bundesamtes für Statistik (BFS)² erkrankten in der Schweiz in der Erfassungsperiode zwischen 2008 und 2012 pro Jahr insgesamt 38 450 Personen neu an Krebs.

Gemäss BFS liegt die Wahrscheinlichkeit, dass bei einer Person im Laufe des Lebens zu einem gewissen Zeitpunkt Krebs diagnostiziert wird, für Männer bei 47,2% und für Frauen bei 37,6%. Das Lebenszeitrisiko, aufgrund einer Bestrahlung an Krebs zu erkranken, addiert sich dazu. Bei einer Dosis von 100 mSv ist das gleichbedeutend mit einer Erhöhung des Risikos für eine Person um 0,5% auf 47,7% (Männer) bzw. 38,1% (Frauen). Da aber dieselben Erkrankungen, die durch Strahlung verursacht werden können, auch spontan auftreten können, ist es beinahe unmöglich zu entscheiden, welche der Erkrankungen spontan und welche eventuell strahleninduziert war. Unter diesen Annahmen werden rechnerisch durch kleine Dosen auch wenige zusätzliche Erkrankungsfälle verursacht, die in der wesentlich grösseren Zahl von spontanen Erkrankungen statistisch verschwinden können.

Um auch nur annäherungsweise eine Aussage dazu machen zu können, ob ein Phänomen eher durch Strahlung verursacht wurde, können noch andere Risikowerte berechnet werden, indem Gruppen von nicht belasteten mit Gruppen von strahlenbelasteten Menschen bezüglich der Anzahl Erkrankter verglichen werden. Das zusätzliche absolute Risiko bezeichnet das zusätzlich zum spontanen auftretende Risiko und das zusätzliche relative Risiko bezeichnet den meist in Prozenten angegebenen Risikoüberschuss im Vergleich zum

¹ Annals of the ICRP (International Commission on Radiological Protection), ICRP Publication 103, 2007

² Schweizerischer Krebsbericht 2015, Bundesamt für Statistik (BFS) et al, Neuchâtel 2016

spontanen Risiko. Für diese Berechnungen sind aber möglichst genaue Zahlen bezüglich der «gesunden» und der «belasteten» Populationen notwendig.

Fazit

Die Berechnung des Strahlenrisikos beruht einerseits auf einem Modell zu den Zusammenhängen zwischen der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Schädigungen und der Dosis, andererseits beruhen die Zahlen grösstenteils auf den Auswertungen der Überlebenden der Kernwaffeneinsätze in Japan Ende des Zweiten Weltkriegs. Das Modell, dem der Risiko-Koeffizient von 5,7% mSv zugrunde gelegt wird, hat sich bewährt. Für schnelle Risikoeinschätzungen namentlich bei Ganzkörperbestrahlungen erlaubt er eine gute Einschätzung möglicher Folgen. Für eine genauere Beurteilung sind auch genauere Analysen und statistische Vergleiche zwischen bestrahlten und unbestrahlten Populationen nötig.

Wenn es darum geht, die Verhältnismässigkeit von Massnahmen zum Schutz vor ionisierender Strahlung abzuschätzen, kann die ermittelte Risikogrösse mit der gebührenden Vorsicht mit anderen Risiken des täglichen Lebens verglichen werden.

B: Umweltradioaktivität bei Kernanlagen, Überwachung

6 Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser und der Abluft lagen im Jahr 2017 für die vier Schweizer Kernkraftwerke Beznau (KKB 1 und KKB 2), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) und Mühleberg (KKM) sowie für das Paul Scherrer Institut (PSI) und das am gleichen Standort gelegene Zentrale Zwischenlager Würenlingen (ZZL) deutlich unterhalb der Jahres- und Kurzzeit-Abgabelimiten. Die aus den tatsächlichen Abgaben und der Direktstrahlung aus der jeweiligen Anlage errechnete Strahlenexposition liegt selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren für Erwachsene, zehnjährige Kinder und Kleinkinder weit unterhalb des für Standorte von Kernanlagen festgelegten quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr.

Die externe Strahlung wird mit dem Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) ständig überwacht. In der Umgebung des KKB und des PSI sind 17, beim KKG 16 und beim KKL und KKM je 12 Ortsdosisleistungs-Messsonden in einem Abstand von bis zu ca. 5 km um die Anlagen in Betrieb. Die Messwerte dieser MADUK-Sonden werden alle 10 Minuten in die ENSI-Zentrale übertragen und automatisch analysiert. Allfällige Abweichungen vom Schwankungsbereich der natürlichen Strahlung werden signalisiert und automatisch dem ENSI-Piketzingenieur gemeldet. Die im Berichtsjahr registrierten Nettodosisleistungserhöhungen bei MADUK-Sonden hatten keinen Zusammenhang mit dem Betrieb der Werke und waren bis auf eine Ausnahme durch meteorologische Einflüsse wie z. B. Starkregen bedingt. Bei der Station G-05 in Aarau wurden am 29. August ohne Niederschlag während 20 Minuten Ortsdosisleistungsmesswerte bis zu 165 nSv/h registriert. Die Analyse der zugehörigen 1-Minuten-Messwerte weist auf ein Testmuster von Durchstrahlungsprüfungen hin.

Die diesbezüglichen Abklärungen bei der Suva blieben aber ohne Ergebnis.

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

Die im Boden gemessenen künstlichen Radionuklide (insbesondere ^{137}Cs) können mit den Atomwaffentests oder mit dem Reaktorunfall in Tschernobyl in Verbindung gebracht werden. Die langjährige Messreihe der Universität Bern von ^{14}C in Baumblättern in der Umgebung der Kernkraftwerke wurde fortgesetzt.

Im aquatischen Milieu zeigten Wasser-, Wasserpflanzen- und Sediment- und Fischproben Spuren von künstlichen Radionukliden wie beispielsweise ^{60}Co , welche aus den Abgaben der Kernanlagen stammen. Die grössten Abgaben radioaktiver Stoffe (ausser Tritium) erfolgen während den Revisionsabstellungen. Für das insbesondere in Sedimentproben gemessene ^{137}Cs ist keine eindeutige Zuordnung in Anteile aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl und den Abgaben der Kernkraftwerke mehr möglich.

Detaillierte Messresultate zu diesem Probenahme- und Messprogramm können dem BAG-Jahresbericht 2017 über «Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz» entnommen werden.

6.1 Emissionen aus den Kernanlagen

Die Abgaben von radioaktiven Stoffen mit der Abluft und dem Abwasser der schweizerischen Kernkraftwerke sind in der Darstellung B.1a für die letzten fünf Jahre zusammen mit den entsprechenden Jahreslimiten dargestellt. Darstellung B.1b enthält eine Aufschlüsselung der Abgaben der Kernkraft-

werke nach Monat für die limitierten radioaktiven Abgaben. Tabelle B.1 zeigt die in den Kernkraftwerken und im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) gemessenen Abgabewerte sowie die unter ungünstigen Annahmen gemäss Richtlinie ENSI-G14 errechneten Personendosen für Erwachsene, 10-jährige Kinder und Kleinkinder in der Umgebung der betreffenden Anlage im Jahr 2017. 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 gegeben. Die Fussnoten zu den Tabellen geben Hinweise zu den Limiten, den Messungen und den bei der Berechnung der Jahresdosis verwendeten Annahmen. Darstellung B.2 zeigt für die vier schweizerischen Kernkraftwerke den Verlauf der in der Umgebung berechneten Dosen für die meistbetroffenen Personen (nur Erwachsene) über die letzten 20 Jahre.

Alle Kernanlagen haben die vorgeschriebenen Jahres- und die Kurzzeitabgabelimite eingehalten. Zur Überprüfung der Messverfahren der Kernanlagen führte das ENSI an 183 Proben eigene gammaspektrometrische Messungen durch (inkl. Teilnahme an Ringvergleichen zur Sicherstellung der eigenen Messqualität). Dabei wurden Aerosol- und Iodfilter sowie Abwasserproben aus den Anlagen stichprobenweise analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Abgabereglemente eingehalten werden.

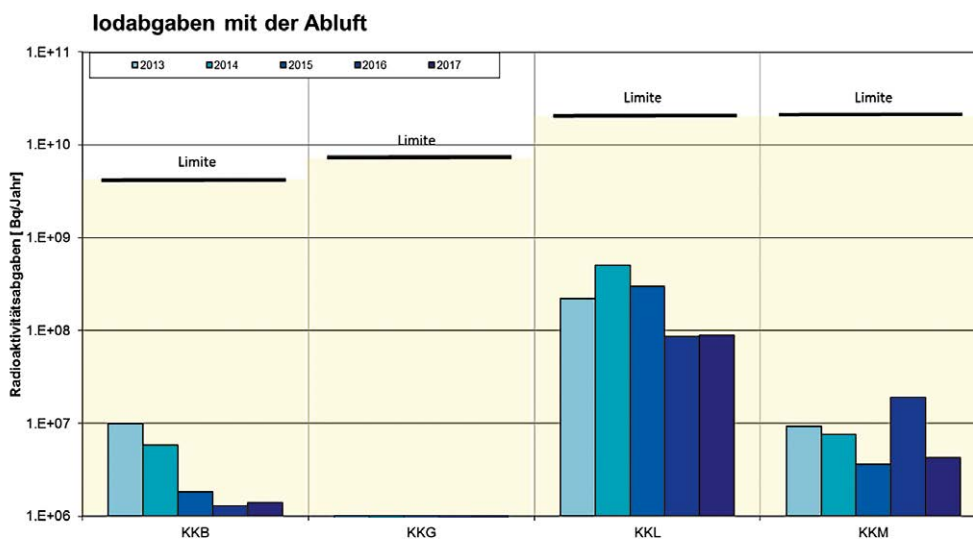
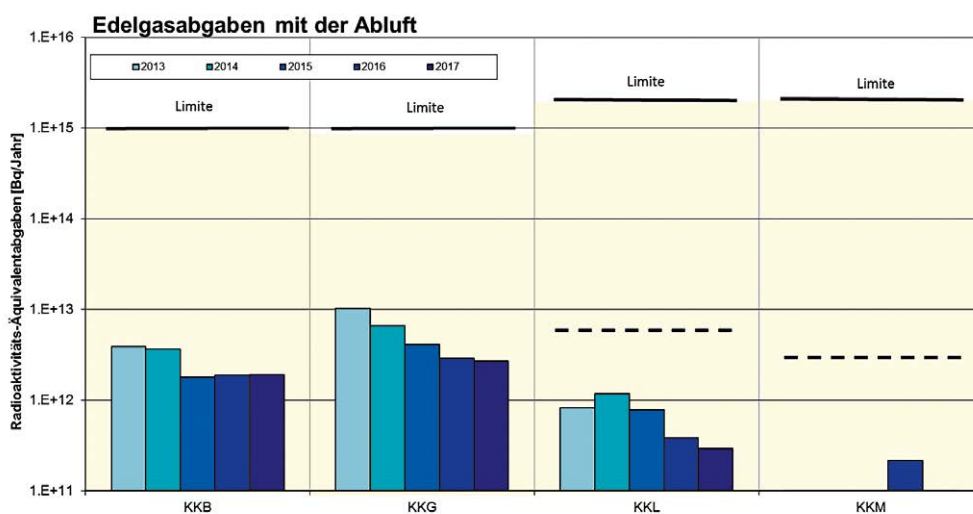
Bei der monatlichen Aufschlüsselung der radioaktiven Abgaben aus den Werken (vgl. Darstellung B.1b) ist bei den flüssigen Abgaben beim KKG die jährlich jeweils vor dem Revisionsstillstand durchgeführte Verwerfungsaktion für tritiumhaltiges Wasser bei den Abgaben erkennbar. Solche Abgaben sind bei den Druckwasserreaktoren systembedingt erforderlich, um den operationellen Strahlenschutz während der Revision zu optimieren. Im Gegensatz zum KKG erfolgen die Tritiumabgaben im KKB über das ganze Jahr verteilt. Zu Beginn des Jahres 2017 hat das KKB die Bilanzierung von aerosolförmigen Abgaben über den Luftpfad von einer Beta-Totalmessung auf gammaspektrometrische Auswertung umgestellt. Für das Jahr 2017 wurden keine künstlichen Nuklide über der Nachweisgrenze nachgewiesen. Die Messwerte der Vorjahre sind hauptsächlich auf natürliche Radionuklide zurückzuführen, welche bei einer Beta-Totalmessung nicht unterschieden werden können. Parallele Analysen mittels Gammaspektrometrie in den Vorjahren zeigten sehr selten künstliche Radionuklide.

Alle Schweizer Kernkraftwerke haben auch 2017 die ^{14}C -Aktivität in der Abluft gemessen. Der Dosisbeitrag von ^{14}C wurde aus den Messwerten ermittelt. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die ^{14}C -Abgaben aus den schweizerischen Kernkraftwerken im Normalbetrieb der Kernkraftwerke über die Ingestion von Nahrungsmitteln den grössten Beitrag zur Dosis in der Umgebung der Anlagen liefern. Dieser Beitrag liegt aber bei wenigen Prozenten des quellenbezogenen Dosisrichtwertes und ist somit radiologisch nicht relevant. Die aus den Emissionen der Kernkraftwerke errechneten Jahresdosen betragen für Einzelpersonen der Bevölkerung in unmittelbarer Nähe der Anlage unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren beim KKB und KKG weniger als 0,001 mSv, beim KKL etwa 0,002 mSv und beim KKM etwa 0,004 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung betragen somit im Jahr 2017 nur einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwertes.

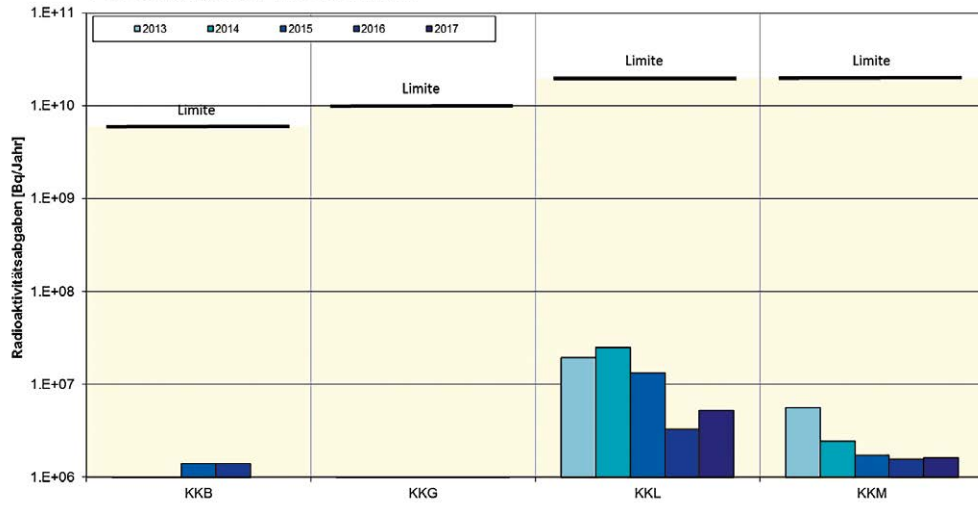
Das PSI ist aufgrund der Bewilligung für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung verpflichtet, sowohl für die einzelnen Anlagen als auch für die Gesamtanlage des PSI die aus den Abgaben resultierende Dosis in der Umgebung zu berechnen. Beim PSI errechnete das ENSI eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von weniger als 0,007 mSv. Beinahe die gesamte Dosis ergibt sich im PSI durch die Abgabe von kurzlebigen radioaktiven Edelgasen aus den Teilchenbeschleunigern im West-Areal des Institutes. Die vom PSI und vom ENSI unabhängig voneinander durchgeführten Berechnungen zeigen, dass unter ungünstigen Annahmen die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung deutlich unterhalb des für das PSI bewilligten Anteils von 0,15 mSv pro Jahr am quellenbezogenen Dosisrichtwert für den gemeinsamen Standort des PSI und des ZZL liegt. Für das ZZL beträgt der Anteil 0,05 mSv pro Jahr. Im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) erfolgten im Berichtsjahr Einlagerungen von 3 Transport- und Lagerbehältern mit Brennelementen aus dem KKL. In der Konditionieranlage wurden grosse Mengen verschiedenster Materialien angeliefert und konditioniert. In der Plasma-Anlage fanden 2017 zwei Verbrennungskampagnen statt. Die für das Jahr 2017 bilanzierten Abgaben des ZZL sind in den Tabellen B.1 und B.3a bis B.3c zusammengestellt. Die aufgrund der Abgaben unter ungünstigen Annahmen berechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Umgebungsbevölkerung lag unterhalb von 0,001 mSv.

Darstellung B.1a: Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre und mit dem Abwasser in den letzten fünf Jahren (2013 bis 2017) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten.

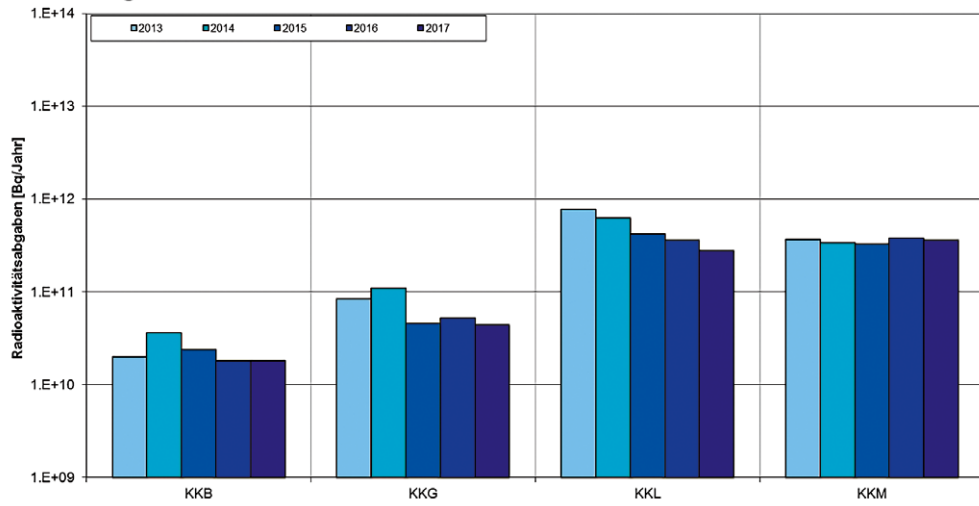
Angegeben ist für die jeweilige Nuklidgruppe und den Abgabepfad die Jahressumme der bei den einzelnen bilanzierenden Messungen durch die Kernkraftwerke ausgewiesenen Aktivitätsabgaben. Die Edelgasbilanzierung im KKB und im KKG basiert auf Beta-Totalmessungen. Für die Umrechnung in die für den Vergleich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



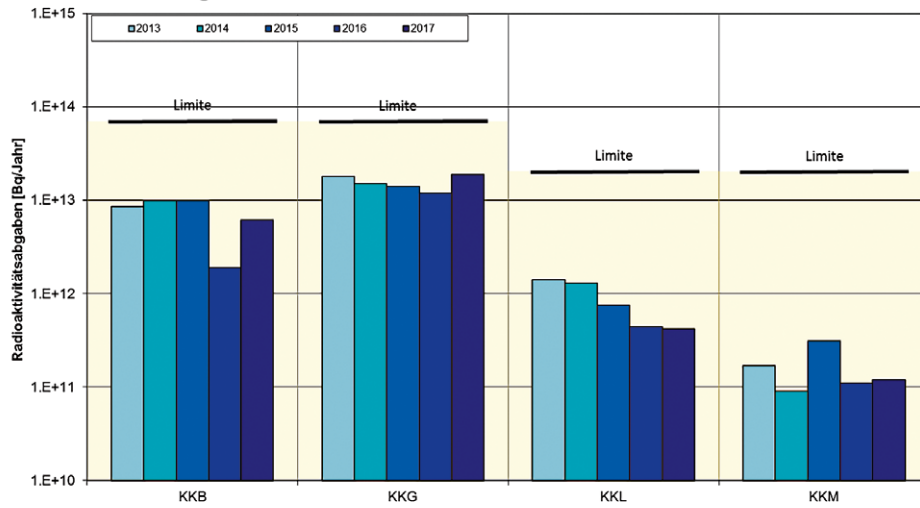
Aerosolabgaben mit der Abluft



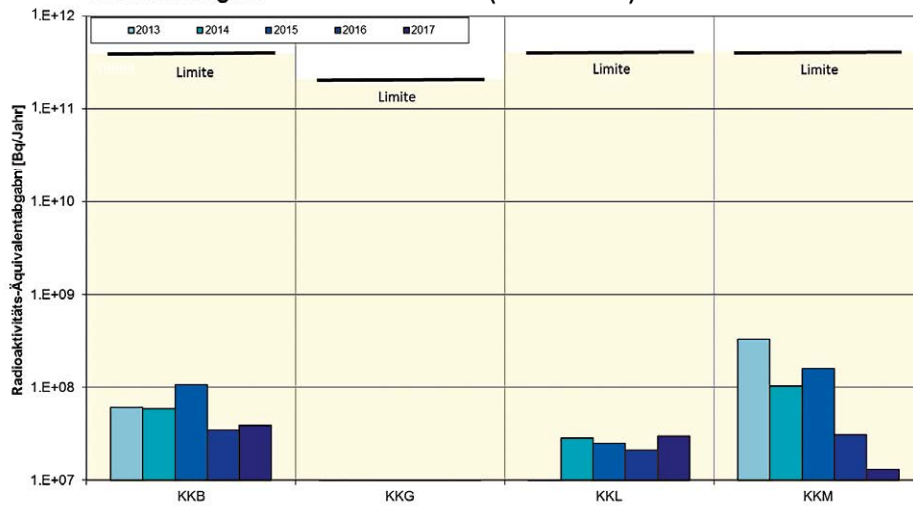
Abgaben von Kohlenstoff-14 mit der Abluft



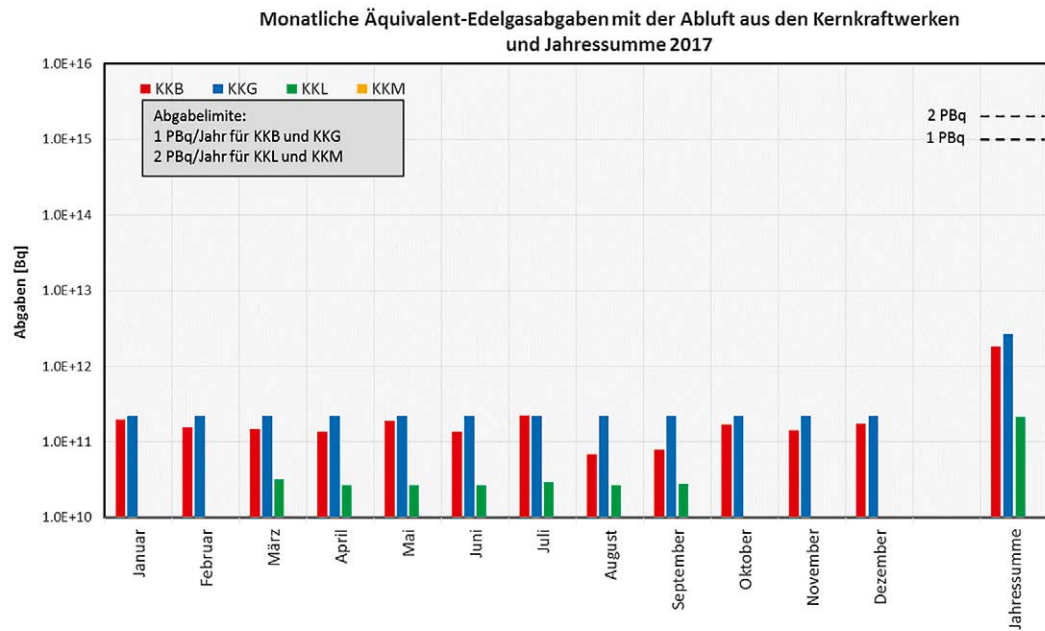
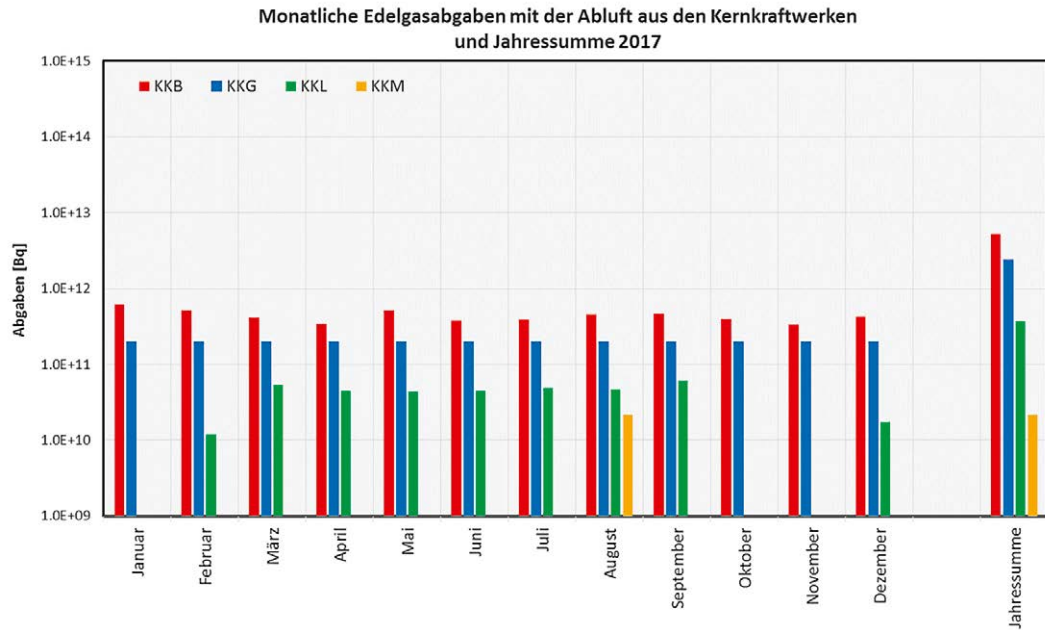
Tritiumabgaben mit dem Abwasser



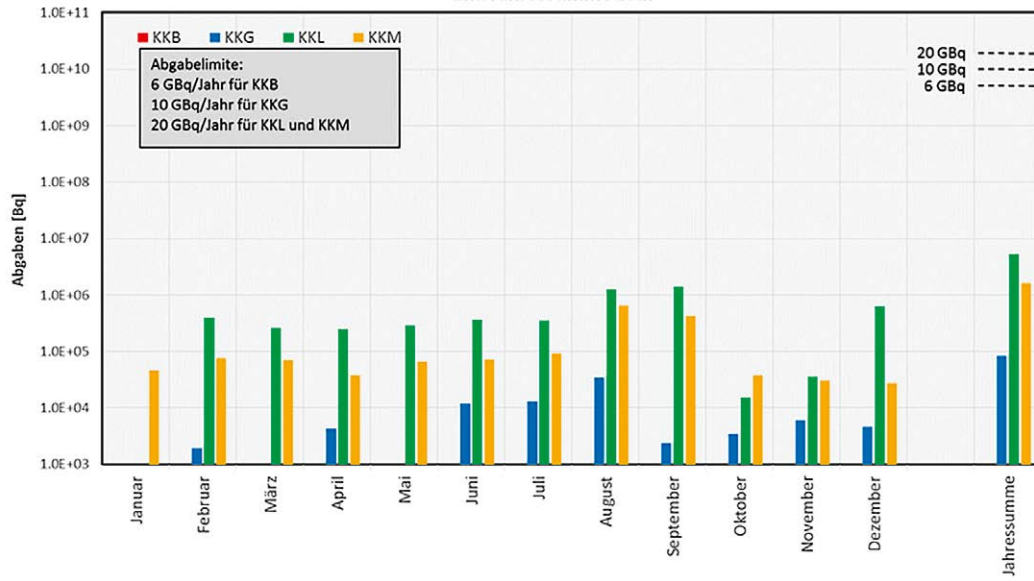
Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser (ohne Tritium)



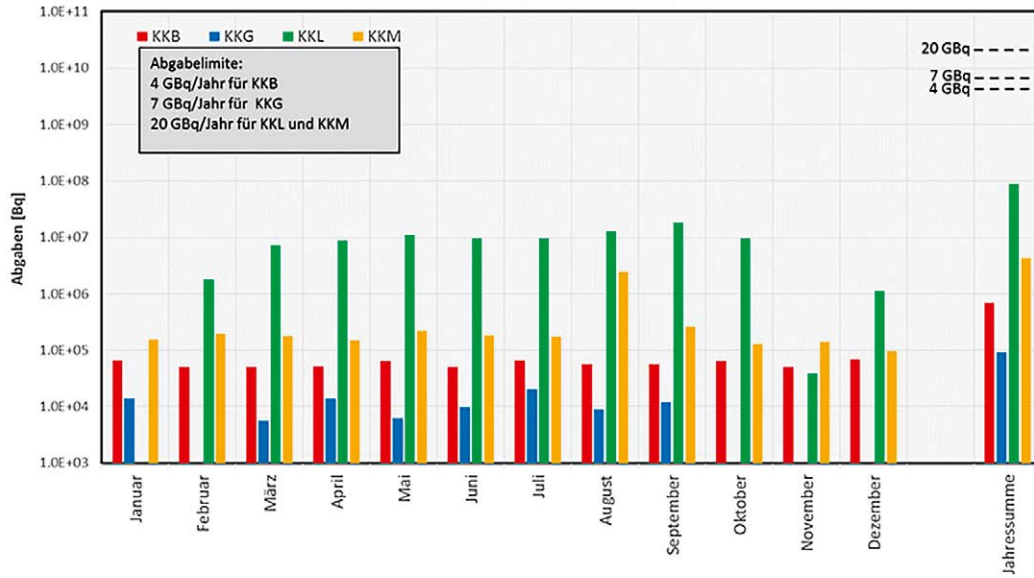
Darstellung B.1b: Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre und das Abwasser im Jahr 2017, aufgeschlüsselt nach einzelnen Monaten



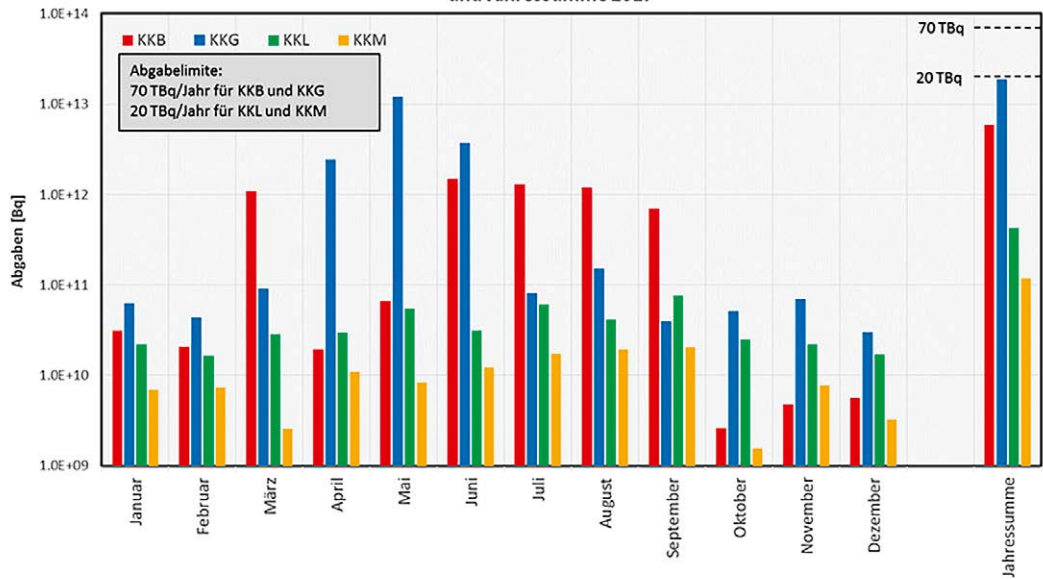
Monatliche Aerosolabgaben mit der Abluft aus den Kernkraftwerken
und Jahressumme 2017



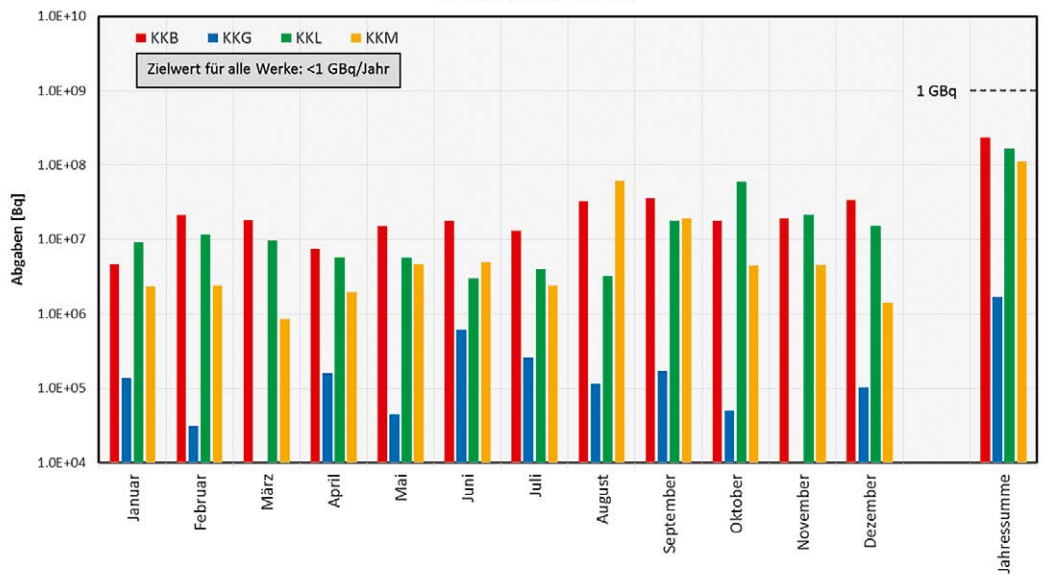
Monatliche Abgaben von Iod-131 mit der Abluft aus den Kernkraftwerken
und Jahressumme 2017



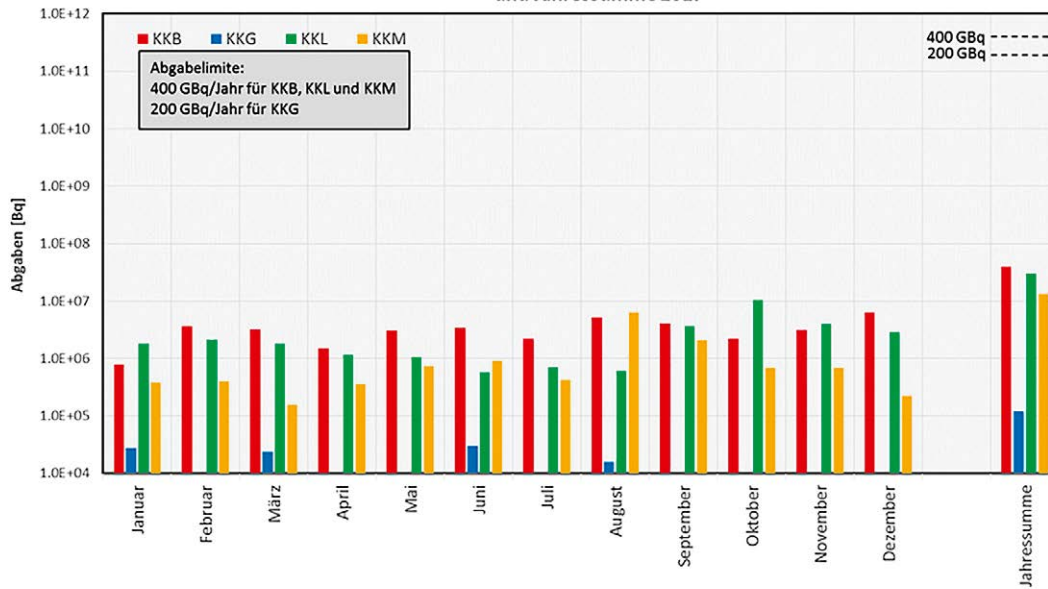
Monatliche Abgaben von Tritium mit dem Abwasser aus den Kernkraftwerken und Jahressumme 2017



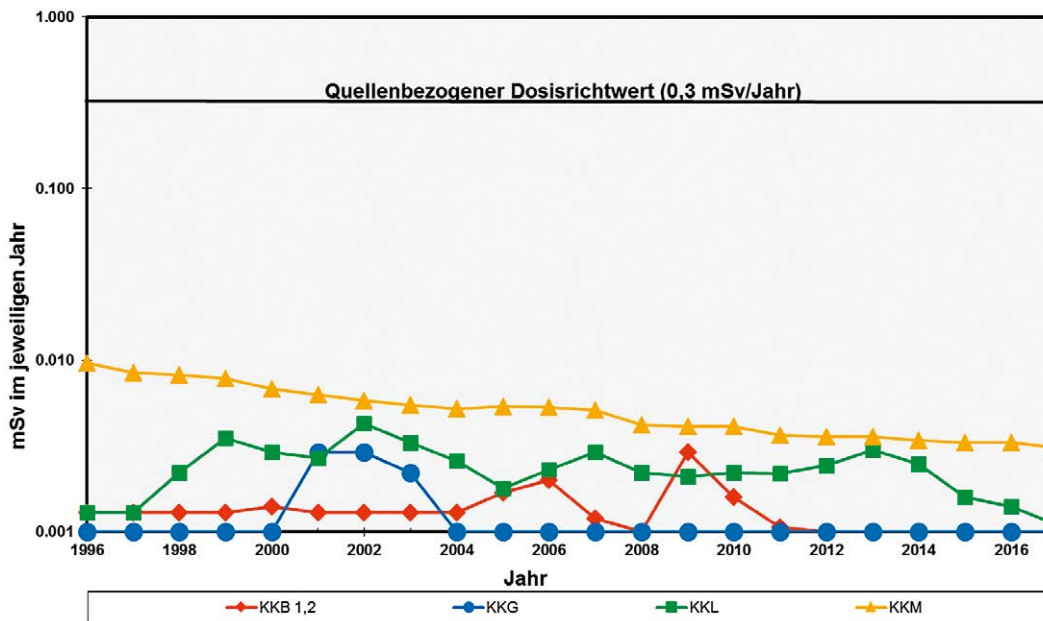
Monatliche Abgaben der übrigen Nuklide mit dem Abwasser aus den Kernkraftwerken und Jahressumme 2017



Monatliche Äquivalentabgaben der übrigen Nuklide mit dem Abwasser aus den Kernkraftwerken und Jahressumme 2017



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



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

Tabelle B.1: Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2017 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 3400 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	2,4·10 ⁸	-	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	5,9·10 ¹²		7·10 ¹³	9%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	5,2·10 ¹²	1,9·10 ¹²	1·10 ¹⁵	0,2%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	-	-	6·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	6,9·10 ⁵	-	4·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	1,8·10 ¹⁰		-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total					<0,001	<0,001	<0,001	
KKG	Abwasser 6805 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	2,7·10 ⁶	-	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,9·10 ¹³		7·10 ¹³	27%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	<2,4·10 ¹²	<2,7·10 ¹²	1·10 ¹⁵	<0,3%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	8,2·10 ⁴	-	1·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	9,1·10 ⁴	-	7·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	4,4·10 ¹⁰		-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total					<0,001	<0,001	<0,001	
KKL	Abwasser 14147 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,7·10 ⁸	-	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	4,2·10 ¹¹		2·10 ¹³	2%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	3,7·10 ¹¹	-	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	5,2·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	8,9·10 ⁷	8,9·10 ⁷	2·10 ¹⁰	0,4%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	2,8·10 ¹¹		-	-	0,0011	0,0014	0,0023
	Dosis total					0,0011	0,0014	0,0024	
KKM	Abwasser 2508 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,1·10 ⁸	-	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,2·10 ¹¹		2·10 ¹³	0,6%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	2,2·10 ¹⁰	-	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,6·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0,1%	0,0023	0,0022	0,0021
		Iod: ¹³¹ I	4,3·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,6·10 ¹¹	-	-	-	<0,001	0,0012	0,002
	Dosis total					0,0031	0,0034	0,0041	
ZZL	Abwasser 436 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	4,8·10 ⁸	-	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	2,3·10 ¹⁰	-	-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	β-/γ-Aerosole	3,2·10 ⁵	-	1·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		α-Aerosole	8,4·10 ³	-	3·10 ⁷	-	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	2,0·10 ⁸	-	1·10 ¹²	<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 2017 und der daraus berechneten Dosen für Einzelpersonen der Bevölkerung

	PSI Ost				
	Hochkamin	Saphir, Proteus	Forschungs-labor	Betriebs-Gebäude radioaktive Abfälle	Bundes-zwischen-lager
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]					
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	-	-	-
Tritium	-	-	-	-	-
Abgaben über die Abluft^{1,2} [Bq/a]					
Edelgase und andere Gase	7,1·10 ⁹	-	-	-	-
β-/γ-Aerosole, ohne Iod	1,0·10 ⁸	-	-	-	2,8·10 ⁴
α-Aerosole	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	1,9·10 ⁴	-	-	-	-
Tritium als HTO	8,3·10 ¹⁰	-	-	9,5·10 ¹¹	8,1·10 ⁹
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	5,4·10 ⁶	-	-	1,4·10 ⁸	-
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:					
Erwachsene	<0,00015	<0,00015	<0,00015	0,0003	<0,00015
Kind 10 Jahre	<0,00015	<0,00015	<0,00015	0,0003	<0,00015
Kleinkinder	<0,00015	<0,00015	<0,00015	0,0003	<0,00015
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert⁴	<0,1%	<0,1%	<0,1%	0,2%	<0,1%

	PSI West			Gesamtanlage des PSI ^{1,2}		
	Zentrale Fortluft-anlagen	Injektor II	C-Labor	Abwasser 1237 m ³	Abluft	Äquivalent-abgaben
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]						
Nuklidgemisch ohne Tritium				4,4·10 ⁷		3,3·10 ⁶
Tritium				1,1·10 ¹¹		
Abgaben über die Abluft^{1,2} [Bq/a]						
Edelgase und andere Gase	1,7·10 ¹⁴	4,4·10 ⁸	-	-	1,7·10 ¹⁴	3,7·10 ¹⁴
β-/γ-Aerosole, ohne Iod	1,2·10 ¹⁰	1,4·10 ⁶	2,2·10 ⁴	-	1,2·10 ¹⁰	-
α-Aerosole	-	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	5,1·10 ⁷	-	-	-	5,1·10 ⁷	1,1·10 ⁷
Tritium als HTO	1,4·10 ¹²	-	-	-	2,5·10 ¹²	-
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	-	-	-	-	-	-
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:						
Erwachsene	0,006	<0,00015	<0,00015	<0,00015		<0,007
Kind 10 Jahre	0,006	<0,00015	<0,00015	<0,00015		<0,007
Kleinkinder	0,006	<0,00015	<0,00015	<0,00015		<0,007
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert⁴	4,0%	<0,1%	<0,1%	<0,1%		<5%

Tabelle B.3a: Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2017: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben

Nuklid β -/ γ -Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
³ H	5,9·10 ¹²	1,9·10 ¹³	4,2·10 ¹¹	1,2·10 ¹¹	1,1·10 ¹¹	2,3·10 ¹⁰
⁷ Be					1,4·10 ⁷	
²² Na					6,4·10 ⁴	6,3·10 ⁶
²⁴ Na	3,5·10 ⁴					
⁴⁴ Sc					1,3·10 ⁴	
⁴⁶ Sc					9,9·10 ⁴	
⁵¹ Cr	6,6·10 ⁵		3,3·10 ⁶	1,2·10 ⁷		
⁵⁴ Mn	1,9·10 ⁶		8,3·10 ⁶	2,0·10 ⁷	2,3·10 ⁶	1,2·10 ⁶
⁵⁶ Co					1,7·10 ⁴	
⁵⁷ Co	5,3·10 ³				1,6·10 ⁵	
⁵⁸ Co	1,6·10 ⁷	4,4·10 ⁴	2,2·10 ⁶	1,4·10 ⁷	7,0·10 ⁴	
⁶⁰ Co	1,1·10 ⁸		1,5·10 ⁸	5,9·10 ⁷	7,8·10 ⁵	1,2·10 ⁷
⁶⁵ Zn	1,2·10 ⁶		3,6·10 ⁶	3,1·10 ⁶	1,0·10 ⁴	
⁷⁵ Se					2,4·10 ⁴	
^{82m} Rb					1,6·10 ⁴	
⁸³ Rb					5,0·10 ⁴	
⁸⁸ Y					2,4·10 ⁴	
⁸⁹ Sr	3,2·10 ⁵			9,5·10 ⁴		
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	1,4·10 ⁶			2,6·10 ⁵		
⁹⁵ Nb	1,6·10 ⁵					
^{99m} Tc		1,6·10 ⁴				
¹⁰⁹ Cd		6,1·10 ⁵				
^{110m} Ag	5,8·10 ⁶				3,2·10 ³	
¹¹¹ In					8,9·10 ⁴	
¹²² Sb	6,4·10 ⁵					
¹²⁴ Sb	1,9·10 ⁷				3,4·10 ⁵	
¹²⁵ Sb	2,5·10 ⁷		3,4·10 ⁵			3,0·10 ⁷
^{123m} Te	1,3·10 ⁶	1,3·10 ⁶				
¹³² Te		2,4·10 ⁵				
¹³¹ I	3,0·10 ⁴	6,3·10 ⁴	1,6·10 ⁶			
¹³² I		4,4·10 ⁵				
¹³³ Ba					2,9·10 ⁵	
¹³⁴ Cs	1,8·10 ⁶				1,3·10 ⁴	1,2·10 ⁷
¹³⁷ Cs	4,8·10 ⁷	5,6·10 ⁴	6,6·10 ⁵	1,7·10 ⁶	5,5·10 ⁶	4,2·10 ⁸
¹⁵³ Sm					6,8·10 ³	
¹⁵⁵ Tb					1,0·10 ⁴	
¹⁶¹ Tb					2,7·10 ⁶	
¹⁷² Lu					2,1·10 ⁵	
¹⁷³ Lu					8,2·10 ⁴	
¹⁷⁷ Lu					1,7·10 ⁷	
¹⁸⁵ Os					3,7·10 ⁴	
¹⁹⁵ Au					1,7·10 ⁵	
²⁰⁷ Pb					2,7·10 ⁴	
α-Strahler	*)	1,2·10 ⁵	3,1·10 ⁴	1,2·10 ⁴		*)
^{234/238} U					2,4·10 ⁴	1,3·10 ³
^{239/240} Pu	4,3·10 ³					
²³⁸ Pu/ ²⁴¹ Am	4,3·10 ⁴				1,4·10 ³	
²³⁹ Np					5,4·10 ⁴	
²⁴² Cm	1,4·10 ⁴					
^{243/244} Cm	1,0·10 ⁵					

¹ Die Angabe umfasst für das KKB und ZZL das 4. Quartal 2016 bis und mit 3. Quartal 2017

Tabelle B.3b: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Edelgase und Iod 2017: 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	$3,1 \cdot 10^{11}$	$5,9 \cdot 10^{11}$	$3,2 \cdot 10^{11}$	$3,4 \cdot 10^{10}$	$2,5 \cdot 10^{12}$	$4,2 \cdot 10^{10}$
^{14}C (CO_2)	$1,8 \cdot 10^{10}$	$4,4 \cdot 10^{10}$	$2,8 \cdot 10^{11}$	$3,6 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^8$	$2,0 \cdot 10^8$
^{11}C					$2,5 \cdot 10^{13}$	
^{13}N					$2,6 \cdot 10^{13}$	
^{15}O					$1,1 \cdot 10^{14}$	
^{18}F					$8,3 \cdot 10^{11}$	
^{24}Ne					$1,2 \cdot 10^{12}$	
^{41}Ar					$5,2 \cdot 10^{12}$	
^{85}Kr					$7,1 \cdot 10^9$	
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	$5,5 \cdot 10^{10}$					
^{87}K			$1,7 \cdot 10^8$			
^{88}Kr	$9,6 \cdot 10^{10}$					
^{133}Xe	$4,4 \cdot 10^{12}$		$5,1 \cdot 10^{10}$	$1,8 \cdot 10^{10}$		
^{135}Xe	$6,6 \cdot 10^{11}$		$1,1 \cdot 10^{11}$	$3,4 \cdot 10^9$		
$^{135\text{m}}\text{Xe}$			$2,0 \cdot 10^{11}$			
^{138}Xe			$8,9 \cdot 10^8$			
EG-Aequiv.						
EG: β -total		$<2,4 \cdot 10^{12}$				
Andere						
Iod						
^{123}I					$3,5 \cdot 10^7$	
^{124}I					$6,6 \cdot 10^4$	
^{125}I					$1,6 \cdot 10^7$	
^{131}I	$6,9 \cdot 10^5$	$9,1 \cdot 10^4$	$8,9 \cdot 10^7$	$4,3 \cdot 10^6$		
^{133}I	$3,8 \cdot 10^6$					

Tabelle B.3c: Abgaben mit der Abluft, Aerosole 2017: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben

Nuklid β/γ -Aerosole	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
²⁴ Na					8,6·10 ⁵	
³⁸ S					1,6·10 ⁹	
³⁹ Cl					1,5·10 ¹⁰	
⁵¹ Cr		3,0·10 ⁴				
⁵⁴ Mn			1,1·10 ⁵	2,0·10 ⁵		
⁵⁷ Co		3,5·10 ³				
⁵⁸ Co		3,8·10 ³		2,2·10 ⁵		
⁶⁰ Co			4,1·10 ⁵	1,1·10 ⁶	8,7·10 ⁵	2,3·10 ³
⁶⁵ Zn				4,1·10 ⁴		
⁷⁷ Br					3,4·10 ⁶	
^{80m} Br					3,4·10 ⁹	
⁸² Br					7,3·10 ⁸	
⁸⁹ Sr			5,3·10 ⁵			
⁹⁰ Sr						
⁹⁵ Nb				4,5·10 ³		
^{99m} Tc					2,4·10 ⁷	
^{110m} Ag						
^{123m} Te		1,7·10 ⁴				
¹²⁵ Sb						
¹³¹ I (Aerosol)		6,3·10 ³	3,5·10 ⁶			
¹³⁴ Cs						
¹³⁶ Cs						
¹³⁷ Cs			1,2·10 ⁵	2,6·10 ⁴		2,6·10 ⁴
¹⁴⁰ Ba			4,3·10 ⁵			
¹⁴⁰ La			6,2·10 ⁵			
¹⁴¹ Ce		8,6·10 ³				
¹⁴⁴ Ce		1,3·10 ⁴				
¹⁸¹ Re					7,1·10 ⁵	
¹⁸² Re					1,9·10 ⁸	
^{182m} Re					7,7·10 ⁶	
¹⁸³ Re					1,2·10 ⁷	
¹⁸² Os					2,4·10 ⁸	
¹⁸³ Os					2,3·10 ⁸	
^{183m} Os					4,2·10 ⁸	
¹⁸⁵ Os					1,2·10 ⁸	
¹⁸⁵ W					1,6·10 ⁹	
¹⁹¹ Pt					3,6·10 ⁶	
¹⁹² Au					1,1·10 ⁹	
¹⁹³ Au					1,7·10 ⁸	
¹⁹⁴ Au					1,5·10 ⁷	
¹⁹² Hg					7,7·10 ⁸	
^{193m} Hg					2,5·10 ⁸	
¹⁹⁴ Hg					1,5·10 ⁷	
¹⁹⁵ Hg					2,8·10 ⁹	
^{195m} Hg					1,0·10 ⁸	
^{197m} Hg					1,3·10 ⁸	
²⁰³ Hg					1,2·10 ⁷	
Nicht spezifizierte						2,9·10 ⁵
α -Aerosole	2,9·10 ³	4,3·10 ⁴		2,0·10 ⁴		8,4·10 ³

Fussnoten zu den Tabellen B.1 bis B.3

¹ Bei der **Art der Abgaben** resp. den **Bilanzier-ten 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 im Jahre 2017 gültigen 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 im Jahre 2017 gültigen 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. Die Abnahme des dadurch verursachten Dosisbeitrags über die Jahre ist in der Darstellung B.2 deutlich erkennbar. Der Dosisbeitrag der Aero-

sole, welche im Berichtsjahr abgegeben wurden, ist demgegenüber vernachlässigbar und liegt in der Grössenordnung der anderen schweizerischen Kernkraftwerke.

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

Beim PSI, bei dem andere Iod-Isotope nachgewiesen werden, ist die Abgabe für die einzelnen Abgabestellen und die Gesamtanlage als Summe der Aktivität der gemessenen Iod-Nuklide angegeben. Für die Gesamtabgabe 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 im Jahre 2017 gültigen StSV entnommen.

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

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

² Die **Messung der Abgaben** erfolgt nach den Erfordernissen der Reglemente «für die Abgaben radioaktiver Stoffe und die Überwachung von Radioaktivität und Direktstrahlung in der Umgebung des...» jeweiligen Kernkraftwerkes resp. des ZZL oder PSI. Die Messgenauigkeit beträgt ca. $\pm 50\%$. Abgaben unterhalb 0,1% der Jahresabgabelimite werden vom ENSI als nicht-relevant betrachtet und werden in der Spalte «Normiert» nicht ausgewiesen (-). Abgaben kleiner als 1000 Bq werden in der Tabelle B.3 nicht aufgeführt.

³ Die **Jahresdosis** ist für Personen berechnet, die sich dauernd am kritischen Ort aufhalten, ihre gesamte Nahrung von diesem Ort beziehen und ihren gesamten Trinkwasserbedarf aus dem Fluss unterhalb der Anlage decken. Die Dosis wird mit den in der Richtlinie ENSI-G14 angegebenen Modellen und Parametern ermittelt. Dosiswerte kleiner als 0,001 mSv – entsprechend einer Dosis, die durch natürliche externe Strahlung in ca. zehn Stunden akkumuliert wird –

werden in der Regel nicht angegeben. Beim PSI wird die Jahresdosis der Gesamtanlage als Summe über die Abgabestellen gebildet.

- ⁴ **Abgabelimite** gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die Abgabelimite wurden so festgelegt, dass die Jahresdosis für Personen in der Umgebung (vgl. Fussnote 3) für die Kernkraftwerke unter 0,3 mSv/Jahr respektive das Zentrale Zwischenlager in Würenlingen (ZZL) unter 0,05 mSv pro Jahr bleibt. Für das Paul Scherrer Institut (PSI) sind die Abgaben gemäss Bewilligung 6/2013 direkt über den quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0,15 mSv pro Jahr limitiert.

6.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen

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

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

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

Am Zaun des KKM wurden bei stichprobenweise vierteljährlich vom ENSI durchgeführten Messungen Dosisleistungen zwischen 0,08 μ Sv/h (natürlicher Untergrund) und 0,2 μ Sv/h ermittelt. Auf ein Jahr hochgerechnet würde, basierend auf dem maximalen Momentanwert am meist exponierten Ort, eine Dosiserhöhung von ca. 1,1 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 0,8 mSv.

Am Zaun des KKL wurden bei vierteljährlichen Stichproben des ENSI während des Leistungsbetriebes Ortsdosisleistungen zwischen 0,06 μ Sv/h (natürlicher Untergrund) und 0,14 μ Sv/h ermittelt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes und unter Berücksichtigung der Betriebszeit am meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von ca. 0,7 mSv pro Jahr. Die höchste, mit den TLD am Zaun ermittelte Jahresdosis (nach Abzug des natürlichen Untergrundes von 0,6 mSv) beträgt 0,7 mSv.

Auf Grund der stichprobenweise vom ENSI gemessenen Ortsdosisleistung am Zaun des Paul Scherrer Instituts, Areal Ost, ergibt sich hochgerechnet auf ein Jahr eine Ortsdosis von 0,3 mSv ohne natürlichen Untergrund. Im Jahr 2017 betrug der höchste, mit einem Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun des PSI ermittelte Wert ca. 0,24 mSv (ohne natürlichen Untergrund von ca. 0,6 mSv).

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

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

Die Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Betriebsareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn-, Aufenthalts- und Arbeitsräume nach Art. 24 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung wurden im Berichtsjahr von allen Anlagen eingehalten.

7 Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)

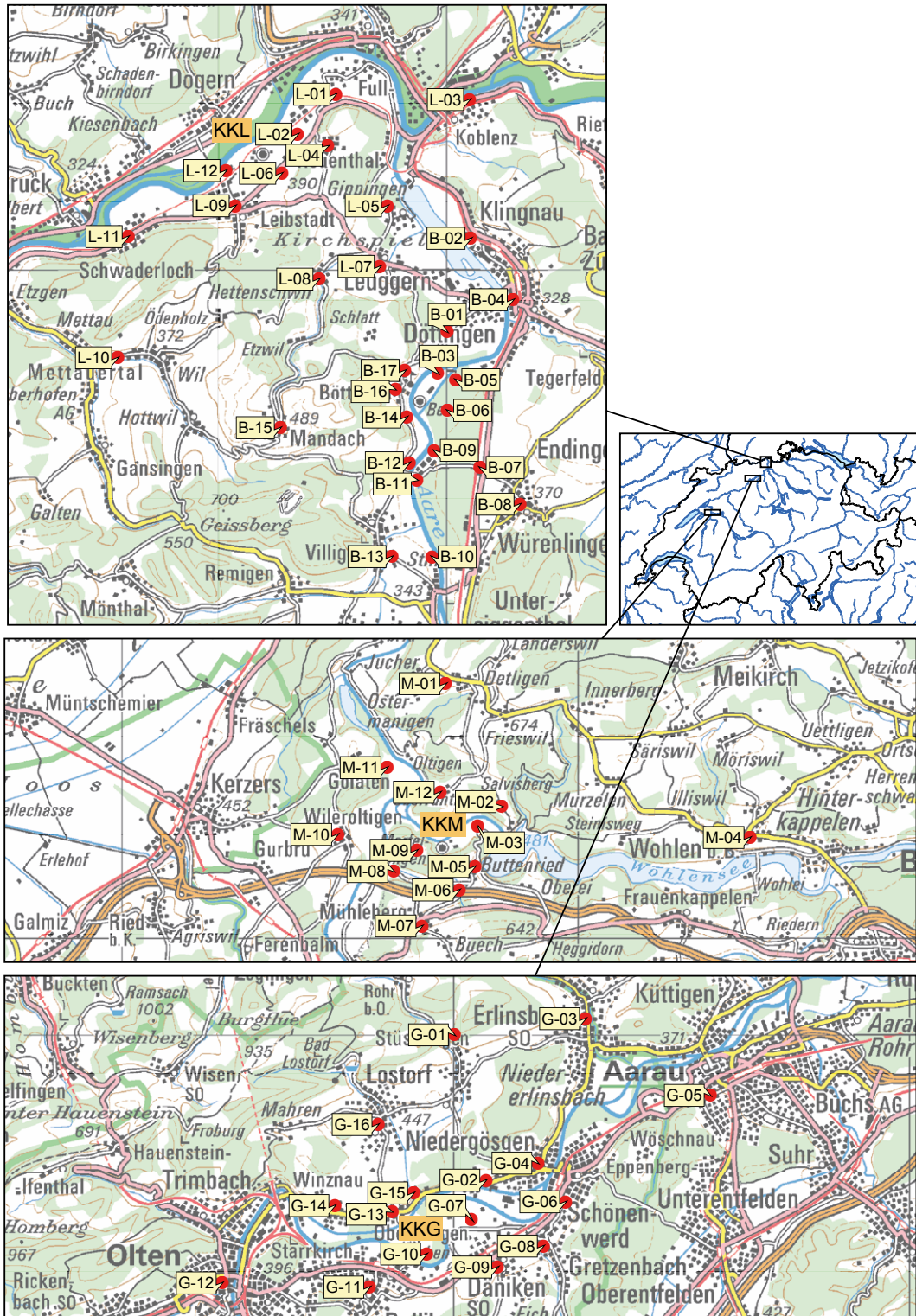
7.1 Übersicht

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

Das MADUK-Netz zur Messung der Dosisleistungen besteht aus insgesamt 57 Immissionsmessstationen in der Umgebung der vier Kernkraftwerke. Die Messsonden des MADUK-Systems komplettieren und ergänzen das gesamtschweizerische Messnetz zur Radioaktivitätsüberwachung, das mit dem NADAM-Netz auf weitere 71 Messstationen zählen kann. Die Geiger-Müller-Zählrohre in den Sonden ermitteln die Gamma-Dosisleistung im Messbereich von 10 nSv/h (Niederdosiszählrohre) bis 10 Sv/h (Hochdosiszählrohr). Die MADUK-Zentrale des ENSI verarbeitet und archiviert die Daten, sorgt im Bedarfsfall für eine sofortige Alarmierung der ENSI-Notfallorganisation und sichert die Daten langfristig. Des Weiteren sorgen verschiedene Subsysteme für den Datenaustausch mit externen und internen Partnern: Nationale Alarmzentrale (NAZ) in Zürich, Kernreaktorfernüberwachung Baden-Württemberg sowie die Systeme ADAM und JRODOS/LASAT im ENSI. Die Darstellung B.3 zeigt die Standorte der Messsonden in der Umgebung der Kernkraftwerke.

MADUK-Sondenstandorte

Darstellung B.3: Die vier Messringe von MADUK. Kartendaten PK200[®] Bundesamt für Landestopografie swisstopo.



Die Daten von MADUK können mittels einer speziellen Software auf bestimmten Windows-Arbeitsplatzrechnern im ENSI und in den Kernkraftwerken visualisiert werden. Auf der Internetseite www.ensi.ch unter Notfallschutz/Messwerte Ra-

dioaktivität sind alle seit 1994 archivierten Tages-, Stunden- und Zehnminutenmittelwerte der MADUK Stationen abrufbar.

7.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung

Im Jahr 2017 wurde die Hardware der Überwachungs- und Alarmierungsrechner ersetzt und das Betriebs- sowie das Datenbanksystem auf den aktuellen Stand gebracht. Zudem wurde die Alarmierung auf eine neue Plattform migriert, da die analoge Telefonie in Kürze ausser Betrieb genommen wird. Im Weiteren wurde eine Auslegeordnung bei den Tools für Kartendarstellungen in der MADUK-Applikation vorgenommen, um die Strategie für die künftige Entwicklung der Bedienoberfläche festzulegen.

7.3 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 wird. Mit der Kenngrösse «Systemverfügbarkeit» wird die Einsatztauglichkeit des Gesamtsystems MADUK beurteilt: Systemstörungen, die zu wesentlichen Nutzungseinschränkungen des Systems geführt haben, werden als Ausfallzeit in Stunden erfasst.

Die permanente Übertragung der Anlageparameter erreichte insgesamt wiederum eine hohe Verfügbarkeit. Im Berichtsjahr führten geplante Unterhaltsarbeiten zu Unterbrüchen von 6,2 Stunden beim KKG, 7,7 Stunden beim KKB1 und 5,8 Stunden beim KKB2. Eine fehlerhafte Netzwerkkomponente führte an zwei Wochenenden beim KKB zu längeren Unterbrüchen in der Datenübertragung von insgesamt 114,8 Stunden. Weitere Unterbrüche in der Datenübertragung, deren Ursache nicht bekannt ist, waren beim KKG (1 Stunde) und beim KKB2 (1,1 Stunden) zu verzeichnen.

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
B-01	4,5	4,5	Blockierter Datenlogger
B-17	12,0	12,0	Blockierter Datenlogger
M-10	91,8	91,8	Blockierter Datenlogger
B-15	1,1	1,1	Blockierter Datenlogger
L-01	68,0	68,0	Defekte Messsonde
B-15	18,8	18,8	Defekte Speicherkarte
G-03	1,3	1,3	Blockierter Datenlogger
B-01	2,0	2,0	Blockierter Datenlogger
B-15	1,5	1,5	Blockierter Datenlogger
B-07	2,7	2,7	Blockierter Datenlogger
M-05	2,2	2,2	Blockierter Datenlogger
G-07	7,3	7,3	Blockierter Datenlogger
B-04	2,0	2,0	Ersatz Akku
L-06	7,7	7,7	Blockierter Datenlogger
L-09	22,3	22,3	Defektes Kabel zwischen Sonde und Datenlogger
L-09	1,3	1,3	Blockierter Datenlogger
L-06	64,2	64,2	Defekte Messsonde
G-14	1,2	1,2	Blockierter Datenlogger

Die Stationselektronik lief auch im 2017 grösstenteils zuverlässig. Es wurden jedoch wie bereits im Jahr 2016 blockierte Datenlogger nach kurzen Unterbrüchen in der Kommunikation festgestellt. 2017 waren wiederum diverse Kommunikationsunterbrüche zu den Messstationen von insgesamt 79,3 Stunden zu verzeichnen, deren Ursachen nicht

immer festgestellt werden konnten. Bei der Station M-11 führte eine defekte Kommunikationsleitung zu einem Unterbruch von 353,2 Stunden. Bei allen Kommunikationsstörungen konnten die Daten nachträglich lückenlos archiviert werden.

Im Berichtsjahr lag die gemäss Managementhandbuch des ENSI bestimmte Systemverfügbarkeit bei

99,5% (Verfügbarkeit der ANPA- und EMI-Daten eingerechnet). Die Verfügbarkeit der Dosisleistungsdaten aller MADUK-Stationen im Archiv betrug 99,94%.

7.4 Qualitätssicherung

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

Gemäss Art. 2 der Verordnung des EJPD über Messmittel für ionisierende Strahlung (StMmV) werden die MADUK-Sonden vor einem ersten Einsatz geeicht. Die Eichung hat eine dreijährige Gültigkeit. Das Messverhalten der Sonden wird zwischen den Eichungen mit halbjährlichen Funktionstests geprüft. Bei den Funktionstests werden mit Hilfe einer Prüfquelle die Resultate der Niederdosis- und Hochdosis-Zählrohre überprüft. Mit einer ^{137}Cs -Quelle werden erhöhte Werte bei jeder Sonde während rund 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 2017 wurden eine Funktionsprüfung und eine Feldeichung der Messsonden durchgeführt. Bei der Funktionsprüfung erfüllten alle Sonden die Prüfkriterien. Bei der Feldeichung konnten alle Messsonden geeicht werden.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme wurden auch im Jahr 2017 Messungen mittels In-Situ-Gammapektrometrie bei den Sonden der Messringe Gösigen und Leibstadt durchgeführt. Die Messwerte lagen im Bereich der früheren Jahre. Ausser ^{137}Cs vom Fallout der Atombombentests und des Tschernobyl-Unfalls konnten keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen werden.

7.5 Messergebnisse

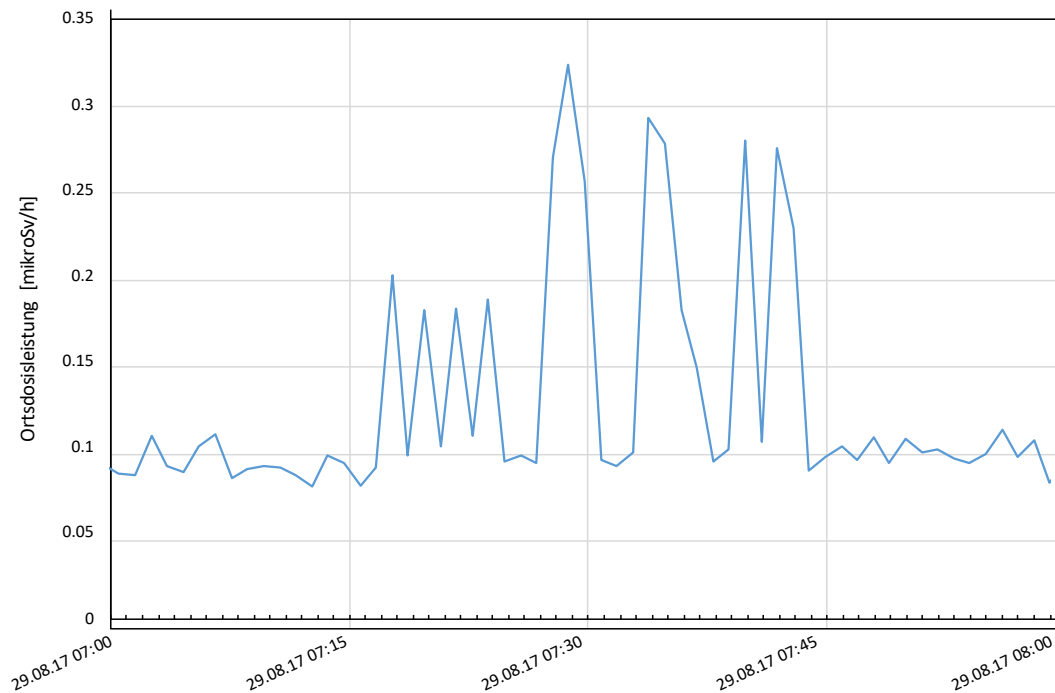
Erhöhte Ortsdosisleistungswerte, die auf Abgaben der Kernkraftwerke zurückzuführen waren, wurden keine festgestellt.

Am 7. April wurde im Rahmen der Funktionsprüfung an der Station L-09 mit einem Prüfstrahler die Station nicht rechtzeitig in den Testmodus geschaltet. Dadurch gelang um 11:30 Uhr ein durch den Prüfstrahler verursachter Messwert (Ortsdosisleistung: 1392 nSv/h; Nettodosisleistung: 1282 nSv/h) in die zentrale Verarbeitung und wurde auf dem Internet publiziert. Schliesslich wurde der Status des Messwertes in der Zentrale manuell als Testwert gekennzeichnet. Der Messwert auf dem Internet wurde belassen.

Bei der Feldeichung, bei der mit zwei unterschiedlichen Prüfstrahlern ein Testwert erzeugt wird, wurde aufgrund einer Verwechslung die falsche Messstation in den Testmodus gesetzt. Dadurch gelangte am 25. August um 09:10 Uhr für die Messstation B-12 ein erhöhter Messwert von 1382 nSv/h ohne Teststatus in die zentrale Verarbeitung und löste einen Alarm aus. Zudem wurde der Wert ebenfalls auf dem Internet publiziert. Schliesslich wurde der Status des Messwertes in der Zentrale manuell als Testwert gekennzeichnet. Der Messwert auf dem Internet wurde belassen.

Am 29. August wurde an der Station G-05 von 07:30 bis 07:50 Uhr der Nettodosisleistungsschwellwert von 50 nSv/h überschritten. Die maximale Nettodosisleistung betrug 68 nSv/h, die maximale Ortsdosisleistung 165 nSv/h. In der betreffenden Zeit wurde kein Niederschlag in der Region registriert. Die Analyse der 1-Minuten-Messwerte im entsprechenden Zeitraum zeigte kurzzeitige Ortsdosisleistungsspitzen bis über 300 nSv/h (Darstellung B.4). Die Regelmässigkeit der Spitzen lässt auf ein Testmuster schliessen. Abklärungen bei der Suva bezüglich Durchstrahlungsprüfungen im entsprechenden Zeitraum und im entsprechenden Gebiet blieben ohne Ergebnis.

Darstellung B.4: Verlauf der 1-Minuten-Messwerte an der Station G-05.



Die jährliche Überprüfungskampagne der NADAM-Sonden an den Standorten, an denen auch eine MADUK-Station in Betrieb ist, führte 2017 bei keiner MADUK-Sonde zu wesentlichen Erhöhungen der Messwerte.

In der Tabelle B.5 sind alle Ereignisse aufgelistet, bei denen der Nettodosisleistungsschwellwert von

50 nSv/h überschritten wurde. Alle registrierten Erhöhungen waren auf lokal begrenzte Starkregen und deren Washout-Effekte zurückzuführen. Ein Zusammenhang mit dem Betriebsverhalten der Kernanlagen konnte nicht hergestellt werden.

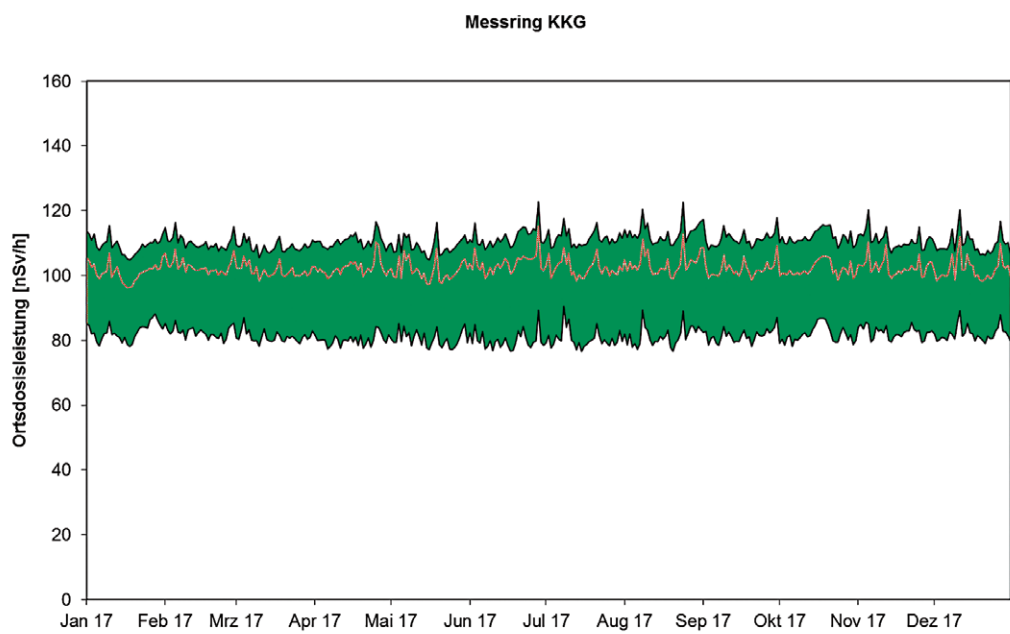
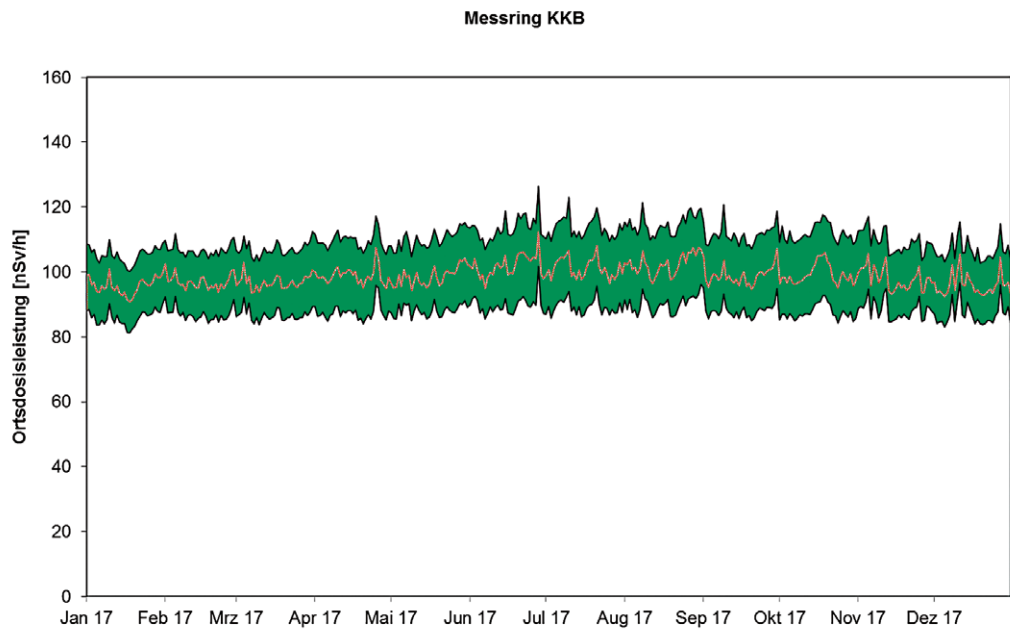
Tabelle B.5: Auflistung der Nettodosisleistungsschwellwert-Überschreitungen im Jahr 2017.

Datum	Station	Dauer [h]	Max. NDl [nSv/h]	Max. ODL [nSv/h]
03.04.2017 17:30	G-06	1,0	70	189
03.04.2017 17:40	G-08	0,7	50	165
01.06.2017 21:40	L-10	0,7	63	181
02.08.2017 02:20	B-01	0,3	54	163
02.08.2017 02:20	B-02	0,2	53	153
02.08.2017 02:20	B-04	0,2	61	161

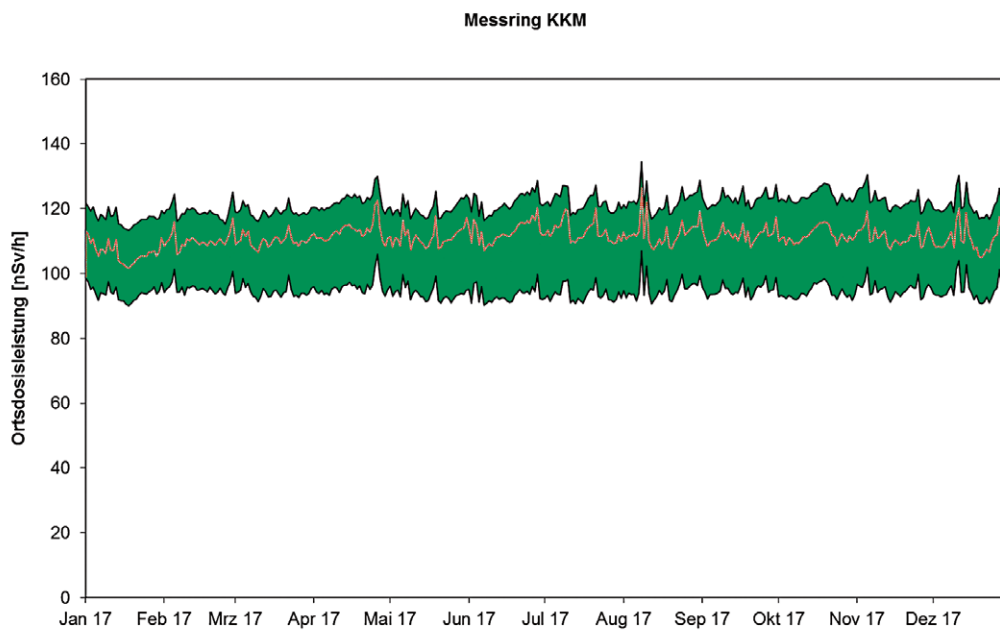
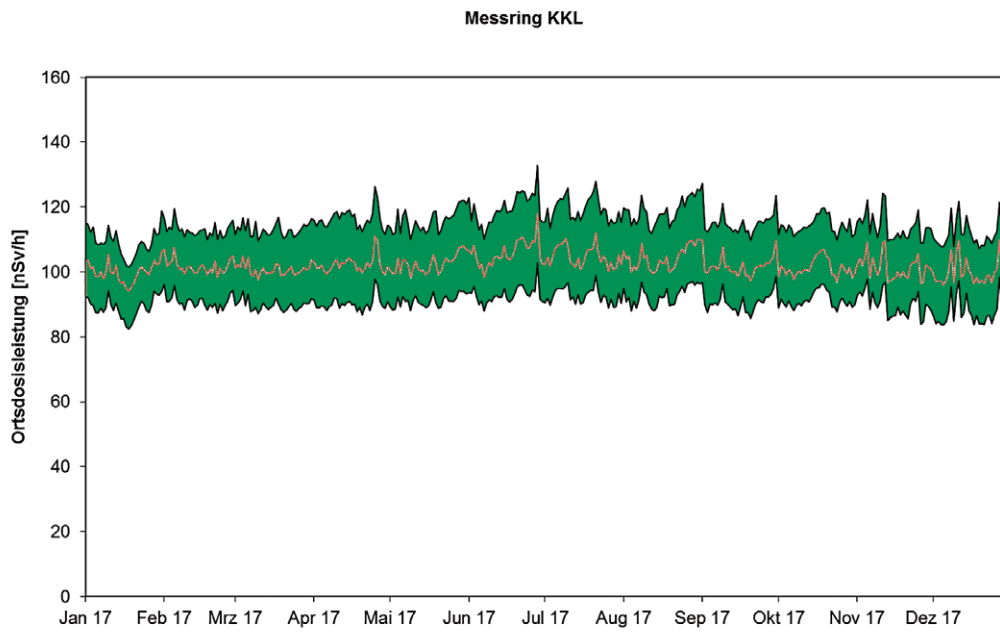
Die Darstellungen B.5 und B.6 zeigen die Maxima, die Minima und die Medianwerte der Tagesmittel-

werte der jeweiligen Messringe im Berichtsjahr in der Umgebung der Kernkraftwerke.

Darstellung B.5. Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKB, KKG im Jahr 2017.



Darstellung B.6. Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKL, KKM im Jahr 2017.



8 Atmosphärische Ausbreitung

8.1 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. Bei einer störfallbedingten Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus einer schweizerischen Kernanlage ist das ENSI zuständig für die Prognose der Entwicklung des Störfalls in der Anlage sowie der möglichen Ausbreitung der Radioaktivität in der Umgebung und für die Abschätzung von deren Konsequenzen. Das ENSI berät zudem die Nationale Alarmzentrale (NAZ) über die Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung.

Die Beurteilung der radiologischen Gefährdung bildet die Grundlage für die Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung. Diese sollten wenn möglich vorsorglich angeordnet werden. In der Vorphase, d. h. vor Beginn der Freisetzung, stehen dazu jedoch keine Radioaktivitätsmessungen in der Umgebung zur Verfügung. Die Gefährdung muss deshalb mittels sog. Ausbreitungsrechnungen auf Grund der aktuellen Situation in der Anlage und der vorherrschenden Wetterbedingungen in der Umgebung abgeschätzt werden. Diese Modellrechnungen dienen insbesondere dazu, das potenziell gefährdete Gebiet abzugrenzen, die notwendigen Schutzmassnahmen festzulegen und die Messstrategie zu optimieren.

8.2 Atmosphärisches Ausbreitungs- und Dosisberechnungsmodell JRODOS

Seit Anfang 2016 setzt das ENSI zur Modellierung der atmosphärischen Ausbreitung und zur Dosisberechnung im Ereignisfall das Programm JRODOS

(Java-based Realtime Online Decision Support system) ein. Dabei handelt es sich um eine modulare Plattform zur Entscheidungsunterstützung in Echtzeit für den kerntechnischen Notfallschutz, welche vom deutschen Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) initiiert und vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) im Rahmen des EURATOM-Rahmenforschungsprogrammes entwickelt wurde.

Innerhalb JRODOS wird für die eigentliche Ausbreitungsrechnung das Programm LASAT (Lagrange-Simulation von Aerosol-Transport) verwendet. LASAT ist ein Lagrange'sches Partikelmodell, das 1980 vom Ingenieurbüro Janicke entwickelt und in verschiedenen Forschungsvorhaben erprobt wurde. Seit 1990 ist es allgemein als Softwarepaket verfügbar und wird beispielsweise in Deutschland bei Landesbehörden, TÜVs und anderen Gutachtern sowie der Industrie eingesetzt. LASAT diente als Grundlage für die Entwicklung des Ausbreitungsmodells AUSTAL2000, dem offiziellen Referenzmodell der deutschen Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft). LASAT ist konform zur Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 und bietet ein breites Anwendungsspektrum (unter anderem bei der Untersuchung der Ausbreitung von Geruchsstoffen, Bioaerosolen oder Radionukliden). Ausgehend von den Anforderungen des ENSI wurde LASAT von seinen Entwicklern z. T. wesentlich überarbeitet und verbessert, insbesondere hinsichtlich Parallelisierung. JRODOS erlaubt die direkte Verwendung von 3D-Wettervorhersagedaten aus dem von der MeteoSchweiz routinemässig eingesetzten Modell COSMO-1. Dieses liefert Prognosen in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung bis zu 24 Stunden in die Zukunft. Bei der Verwendung dieser Wettervorhersagen werden die 3D-Daten mit einem Windfeldmodell auf die vom Ausbreitungsmodell benötigten Auflösungen heruntergerechnet, um Simulationen mit einer noch höheren räumlichen Auflösung als derjenigen des Rechenalgorithmus COSMO-1 zu ermöglichen.

Neben dem Windfeld ist die Auflösung der Geländeform (Orographie) eine wesentliche Grösse. Die kleinräumige Landschaftsstruktur der Schweiz und des süddeutschen Raumes stellt daran erhöhte An-

forderungen, weshalb JRODOS das beste bei der Schweizerischen Landestopographie swisstopo verfügbare Höhenmodell (DHM25) verwendet.

Eine wesentliche Neuerung gegenüber dem Vorgängermodell ADPIC stellt die Erweiterung des Rechengebiets auf 500 × 500 km² dar, wobei für den Nahbereich um eine Kernanlage die orografische Auflösung von 250 m beibehalten wird. Das Rechengitter besitzt eine Schachtelung von unterschiedlich fein aufgelösten Gebieten, wobei die Anzahl Stufen wählbar ist. Dies ermöglicht Simulationen mit grossen Abwinddistanzen innerhalb von für den Notfallschutz akzeptablen Rechenzeiten.

Aktueller Stand

Das Ausbreitungsmodell JRODOS ist für alle Kernanlagen operationell:

- Routinemässige Berechnungen mit einer Einheitsquelle (1 Bq/s kontinuierliche Abgabe auf drei verschiedenen Freisetzungshöhen) werden automatisch rund um die Uhr im Stundentakt für alle Kernanlagen durchgeführt.
- Im Ereignisfall (und bei Übungen) sind störfallspezifische Berechnungen spätestens innerhalb einer Stunde nach der Einsatzbereitschaft der ENSI-Notfallorganisation zu erwarten.

Der Hauptzweck der *Routineberechnungen* ist die Sicherstellung der dauernden Verfügbarkeit des Systems und die Überwachung der aktuellen Ausbreitungssituation (Prognosen über die nächsten 12 Stunden). Zudem können Routineberechnungen auch im Ereignisfall – insbesondere in der Anfangsphase – 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 dem ENSI als Grundlage, um das möglicherweise gefährdete Gebiet abzugrenzen und z. Hd. des BABS Empfehlungen zur Anordnung von Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung auszuarbeiten. Nach dem Wolkendurchzug ist die Beurteilung der tatsächlichen Gefährdung der Bevölkerung auf Grund der in der Wolkenphase erhaltenen Dosen und den noch zu erwartenden Dosen infolge Deposition wichtig. Zudem tragen die Modellberechnungen zur Festlegung des Wolkendurchzugsgebietes als Grundlage für die Optimierung der Messstrategie bei.

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

keit auch die personelle Bedienung des Systems gewährleistet sein. Zu diesem Zweck erfolgen vierteljährliche Schulungen der als JRODOS-Operateure eingeteilten Mitglieder der ENSI-Notfallorganisation. Im Rahmen von Notfallübungen wird das System unter realitätsnahen Bedingungen eingesetzt und die vorgesehenen Abläufe werden verifiziert. Anlässlich der alle zwei Jahre stattfindenden Gesamtnotfallübung, an welcher jeweils mehrere Notfallschutzpartner beteiligt sind, wird zudem ein spezielles Augenmerk auf den Informationsaustausch mit den Partnerorganisationen gelegt. Dabei wird auch die Eignung der vom ENSI hergestellten Produkte überprüft, um sie im Sinne eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses bei Bedarf zu überarbeiten.

8.3 Gesamtnotfallübung 2017

Die Notfallübungsrichtlinie ENSI B-11 sieht vor, dass alle schweizerischen Kernkraftwerke zur Schulung und Überprüfung der Zusammenarbeit mit externen Notfallorganisationen wiederkehrend an einer Gesamtnotfallübung (GNU) teilnehmen. Die Leitung einer solchen Übung erfolgt durch das BABS. Hierbei werden mit der Wahl eines entsprechenden Szenarios die Voraussetzungen geschaffen, dass die Teilnehmer im Rahmen der geltenden Verordnungen Notfallschutzmassnahmen treffen können. An der Gesamtnotfallübung 2017 waren u. a. der Notfallstab des Kernkraftwerks Mühleberg, inklusive das externe Lager Reitnau, die Notfallorganisation des ENSI, die NAZ und des Kanton Bern beteiligt. Ausländische Stäbe oder Ansprechstellen nahmen ebenfalls an der Übung teil, darunter das Incident and Emergency Centre der IAEA in Wien.

Um die Krisenbewältigung auf der Stufe Bund üben zu können, wurde die GNU 2017 in zwei Teilübungen unterteilt. Dabei befasste sich der erste Teil der GNU (RAROS I, 26.09.2017) mit der Notfallbewältigung bis zum Beginn der frühen Bodenphase. Im zweiten Teil der Übung (RAROS II, 27. bis 28.09.2017) wurde der Fokus auf die Krisenbewältigung ab der frühen Bodenphase gelegt. Neben den allgemeinen Übungszielen wurden organisationsspezifische Ziele festgelegt. Die spezifischen Ziele für das ENSI umfassten u. a. die Sicherstellung des Informationsflusses auf allen Ebenen, der Diagnose und der periodischen Erstellung einer Entwicklungsprognose, der Beurteilung der Massnahmen im Werk und die Beratung des BABS über die

Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung aufgrund der Lagebeurteilung.

Die allgemeinen Ziele wurden für das ENSI alle erfüllt, bei den speziellen Zielen für das ENSI konnte Optimierungspotenzial identifiziert werden. Insgesamt hat die Notfallorganisation des ENSI ruhig und zielorientiert gearbeitet. Die Rapporte wurden meist kurz und prägnant durchgeführt und waren stets auf das Wichtigste fokussiert. Massnahmen wurden dennoch definiert, die dazu beitragen sollen, die Abläufe in der ENSI-NFO noch weiter zu optimieren und zu professionalisieren. Die Beratung des BABS zur Notwendigkeit von Schutzmassnahmen zum Schutz der Bevölkerung erfolgte zeit- und sachgerecht. Insbesondere die neu erstellten Lagekarten zu den Empfehlungen von Massnahmen im Bevölkerungsschutz erwiesen sich als sehr nützlich. Insgesamt haben sich die etablierten Kommunikationskanäle bewährt, telefonische Rückfragen konnten kompetent und zufriedenstellend von den Mitgliedern der ENSI-Notfallorganisation beantwortet werden. Die Ergebnisgrössen aus JRODOS sowie deren Darstellungsform werden auch in Folge dieser Übung weiterhin optimiert.

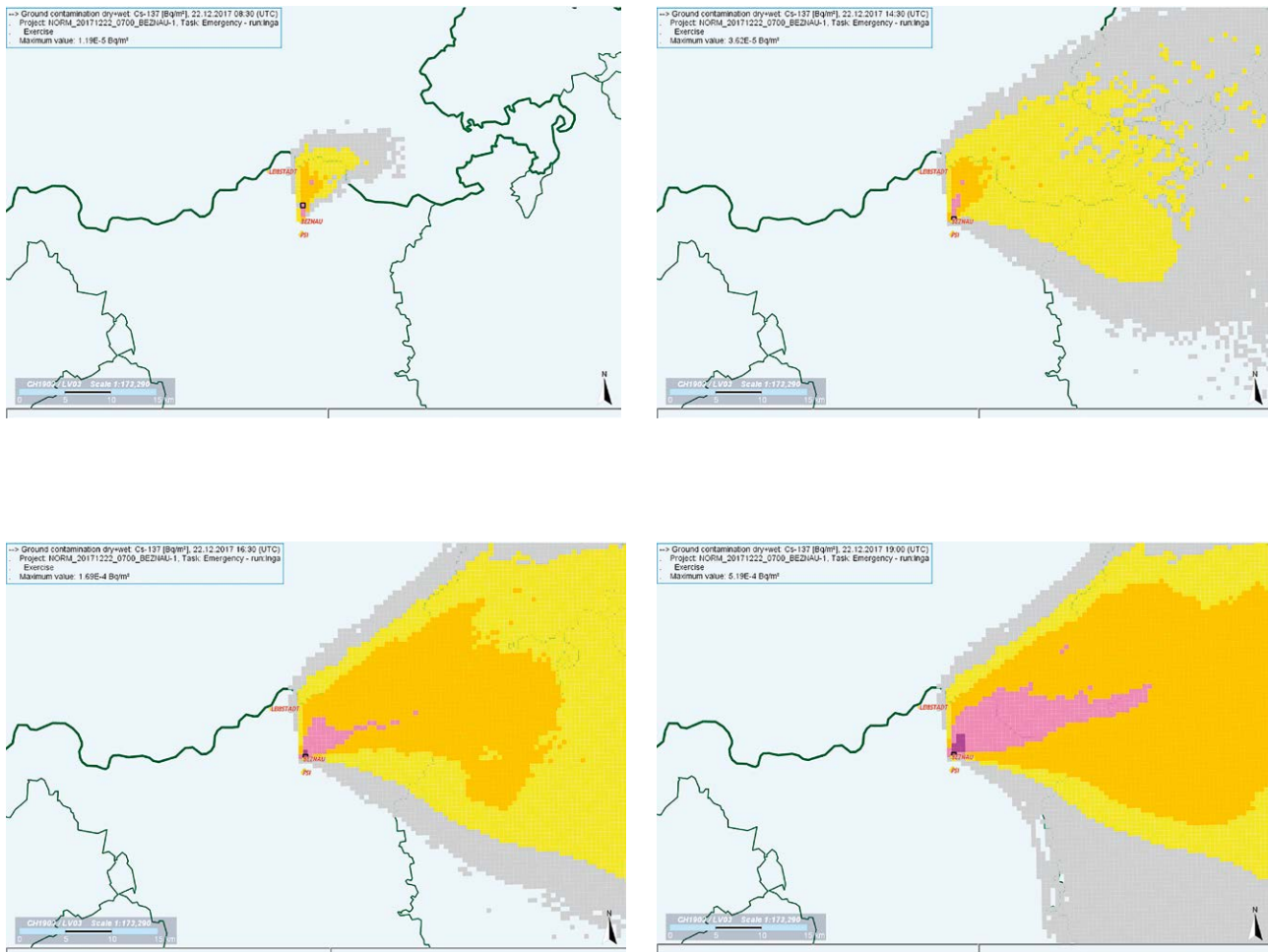
Das BABS berichtete seinerseits über die Gesamtnotfallübung in der Novemberausgabe 2017 der Zeitschrift für Risikoanalyse und Prävention, Planung und Ausbildung, Führung und Einsatz.

Beispiele von JRODOS-/COSMO-Berechnungen

Das Ausbreitungsmodell JRODOS ermöglicht im Ereignisfall auf Grund von aktuellen meteorologischen Daten eine realistische Beurteilung der radiologischen Gefährdung der Bevölkerung.

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

Darstellung B.7: Beispiel einer JRODOS-/COSMO-Simulation für das KKB



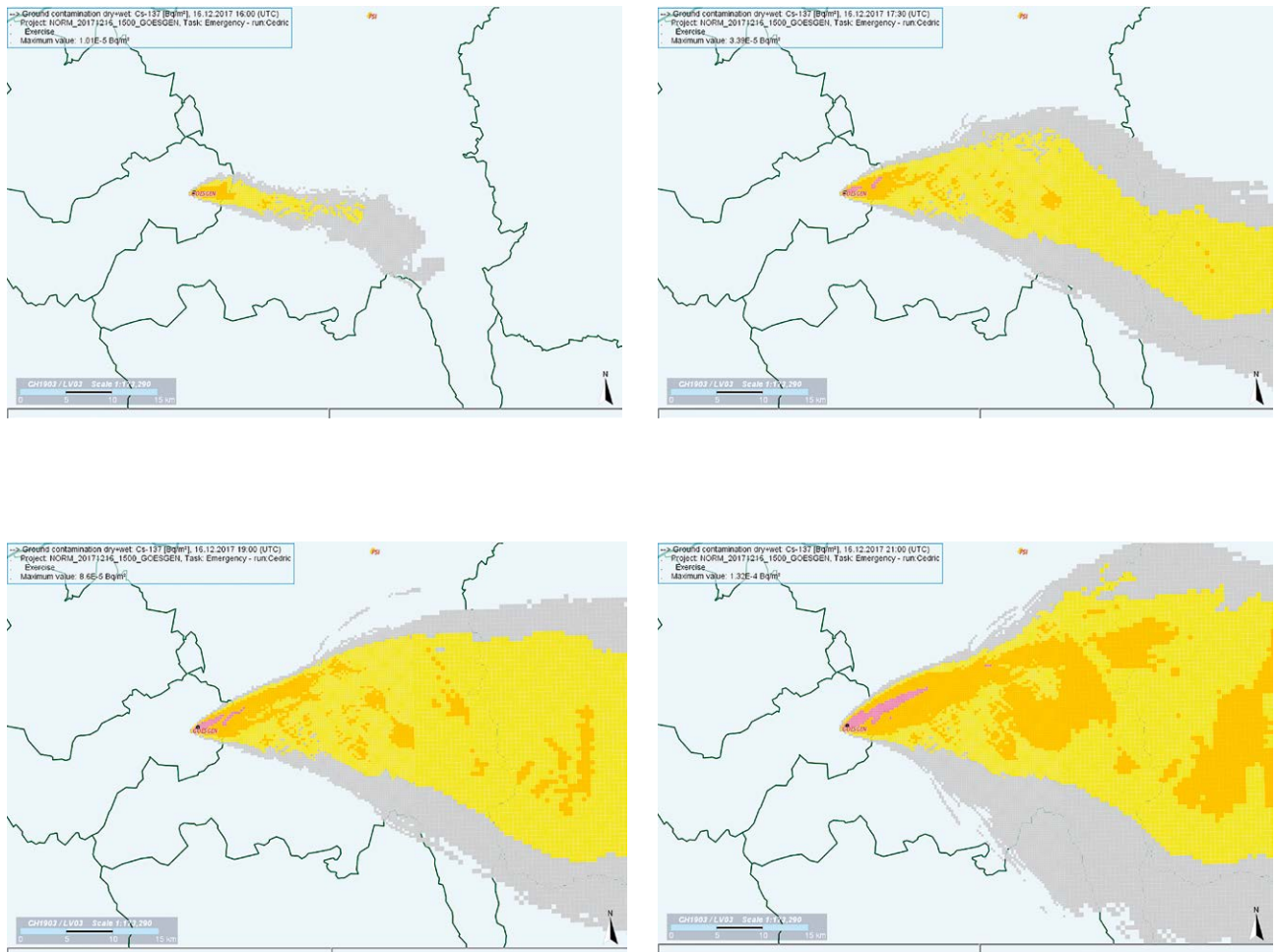
Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 22. Dezember 2017 um 8:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 50 m über Boden, Dauer der Freisetzung 12 Stunden.

Ausbreitungssituation um 9:30 Uhr (links oben), 15:30 Uhr (rechts oben), 17:30 Uhr (links unten) und 20:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

Vordergrund: integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit bis zu einer Abwinddistanz von 48 km.

Hintergrund: politische Grenzen

Darstellung B.8: Beispiel einer JRODOS-/COSMO-Simulation für das KKG



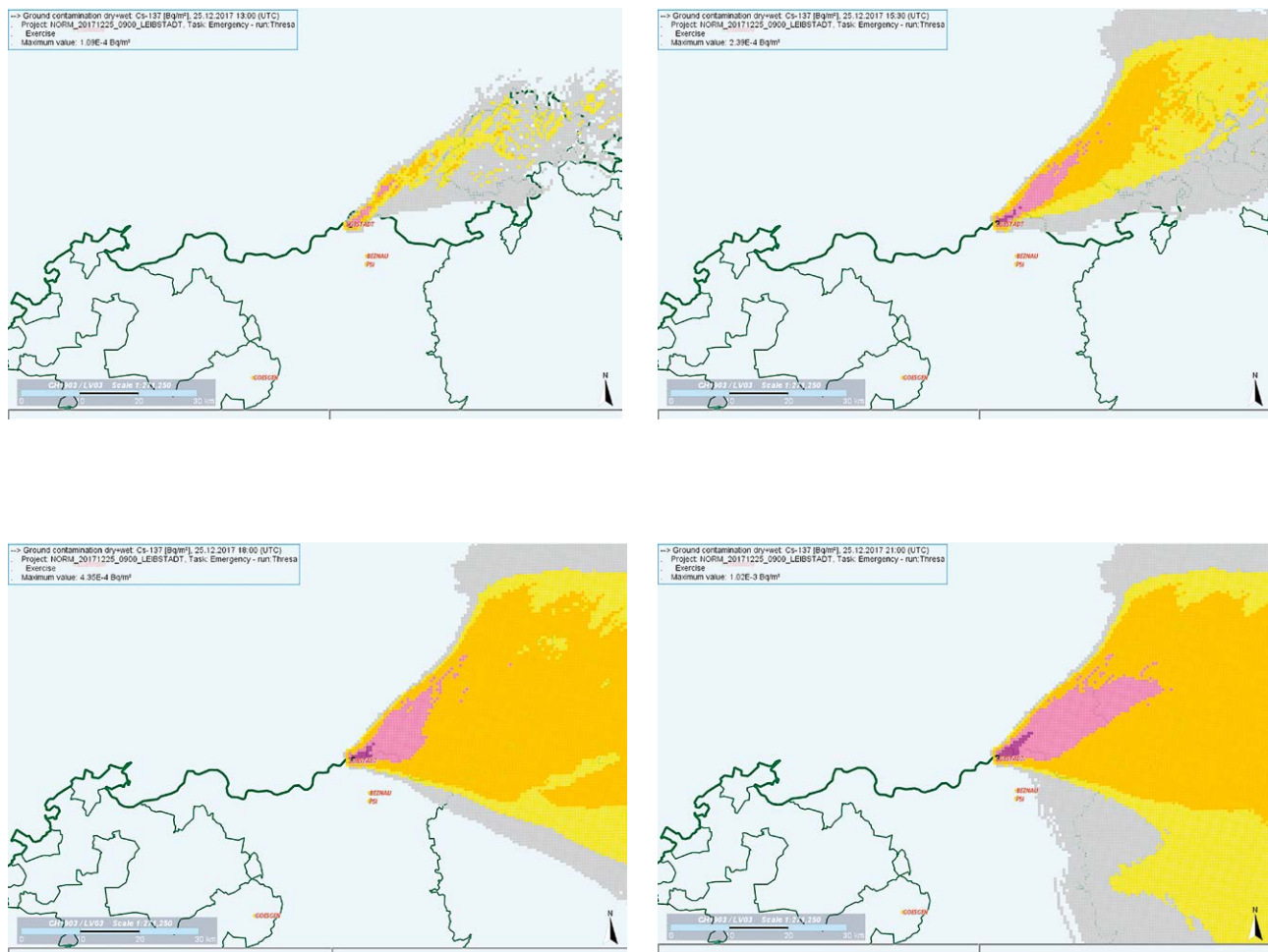
Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 16. Dezember 2017 um 17:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 50 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden.

Ausbreitungssituation um 17:00 Uhr (links oben), 18:30 Uhr (rechts oben), 20:00 Uhr (links unten) und 22:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

Vordergrund: integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit bis zu einer Abwinddistanz von 48 km.

Hintergrund: politische Grenzen

Darstellung B.9: Beispiel einer JRODOS-/COSMO-Simulation für das KKL



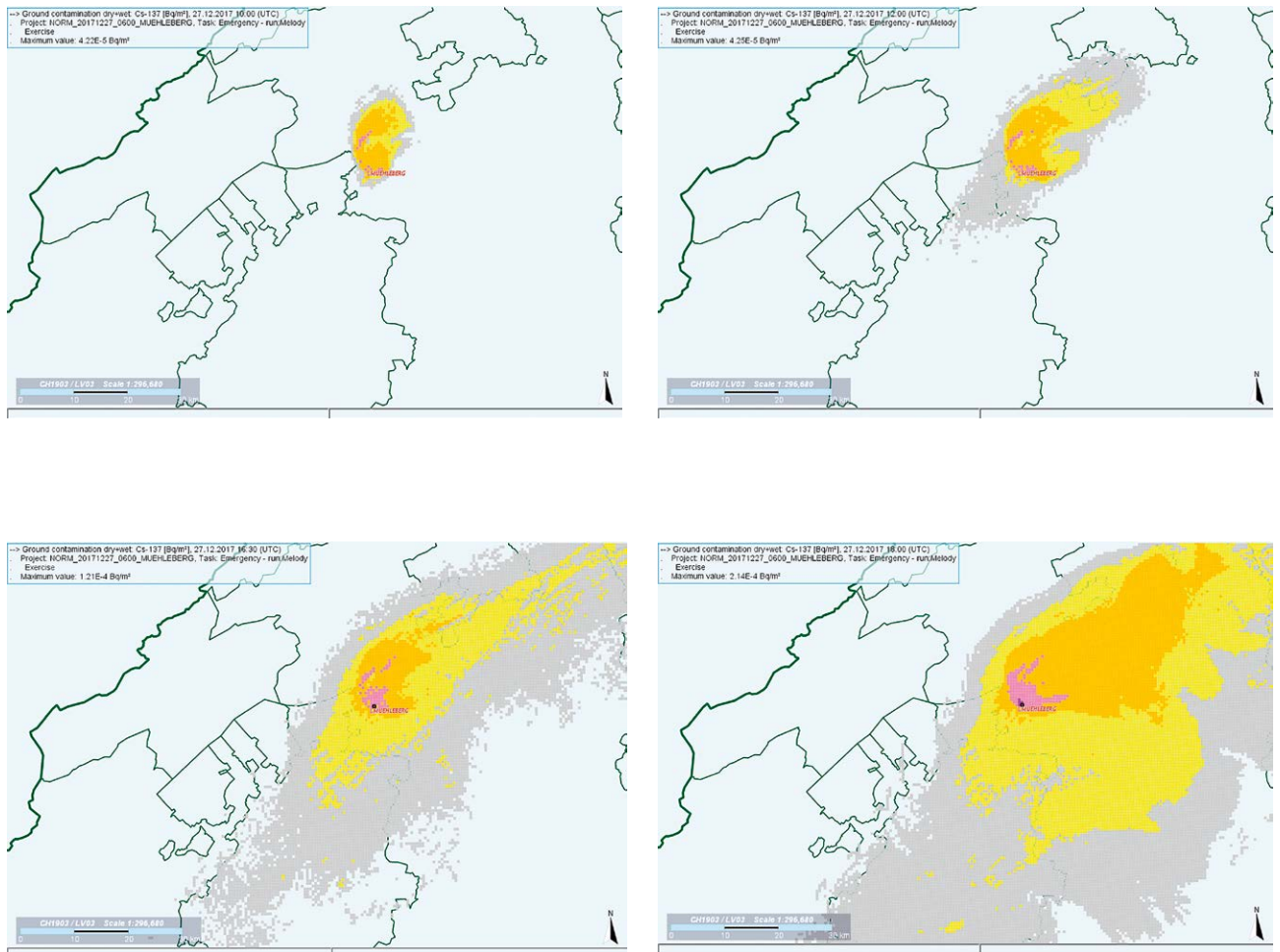
Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 25. Dezember 2017 um 10:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 50 m über Boden, Dauer der Freisetzung 12 Stunden.

Ausbreitungssituation um 14:00 Uhr (links oben), 16:30 Uhr (rechts oben), 19:00 Uhr (links unten) und 22:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

Vordergrund: integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit bis zu einer Abwinddistanz von 48 km.

Hintergrund: politische Grenzen

Darstellung B.10: Beispiel einer JRODOS-/COSMO-Simulation für das KKM



Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 27. Dezember 2017 um 7:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 50 m über Boden, Dauer der Freisetzung 12 Stunden.

Ausbreitungssituation um 11:00 Uhr (links oben), 13:00 Uhr (rechts oben), 17:30 Uhr (links unten) und 19:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

Vordergrund: integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit bis zu einer Abwinddistanz von 48 km.

Hintergrund: politische Grenzen

9 Aeroradiometrische Messungen

9.1 Einleitung

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

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

Im Jahre 1994 wurde die Aeroradiometrie in die Einsatzorganisation Radioaktivität des Bundes integriert. Als mögliche Einsatzfälle stehen Transport- und Industrieunfälle mit radioaktivem Material, KKW-Störfälle, Abstürze von Satelliten mit nuklearer Energieversorgung 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 l Volumen beschafft, kalibriert und bei den Messflügen 2007 erstmals eingesetzt. Ende 2014 wurde der alte 16,8-l-Detektor sowie das Spektrometer durch einen neuen Detektor mit integriertem, digitalen Spektrometer ersetzt. 2015 erfolgte die Kalibration und der Einsatz bei den Messflügen.

Im Jahre 2010 (Bucher et. al, 2010) wurde mithilfe der Auswertung der Langzeitdaten die Nachweisgrenze der Messmethode ermittelt: 0,02 µSv/h werden in 95 von 100 Fällen erkannt (Vertrauens-

bereich 95%). Dies entspricht ungefähr 20% der natürlichen externen Strahlung.

9.2 Messungen und Messresultate 2017

Im Juni 2017 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM) gemessen. Im Rahmen der Messflüge 2017 fand auch eine internationale Messübung mit Teilnehmern aus Deutschland, Frankreich und Tschechien statt. Zudem nahm ein Messteam des Kompetenzzentrums ABC-KAMIR der Armee teil. Es setzte ein neues Messsystem ein, das ab 2018 die bestehende Aeroradiometrieausrüstung ablösen wird. Bei der internationalen Messübung wurde ein Composite Mapping mit integrierter Quellensuche durchgeführt sowie ein Profil durch die Nordostschweiz und zwei Referenzgebiete gemessen. Über dem Zugersee fanden Messungen zur Bestimmung des Untergrunds statt. Im Folgenden werden nur die Resultate der Messungen in der Umgebung der Kernanlagen diskutiert. Die Ergebnisse sämtlicher Messungen werden in einem PSI-Bericht im Verlauf des Jahres 2018 publiziert.

Die Messresultate im Messgebiet des KKG und KKM zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. Im Bereich des KKG sind keine besonderen Werte bei der Ortsdosisleistung (Darstellung B.11) zu erkennen. Das KKG mit seinem Druckwasserreaktor konnte aeroradiometrisch weder aufgrund der Ortsdosisleistung noch aufgrund des MMGC-Verhältnisses erkannt werden. Das MMGC-Verhältnis steht für den Quotienten der Zählraten im Energiebereich von 400–1400 keV und 1400–3000 keV. Da die meisten Spaltprodukte Gammalinien im Energiebereich unterhalb von 1400 keV aufweisen, stellt das MMGC-Verhältnis ein empfindliches Instrument zur Lokalisierung künstlicher Radionuklide dar.

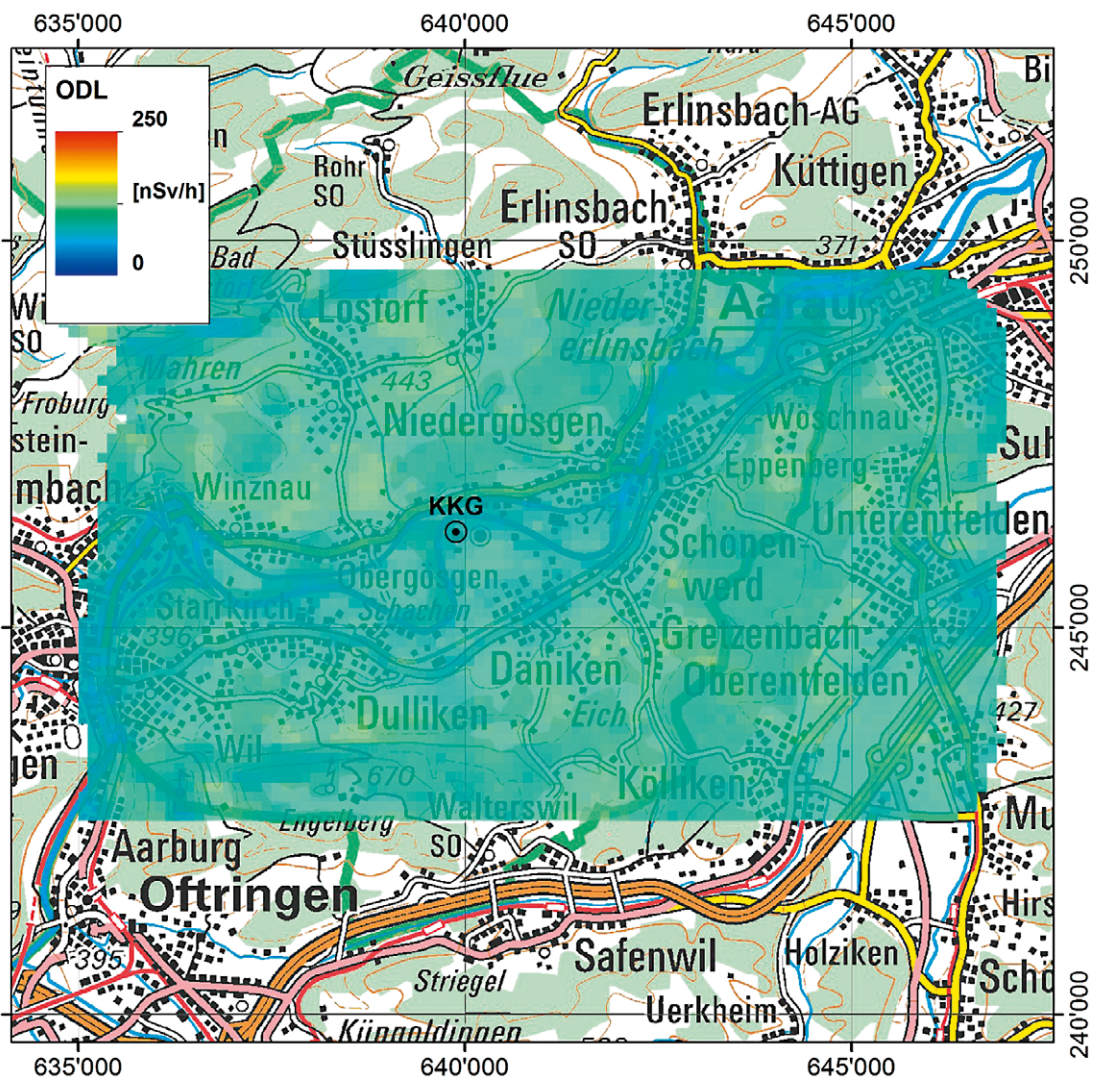
Im Gegensatz zu KKG können am Standort des KKM in der Darstellung B.12 erhöhte Messwerte erkannt werden. Das KKM mit seinem Siedewasserreaktor konnte anhand gestreuter, hochenergetischer Photonenstrahlung wie in früheren Jahren

erkannt werden. Diese Strahlung wird durch das Aktivierungsprodukt ^{16}N erzeugt, welches bei Siedewasserreaktoren durch die Frischdampfleitung in die Turbinen im Maschinenhaus gelangt. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise gering abgeschirmt ist, kann die hochenergetische Gammastrahlung des ^{16}N aus der Luft gut gemessen werden. Die hochenergetische Gammastrahlung führt über Paarbildung und die damit verbundene Annihilationsstrahlung auch zu einem Peak bei 511 keV im Spektrum. Zusätzlich zur ^{16}N -Strahlung konnten im 2017 auch die Gammalinien von ^{137}Cs und ^{60}Co in Spektren bei KKM erkannt werden

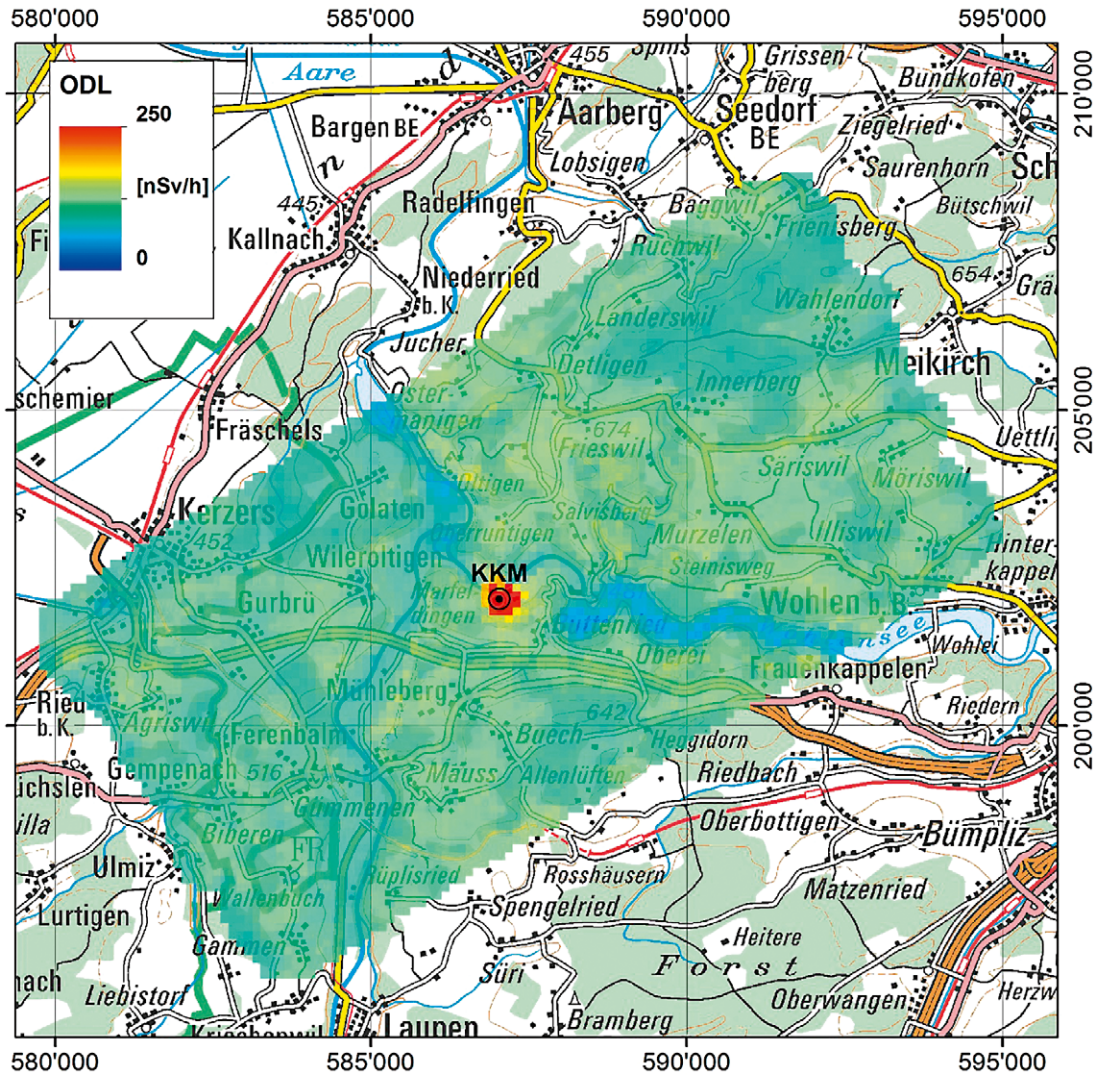
(Darstellung B.13). Während der Messflüge im Jahr 2017 wurden von Mitarbeitenden des KKM Fässer mit radioaktivem Abfall gemessen. Dabei war auch die Abschirmung zum Zwischenlager des KKM für radioaktive Abfälle geöffnet. Dadurch konnte ein Signal der dort gelagerten Abfälle aus der Luft detektiert werden.

Ausserhalb der Betriebsareale waren keine erhöhten Werte erkennbar. Unterschiede sind auf Einflüsse der Topographie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen.

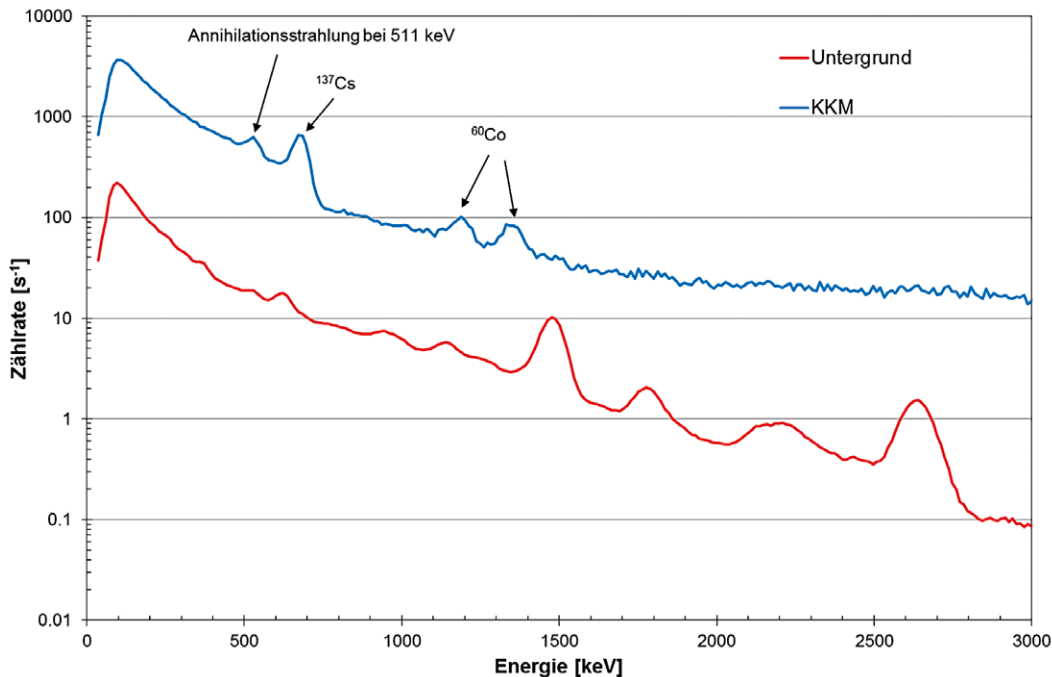
Darstellung B.11: Ortsdosisleistung 2017 im Messgebiet des KKG. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.



Darstellung B.12: Ortsdosisleistung 2017 im KKM-Messgebiet. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.



Darstellung B.13: Gemittetes Spektrum im Bereich des Betriebsgeländes des KKM im Vergleich zum gemittelten Spektrum ausserhalb des Betriebsareals.



9.3 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
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-10296
ISSN 1661-2914

© ENSI, Juni 2018

ENSI-AN-10296
ISSN 1661-2914

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