



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 2018

Strahlenschutzbericht 2018

Rapport sur la radioprotection 2018

Rapporto di radioprotezione 2018

Radiological protection report 2018

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4
Préface	6
Prefazione	8
Foreword	10
Uncertainties in radiation risks, particularly at low doses, from an epidemiological point of view	13
A: Strahlenschutz in den Kernanlagen	19
1 Kernkraftwerke	21
1.1 Kernkraftwerk Beznau (KKB)	21
1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)	24
1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)	26
1.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)	28
2 Weitere Kernanlagen	31
2.1 Paul Scherrer Institut (PSI)	31
2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)	31
2.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)	32
2.4 Universität Basel	33
3 Dosimetrie	35
3.1 Einleitung	35
3.2 Personendosimetrie	35
3.3 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen	36
3.4 Entwicklung der Exposition	37

B:	Umweltradioaktivität bei Kernanlagen, Überwachung	39
4	Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen	41
	4.1 Emissionen aus den Kernanlagen	41
	4.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen	43
5	Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)	47
	5.1 Übersicht	47
	5.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung	47
	5.3 Systemverfügbarkeit und Störungen	49
	5.4 Qualitätssicherung	50
	5.5 Messergebnisse	50
6	Atmosphärische Ausbreitung	55
	6.1 Modellberechnungen im Ereignisfall	55
	6.2 Atmosphärisches Ausbreitungs- und Dosisberechnungsmodell JRODOS	55
7	Aeroradiometrische Messungen	59
	7.1 Einleitung	59
	7.2 Messungen und Messresultate 2018	60
	7.3 Literatur	62
	Anhang 1: Personenedosimetriedaten	63
	Anhang 2: Emissionsdaten aus den Kernanlagen	76

Vorwort

Im vorliegenden ENSI Strahlenschutzbericht 2018 vermittelt das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat 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 Optimierungsprinzips 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 2018 wurden in den Kernanlagen von insgesamt 4938 dosimetrierten Personen 2448,8 Pers.-mSv akkumuliert. Die Kollektivdosen haben einen tiefen Wert erreicht, der dem radiologischen Zustand der Anlagen sowie dem notwendigen Umfang an Arbeiten in den kontrollierten Zonen (z.B. zerstörungsfreie Prüfungen) entspricht.

Aufgrund der angespannten Marktlage beim Fremdpersonal für die Kernkraftwerke inspizierte das ENSI im Berichtsjahr, ob eine genügende Anzahl an Strahlenschutzpersonal während der Revisionsarbeiten vorhanden war. Anlässlich der dabei gewonnenen Erkenntnisse und der Tatsache, dass dem Strahlenschutzpersonal unabdingbare Aufgaben bei der Planung und Überwachung der Tätigkeiten im Werk zukommen, wird die Inspektions-tätigkeit zu diesem Thema 2019 intensiviert.

Die Individualdosen der im Aufsichtsbereich des ENSI beschäftigten Personen sind 2018 mit einem Maximalwert von 12,4 mSv und einem Mittelwert von 0,5 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 von Kernanlagen haben die behördlich festgelegten Abgabelimiten auch 2018 eingehalten, 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 0,005 mSv pro Jahr führten. Der Vergleich mit der mittleren jährlichen Strahlendosis der Bevölkerung in der Schweiz von 5,8 mSv pro Jahr zeigt (siehe nachfolgende Tabelle), 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 deutlich 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 Prüfstation. Der im Januar 2019 bekannt gewordene Vorfall von fingierten Funktionsprüfungsprotokollen im Kernkraftwerk Leibstadt wurde vom Betreiber umgehend behoben, damit die betroffenen Messinstrumente bald möglichst wieder vorgabenkonform eingesetzt werden können. Weitere Aufsichtsmaßnahmen wurden vom ENSI eingeleitet, um die Wiederholung solcher Vorkommnisse zu unterbinden.

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. Die Notfallbereitschaft der Kernanlagenbetreiber wurde anlässlich von Notfallübungen vom ENSI inspiziert. Optimierungsmöglichkeiten wurden vereinzelt festgestellt und die betroffenen Betreiber wurden in Folge dessen angehalten, Verbesserungsmaßnahmen umzusetzen.

Das ENSI hat sich im Berichtsjahr aktiv an den Vorbereitungen für die Gesamtnotfallübung 2019, die unter der Leitung vom BABS organisiert wird, beteiligt. Die aus der letzten Gesamtnotfallübung gewonnenen Erkenntnisse sind ins neue Übungsszenario eingeflossen.

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 adäquater 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 2018, 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 2018, sur les 4938 personnes ayant été mesurées au total, 2448,8 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).

En raison de la situation tendue du marché pour le personnel externe des centrales nucléaires, l'IFSN a vérifié au cours de l'année sous revue si le personnel de radioprotection était disponible en nombre suffisant lors des travaux de révision. Compte tenu de ce qui a été constaté, et du fait que le personnel de radioprotection endosse des tâches indispensables à la planification et à la surveillance des activités dans les installations, les activités d'inspection dans ce domaine seront intensifiées en 2019.

Les doses individuelles des personnes travaillant en 2018 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 12,4 mSv et une valeur moyenne de 0,5 mSv.

Les rejets de substances radioactives depuis les centrales nucléaires par les systèmes d'évacuation d'air et d'eau usée sont abordés dans la partie B du rapport. Les exploitants d'installations nucléaires ont respecté les limites de rejets fixées par les autorités en 2018 également, pour certaines d'entre elles en partie en affichant 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 une dose inférieure à 0,005 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 pourcent.

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.

Par ailleurs, les rejets liquides des installations nucléaires suisses se situaient clairement 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. L'incident des protocoles fictifs de test de fonctionnement de la centrale nucléaire de Leibstadt, connu depuis janvier 2019, a été immédiatement rectifié par l'exploitant afin que les instruments de mesure concernés puissent être réutilisés dès que possible conformé-

ment aux spécifications. L'IFSN a pris d'autres mesures de surveillance pour éviter que de tels incidents ne se reproduisent.

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 journalières, par heure et toutes les 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 revue, 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 (du sol), par exemple après des averses.

Depuis début 2016, le programme JRODOS (Java-based Realtime Online Decision Support system) est employé pour la modélisation de la propagation atmosphérique et le calcul de dose dans le cas où un événement devait se produire. JRODOS permet l'utilisation directe des données 3D de prévisions météorologiques provenant du modèle COSMO-1 systématiquement utilisé par Météo-Suisse 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 d'ordonner des mesures de protection pour la population. Ces instruments sont régulièrement testés lors d'exercices. La préparation aux situations d'urgence des exploitants de centrales nucléaires a été inspectée par l'IFSN lors d'exercices d'urgence. Des possibilités d'optimisation ont été identifiées dans des cas isolés et les opérateurs concernés ont ensuite été invités à mettre en œuvre des mesures d'amélioration.

Au cours de l'année sous revue, l'IFSN a participé activement aux préparations de l'exercice général d'urgence 2019, qui est organisé sous la direction de l'OFPP. Les connaissances acquises lors du dernier exercice général d'urgence ont été intégrées au nouveau scénario de l'exercice.

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 interdite au rayonnement pour le personnel ou la population. L'IFSN conclut que les centrales nucléaires suisses continuent de mener une radioprotection adéquate en appliquant le principe d'optimisation de manière efficace.

Mesures MADUK:

<https://www.ensi.ch/fr/valeurs-de-mesure-de-la-radioactivite/>

Émissions radioactives mensuelles des centrales nucléaires suisses:

<https://www.ensi.ch/fr/documents/document-category/rejets-de-substances-radioactives/>

Prefazione

Nel presente Rapporto di radioprotezione 2018 l'Ispettorato federale di sicurezza nucleare IFSN 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. Vi sono riportate, inoltre, le dosi individuali accumulate dal personale, suddivise 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 2018 negli impianti nucleari le 4938 persone soggette a dosimetria hanno accumulato nel complesso 2448,8 man-mSv. 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).

A causa di una situazione di mercato tesa in relazione all'acquisizione di personale esterno, nell'anno in rassegna l'IFSN ha verificato se durante i lavori di revisione delle centrali nucleari fosse disponibile sugli impianti sufficiente personale addetto alla radioprotezione. In considerazione dei risultati di queste verifiche e del fatto che il personale addetto alla radioprotezione ha compiti essenziali nella pianificazione e nel monitoraggio dei lavori sugli impianti, le attività di ispezione dell'IFSN su questo tema saranno intensificate nel 2019.

Le dosi individuali delle persone occupate nell'ambito di sorveglianza dell'IFSN risultano nel 2018 con un valore massimo di 12,4 mSv e un valore medio di 0,5 mSv chiaramente inferiori al limite di dose di 20 mSv per le persone esposte professionalmente alle radiazioni.

Le emissioni di sostanze radioattive nell'aria e nelle acque di scarico provenienti dagli impianti nucleari sono trattate nella parte B del Rapporto. I gestori degli impianti nucleari hanno rispettato i limiti delle emissioni stabiliti dalle autorità anche nel 2018, in parte anche con margini considerevoli.

Con calcoli molto conservativi l'IFSN conferma che le emissioni delle installazioni nucleari svizzere, ri-

sultano nelle immediate vicinanze in una dose appena inferiore a 0,005 mSv l'anno. Il confronto con la dose media annua dovuta alle radiazioni assorbite dalla popolazione svizzera di 5,8 mSv (cfr. la tabella seguente) evidenzia che il contributo corrispondente proveniente dalle installazioni nucleari è compreso al massimo entro lo 0,1 per cento.

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 distintamente inferiori al valore prefissato di 1 GBq l'anno (senza trizio) stabilito dall'IFSN sulla base di raccomandazioni internazionali. Il trizio, come è usuale a livello internazionale e in conformità ai limiti separati contenuti nelle autorizzazioni d'esercizio delle installazioni nucleari, viene misurato separatamente. La definizione di un valore prefissato garantisce che le opzioni disponibili grazie all'avanzamento della scienza e della tecnica vengano valutate e, se proporzionate allo scopo, implementate in soluzioni tecniche.

L'IFSN si è convinto, mediante ispezioni e misurazioni comparative, che sussistano i necessari strumenti di misura per la 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. L'evento, riportato nel gennaio 2019, in relazione alla falsificazione di protocolli di test da parte della centrale nucleare di Leibstadt è stato immediatamente affrontato dall' esercente cosicché gli strumenti di misura in questione possano essere riutilizzati il più presto possibile secondo le specifiche. L'IFSN ha avviato

ulteriori misure di vigilanza per evitare il ripetersi di tali eventi.

La rete di misurazione gestita dall'IFSN per la sorveglianza automatica dei ratei di dose nei dintorni delle centrali nucleari (MADUK) misura durante tutto l'anno, 24 ore al giorno, i ratei di dose nei dintorni delle centrali nucleari. I valori medi delle misurazioni sulle 24 ore, su un'ora e su intervalli di 10 minuti sono riportati sulla pagina internet dell'IFSN e possono essere letti in tempo reale. Per le autorità e l'opinione pubblica questa rete di misurazione serve come uno dei mezzi per stabilire i fatti relativi alle emissioni degli impianti. Nell'anno in rassegna non sono stati rilevati valori elevati delle dosi ambientali, imputabili ai rilasci delle centrali nucleari. Singoli valori di misurazione a livello locale risultati più alti della media sono attribuibili a oscillazioni del valore naturale di radioattività di sottofondo, ad esempio a seguito di piogge.

Dall'inizio del 2016 per il modello di propagazione nell'atmosfera e per il calcolo di dosi in caso di emergenza l'IFSN 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 impiega il modello altimetrico ad alta risoluzione (DHM25) dell'Ufficio federale di topografia swisstopo. In questo modo l'IFSN dispone sempre di preziosi e precisi modelli utilizzabili per una valutazione diagnostica e altresì per una previsione della situazione radiologica sul territorio e per l'elaborazione di raccomandazioni per l'adozione di misure di protezione per la popolazione. Questi modelli sono testati regolarmente durante le esercitazioni di emergenza.

La preparazione alle emergenze degli esercenti delle centrali nucleari è stata oggetto di ispezioni condotte dall'IFSN durante le esercitazioni di emergenza. In casi isolati sono state individuate opportunità di miglioramento e gli operatori interessati sono stati successivamente incaricati di implementare le misure necessarie.

Nell'anno in rassegna, l'IFSN ha partecipato attivamente ai preparativi per l'esercitazione generale d'emergenza 2019, organizzata sotto la direzione dell'UFPP. Le valutazioni fatte a riguardo dell'ultima esercitazione di emergenza generale sono state integrate nel nuovo scenario di esercitazione.

Nel 2018 sono stati rispettati tutti i valori limite dell'Ordinanza sulla radioprotezione. Nelle centrali nucleari non si sono verificati eventi che abbiano provocato un'esposizione alle radiazioni non ammessa per il personale e la popolazione. L'IFSN ne conclude che nelle centrali nucleari svizzere viene esercitata una radioprotezione adeguata, in cui il principio di ottimizzazione è applicato in modo conforme.

Misure MADUK:

<https://www.ensi.ch/it/valori-di-misurazione-radioattivita/>

Emissioni radioattive mensili delle centrali nucleari svizzere (in tedesco):

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

Foreword

In this Radiological Protection Report 2018 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 2018 a total of 4938 classified persons (persons obliged to wear a personal dosimeter for work purposes) received 2448,8 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 areas (e.g. non-destructive inspections).

Due to the tense market situation of external personnel for the nuclear power plants, ENSI inspected in the reporting year whether a sufficient number of radiation protection personnel was available during the revision work. In view of the knowledge gained and the fact that the radiation protection personnel have indispensable tasks in the planning and monitoring of the activities in the plant, the inspection activities on this topic will be intensified in 2019.

With a maximum amount of 12,4 mSv and a mean amount of 0,5 mSv, the individual doses for people employed in ENSI's domain of supervision in 2018 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 2018, 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 0,005 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 well 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 incident of fictitious functional test protocols at the Leibstadt nuclear power plant, which became known in January 2019, was immediately rectified by the operator so that the concerned measuring instruments could be used again as soon as possible in accordance with the specifications. Further supervisory measures were initiated by ENSI to prevent the repetition of such incidents.

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 beginning 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 small-scale 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. The emergency preparedness of the nuclear plant operators was inspected by ENSI during emergency exercises. Opportunities for optimization were identified in isolated cases, and the operators concerned were subsequently instructed to implement improvement measures.

In the year under review, ENSI actively participated in the preparations for the total emergency exercise 2019, which is being organized under the direction of the FOCP. The knowledge gained from the last total emergency exercise has been incorporated into the new exercise scenario.

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 adequate radiological protection in which the optimisation principle is systematically applied.

MADUK measurements:

<https://www.ensi.ch/en/dose-rates/>

Monthly radioactive emissions from Swiss nuclear power plants (in German):

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

Uncertainties in radiation risks, particularly at low doses, from an epidemiological point of view

Linda Walsh PhD, DSc.

Department of Physics, Science Faculty,
University of Zürich, Winterthurerstrasse 190,
CH-8057 Zürich, Switzerland

Introduction

Epidemiology has been defined (Last, 2001) as «*The study of the distribution and determinants of health related states and events in populations, and the application of this study to control health problems*». Radiation epidemiology involves the assessment of detrimental health risks for humans, due to exposures from ionising radiation such as α - and β -particles, γ - and X-rays, neutrons, protons and heavy-ions (carbon), which are known to penetrate, to varying degrees, into the human body and cause damage. First indications of danger from radiation, involving individuals with skin burns and eye damage, were noticed shortly after the 1895 discovery of X-rays. Early indications of danger in groups of people involved a cluster of leukaemia cases among Berlin radiologists (von Jagie et al, 1911). Since then, many other studies have provided important information on detrimental health effects from radiation exposures. Radiation epidemiology has steadily acquired an important role in science, medicine and public perception. The scientific output of results in this field of research is continually growing due to the ever increasing efforts to determine the levels of detrimental health risks per unit radiation dose. Such results are directly relevant to setting radiation protection guidelines in terms of various dose limits for occupationally exposed workers and the general public. Dose limits come from assessments and recommendations issued and regularly updated by international bodies, such as the International Commission on Radiological Protection (ICRP 2007) and the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR 2008).

Radiation epidemiological investigations of exposed human groups are varied and include stud-

1. Survivors of the World War II Hiroshima and Nagasaki atomic bombings

2. Radiotherapy: cancer

Childhood
Cervical
Endometrial
Breast
Hodgkin lymphoma

3. Radiotherapy: non-cancer

Spondylitis
Thymus
Tonsils
Menstrual disorders
Scalp ringworm
Mastitis
Infertility
Otitis media
Hemangioma
Arteriovenous malformation

4. Diagnostic

General
TB fluoroscopy
Pelvimetry
Scoliosis
CT

5. Occupational

Radium dial painters
Miners (radon, gamma, radionuclides)
Radiologists
Technicians
Nuclear workers
Atomic veterans

6. Environmental

Chernobyl
Fukushima
Weapons fallout
Natural background
Techa River

Table 1: Six types of exposed human groups under investigation in radiation epidemiological studies. This table has been updated and adapted from a similar table originally given in UNSCEAR (2008).

ies on the groups given in Table 1. The main outcomes in detrimental health effects investigated include solid cancers and leukaemia, both known to have radiation as an important risk factor. Other non-cancer diseases such as cardiovascular disease and cataract development have also been thoroughly researched. As time goes by and knowledge increases it is becoming possible to obtain risk estimates with more and more precision in terms of ever decreasing uncertainty bounds on the risks and at ever decreasing doses. However there are still major sources of uncertainty involved in determining risks, particularly at the low doses that are of main concern in radiation protection (<100 mSv organ dose). The aim of this article is to provide an insight into the practical sources of uncertainties inherent in radiation risks, particularly at low doses, from an epidemiological point of view. A general description is given of the main: practical sources of uncertainty; radiation risk measures; and types of studies from which these risks are obtained. Then, a model used to assess the shape of risk to dose response relationships and a quantity for assessing differences in risk from acute and protracted radiation exposure situations are presented. Finally, a few of the most recent developments in these areas will be briefly described and discussed.

Practical sources of uncertainty

In the formulation of dose limit recommendations for radiation protection, the main sources of uncertainty, from the epidemiological view-point, are:

- the relative damaging effects of the various types of radiation and the radio-sensitivity of different organs or tissue types;
- the factors by which radiation risks for children and young persons are higher than for adults;
- magnitude, shape and statistical significance of the cancer risk as a function of dose. These risks are not always well-defined, particularly at the lower end of the dose range;
- possible differences in cancer risks from acute high-dose-rate exposures (e.g., from the Life Span Study (LSS) of survivors of the World War II atomic bombings in Hiroshima and Nagasaki) and from protracted low-dose-rate exposures (e.g., in nuclear workers and relevant for radiation protection of the general population).

Study types. The two main study designs used in radiation epidemiology are Case-Control and Cohort. Cohort studies (Grimes and Schulz, 2002) are usually considered to be the gold-standard. A cohort is a group of people with a common exposure potential and studies of this type usually start with disease-free «at-risk» population (susceptible to the disease of interest). The study involves determining the eligibility of persons to be included in the cohort and their exposure status and then following-up and counting incident events (e.g., cancer incidence) or deaths from certain causes. In the last couple of decades, concerted efforts to reduce the uncertainties inherent in single studies have come from combined studies that either pool the data (data-pooling studies) or pool the results (meta-analyses) from several studies.

Radiation risk measures. Time integrated risk measures (e.g., lifetime risks) can be calculated using results from radiation epidemiology cohorts in the form of the Excess Relative Risk or Excess Absolute Risk (ERR or EAR, see Figure 1), e.g., from the LSS (Preston et al, 2007). An ERR/Sv of 0.5 for solid cancers (Figure 1), means that an irradiation of 1 Sv increases the normal (background or baseline) solid cancer rate by 50%. This is close to the sex-averaged risks for solid cancer incidence in the LSS that is applicable for 70 year old survivors who were exposed at age 30 years. Notably, age attained, age at exposure and sex are known to be the main risk influencing factors in the LSS study. Results from the LSS consistently show that all solid cancer risks go down with increasing age at exposure (i.e., children are more sensitive to a unit radiation dose than adults) and are, for females, approximately twice as large as for males at the same dose, age at exposure and age attained. The uncertainties of the ERR and EAR in terms of their confidence intervals, are affected by the statistical power in the epidemiological data to actually determine an effect of radiation. The statistical power increases with increasing numbers of cases of the detrimental health effect under investigation and increasing sizes of the detrimental health effect per unit dose, and with increasing dose ranges. It follows that, by examining risk results per unit dose from any one particular study, as they are reported at various stages over time with increasing epidemiological follow-up, the confidence intervals on the risks will be seen to progressively decrease. In general, further sources of uncertainties in the ERR and EAR levels obtained from epidemiological

studies could be caused by many different potential types of biases, unless the study is very well designed at the outset to avoid biases.

Relative biological effectiveness and organ sensitivity. Radiation epidemiological studies often involve concurrent exposure to more than one type of radiation. The LSS, for example, involves exposure to external gamma rays, but there was also a neutron exposure. So a source of uncertainty comes from apportioning the resulting radiation related risks of detrimental health effects between the two types of radiation (or, in some studies, even more than two). The Relative Biological Effectiveness (RBE) is the ratio of the doses of the two types that separately result in the same detrimental health effect level. RBE is often used as a weighting factor in analyses of cohort data. Then the risks are reported per unit organ weighted-dose (where organ weighted-dose = dose from type 1 radiation + RBE (of type 2 relative to type 1 radiation)*dose from type 2 radiation). However there is often not enough statistical power in the data to adequately determine RBE levels directly from the epidemiological data, except with very large uncertainties reflected in the very large confidence intervals on the RBE estimates.

It is known from the LSS and other studies that some organs/tissues are more sensitive to radiation than others. The most radiation sensitive types of cancer are leukaemia and female breast cancer, and the most «radiation relevant» type of cancer occurring in childhood is thyroid cancer. However,

there are still major uncertainties involved in ascertaining the radiation sensitivity of some of the other organs/tissues.

The linear no-threshold model. The results from radiation epidemiological studies, in the form of the shapes of the cancer risks when plotted as a function of dose (the dose-response function), are not always well-defined, particularly at the lower end of the dose range (where the associated error bars on the risks tend to be relatively wider than they are at higher doses). Often, epidemiological results indicate that a linear dose-response fits the data well in the intermediate dose range (from a few hundred mSv up to a couple of Sv organ dose). For radiation protection, the dose range up to 100 mSv organ dose is of particular interest because it corresponds approximately to the dose limit for radiation workers over a period of five years, applied in many countries. Therefore, the strategy of many international and national radiation protection bodies has been to assume that a linear relationship holds for the low dose ranges too, i.e., the «Linear No-Threshold model» (LNT) is applied to directly infer the risks at low doses (<100mSv) by a linear interpolation between the much better defined risks at intermediate doses and zero risk at zero dose.

The dose and dose rate effectiveness factor. Uncertainty exists as to whether the cancer risk per unit dose for chronic exposures accumulated over an extended time period differs noticeably from the cancer risk per unit dose from a single acute

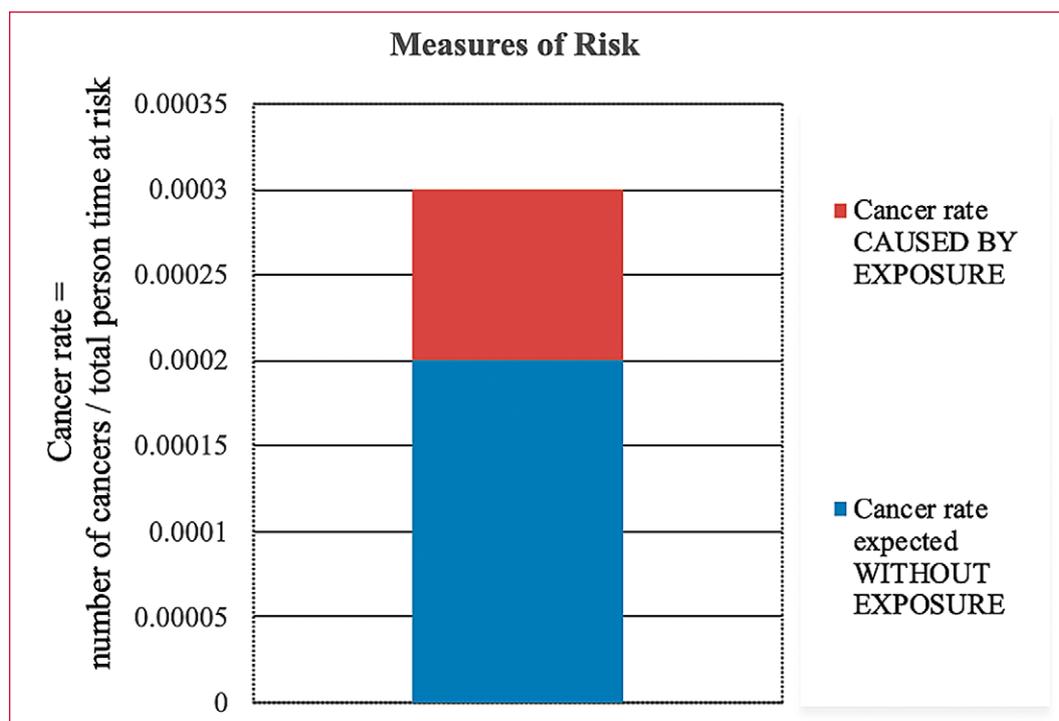


Figure 1: Cancer risk with or without exposure.

exposure. The Dose and Dose-Rate Effectiveness Factor (DDREF) was proposed (UNSCEAR, 1977) to allow for uncertainties in linear risk estimates, from epidemiological studies, at the low dose and/or low dose-rates, where there was evidence of non-linear effects from radiobiological data. DDREF is a factor that concurrently aims to fulfill two tasks. The first task is to provide a general estimate of the ratio of cancer risk per unit of acute exposure to the cancer risk per unit of chronic exposure. The second task is to provide risk estimates at low doses by extrapolation of the risks at high doses. In the current recommendations for limiting occupational exposures (ICRP 2007), it has been assumed that solid cancer risk factors are a factor of two lower than risks from the A-bomb survivors LSS (i.e., DDREF=2.0). However other international and national bodies conflict with ICRP on this particular issue (e.g., UNSCEAR (2010) did not apply a DDREF, i.e., here is an implicit assumption of DDREF=1).

Some recent developments

Many excess risk models fitted to radiation epidemiology data and reported in the literature are for LNT shapes for the risk-to-dose response relationship. A recent review of results from a wide variety of modern radiation epidemiological studies on persons mostly with cumulative absorbed doses well below 100 mGy, has concluded that there is generally medium to strong weighting of evidence towards the LNT model (NCRP 2018, Shore et al 2018).

ICRP are currently reviewing the usefulness of the DDREF concept and the weight of evidence for various DDREF values (see e.g., Ruhm et al 2016). DDREF can be thought of as a combination of a low dose effectiveness factor (LDEF) to extrapolate risks from high doses to infer risks from low doses, and a dose rate effectiveness factor (DREF) to extrapolate risks from high dose rates to infer risks from low dose rates. In order to investigate recent epidemiological evidence for the magnitude of the DREF, several publications have adopted a meta-analytic approach (e.g., a study from the ICRP task group currently investigating this, Shore et al, 2017). Such meta-analyses utilize the fact that the low-dose rate (LDR) studies can, when their results are combined to reduce the overall uncertainties, provide direct evidence regarding risk from exposures at low dose rates as an important comple-

ment to the risk estimates from the Japanese A-bomb LSS which are usually used for radiation protection purposes. However, the variation in the various DREF results given in the Shore et al, 2017 sensitivity analysis (DREF = 3.0, 1.9 or 0.9 for all 22 LDR studies, all studies except one influential study (the Mayak workers) and all mortality studies except Mayak, respectively) accommodates the variation in results between the different analyses published since 2007 (range DREF = 0.83 to 3.0, see Shore et al, 2017 for relevant citations).

In a concerted effort to learn more from individual radiation epidemiology studies, a recent strategy has been to pool the data from many smaller studies to reduce the overall statistical uncertainties on the resulting risk. Two recently published pooled studies have provided direct evidence of an increased risk under 100 mGy organ dose and are worth highlighting. One study (Little et al, 2019) specifically designed a pooled study of nine cohorts to investigate leukaemia and myeloid malignancy among people only exposed to low doses (<100 mSv). Here the mean bone marrow dose was only 19.6 mSv, calculated from 262 573 persons exposed under 21 years of age. The EAR at 100 mSv ranged from 0.1 to 0.4 cases or deaths per 10000 person-years at risk. Another study of nuclear workers in USA, France and UK (Richardson et al 2015) reported, for all cancers other than leukaemia, an ERR of 0.81 (90 % CI: 0.01; 1.64) for the 0-100 mGy colon dose range. Both sets of results directly imply that the current system of radiological protection (based on the LNT model) is prudent and not excessively protective at low doses. However, in assessing evidence for or against various radiation protection strategies, all of the available evidence from radiation epidemiology (i.e., not just from two particular studies) needs to be taken into account, along with other important evidence from dosimetric, radiobiological (animal and cell experiments) and bio-statistical assessments of all types of relevant data and uncertainties.

References

- Grimes DA, Schulz KF.* Cohort studies: marching towards outcomes: THE LANCET; Vol 359; January 26, 2002
- ICRP (2007)* The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann ICRP 7(2–4).

Last J.M. A Dictionary of Epidemiology, Fourth edition, Oxford University Press, 2001.

Little MP, Wakeford R, Borrego D, French B, Zablotska LB, Adams MJ, Allodji R, de Vathaire F, Lee C, Brenner AV, Miller JS, Campbell D, Pearce MS, Doody MM, Holmberg E, Lundell M, Sadetzki S, Linet MS, Berrington de González A. «Leukaemia and myeloid malignancy among people exposed to low doses (<100 mSv) of ionising radiation during childhood: a pooled analysis of nine historical cohort studies» *Lancet Haematol.* Vol 5, issue 8, 346–358, 2018

NCRP Commentary No. 27 by Shore RE, Beck HL, Boice JD Jr, Caffrey EA, Davis S, Grogan HA, Mettler FA Jr, Preston RJ, Till JE, Wakeford R, Walsh L, Dauer LT. Implications of Recent Epidemiologic Studies for the Linear-Nonthreshold Model and Radiation Protection, 2018

Preston DL, Ron E, Tokuoka S, Funamoto S, Nishi N, Soda M, Mabuchi K, Kodama K Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958–1998. *Radiat Res* 168, 1–64, 2007

Richardson DB, Cardis E, Daniels RD, Gillies M, O'Hagan JA, Hamra GB, Haylock R, Laurier D, Leuraud K, Moissonnier M et al. 2015. Risk of cancer from occupational exposure to ionising radiation: retrospective cohort study of workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS). *Br Med J.* 351 h5359.

Rühm W, Azizova TV, Bouffler SD, Little MP, Shore RE, Walsh L, Woloschak GE. Dose-rate effects in radiation biology and radiation protection. *Ann ICRP* 45(1 supp.) 262–79, 2016

Shore RE, Walsh L, Azizova T, Rühm W. Risk of Solid Cancer in Low Dose-Rate Radiation Epidemiological Studies and the Dose-Rate Effectiveness Factor. *Journal of Radiation Biology* 93(10):1064–1078, 2017

Shore RE, Beck HL, Boice JD Jr, Caffrey EA, Davis S, Grogan HA, Mettler FA Jr, Preston RJ, Till JE, Wakeford R, Walsh L, Dauer LT. Implications of recent epidemiologic studies for the linear nonthreshold model and radiation protection. *J. Radiol. Prot.* 38 1217–1233, 2018

UNSCEAR (1977) SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1977 report to the General Assembly, with annexes, <http://www.unscear.org/unscear/en/publications/1977.html>

UNSCEAR (2008) EFFECTS OF IONIZING RADIATION, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2006 Re-

port to the General Assembly, with annexes, http://www.unscear.org/unscear/en/publications/2006_1.html

UNSCEAR (2010) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly, includes Scientific Report: Summary of low-dose radiation effects on health, 2011

von Jagie N, Schwarz G, Siebenrock L. Blutbefunde bei Röntgenologen. *Berliner Klinische Wochenschrift.* 48, 1220–1222, 1911

A: Strahlenschutz in den Kernanlagen

Vorwort der Leitung der Sektion Radiologischer Arbeitsschutz

Die Sektion Radiologischer Arbeitsschutz beaufsichtigt die Planung, Vorbereitung und Durchführung von Strahlenschutz- und Überwachungsmassnahmen in den Kernanlagen. Zentraler Bestandteil der Aufgaben ist dabei die Aufsicht des operativen Strahlenschutzes vor Ort. Des Weiteren wird in den Kernkraftwerken die Wasserchemie inspiziert. Im Berichtsjahr sind folgende Ereignisse und Meilensteine erwähnenswert.

Die verstärkte Rückbautätigkeit von Kernkraftwerken in Deutschland hat eine angespannte Marktlage bei der Akquise von qualifiziertem Fremdpersonal im Strahlenschutz zur Folge. Dies macht sich in der Schweiz während der Jahresrevisionen der KKW bemerkbar. Trotzdem muss das bei den Betreibern zur Unterstützung eingesetzte Fremdpersonal das Soll sowohl in der Quantität als auch in der Qualität erfüllen. In Anbetracht dieser Tatsache hat das ENSI proaktiv während der Jahresrevisionen die KKW inspiziert. Während KKB, KKG und KKM die Karenz organisatorisch auffangen konnten, stellte man im KKL Mängel fest. Zum Beispiel wurde bei einer unangemeldeten Inspektion ausserhalb der normalen Arbeitszeit bemerkt, dass im KKL zu wenig Strahlenschutzpersonal anwesend war. Die Abweichung beim Strahlenschutzpersonal hat dazu geführt, das Enforcement des ENSI in diesem Bereich noch weiter zu verstärken. Das ENSI hat aufgrund der Inspektionsbefunde noch Ende 2018 alle Betreiber der KKW aufgefordert, den Bestand von Strahlenschutzpersonal auch für die Jahresrevision verbindlich zu regeln. Erfreulich für den Strahlenschutz ist die Eindämmung des Anstiegs von Dosisleistungen an Systemen und Komponenten der Primärkreisläufe in den Kernkraftwerken. Dies ist zum grossen Teil der konsequenten Überwachung und Steuerung von wasserchemischen Parametern zu verdanken. Die Wasserchemie ist im letzten Jahrzehnt zu einem wichtigen Pfeiler für die Minimierung der Strahlenexposition geworden. Durch die Steuerung der Wasserchemie haben die mit dem Alter der Anlagen zunehmend notwendig werdenden Nachrüs-

tungen und die zerstörungsfreien Prüfungen geringere Kollektivdosen beim Personal zur Folge. Zudem trägt die Wasserchemie dazu bei, das Risiko einer Spannungsrisskorrosion in metallischen Werkstoffen zu senken.

Mit der am 1. Januar 2018 in Kraft getretenen revidierten Strahlenschutzverordnung ist bei vielen Richtlinien des ENSI Anpassungsbedarf entstanden. So wurde im Juli 2018 die Richtlinie ENSI-B09 «Ermittlung und Aufzeichnung der Dosen strahlenexponierter Personen» als Neuausgabe in Kraft gesetzt. Als Folge der Revision der Strahlenschutzverordnung wurde ein Kapitel mit dem Titel «Dosimetrie von Personen aus der Bevölkerung» in diese Richtlinie aufgenommen. Im Aufsichtsbereich des ENSI wurde für den Vollzug der geänderten Strahlenschutzverordnung die Gruppe «Personen aus der Bevölkerung» in die beiden Unterkategorien «beruflich tätige Personen aus der Bevölkerung» und «Besucher» aufgeteilt. Damit werden die Ziele der Dosimetrie, die eindeutige Zuordnung von Dosisdaten zur dosimetrierten Person und die Überwachung der Einhaltung der Dosisgrenzwerte auch mit den neuen rechtlichen Vorgaben gewährleistet. Zur Sicherstellung, dass für beruflich tätige Personen aus der Bevölkerung der Dosisgrenzwert von 1 mSv pro Jahr eingehalten wird, ist der Zutritt in die kontrollierte Zone eingeschränkt.

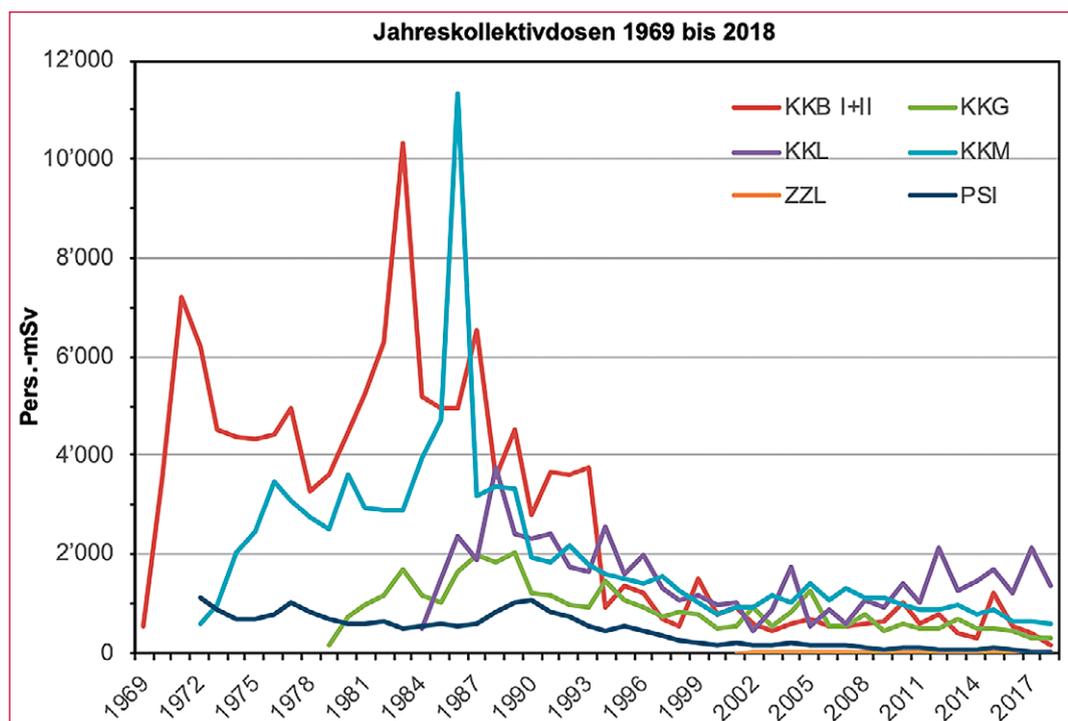
Grundlagen

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 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».



Darstellung A.1: Entwicklung der Kollektivdosen (Pers.-mSv) in den Kernanlagen von 1969 bis 2018.

1 Kernkraftwerke

1.1 Kernkraftwerk Beznau (KKB)

Schutz des Personals

KKB 1 wurde im Berichtsjahr anfangs März nach einem dreijährigen Stillstand wieder angefahren. Im KKB 2 wurde eine rund 13-tägige Abstellung für den Brennelementwechsel durchgeführt.

KKB 1

Aktionen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	
	2017	2018
Brennelementwechsel		
Revisionsstillstand	79	66
Zwischenabstellungen		
Leistungsbetrieb		24
Gesamte Jahreskollektivdosis	79	90

KKB 2

Aktionen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	
	2017	2018
Brennelementwechsel		34
Revisionsstillstand	247	
Zwischenabstellungen		
Leistungsbetrieb	56	26
Gesamte Jahreskollektivdosis	303	60

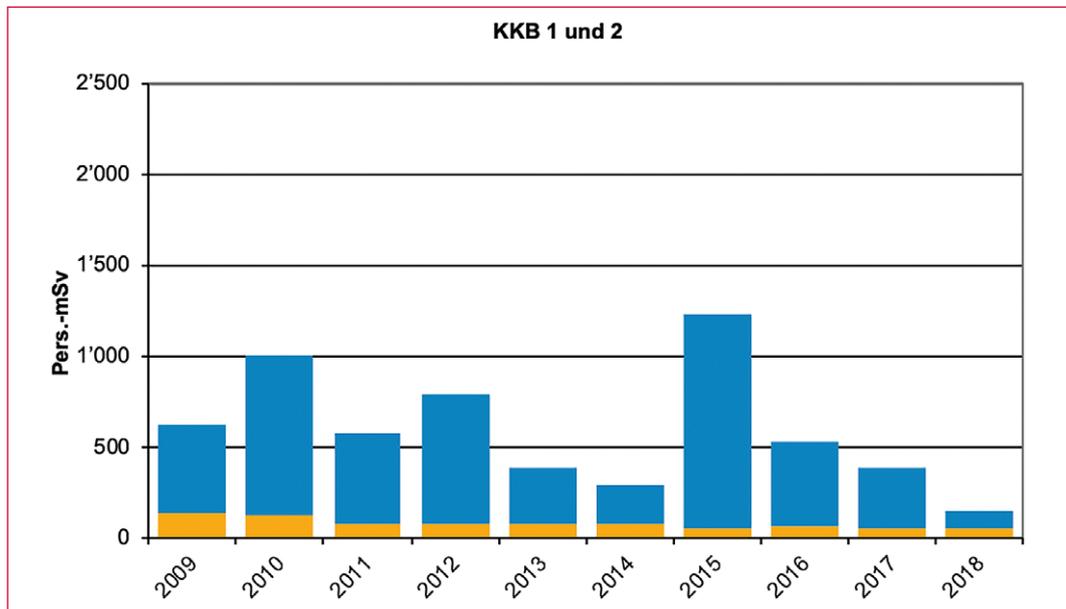
KKB 1 und 2

Aktionen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	
	2017	2018
Revisionsstillstand und BE-Wechsel	326	100
Leistungsbetrieb	56	50
Gesamte Jahreskollektivdosis	382	150

Im Kalenderjahr 2018 wurde in den beiden Blöcken des KKB von 967 dosimetrisch überwachten Personen eine Kollektivdosis von 150 Pers.-mSv verzeichnet. Die höchste im KKB registrierte Individualdosis betrug 3,4 mSv (2017: 5,8 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 19. März 2018 nach einem Betriebsunterbruch von insgesamt 1102 Tagen (Abfahren am 13. März 2015) erfolgreich wieder angefahren. Aufgrund der Komplexität bei der Charakterisierung und Bewertung der Befunde im Grundmaterial des Reaktordruckbehälters (RDB) musste das Wiederauffahren mehrfach verschoben werden. Details dazu finden sich in den Aufsichtsberichten des ENSI. Während des Stillstands wurden wenige strahlenschutzrelevante Revisionsarbeiten durchgeführt.

Die akkumulierte Kollektivdosis für den Stillstand des Blocks 1 im Berichtsjahr vom 1. Januar bis 19. März betrug 66 Pers.-mSv (mit elektronischen



Darstellung A.2: Jahreskollektivdosen (Pers.-mSv) KKB 1 und 2 von 2009 bis 2018. In Blau sind die Daten aus den Revisionsstillständen, in Orange diejenigen aus dem Leistungsbetrieb.

Dosimetern ermittelt und auf DIS-Werte normiert). Im Vergleich zur Plandosis von 76 Pers.-mSv, liegt das Ergebnis im Rahmen der Prognosegenauigkeit von $\pm 20\%$.

Aufgrund des anhaltenden Stillstands des Reaktors hat sich die radiologische Situation seit dem Abfahren im Jahr 2015 nur wenig geändert. Die Dosisleistungen an repräsentativen Messstellen sanken während des Stillstands weiter ab. Das Abklingen der kurzlebigen Korrosionsprodukte, wie zum Beispiel ^{60}Co , führte dazu, dass die Ortsdosisleistungen auf dem Niveau des Jahres 2011 liegen. Lag die ODL an den Closure Legs im Jahr 2015, vor dem Abfahren noch zwischen 3,5 und 4 mSv/h, so wurden im Berichtsjahr noch knapp 2,5 mSv/h gemessen. Bezüglich des Kontaminationszustands, insbesondere der nuklidspezifischen Zusammensetzung, hat sich keine bedeutende Veränderung gegenüber dem Vorjahr ergeben. Als Massnahme in Bezug auf die Alpha-Kontamination in der Reaktorgrube wurde diese konsequent während der gesamten Dauer der Abstellung als Zone IV eingestuft.

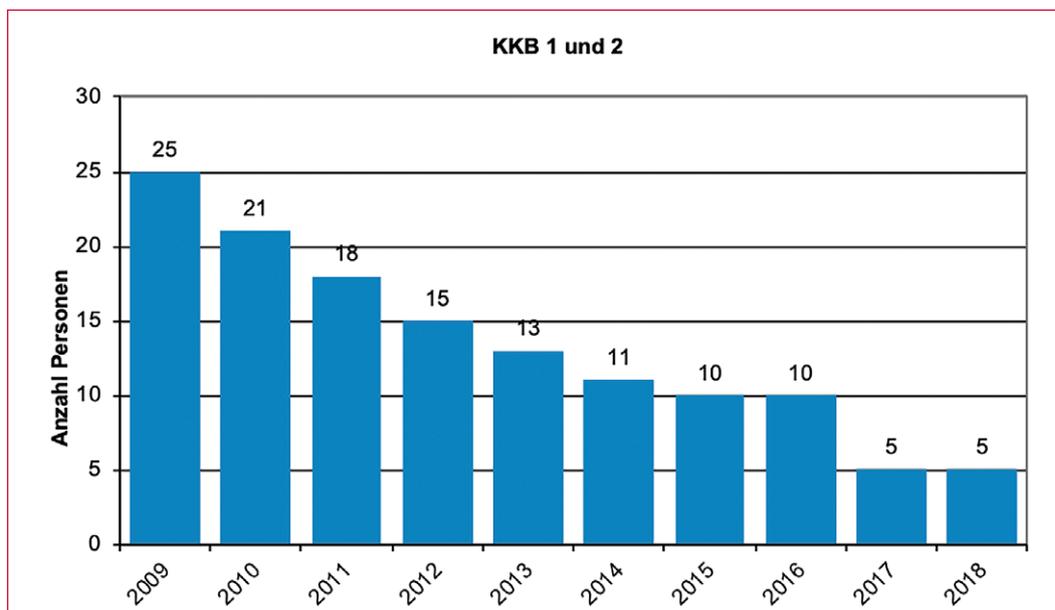
Die Dosisanalysen des KKB für einzelne Arbeiten beziehen sich aus praktischen Gründen auf die drei Monate im Jahr 2018 bis zum Wiederanfahren. Bei einigen Arbeiten konnten trotz schwieriger Umstände bei der Prognose die entstandenen Abweichungen begründet werden. Bei der Mehrzahl der Arbeiten wurden aufgrund der günstigen radiologischen Situation geringere Jobdosen als erwartet akkumuliert.

Block 2 wurde planmässig am 26. Juni 2018 für den 44. Brennelementwechsel abgestellt. Das Abfahren verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Nach einer Stillstandsdauer von 13 Tagen wurde der Leistungsbetrieb am 9. Juli 2018 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 leicht an. Sie beträgt für das Closure Leg A ca. 1,2 mSv/h und für die B-Seite ca. 1,5 mSv/h, was jeweils einen Anstieg um ca. 9% bedeutet. Der RDB-Deckel wurde im Jahr 2015 ersetzt, die dort gemessene Kontaktdosisleistung stieg im Vergleich zum Vorjahr um 15% an. Die ODL an den Dampferzeugern blieb im Vergleich zum Vorjahr fast konstant 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 bei 220. Im Mittel lagen die Werte für die Verhältnisse am Boden der Reaktorgrube bei 3900 und an den Wänden bei 7553. Die Nuklidzusammensetzung der Kontaminationen bestand grösstenteils aus ^{51}Cr und ^{60}Co , stellenweise wurden auch ^{95}Nb , ^{95}Zr sowie ^{58}Co in relevanten Mengen detektiert.

Die Luftkontamination wurde während des gesamten Brennstoffwechsels von ^{60}Co dominiert, das Nuklid trug zwischen 90% und 100% zum CA-Wert bei. Alpha-Aktivitäten wurden keine gemessen.



Darstellung A.3: Anzahl Personen mit einer beruflichen Lebensdosis über 200 mSv, KKB 1 und 2, 2009 bis 2018.

Die mit elektronischen Personendosimetern ermittelte und auf DIS-Werte normierte Kollektivdosis für den Brennelementwechsel betrug 34 Pers.-mSv. Im Vergleich zur Plandosis von 35 Pers.-mSv, liegt das Gesamtergebnis nur minimal unter dem Planungswert. Für viele Arbeiten konnte die Planungs-dosis aufgrund von günstigen Bedingungen sowie aufgrund des reibungslosen Ablaufs der Arbeiten (Zeitersparnis) unterschritten werden. Dazu beigetragen haben auch die niedrigen radiologischen Werte des Beckenwassers sowie das Ausbleiben von grösseren Hotspots und schwer entfernbaren Ablagerungen. Die Gründe für Abweichungen der tatsächlich akkumulierten Jobdosen 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 Abststellungen ein fachgerechter Strahlenschutz praktiziert wurde.

Strahlenschutzinstrumentierung

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

Am 31. Juni 2018 fiel während des Brennelementwechsels der Monitor zur Überwachung der Sicherheitsgebäude-Atmosphäre hinsichtlich radioaktiver Aerosole und Edelgase sowie Iod-Isotope aus. Der Ausfall wurde erst rund 27 Stunden später bemerkt und nach dem Erkennen innerhalb einer Viertelstunde behoben. Die sicherheitstechnische Bedeutung des Vorkommnisses war gering. Die Abluft aus dem Sicherheitsgebäude wird bei einem Brennelementwechsel in den Fortluftkanal geführt. Durch die dort installierte Fortluftkaminüberwachung war die Aktivitätsüberwachung der Sicherheitsgebäude-Atmosphäre ausreichend sichergestellt. Bei Grenzwertüberschreitung löst die Fortluftkaminüberwachung, redundant zum ausgefallenen Monitor, eine Isolation des Sicherheitsgebäudes aus. Der Schutz des Personals war durch die während des Brennelementwechsels zusätzlich aufgestellten mobilen Luftmonitore und Sammler sichergestellt.

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 Vergleichs-

messung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des KKB den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)

Schutz des Personals

Im Berichtsjahr wurden im KKG für rund 1271 beruflich strahlenexponierte Personen folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Werte aus dem Jahr 2017):

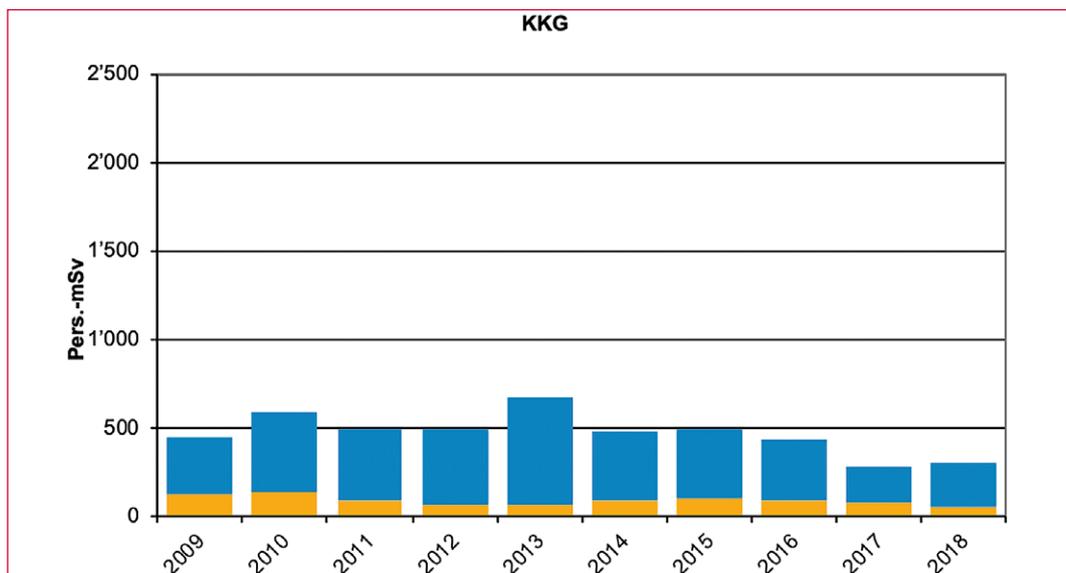
Aktionen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	
	2017	2018
Revisionsstillstand	206	250
Leistungsbetrieb	79	50
Gesamte Jahreskollektivdosis	285	300

Im Kalenderjahr 2018 belief sich die Kollektivdosis im KKG auf 300 Pers.-mSv. Die höchste im KKG registrierte Individualdosis betrug 4,1 mSv (2017: 4,3 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 2. und 23. Juni 2018 war die Anlage wie geplant für die jährliche Revision abgestellt. Bei den Arbeiten während des Revisionsstillstands wurden 281 Pers.-mSv akkumuliert (mittels EPD gemessen, korrigierter EPD-Wert = 250 Pers.-mSv); geplant waren 357 Pers.-mSv (EPD). Während des

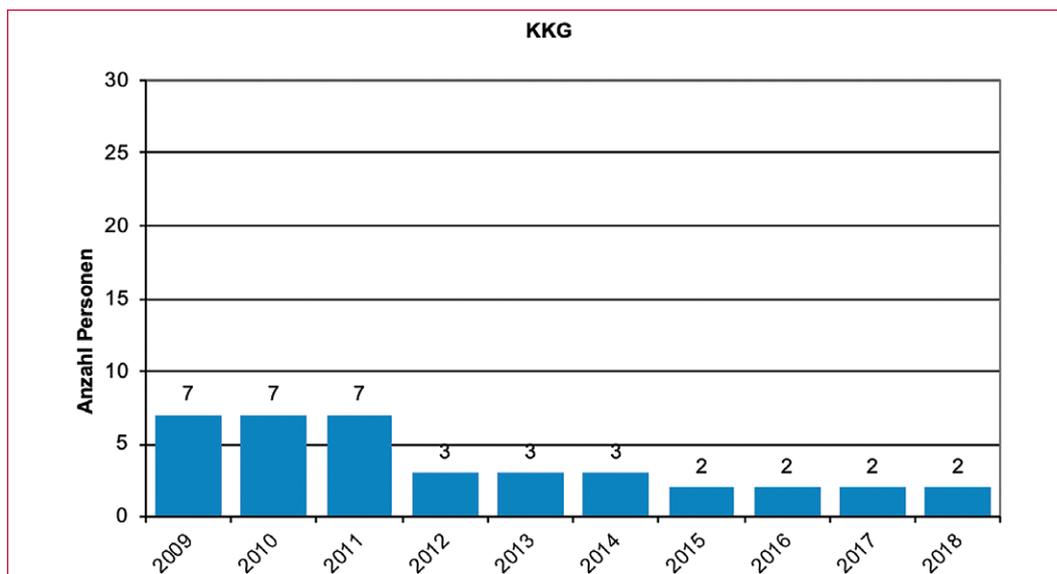
Ziehens des RDB-Deckels wurde der Aufenthalt im Containment auf diejenigen Personen temporär begrenzt, die für die Ausführung der entsprechenden Tätigkeiten benötigt wurden. Während dieser Tätigkeit können erhöhte Aerosol-Konzentrationen in der Raumluft nicht ganz ausgeschlossen werden. Die kontinuierliche Überwachung der Luftkontamination in den Betriebsräumen des Containments zeigte beim Öffnen des Primärkreises Anstiege der Konzentrationen von ⁶⁰Co (max. 0,13 CA) und von Edelgasen (max. 0,003 CA). Es wurden keine nennenswerten Aktivitätskonzentrationen von ¹³¹I oder ¹³²I auf 18,4m im Containment gemessen. Dies ist auf die zurückliegenden defektfreien Betriebszyklen zurückzuführen. Die Alphaüberwachung auf 18,4m im Containment sowie in den grossen Anlagenräumen zeigte keine Kontaminationen über der Nachweisgrenze von 0,1 Bq/m³.

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. Im Jahr 2018 setzte sich der Trend fort und die mittlere Dosisleistung an diesen Komponenten nahm gegenüber 2017 um etwa 3 % ab. Im Innenbereich des Reaktordeckels betrug die Dosisleistung 60 mSv/h und ist somit im Vergleich mit Jahr 2006 rund 80 % tiefer (280 mSv/h). Als Beispiele für strahlenschutzrelevante Arbeiten können Brennelement-Servicearbeiten, Dampferzeuger-Heizrohrprüfungen an den drei Dampferzeugern, Zerstörungsfreie Prüfungen, Öffnen und



Darstellung A.4: Jahreskollektivdosen (Pers.-mSv) KKG von 2009 bis 2018. In Blau sind die Daten aus den Revisionsstillständen, in Orange diejenigen aus dem Leistungsbetrieb.



Darstellung A.5: Anzahl Personen mit einer beruflichen Lebensdosis über 200 mSv, KKG, 2009 bis 2018.

Schliessen des Reaktordruckbehälters, Reaktorgrubenreinigung und Dekontaminationsarbeiten erwähnt werden.

Insgesamt wurden in der kontrollierten Zone für Abschirmungen zur Begrenzung der externen Strahlenexposition rund 34 Mg Blei verwendet.

Während dem Ziehen des Reaktordeckels wurde an geeigneten Orten Filtermobile mit Aktivkohle zur Reduktion des Inkorporationsrisikos eingesetzt. Für die Dampferzeuger-Heizrohrprüfungen wurde diese Massnahme auch mit Erfolg durchgeführt.

Als Grund zu den tiefen Job- und Kollektivdosen können die Zinkeinspeisungen und die laufenden Optimierungsanstrengungen des KKG-Strahlenschutzes erwähnt werden.

Der Strahlenschutz war rund um die Uhr präsent und konnte somit die Arbeiten vor Ort überwachen und begleiten. Die Verstärkung durch externes Fachpersonal hat zu einer günstigen radiologischen Situation sowie tiefe Individual-, Job- und Kollektivdosen beigetragen.

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 überprüft. Des Weiteren hat sich das ENSI anhand der eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Vor-Ort-Kontrollen stichprobenweise davon überzeugt, dass die periodischen Prüfungen der Messgeräte durch das Kraftwerkspersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Am 17. April 2018 wurde ein Schlauch im Probenentnahmesystem des Monitors zur Überwachung der Kaminfortluft hinsichtlich radioaktiver Aerosole unbemerkt abgerissen. Damit war der Monitor nicht mehr verfügbar. Der Abriss wurde einen Tag später entdeckt und umgehend behoben. Die sicherheitstechnische Bedeutung des Vorkommnisses war gering. Mit Ausnahme des Aerosolmonitors funktionierte die gesamte Kaminfortluftüberwachung. Die Auswertung der Bilanzierungsfilter ergab, dass während des Zeitraums des Ausfalls keine radioaktiven Aerosolabgaben in der Fortluft nachzuweisen waren.

Am 2. September 2018 fiel der Monitor zur Überwachung der Kaminfortluft hinsichtlich radioaktiver Iod-Isotope aufgrund eines gebrochenen Kohleschieberflügels der Förderpumpe für 14 Stunden aus. Die sicherheitstechnische Bedeutung des Vorkommnisses war gering. Mit Ausnahme des Iodmonitors funktionierte die gesamte Kaminfortluftüberwachung. Die Auswertung der Bilanzierungsfilter ergab, dass während des Zeitraums des Ausfalls keine Iod-Isotope in der Fortluft nachzuweisen waren.

Im Berichtsjahr wurden die Messsysteme zur Überwachung der Kaminfortluft hinsichtlich radioakti-

ver Aerosole und Iod-Isotope erneuert und im Dezember 2018 in Betrieb genommen.

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

1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2018 wurden im KKL für 1878 beruflich strahlenexponierte Personen folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Zahlen aus dem Jahr 2017):

Aktionen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	
	2017	2018
Revisionsstillstand	1871	1013
Leistungsbetrieb	257	358
Gesamte Jahreskollektivdosis	2128	1372

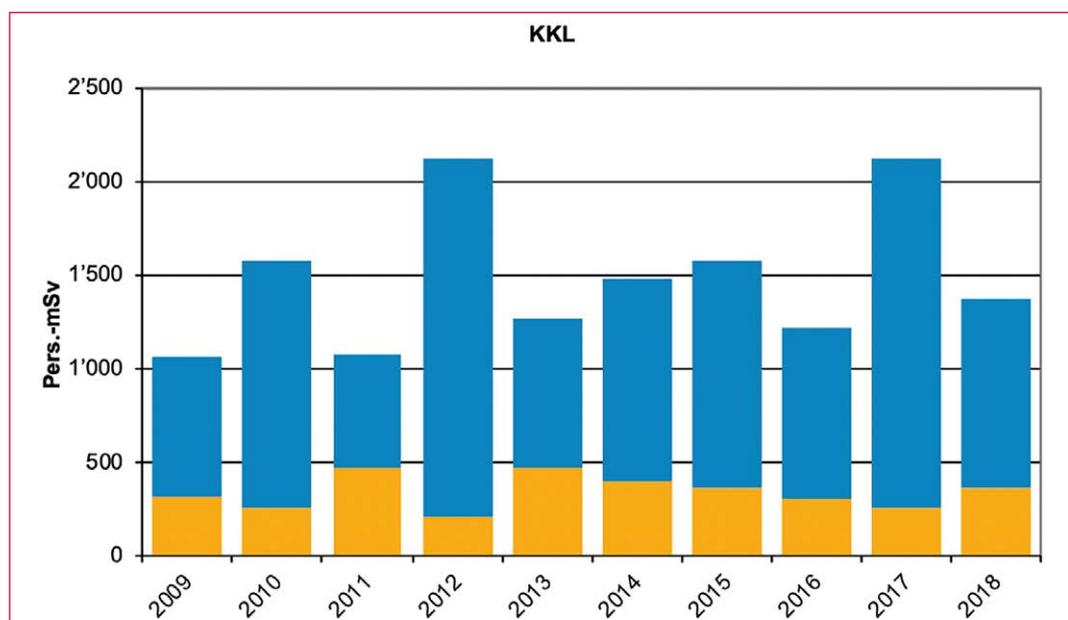
Im Berichtsjahr belief sich die im KKL akkumulierte Kollektivdosis auf 1372 Pers.-mSv (DIS-Dosen). Die höchste registrierte Jahresindividualeddosis betrug 12,4 mSv (2017: 12,6 mSv). Alle Individualeddosen lagen deutlich unter dem Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr.

Während des 34. Zyklus sowie während den Brennelementinspektionen wurden keine Hinweise auf Brennelementdefekte festgestellt, die zum Austritt von radioaktiven Isotopen aus den Hüllrohren in das Reaktorkühlmittel geführt haben. Die Wasserstoffeinspeisung wurde vorgängig abgestellt, um den Übertrag von Iod aus der Wasser- in die Dampfphase zu minimieren. Es wurde im Berichtsjahr während des Abfahrens kein Iod-Peak (¹³¹I) festgestellt.

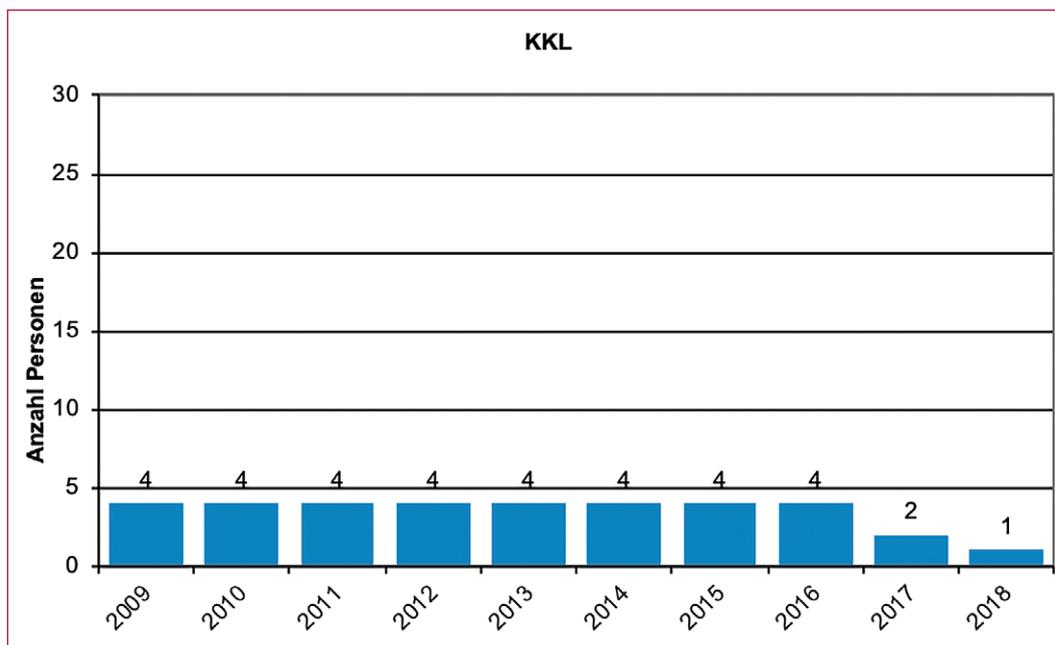
Die um 20 Tage verlängerte Jahreshauptrevision (JHR) dauerte vom 17. September bis zum 2. November 2018.

Der radiologische Zustand im Primärteil der Anlage veränderte sich im Vergleich zum Vorjahr nicht wesentlich 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 Dosisleistungsmittelwert an den beiden Umwälzschleifen lag mit 1,9 mSv/h über dem Wert des Vorjahres (1,7 mSv/h).

Die ursprüngliche Dosisprognose für die geplante JHR2018 ergab einen Wert von 820 Pers. mSv. Tatsächlich führte die verlängerte Jahreshauptrevision zu einer Kollektivdosis von 990 Pers.-mSv (mittels EPD



Darstellung A.6: Jahreskollektivdosen (Pers.-mSv) KKL von 2009 bis 2018. In Blau sind die Daten aus den Revisionsstillständen, in Orange diejenigen aus dem Leistungsbetrieb.



Darstellung A.7: Anzahl Personen mit einer beruflichen Lebensdosis über 200 mSv, KKL, 2009 bis 2018.

gemessen, korrigierter EPD-Wert = 1013 Pers.-mSv), was trotzdem mit der Planungsungenauigkeit von $\pm 20\%$ im Einklang steht. Die höhere Kollektivdosis wurde überwiegend von einem erhöhten Arbeitsaufwand im Drywell verursacht. Ferner trugen aber dazu auch zwei Vorfälle in Zusammenhang mit dem Öffnen und Schliessen des Reaktor Druckbehälters (RDB) bei.

Es wurden während der Jahreshauptrevision 16 Personenkontaminationen festgestellt, die sich nicht mit einfachen Mitteln entfernen liessen. Im Mittel lagen die an den Endmonitoren am Zonen Ausgang gemessenen Personenkontaminationen bezogen auf die Anzahl Austritte im Bereich von kleiner als 1 %. Dies entspricht den Vorgaben vom KKL.

Die Kollektivdosisplanungen der einzelnen Jobs fielen in vielen Fällen wie erwartet aus. Abweichungen von den geplanten Werten waren nachvollziehbar.

Gemäss den Meldekriterien entsprechend der Richtlinie ENSI-B03 wurden dem ENSI vor der Revision Dosisplanungen für drei Arbeiten, alle Wiederholungsprüfungen an den Umwälzschleifen und an den RDB-Stützen, mit erwarteten Kollektivdosen von über 50 Pers.-mSv eingereicht. Ein Teil der Stützenprüfungen konnten nicht wie ursprünglich geplant während der JHR2017 durchgeführt werden; somit mussten diese während der JHR2018 abgeschlossen werden. Für die Arbeit «RDB-Schliessen» wurde ebenfalls eine Strahlen-

schutzplanung eingereicht, obwohl die geplante Dosis knapp unter 50 Pers.-mSv war.

Im Zuge der Vorbereitungsarbeiten für den Brennstoffwechsel in der JHR2018 erfolgte unerwartet, während dem Ausbau des Wasserabscheiders (WA) und dem nachfolgenden Absetzen im dafür vorgesehenen WA-Lagerbecken, eine erhöhte Ortsdosisleistung auf der +28m Ebene im Containment. Die nicht geplante und temporäre Hochstufung des Gebietstypes führte zu einem meldepflichtigen Ereignis. Eine Fehlhandlung hatte zu einer Dammbalkendichtungsleckage des WA-Lagerbeckens und zum Absinken des Wasserstandes geführt. Die verringerte Abschirmwirkung hatte einen temporären Anstieg der Ortsdosisleistung zur Folge. Die Dammbalkendichtung wurde zum nächsten geeigneten Zeitpunkt repariert. Es kam zu keiner Inkorporation von radioaktiven Stoffen; jedoch stiegen die Individualdosen des werkenden Personals und folglich die Kollektivdosen merklich an. Das ENSI hat dieses Vorkommnis auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 1 (Anomalie) zugeordnet.

In einem anderen Zusammenhang hat das ENSI bei einer unangemeldeten Inspektion am späten Abend die zahlenmässig ungenügende Anwesenheit des Strahlenschutzpersonals in der kontrollierten Zone festgestellt und dies mit einer Abweichung (A) bewertet. Das KKL hat als Kompensation für die Unterbesetzung das anwesende Strahlenschutzpersonal risikobasiert, in Bezug zum radiologischen Gefährdungspotential, eingesetzt.

Ein weiteres strahlenschutzrelevantes Ereignis folgte durch das ungenügend angehobene Wasserniveau über dem im Reaktordruckbehälter eingesetzten Wasserabscheider. Dies hatte eine Aerosolausbreitung im Nahbereich des Beckens zur Folge, welche trotz der Anzeige des Überwachungsmessgerätes durch den Strahlenschutz nicht erkannt wurde. Insgesamt wurden 16 Personen kontaminiert. Auch wenn keine Dosisgrenzwerte verletzt wurden, ist dieses Ereignis zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Aufsichtsberichtes Gegenstand einer Untersuchung des ENSI.

Aufgrund der Häufung an strahlenschutzrelevanten Ereignissen hat das ENSI seine Inspektionstätigkeit im KKL in Bezug auf den operationellen Strahlenschutz ab Ende 2018 intensiviert.

Strahlenschutzinstrumentierung

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

Im Januar 2019 meldete das KKL, dass ein Mitarbeiter seit 2016 die halbjährlichen Funktionsprüfungen an drei mobilen Neutronen-Dosisleistungsmessgeräten nicht durchgeführt und stattdessen fingierte Daten in die Prüfprotokolle eingetragen hat. Abklärungen zeigten, dass die betroffenen Messgeräte in diesem Zeitraum korrekt gemessen haben. Der Vorfall hatte somit keine unmittelbaren Auswirkungen auf den sicheren Betrieb des Kernkraftwerks. Jedoch handelt es sich um einen schweren Fall von menschlichem Fehlverhalten. Über die Vorkommnisbewertung des ENSI wird im nächsten Strahlenschutzbericht detailliert berichtet.

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

1.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)

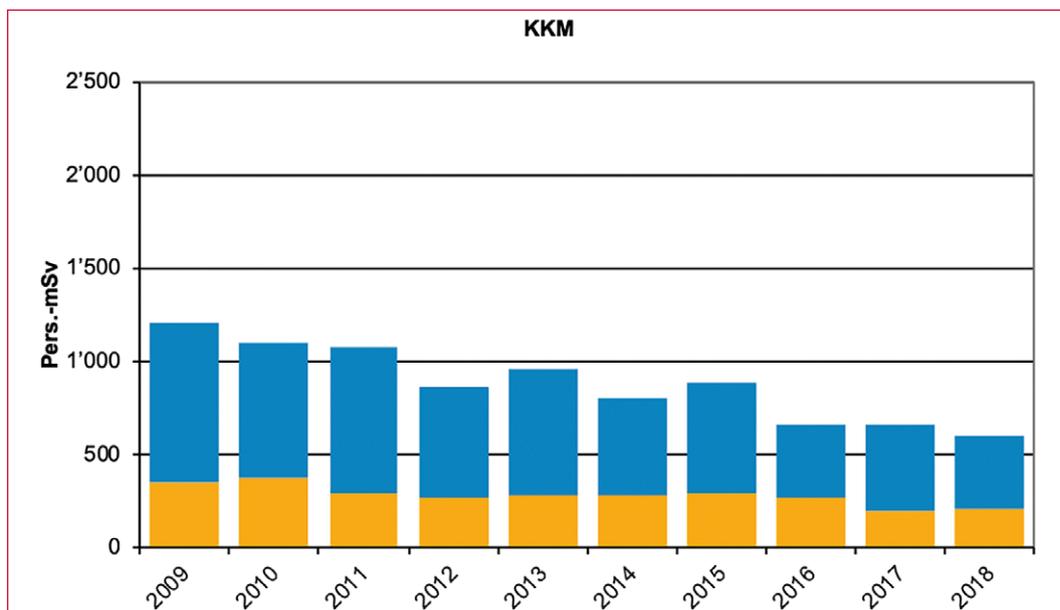
Schutz des Personals

Im Berichtsjahr wurden im KKM für 936 beruflich strahlenexponierte Personen folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Zahlen aus dem Jahr 2017):

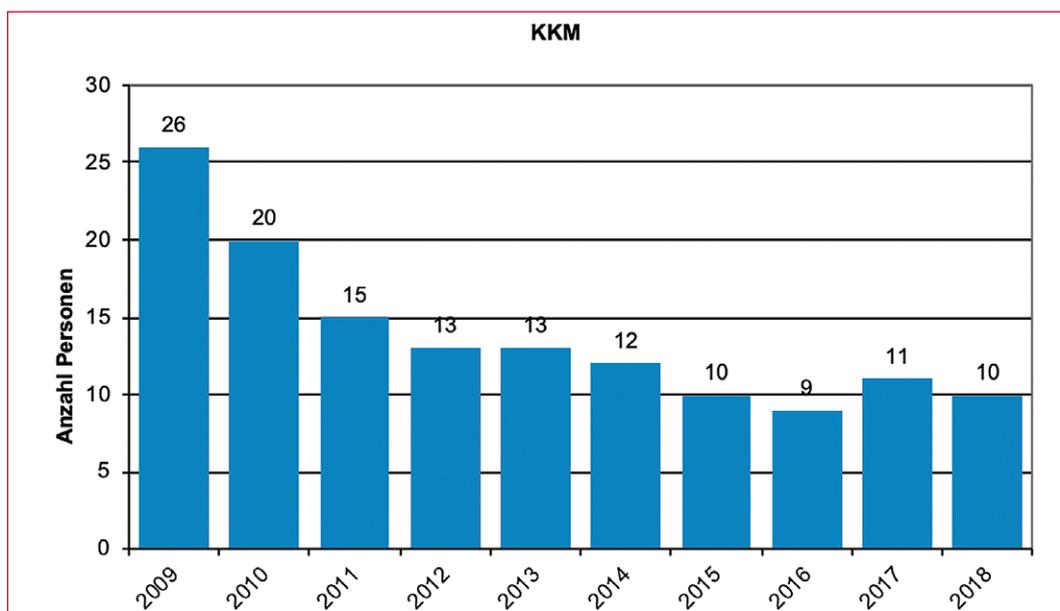
Aktionen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	
	2017	2018
Revisionsstillstand	465	390
Leistungsbetrieb	196	211
Gesamte Jahreskollektivdosis	661	600

Im Berichtsjahr belief sich die Kollektivdosis im KKM auf 600 Pers.-mSv (mittels TLD erfasst). Die höchste ermittelte Individualdosis betrug 7,6 mSv (2017: 8,1 mSv). Der in der Strahlenschutzverordnung festgelegte Jahresgrenzwert 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. Die Edelmetall-Einspeisungen im Zyklus 45 verliefen wie geplant. Die letzte Einspeisung vor der Revision erfolgte vom 28. Mai bis 1. Juni 2018. Die Einspeiserate betrug 0,84 g/h statt wie bei früheren Kampagnen 0,3 g/h. Insgesamt wurden 80 g Platin zudosiert. Die Dosisleistung an den Frischdampfleitungen stieg während der Einspeisung von 4,2 mSv/h auf 4,35 mSv/h an. Die Aktivitätskonzentration von ⁶⁰Co im Reaktorwasser stieg auf das Doppelte an und erreichte fast 1,0 E+7 Bq/m³. Die vom KKM erwartete Verringerung der Dosisleistungen an den Umwälzschleifen und damit im Drywell ist eingetroffen. Der Mittelwert aus insgesamt 30 Dosisleistungsmessungen an verschiedenen Stellen der beiden Umwälzschleifen lag bei 1,80 mSv/h. Im Vergleich zum Vorjahr sank somit die Dosisleistung um rund 9 % (2017: 1,98 mSv/h).



Darstellung A.8: Jahreskollektivdosen (Pers.-mSv) KKM von 2009 bis 2018. In Blau sind die Daten aus den Revisionsstillständen, in Orange diejenigen aus dem Leistungsbetrieb.



Darstellung A.9: Anzahl Personen mit einer beruflichen Lebensdosis über 200 mSv, KKM, 2009 bis 2018.

Die Auswertung der Messergebnisse aus dem Primärkühlmittel zeigte, dass der Kern im 45. Betriebszyklus defektfrei war. Das allgemeine Kontaminationsniveau innerhalb der Anlage liegt im internationalen Vergleich auf einem tiefen Niveau. Vom 19. August bis zum 13. September 2018 war die Anlage für die geplante Jahresrevision abgestellt. Mit 472,4 Pers.-mSv (mittels EPD gemessen, korrigierter EPD-Wert = 390 Pers.-mSv) lag die Kollektivdosis aller Mitarbeitenden im Revisionsstillstand 2018 etwa 18 % tiefer als der vom KKM vor Beginn der Arbeiten geschätzte Wert von 575 Pers.-mSv. Der KKM-Strahlenschutz erklärt den Unterschied mit niedrigeren Dosisleistungen

im Drywell und die dadurch geringeren Jobdosen. Die Dosisabschätzung liegt aber im anerkannten Toleranzbereich.

Für die Revision 2018 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; es kann damit die radiologische Überwachung während einer Jahresrevision effizient ausführen. Grundsätzlich setzt das KKM dabei zur Unterstützung eine grosse Anzahl erfahrener und mit der Anlage vertrauter Personen aus dem

Bereich des Fremdpersonals ein. Im Berichtsjahr und auch schon im Vorjahr wurden die Auswirkungen des kleiner werdenden Marktes beim Strahlenschutzpersonal spürbar, was zu einer höher als gewohnten Neupersonal-Quote führte. Dieses Personal wurde speziell geschult und gut integriert, wodurch jederzeit ein adäquater Strahlenschutz gewährleistet wurde. Ein anderes Schweizer KKW unterstützte ebenfalls das KKM und stellte für die Revision einen erfahrenen Mitarbeiter zur Verfügung.

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 Fachgesprächen vom ENSI überprüft. Des Weiteren hat sich das ENSI anhand der eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Vor-Ort-Kontrollen stichprobenweise davon überzeugt, dass die regelmässigen Überprüfungen der Messgeräte durch das Kraftwerkspersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

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

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und 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 hat die Dosimetriestelle des KKM den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

2 Weitere Kernanlagen

2.1 Paul Scherrer Institut (PSI)

Das PSI ist eine eidgenössische Einrichtung und das grösste Forschungsinstitut für Natur- und Ingenieurwissenschaften in der Schweiz. Seine Mitarbeitenden forschen in den Bereichen Materie und Material, Mensch und Gesundheit sowie Energie und Umwelt. Der 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 im Aufsichtsbereich des ENSI.

Im Jahr 2018 akkumulierten die 1928 beruflich strahlenexponierten Personen des PSI eine Kollektivdosis von 31,6 Pers.-mSv (2017: 42,2 Pers.-mSv für 1830 Personen). Davon stammen 7,5 Pers.-mSv aus dem Aufsichtsbereich des ENSI mit 361 beruflich strahlenexponierten Personen (2017: 3,5 Pers.-mSv für 372 Personen) bei einer höchsten Individualdosis von 0,7 mSv (2017: 0,7 mSv).

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

Strahlenschutzinstrumentierung

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

Am 10. März 2018 verursachte ein Kurzschluss einen Kabelbrand im Medienkanal OKWA-OHLA. Als unmittelbare Folge des Ereignisses fielen die radiologischen Überwachungssysteme, insbesondere die Fortluftüberwachungen des Bundeszwischenlagers, des Betriebsgebäudes, der Versuchsverbrennungsanlage und des Abfalllabors für längstens 13 Stunden aus. Da sofort sämtliche Arbeiten in den vom Stromausfall betroffenen Gebäuden eingestellt wurden und aufgrund der Ergebnisse der regelmässigen Kontrollen in den Gebäuden (Auswer-

tung von Wischtests) bis zur Wiederaufnahme des Normalbetriebs, kann davon ausgegangen werden, dass keine unzulässigen radioaktiven Abgaben über die Fortluft an die Umgebung erfolgten.

Am 8. Juni 2018 fiel die Hotlabor-Fortluftstrangüberwachung aufgrund einer mangelhaften Steckverbindung in der internen Spannungsversorgung aus und konnte erst nach drei Tagen repariert werden. Das Messsystem dient zur Überwachung und Bilanzierung der radioaktiven Aerosole in der Fortluft des Hotlabors. Da der Hotlabor-Fortluftstrang in das Hochkamin geleitet wird, war mit der Hochkamin-Fortluftüberwachung PSI-Ost trotz des Vorkommnisses die Überwachung der Abgaben an die Umwelt zu jedem Zeitpunkt 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 Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des PSI.
- An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des PSI den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)

Im Jahr 2018 akkumulierten im ZZL 200 beruflich strahlenexponierte Personen eine Kollektivdosis von 20,3 Pers. mSv. Sie lag damit bei 78 % des für das Berichtsjahr geplanten Wertes von 26,1 Pers.-mSv. Ein Grund für die deutliche Unterschreitung der geplanten Dosis liegt in der Tatsache, dass einige Arbeiten in Bezug auf die Jobdosis schwer vorherzusagen waren. Werden dann noch gemäss Art. 32 Abs. 2 Dosimetrieverordnung viele kleine Dosen unterhalb von 0,075 mSv abgerundet, so kann sich eine Diskrepanz zur Planungsdosis ergeben. Die höchste registrierte Einzeldosis betrug 2,6mSv

(2017: 1,9 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 lieferten keine Hinweise auf unzulässige Kontaminationen auf den Oberflächen oder in der Atemluft. 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.

Im Rahmen der 25. Verarbeitungskampagne wurden 155 tiefenlagerfähige Fässer produziert, die bis zur endgültigen Einlagerung zwischengelagert werden. Der Betrieb der Plasma-Anlage, welcher erfolgreich zur Endkonditionierung brennbarer und schmelzbarer radioaktiver Abfälle führt, umfasste im Jahr 2018 eine reguläre Kampagne mit einer Dauer von 12 Wochen zwischen dem 24. September und dem 14. Dezember 2018. Während dieser Kampagne wurden insgesamt 638 Abfallfässer mit aktivem verbrenn- und schmelzbarem Abfall, inkl. zwei Fässer mit aktiven Flüssigabfällen, sowie 38 Fässern mit inaktivem Glas verarbeitet. Die Vorgabe von 550 Fässern wurde wiederum deutlich übertroffen.

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

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des ZZL wurde im Rahmen von Inspektionen und Fachgesprächen vom ENSI überprüft. Des Weiteren hat sich das ENSI anhand der eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Vor-Ort-Kontrollen stichprobenweise davon überzeugt, dass die periodischen Prüfungen der Messgeräte durch das Personal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten. Im Berichtsjahr ersetzte das ZZL sämtliche Dosisleistungsmonitore des festinstallierten Messsystems zur Überwachung der Ortsdosisleistungen. Zusätzlich wurden die Montagefreigaben für die Systeme der radiologischen Fortluftüberwachung und zur Überwachung der Ortsdosisleistungen als Ergänzung der Messsysteme für das Gebäude S erteilt.

Im Berichtsjahr erteilte das ENSI die Freigabe für das Verfahren zur Freimessung mit einem Freimessschrank und einem Kleinteilemonitor.

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 2018 stand der CROCUS-Reaktor Ingenieur- und Physikstudierenden der EPFL, Kursteilnehmenden der Reaktorschule des PSI und Studierenden des Swiss Nuclear Engineering Masterkurses der ETHZ/EPFL während 424 Stunden bei kleiner Leistung (bis 50 W) für Ausbildungs- und Forschungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 791 Wh thermische Energie erzeugt. Im Vergleich zum Vorjahr bedeutet dies einen Anstieg in der Betriebsdauer von 110 % und bei der erzeugten Energie von 117 %. Der Brennstoff des Reaktors wurde im Juli des Berichtsjahres im Rahmen der Vorbereitungen für das Programm COLIBRI aus dem Reaktor entfernt und im September wieder beladen. Das Experiment CARROUSEL wurde für Praktika verwendet.

Die 12 beruflich strahlenexponierten Personen im EPFL haben eine Kollektivdosis von 0,1 Pers.-mSv akkumuliert. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend. Im November 2018 hat das ENSI seine Jahresinspektion durchgeführt. Dabei wurden technische, organisatorische und personelle Änderungen besprochen und es wurden die Anlagenräume inspiziert. Das ENSI kommt zum Schluss, dass die bewilligten Betriebsbedingungen im Jahr 2018 eingehalten wurden.

2.4 Universität Basel

Der Forschungsreaktor AGN-211-P am Departement Physik der Universität Basel diene vorwiegend der Ausbildung von Studierenden 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. Die Anlage ist frei von Spaltstoffen und für die Entlassung aus den Safeguards läuft ein Freigabeverfahren. Die Anlage ist kontaminationsfrei. Radioaktivität liegt ausschliesslich in gebundener Form in aktivierten Materialien vor.

Es befinden sich keine Quellen im Reaktorraum. Mit der Überstellung in den Aufsichtsbereich des BAG, wurden die Quellen in die Räumlichkeiten verbracht, welche dem Aufsichtsbereich des BAG zugeordnet sind.

Die drei beruflich strahlenexponierten Personen des Eigen- und die 25 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 2018 erfüllt waren.

Strahlenschutzinstrumentierung

Im Berichtsjahr hat das ENSI der Installation einer Messstelle zur Bilanzierung der radioaktiven Aerosole in der Fortluft aus dem Reaktorraum zugestimmt. Die Messstelle wird für den Rückbau des Forschungsreaktors benötigt. Die Freigabe zur Inbetriebnahme wird das ENSI nach dem Vorliegen der Stilllegungsverfügung mit der Phasenfreigabe für den Rückbau erteilen.

3 Dosimetrie

3.1 Einleitung

Als zuständige Aufsichtsbehörde hat das ENSI zu prüfen, ob bei der Exposition des Personals die gesetzlichen Limiten sowie die regulatorischen Richtwerte eingehalten werden. Die im 2018 neu in Kraft getretene Strahlenschutzverordnung bildet die gesetzliche Grundlage zur Überwachung des beruflich und des nichtberuflich strahlenexponierten Personals in der Schweiz. Die Richtlinie ENSI-B09 «Ermittlung und Aufzeichnung der Dosen 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 werden für alle Anlagen von der Dosimetriestelle des PSI ausgewertet.

3.2 Personendosimetrie

Das dosimetrierte Personal in den Kernanlagen wird in zwei Kategorien eingeteilt: Es sind dies das Eigenpersonal (EP) und das Fremdpersonal (FP). Es kommt vor, dass Eigenpersonal aus dem Überwachungsbereich einer Personendosimetriestelle vorübergehend in den Überwachungsbereich einer anderen Personendosimetriestelle wechselt und dort als Fremdpersonal geführt wird. Durch die Regelungen in der Richtlinie ENSI-B09 werden die akkumulierten Dosen dieser zwischen den Kernanlagen wechselnden Personen einerseits als Eigenpersonal-Dosen der einen Anlage und andererseits als Fremdpersonal-Dosen einer anderen Anlage gemeldet. Da in diesen Fällen beide Dosimetriestellen dieselben Dosen melden, führt dies zu einer doppelten Verbuchung. Anhand der individuellen Dosismeldungen werden solche Doppelverbuchungen vom ENSI bereinigt. 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 2018 haben die fünf vom ENSI anerkannten Personendosimetriestellen (KKB, KKG, KKL, KKM und PSI) insgesamt 4938 beruflich strahlenexponierte Personen mit einer Kollektivdosis von 2448,8 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 des ENSI akkumuliert wurden. Die vom PSI für alle Anlagen der Schweiz zur Verfügung gestellten und ausgewerteten Neutronen-Dosimeter vom Typ PADC (siehe auch Tabelle C.14 im Anhang 1) werden im Aufsichtsbereich des ENSI von den einzelnen Perso-

Table A.1: Zusammenfassung der Kollektivdosen in den schweizerischen Kernanlagen für 2018, Eigen- und Fremdpersonal. Der Wert beim PSI umfasst auch den Aufsichtsbereich des BAG.

Kernanlage	Anzahl überwachte Personen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
KKB 1 und 2	967	149,5
KKG	1271	299,8
KKL	1878	1371,6
KKM	936	600,0
ZZL	200	20,3
PSI	361	7,5
Hochschulen	40	0,1
Aufsichtsbereich des ENSI	4938	2448,8

nendosimetriestellen abgegeben und die Resultate ebendort entsprechend verbucht.

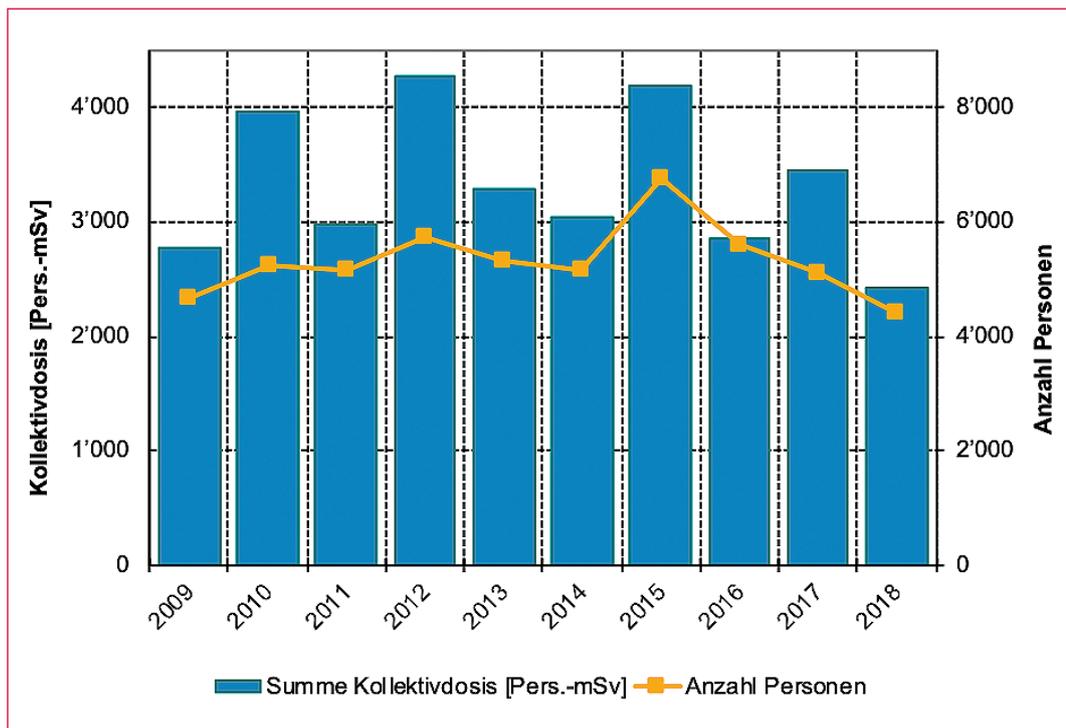
In den Tabellen C.1 bis C.19 im Anhang 1 werden die detaillierten Dosimetriedaten nach Anzahl Personen, Individual- und Jobdosen sowie nach Kernanlagen aufgeschlüsselt.

3.3 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 neunziger Jahre 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.1). 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 nicht zuletzt 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 2018 erreichte Wert liegt mit 0,094 Pers. mSv pro GWh(e) sogar unter den Werten der Vorjahre und ist der bis dato tiefste Wert seit der Einführung 1991.



Darstellung A.10: Summe der Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen in Kernkraftwerken von 2009 bis 2018.

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, dann aber wieder deutlich steigende Tendenz zeigte und nun seit 2015 wieder sinkt. Im Jahr 2018 lag die Zahl der strahlenexponierten Personen mit 4938 gegenüber dem Vorjahr (5586) deutlich tiefer und die von diesen Personen akkumulierte Kollektivdosis von 2449 Pers. mSv (2017: 3478 Pers.-mSv) fiel geringer aus. Die mittlere Exposition des Eigen- und Fremdpersonals lag im Jahr 2018 für alle Kernkraftwerke und das ZZL mit 0,5 mSv unter derjenigen des Vorjahres (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 2018 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 12,4 mSv unter derjenigen des Vorjahres (12,6 mSv). Seit dem Jahr 1994 gab es im Aufsichtsbereich des ENSI drei Grenzwertüberschreitungen, die aber in jedem Fall unter 50 mSv blieben.

Das ENSI bewertet den Strahlenschutz in den schweizerischen Kernanlagen, nicht zuletzt aus dem gewonnenen Eindruck bei Inspektionen vor Ort, weiterhin als gut. Die Optimierungsanstrengungen, die seit den 90er Jahren zur Reduktion der Dosen führten, 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. Das KKL und das ENSI sind bestrebt, geeignete Massnahmen zu ergreifen, um die Tendenz des Kollektivdosisanstiegs abzuwenden.

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.

3.4 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 und ähnliche Massnahmen erlauben es, die Effizienz dieser Mittel noch zu steigern. Beiträge zu einer weiteren signifikanten Dosisreduktion dürfen aber nicht mehr erwartet werden. Viel mehr werden alterungsbedingte Aufwendungen für die Werkstoffprüfung im Strahlenfeld und die damit verbundene 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.

Des Weiteren können Änderungen in der Wasserchemie im Druckwasser- (DWR) wie auch im Siedewasserreaktor (SWR) zu einer Dosisreduktion beitragen. So zum Beispiel wird das Verfahren der DZO-Dosierung (depleted zinc oxide) vom KKG seit dem Jahr 2005 mit Erfolg angewendet und hat eine im Vergleich zu diesem Zeitpunkt im Durchschnitt um 70 % gesunkene Dosisleistung gebracht, die gegenüber dem Vorjahr vergleichbar ist (-70 % gegenüber -69 %). Diese Verringerung der Oberflächendosisleistung ist erfreulich und trägt ebenfalls zur Absenkung der Kollektiv- und Individualdosen bei.

Im KKB 1 wurde der Sekundärkreislauf für den langen Stillstand so ausgedehnt wie möglich trocken konserviert. 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.

Das KKB stützt sich 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 Reaktorkühlmittelchemie bei Leistungsbetrieb festgestellt werden. Im KKB 2 blieb die Konzentration von ^{58}Co im Reaktorkühlmittel seit den letzten Zyklen auf niedrigem Niveau, während die Konzentration an ^{60}Co konstant blieb. Im KKB 1 wurde aufgrund des sehr langen Stillstands eine geringere Ortsdosisleistung gemessen. Die Abnahme an den Hot Legs war zwischen 7 % (Hot Leg B) und 25 % (Hot Leg A). An den Closure Legs gab es eine Abnahme zwischen 8 % und 10 %. Die Ortsdosisleistungen an den Primärkomponenten haben sich im Vergleich zum Vorjahr, mit Ausnahme der Closure Legs und des RDB-Deckels, in beiden Anlagenteilen nicht signifikant verändert. An den Closure Legs im KKB 2 wurde jedoch eine Erhöhung der Ortsdosisleistung von 9 % gemessen und an der Innenseite des neuen RDB-Deckels ein Anstieg der Kontaktdosisleistung von ca. 16 %. Die ODL an den Dampferzeugern liegt mit ca. 0,13 mSv/h auf dem Niveau des Vorjahres.

Das KKM hat im Berichtsjahr die in den Vorjahren erfolgreiche wasserchemische Fahrweise mit Zink-, Edelmetall- und Wasserstoff-Einspeisung fortgesetzt. Im gesamten Berichtsjahr wurde im KKM Zink ins Speisewasser A dosiert, Sauerstoff ins Rohkondensat A und B und Wasserstoff ins Speisewasser zugegeben. Die Verfügbarkeit der Wasserstoffeinspeisung lag bei 98,1 %. Im Berichtsjahr wurden im KKM zwischen Mai und Juni und im Dezember 80g respektive 100g Platin zudosiert. Der Mittelwert aus insgesamt 30 Dosisleistungsmessungen an verschiedenen Stellen an den beiden Umwälzschleifen lag mit 1,80 mSv/h im Vergleich zum Vorjahr um ca. 9 % tiefer (2017: 1,98 mSv/h). Im Vergleich zu 2004 hat die mittlere Ortsdosisleistung an der Umwälzschleife um 55 % (2004: 4 mSv/h) ab-

genommen. Bei den Wärmetauschern und Pumpen sowie Saug- und Druckleitung des Clean-up Systems hat sich die mittlere Dosisleistung von 1,09 mSv/h (2017) auf 1,92 mSv/h fast verdoppelt und den Stand von 2016 wieder erreicht.

Das KKL hat im Berichtsjahr weiterhin ganzjährig mit einer erhöhten Rate Zink ins Speisewasser zudosiert. Das KKL führte im etwas verkürzten Betriebszyklus 2018 im März eine erste Edelmetall-Einspeisung mit 250g Platin durch. Eine zweite Applikation folgte im Juli mit weiteren 200g Platin. Während 98,8 % des Berichtsjahres wurde zudem Wasserstoff dem Speisewasser zudosiert.

Der Mittelwert der Dosisleistung an den Umwälzschleifen stieg im Vergleich zum Vorjahr um rund 8 % von 1,74 auf 1,88 mSv/h. Der Mittelwert für den Betriebszyklus der ^{60}Co -Konzentration im Reaktorwasser sank im Vergleich zum Vorjahr um etwa 7 % auf $1,65\text{E}+7 \text{ Bq/m}^3$. Eine weitere Bildung der in den vergangenen Jahren vermehrt auftretenden, so genannten «hot spots» durch akkumulierte aktivierte Korrosionsprodukte, wurde durch den optimierten Betrieb der Systeme verhindert.

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.

B: Umweltradioaktivität bei Kernanlagen, Überwachung

Vorwort der Leitung der Sektion Strahlenmessung

Die Sektion Strahlenmessung befasst sich mit den Messmitteln zum Schutze des Personals von Kernanlagen, mit der Abgabe radioaktiver Stoffe sowie deren Auswirkungen auf die Umwelt und mit der radiologischen Überwachung der Umgebung. Aus diesem wichtigen Arbeitsgebiet mit etlichen laufenden Aufgaben sind folgende Highlights hervorzuheben:

- Am 1. Januar 2018 wurde die auf Basis der Empfehlungen der IAEA Basic Safety Standards und der Euratom Basic Safety Standards Directive revidierte Strahlenschutzverordnung in Kraft gesetzt. Diese Revision bedeutete, dass sowohl die Abgabereglemente der Kernanlagen wie auch die Richtlinie ENSI-B04 «Freimessung von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen» an die neuen Anforderungen angepasst werden mussten. Die neuen Abgabereglemente wurden zusammen mit der neuen Strahlenschutzverordnung auf den 1. Januar 2018 in Kraft gesetzt. Dabei wurde insbesondere die radiotoxische Gewichtung der Nuklide bei der Bilanzierung der radioaktiven Emissionen an die neuen gesetzlichen Vorgaben angepasst. Die für alle Strahlenschutzaufsichtsbereiche geltende Richtlinie ENSI-B04 wurde in Zusammenarbeit mit dem BAG und der Suva revidiert und auf den 1. Januar 2019 unter dem neuen Titel «Befreiung von Kontroll- und Überwachungsbereichen sowie Materialien von der Bewilligungspflicht und Aufsicht» in Kraft gesetzt. Auch wurden mit der Revision der Strahlenschutzverordnung die Kriterien für die Befreiung von Räumen und Materialien vor allem für Gammastrahler deutlich verschärft. Als Folge dessen überprüfte das ENSI in allen Kernanlagen die korrekte Umsetzung der neuen messtechnischen und organisatorischen Aspekte beim Befreiungsprozess.
- Seit Mitte 2018 werden die Messwerte der kontinuierlich messenden radiologischen Kaminfortluftüberwachung (sogenannten ANPA-EMI Daten der Werke) monatlich vom ENSI aufbereitet und auf der ENSI-Website veröffentlicht.
- Das ENSI betreibt das Messnetz zur Überwachung der Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke MADUK. Im Berichtsjahr wurde unter Berücksichtigung der Lehren aus dem Ereignis in Fukushima das Pflichtenheft mit den technischen Spezifikationen für die anstehende Erneuerung der Messstationen erstellt. Die 57 Messstationen in der Umgebung der Kernkraftwerke sollen durch autarke, erdbebenfeste Messstationen, die über Mobilfunk und Satellit die Messdaten an die Zentrale liefern können, ersetzt werden. In Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz wurde der Auftrag öffentlich ausgeschrieben. Der Vergabeprozess konnte Ende Jahr mit der Unterzeichnung des Vertrages abgeschlossen werden. Die Umsetzung des Projekts beginnt Anfang 2019 und soll bis Ende 2020 abgeschlossen werden.
- Im Rahmen des OSPAR-Übereinkommens arbeiten 15 Regierungen und die EU zusammen, um die Meeresumwelt des Nordostatlantiks zu schützen. Die Schweiz ist Vertragspartei und wird durch das ENSI im Radioactive Substance Committee vertreten. Aufgrund von Forderungen des ENSI haben die Betreiber der Schweizer Kernanlagen ihre Abwasserbehandlungsverfahren und -anlagen in den letzten 15 Jahren kontinuierlich verbessert, was zu einer deutlichen Reduktion der Abgaben führte. Die Vertragsparteien des OSPAR-Abkommens sind aufgefordert, alle fünf Jahre einen zusammenfassenden Bericht über den Erfolg ihrer Massnahmen einzureichen. Das ENSI hat diesen Bericht erarbeitet und ihn an der jährlichen Sitzung des Radioactive Substance Committees im Februar 2019 vorgestellt sowie Fragen dazu beantwortet. Das Committee bestätigte der Schweiz, dass die Kernanlagen bei der Behandlung von den flüssigen radioaktiven Abgaben die «Best Available Technology (BAT)» einsetzen.

Vorwort der Leitung der Sektion Störfallauswirkungen und Notfallschutz

Die Sektion Störfallauswirkungen und Notfallschutz befasst sich mit den radiologischen Auswirkungen von Auslegungsstörfällen auf die Umgebung und dem Notfallschutz in Kernanlagen. Sie berät und unterstützt die Behörden des Bundes und der Kantone bei der Planung und Realisierung von Notfallschutzmassnahmen. Sie sorgt für die Einsatzbereitschaft der ENSI-Notfallorganisation. Aus diesem wichtigen Arbeitsgebiet mit etlichen laufenden Aufgaben sind folgende Highlights aus dem Notfallschutz hervorzuheben:

- Die Richtlinie ENSI-B12 «Notfallschutz in Kernanlagen» wurde beginnend ab 2016 einer Totalrevision unterzogen, welche aufgrund einer Reihe von Erkenntnissen aus dem Unfall von Fukushima und daraus abgeleiteten neuen Anforderungen notwendig geworden war. Die Neuausgabe der Richtlinie ENSI-B12 «Notfallschutz in Kernanlagen» berücksichtigt Ergänzungen und Anpassungen aufgrund der im Jahr 2016 eingeführten neuen Schweizer Notfallklassierung sowie Anforderungen an die Durchführung einer Studie zum radiologischen Schutz des Personals bei schweren Unfällen. Sie beinhaltet neue Erkenntnisse der Werke und regelt neu auch die Anforderungen an die Störfallvorschriften, die internen und externen Kommunikationsmittel sowie die Anforderungen an Notfallanzeigen sowie Zugangs-, Flucht- und Rettungswege. Im Jahr 2018 wurde der Entwurf der neuen Richtlinie ENSI-B12 zur externen Anhörung verabschiedet und die daraus resultierenden Rückmeldungen im Anschluss ausgewertet und im Anhörungsbericht festgehalten. Die Verabschiedung der Richtlinie ist für Mitte 2019 vorgesehen.
- Das ENSI betreibt zur Ermittlung der Konsequenzen einer störfallbedingten Freisetzung von luftgetragenen radioaktiven Stoffen aus Kernanlagen bereits seit 2002 ein eigenes System. Das im Jahr 2016 eingeführte JRODOS-System wurde auch im Jahr 2018 weiterentwickelt und verbessert: Anfang Dezember 2018 wurde vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ein neuer Release veröffentlicht und beim ENSI auf das Test-System installiert. Ca. 25 Personen der ENSI-Notfallorganisation sind der Bedienung des Systems im Ereignisfall zugeteilt. Auch im Jahr 2018 wurde dieses Personal anlässlich von

vier Veranstaltungen geschult. Als Fachbehörde obliegt es dem ENSI nach Art. 9 der Notfallschutzverordnung, seine Partner BSTB (Bundesstab Bevölkerungsschutz) und das BABS (Bundesamt für Bevölkerungsschutz) im Ereignisfall zu beraten. Zur Optimierung dieser Aufgabe wurden im Jahr 2018 die umfangreichen Möglichkeiten des JRODOS-Systems zur Erweiterung der den Notfallpartnern im Ereignisfall zur Verfügung gestellten Daten und Informationen eingehend geprüft und die Produktpalette des ENSI signifikant ergänzt.

- Im Jahr 2018 wurden im Rahmen einer Studie die Erfahrungen aus den in Japan als Folge des Unfalls im Kernkraftwerk Fukushima durchgeführten Evakuierungen aufgearbeitet und zusammengestellt. Hierbei wurden die Herausforderungen und Probleme, welche sich bei der Entscheidungsfindung, der Anordnung und der Durchführung der Evakuierungsmassnahmen in Japan ergaben, sowie kurz- und langfristige Folgen der Umsetzung der Massnahme in der Umgebung von Fukushima betrachtet. Durch die Erschliessung von Grundlagen, die Aufarbeitung von Erfahrungen und den internationalen Austausch wird der Kompetenzerhalt und -ausbau in der Notfallvorsorge beim ENSI sichergestellt.

4 Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser und der Abluft lagen im Jahr 2018 für die vier Schweizer Kernkraftwerke Beznau (KKB 1 und KKB 2), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) und Mühleberg (KKM) sowie für das Paul Scherrer Institut (PSI) und das am gleichen Standort gelegene Zentrale Zwischenlager Würenlingen (ZZL) deutlich unterhalb der Jahres- und Kurzzeit-Abgabelimite. Die aus den tatsächlichen Abgaben und der Direktstrahlung aus der jeweiligen Anlage errechnete Strahlenexposition liegt selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren für Erwachsene, zehnjährige Kinder und Kleinkinder weit unterhalb des für Standorte von Kernanlagen festgelegten quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr.

Die externe Strahlung wird mit dem Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) ständig überwacht. In der Umgebung des KKB und des PSI sind 17, beim KKG 16 und beim KKL und KKM je 12 Ortsdosisleistungs-Messsonden in einem Abstand von bis zu ca. 5 km um die Anlagen in Betrieb. Die Messwerte dieser MADUK-Sonden werden alle 10 Minuten in die ENSI-Zentrale übertragen und automatisch analysiert. Allfällige Abweichungen vom Schwankungsbereich der natürlichen Strahlung werden signalisiert und automatisch dem ENSI-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 M-06 in Mühleberg wurde am 15. Juni ohne Niederschlag während 10 Minuten eine Ortsdosisleistung von 296 nSv/h registriert. Die Analyse der zugehörigen 1-Minuten-Messwerte zeigte drei erhöhte Messwerte mit einer maximalen Dosisleistung von 985 nSv/h. Zum Zeitpunkt der Erhöhung befanden sich in unmittelbarer Nähe zur Messsonde ein Baustelleninstallationsplatz sowie eine Baustelle mit Rotlichtanlage auf der angrenzenden Strasse. Die Ursache für die Erhöhung konnte nicht abschliessend bestimmt werden, am wahrscheinlichsten ist eine Person, die sich nach

einer Strahlentherapie oder PET-Untersuchung in der Nähe der Sonde aufgehalten hat.

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

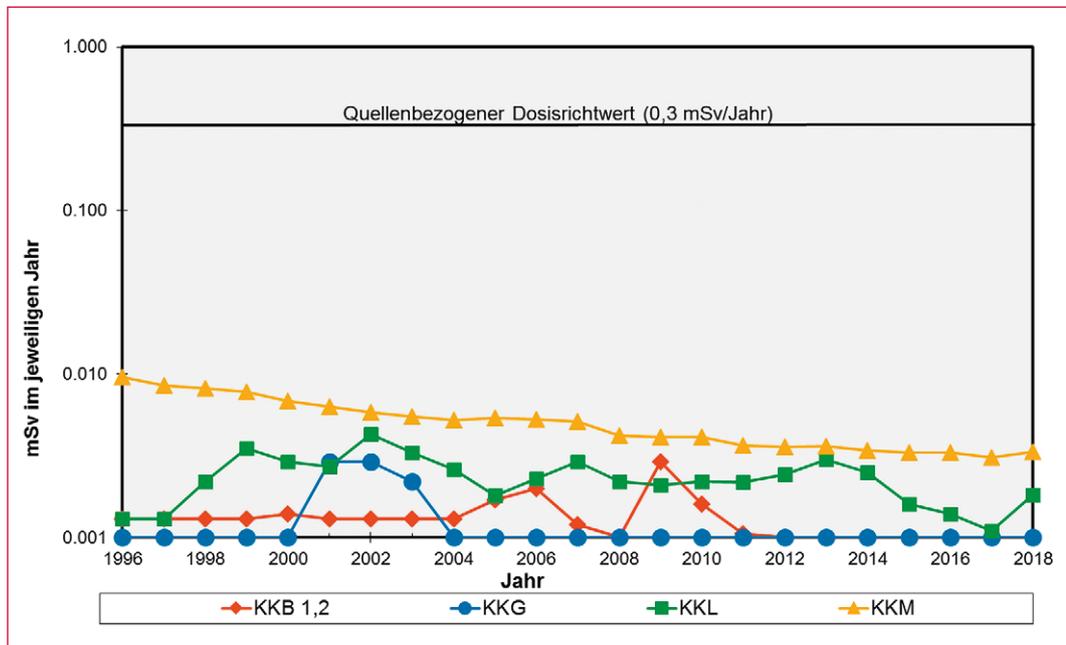
Die im Boden gemessenen künstlichen Radionuklide (insbesondere ^{137}Cs) können mit den Atomwaffentests oder mit dem Reaktorunfall in Tschernobyl in Verbindung gebracht werden. Die langjährige Messreihe der Universität Bern von ^{14}C in Baumblättern in der Umgebung der Kernkraftwerke wurde fortgesetzt.

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 2018 über «Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz» entnommen werden.

4.1 Emissionen aus den Kernanlagen

Die Abgaben von radioaktiven Stoffen mit der Abluft und dem Abwasser der schweizerischen Kernkraftwerke sind in der Darstellung D.1a (im Anhang 2) für die letzten fünf Jahre zusammen mit den entsprechenden Jahreslimiten dargestellt. Eine Aufschlüsselung der Abgaben der Kernkraftwerke nach Monat für die limitierten radioaktiven Abgaben ist in Darstellung D.1b im Anhang 2 aufgezeigt. 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 Erwach-



Darstellung B.1: 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.

sene, 10-jährige Kinder und Kleinkinder in der Umgebung der betreffenden Anlage im Jahr 2018. 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 D.3a, mit der Abluft in den Tabellen D.3b und D.3c gegeben (alle Tabellen in Anhang 2). Darstellung B.1 zeigt für die vier schweizerischen Kernkraftwerke den Verlauf der in der Umgebung berechneten Dosen für die meistbetroffenen Personen (nur Erwachsene) über die letzten 20 Jahre.

Alle Kernanlagen haben die vorgeschriebenen Jahres- und die Kurzzeitabgabelimiten eingehalten. Zur Überprüfung der Messverfahren der Kernanlagen hat das ENSI an 179 Proben eigene gammaspektrometrische Messungen durchgeführt (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 D.1b im Anhang 2) 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. Alle Schweizer Kernkraftwerke haben auch 2018 die ¹⁴C-Aktivität in der Abluft gemessen. Der Dosisbeitrag von ¹⁴C wurde aus den Messwerten ermittelt. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die ¹⁴C-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 errechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in unmittelbarer Nähe der Anlage beträgt unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren beim KKB und KKG weniger als 0,001 mSv, bei KKL und KKM etwa 0,004 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung betragen somit im Jahr 2018 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 Ab-

gaben resultierende Dosis in der Umgebung zu berechnen. Beim PSI errechnet das ENSI eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von weniger als 0,007 mSv. Beinahe die gesamte Dosis ergibt sich im PSI durch die Abgabe von kurzlebigen radioaktiven Edelgasen aus den Teilchenbeschleunigern im West-Areal des Institutes. Die vom PSI und vom ENSI unabhängig voneinander durchgeführten Berechnungen zeigen, dass unter ungünstigen Annahmen die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung deutlich unterhalb des für das PSI bewilligten Anteils von 0,15 mSv pro Jahr am quellenbezogenen Dosisrichtwert für den gemeinsamen Standort des PSI und des ZZL liegt. Für das ZZL beträgt der Anteil 0,05 mSv pro Jahr.

Die für das Jahr 2018 bilanzierten Abgaben des ZZL sind in den Tabellen B.1 und D.3a bis D.3c (im Anhang 2) zusammengestellt. Die aufgrund der Abgaben unter ungünstigen Annahmen berechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Umgebungsbevölkerung lag unterhalb von 0,001 mSv.

Die komplette Datensammlung und deren graphische Auswertungen sind in Anhang 2 abgebildet.

4.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen

Die Ortsdosis, respektive die Ortsdosisleistung durch externe Strahlung werden bei den Kernanlagen und beim PSI mit dem MADUK-Messnetz (siehe Kapitel 5) 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 wurden.

Die Ortsdosisleistung ist im Nahbereich (beispielsweise am Arealzaun) der Siedewasserreaktoren in Mühleberg und in Leibstadt durch Direkt- und Streustrahlung aus dem Maschinenhaus erhöht. Diese Strahlung resultiert aus dem radioaktiven Zerfall des kurzlebigen Stickstoffnuklids ^{16}N , welches im Reaktor produziert und bei Siedewasserre-

aktoren mit dem Dampf in die Turbine im Maschinenhaus getragen wird. Weiter können Abfalllager zu einer erhöhten Ortsdosis am Zaun beitragen.

Am Zaun des KKM wurden bei stichprobenweise vierteljährlich vom ENSI durchgeführten Messungen Dosisleistungen zwischen etwa $0,08 \mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und $0,2 \mu\text{Sv/h}$ 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 etwa 1,1 mSv.

Am Zaun des KKL wurden bei vierteljährlichen Stichproben des ENSI während des Leistungsbetriebes Ortsdosisleistungen zwischen $0,06 \mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und $0,16 \mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes und unter Berücksichtigung der Betriebszeit am meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von ca. 0,9 mSv pro Jahr. Die höchste, mit den TLD am Zaun ermittelte Jahresdosis (nach Abzug des natürlichen Untergrundes von 0,6 mSv) beträgt 1,1 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 2018 betrug der höchste, mit einem Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun des PSI ermittelte Wert ca. 0,23 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 Messungen aller Betreiber und des ENSI gaben keinen Hinweis auf eine Verletzung der nach Art. 79 Absatz 2 der Strahlenschutzverordnung anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerksareals von 0,02 mSv pro Woche für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 0,1 mSv pro Woche für andere Bereiche.

Tabelle B.1: Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2018 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.	10j Kind	1j Kind
			Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Prozent der Limite	mSv/Jahr	mSv/Jahr	mSv/Jahr
KKB1 + KKB2	Abwasser 3200 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,8·10 ⁸	-	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	7,1·10 ¹²	-	7·10 ¹³	10%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	3,2·10 ¹²	3,1·10 ¹²	1·10 ¹⁵	0,3%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,6·10 ⁴	-	6·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	3,5·10 ⁶	-	4·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	1,3·10 ¹⁰	-	-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total					<0,001	<0,001	<0,001	
KKG	Abwasser 7509 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,2·10 ⁷	-	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,7·10 ¹³	-	7·10 ¹³	25%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	<2,4·10 ¹²	<2,5·10 ¹²	1·10 ¹⁵	<0,3%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	3,3·10 ⁵	-	1·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	4,7·10 ⁴	-	7·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	2,7·10 ¹⁰	-	-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total					<0,001	<0,001	<0,001	
KKL	Abwasser 13 549 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,2·10 ⁸	-	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	5,0·10 ¹¹	-	2·10 ¹³	3%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	4,6·10 ¹¹	-	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	8,8·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	1,0·10 ⁸	1,1·10 ⁸	2·10 ¹⁰	0,6%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	4,8·10 ¹¹	-	-	-	0,0018	0,0024	0,0040
	Dosis total					0,0018	0,0024	0,0041	
KKM	Abwasser 2347 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	6,9·10 ⁷	-	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,1·10 ¹¹	-	2·10 ¹³	0,6%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	-	-	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,1·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0,1%	0,0025	0,0024	0,0024
		Iod: ¹³¹ I	2,1·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,5·10 ¹¹	-	-	-	<0,001	0,0011	0,0019
	Dosis total					0,0034	0,0036	0,0043	
ZZL	Abwasser 340 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	3,3·10 ⁸	-	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	2,6·10 ¹⁰	-	-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	β-/γ-Aerosole	2,7·10 ⁵	-	1·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		α-Aerosole	1,0·10 ⁴	-	3·10 ⁷	-	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	1,2·10 ⁸	-	1·10 ¹²	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,3·10 ¹⁰	-	1·10 ¹⁴	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total					<0,001	<0,001	<0,001	

Tabelle B.2: Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2018 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	2,0·10 ¹¹	-	-	-	-
β-/γ-Aerosole, ohne Iod	2,3·10 ⁷	-	-	-	5,8·10 ⁴
α-Aerosole	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	1,5·10 ⁶	-	-	-	-
Tritium als HTO	3,2·10 ¹⁰	-	-	3,0·10 ¹⁰	8,7·10 ⁹
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,3·10 ⁶	-	-	4,7·10 ⁷	7,1·10 ⁶
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:					
Erwachsene	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015
Kind 10 Jahre	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015
Kleinkinder	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert ⁴	<0,1 %	<0,1 %	<0,1 %	<0,1 %	<0,1 %

	PSI West			Gesamtanlage des PSI ^{1,2}		
	Zentrale Fortluft-anlagen	Injektor II	C-Labor	Abwasser 949 m ³	Abluft	Äquivalent-abgaben
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]						
Nuklidgemisch ohne Tritium				3,2·10 ⁸		8,4·10 ⁷
Tritium				8,4·10 ¹⁰		
Abgaben über die Abluft^{1,2} [Bq/a]						
Edelgase und andere Gase	1,8·10 ¹⁴	2,8·10 ¹⁰	-	-	1,8·10 ¹⁴	7,7·10 ¹⁴
β-/γ-Aerosole, ohne Iod	1,1·10 ¹⁰	5,1·10 ⁶	2,0·10 ⁴	-	1,1·10 ¹⁰	-
α-Aerosole	-	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	2,3·10 ⁷	-	-	-	8,5·10 ⁶	8,3·10 ⁶
Tritium als HTO	7,4·10 ¹¹	-	-	-	8,2·10 ¹¹	-
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	-	-	-	-	5,7·10 ⁷	-
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:						
Erwachsene	0,007	<0,00015	<0,00015	<0,00015	0,007	
Kind 10 Jahre	0,007	<0,00015	<0,00015	<0,00015	0,007	
Kleinkinder	0,007	<0,00015	<0,00015	<0,00015	0,007	
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert ⁴	4,7 %	<0,1 %	<0,1 %	<0,1 %		<5 %

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

5.1 Übersicht

Das MADUK-System (**M**essnetz zur **a**utomatischen **D**osisleistungsüberwachung in der **U**mgebung der **K**ernkraftwerke) inklusive der Einrichtungen zur Übernahme von **A**nlageparametern (ANPA) und Kaminemissionswerten aus den Kernkraftwerken wurde im Laufe des Jahres 1993 aufgebaut und ab Frühling 1994 in den operationellen Betrieb überführt. Da das System die Dosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke ganzjährig rund um die Uhr misst und überwacht, dient es der Beweissicherung für die Behörden und gegenüber der Öffentlichkeit. Ebenso ermöglicht es das Erkennen von Betriebsstörungen und Unfällen, da Erhöhungen gegenüber den natürlichen Dosiswerten ab einem vordefinierten Schwellenwert im ENSI automatisch gemeldet 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.

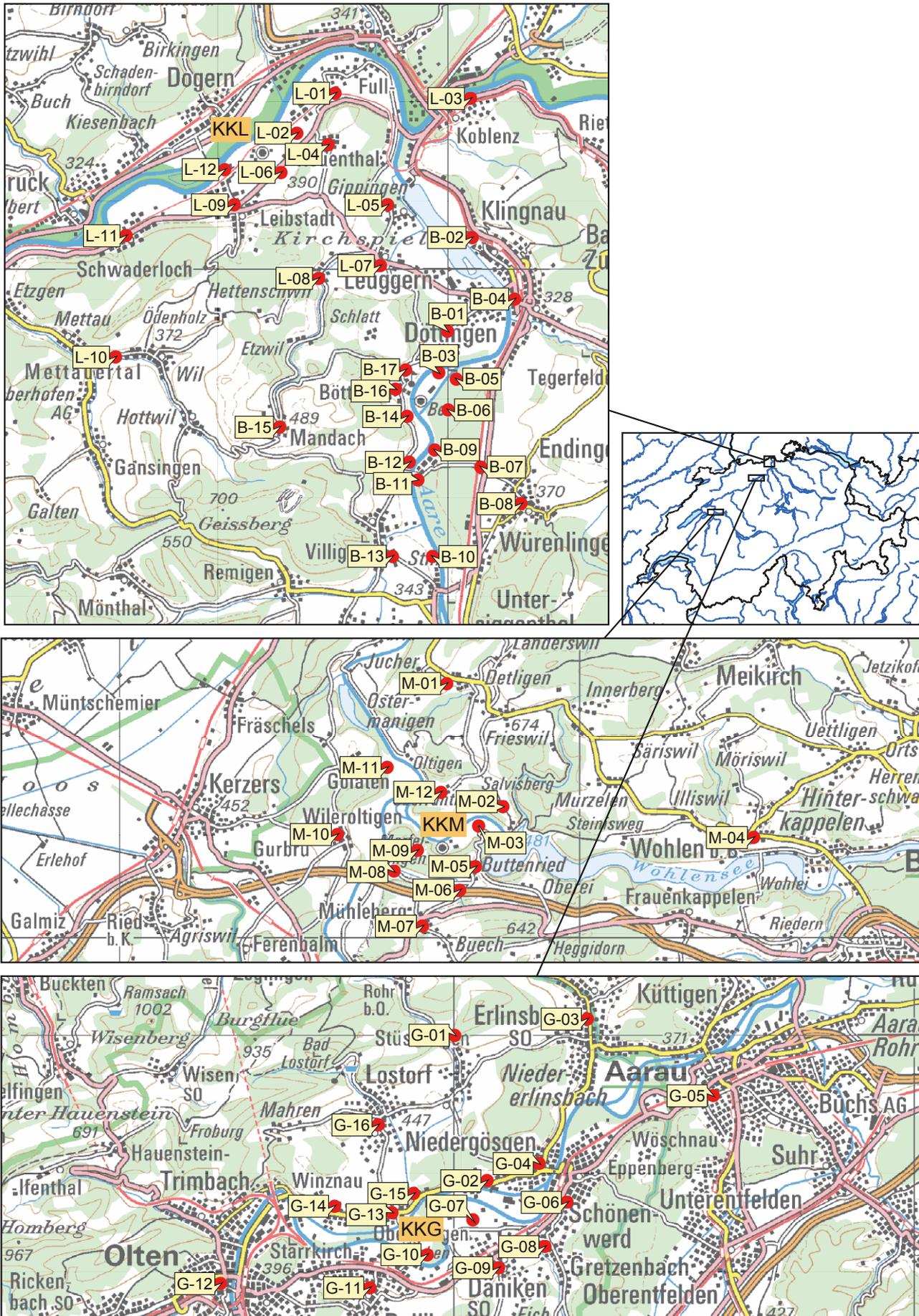
Das MADUK-Netz zur Messung der Dosisleistungen besteht aus insgesamt 57 Immissionsmessstationen in der Umgebung der vier Kernkraftwerke. Die Messsonden des MADUK-Systems komplettieren und ergänzen das gesamtschweizerische Messnetz zur Radioaktivitätsüberwachung, das mit dem NADAM-Netz auf weitere 76 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.2 zeigt die Standorte der Messsonden in der Umgebung der Kernkraftwerke.

Die Daten von MADUK können mittels einer speziellen Software auf bestimmten Arbeitsplatzrechnern im ENSI und in den Kernkraftwerken visualisiert werden. Auf der Internetseite www.ensi.ch unter Notfallschutz/Messwerte Radioaktivität sind alle seit 1994 archivierten Tages-, Stunden- und Zehnminutenmittelwerte der MADUK-Stationen abrufbar.

5.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung

Im Jahr 2018 wurde die Hardware der ANPA-/EMI-Erfassungsrechner in den vier Kernkraftwerksstandorten ersetzt und das Betriebssystem auf den aktuellen Stand gebracht. Für die Erneuerung der MADUK-Stationen erfolgte die WTO-Ausschreibung, welche Ende Jahr mit der Vertragsunterzeichnung erfolgreich abgeschlossen werden konnte. Die Umsetzung erfolgt in den Jahren 2019 und 2020.



Darstellung B.2: Die vier Messringe von MADUK. Kartendaten PK200® Bundesamt für Landestopografie.

5.3 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 seitens der Werke zu Unterbrüchen von 1,5 Stunden beim KKG und 2,8 Stunden beim KKM. Der Ersatz der ENSI-Erfassungsrechner in den Werken konnte bei KKG und KKM ohne Unterbrüche durchgeführt werden, bei KKB 1, KKB 2 und KKL waren die Unterbrüche kürzer als eine Stunde. Ein defektes Kabel des Kommunikationsproviders verursachte für KKB 1 und KKB 2 einen Ausfall der Datenübertragung der ANPA- und EMI-Daten in die MADUK-Zentrale über 68 Stunden. Aufgrund der Datenhaltung vor Ort konnten die Daten nachträglich vollständig übernommen werden. Aufgrund eines Fehlers im Erfassungstreiber der MADUK-Zentrale für KKL wurden während 28,6 Stunden nur Nullwerte archiviert. Die korrekten Daten konnten nachträglich archiviert werden. Ein ähnlicher Fehler führte beim KKG zu einem Ausfall der Datenübernahme von einer Stunde. Beim KKM wurde zudem ein Unterbruch in der Datenübernahme von 1,7 Stunden registriert. Die Tabelle B.3 gibt eine Übersicht über die Störungen an den Messstationen mit Störungsdauer, permanentem Datenverlust und Ursache der Störung.

Die Stationselektronik lief auch im 2018 grösstenteils zuverlässig. Es wurden im Vergleich zum Vorjahr deutlich weniger blockierte Datenlogger registriert. Die Station G-03 fiel aufgrund eines defekten Netzteils über die Weihnachtstage und Neujahr aus. Die Reparatur konnte erst anfangs Januar 2019 ausgeführt werden. Es verbleibt eine Datenlücke von 251,8 Stunden.

2018 waren wiederum diverse Kommunikationsunterbrüche zu den Messstationen von insgesamt 491,5 Stunden zu verzeichnen, deren Ursachen nicht immer festgestellt werden konnten. Insgesamt 408 Stunden bzw. je 68 Stunden pro Station entfallen auf den gleichzeitigen Kommunikationsunterbruch zu den Messstationen B-03, B-05, B-06, B-09, B-11 und B-12 aufgrund einer defekten Kommunikationsleitung, die auch für den oben erwähnten Unterbruch der ANPA- und EMI-Daten von KKB verantwortlich war. Bei der Station G-09 wurde bei Sanierungsarbeiten am Gebäude mit einer Kernbohrung die Kommunikationsleitung durchtrennt. Dies führte zu einem Kommunikationsunterbruch von 50,3 Stunden. Bei der Station B-16 war nach Wartungsarbeiten des Kommunikationsproviders während 22,8 Stunden keine Datenübertragung zwischen Station und Zentrale möglich. Bei allen Kommunikationsstörungen konnten die Daten nachträglich lückenlos archiviert werden.

Im Berichtsjahr lag die gemäss Managementhandbuch des ENSI bestimmte Systemverfügbarkeit bei 99,9 % (Verfügbarkeit der ANPA- und EMI-Daten eingerechnet). Die Verfügbarkeit der Dosisleistungsdaten aller MADUK-Stationen im Archiv betrug 99,93 %.

Tabelle B.3: Auflistung der Störungen bei den MADUK-Messstationen.

Station	Störungsdauer [h]	Permanenter Datenverlust [h]	Ursache
L-06	6,7	-	Stromunterbruch
B-14	9,5	9,5	Blockierter Datenlogger
L-05	2,0	2,0	Defekte Messsonde
M-08	67,3	67,3	Defekte Messsonde
M-01	2,6	2,6	Defekte Messsonde
B-01	20,5	20,5	Defekte Messsonde
M-02	7,3	7,3	Blockierter Datenlogger
M-10	10,0	10,0	Blockierter Datenlogger
G-03	251,8	251,8	Defektes Netzteil

5.4 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 ca. 40 Minuten produziert und mit Sollwerten verglichen. Gleichzeitig wird diese Sondenfunktionskontrolle auch für die Überprüfung der Datenübermittlung, der korrekten Archivierung im MADUK-Datenarchiv sowie der Alarmauslösung gemäss den festgelegten Schwellwerten benutzt. Im Jahr 2018 wurden zwei Funktionsprüfungen durchgeführt. Bei der Funktionsprüfung erfüllten alle Sonden inklusive die Reservesonden die Prüfkriterien.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme wurden auch im Jahr 2018 Messungen mittels In-Situ-Gammaspektrometrie bei den Sonden der Messringe Beznau und Mühleberg 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.

5.5 Messergebnisse

Im Jahr 2018 wurden insgesamt 26 Verletzungen des Nettodosisleistungsschwellenwertes von 50 nSv/h registriert (Tabelle B.4). Davon waren 25 aufgrund von gleichzeitig registriertem Niederschlag und/oder dem für Radonfolgeprodukte

typischen Abklingverhalten auf Washout von natürlichen Radionukliden zurückzuführen. Die Schwellwertverletzung vom 15. Juni bei der Station M-06 entsprach nicht diesem typischen Muster. Um 09:50 Uhr lag die Nettodosisleistung der Station M-06 über dem Schwellwert von 50 nSv/h. Die Ortsdosisleistung betrug 296 nSv/h, die Nettodosisleistung 184 nSv/h. Die 1-Minutenwerte zeigten einen Maximalwert von 985 nSv/h (siehe Darstellung B.3) und weisen insgesamt nur drei erhöhte Messwerte auf. Die Ergebnisse der routinemässig durchgeführten Ausbreitungsrechnungen für KKM zeigten zum entsprechenden Zeitpunkt eine Ausbreitung in Richtung Südwest. Die Station M-06 liegt in Richtung Südost von KKM. Ein Zusammenhang mit dem Betriebsverhalten von KKM, auch aufgrund der Emissionsdaten, konnte nicht hergestellt werden. Zum Zeitpunkt der Erhöhung befanden sich in unmittelbarer Nähe zur Messsonde ein Baustelleninstallationsplatz sowie eine Baustelle mit Rotlichtanlage auf der angrenzenden Strasse. Die Ursache für die Erhöhung konnte nicht abschliessend bestimmt werden, am wahrscheinlichsten ist eine Person, die sich nach einer Strahlentherapie oder PET-Untersuchung in der Nähe der Sonde aufgehalten hat.

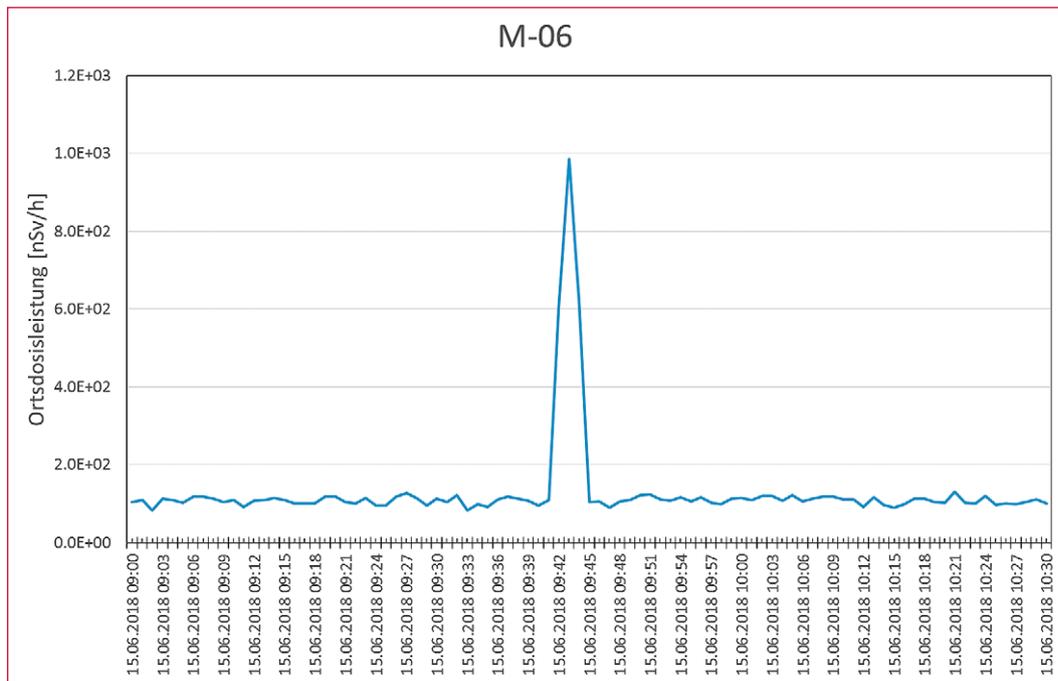
Erhöhte Ortsdosisleistungswerte, die auf Abgaben der Kernkraftwerke zurückzuführen waren, wurden keine festgestellt.

Die jährliche Überprüfungskampagne der NADAM-Sonden an den Standorten, an denen auch eine MADUK-Station in Betrieb ist, führte 2018 bei keiner MADUK-Sonde zu wesentlichen Erhöhungen der Messwerte.

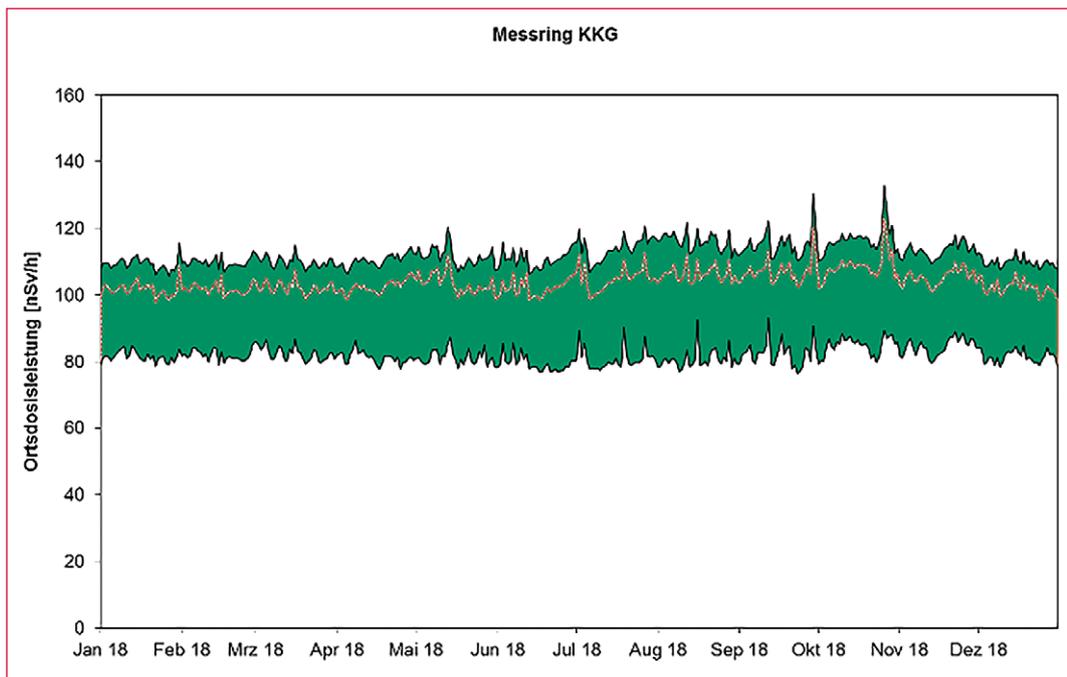
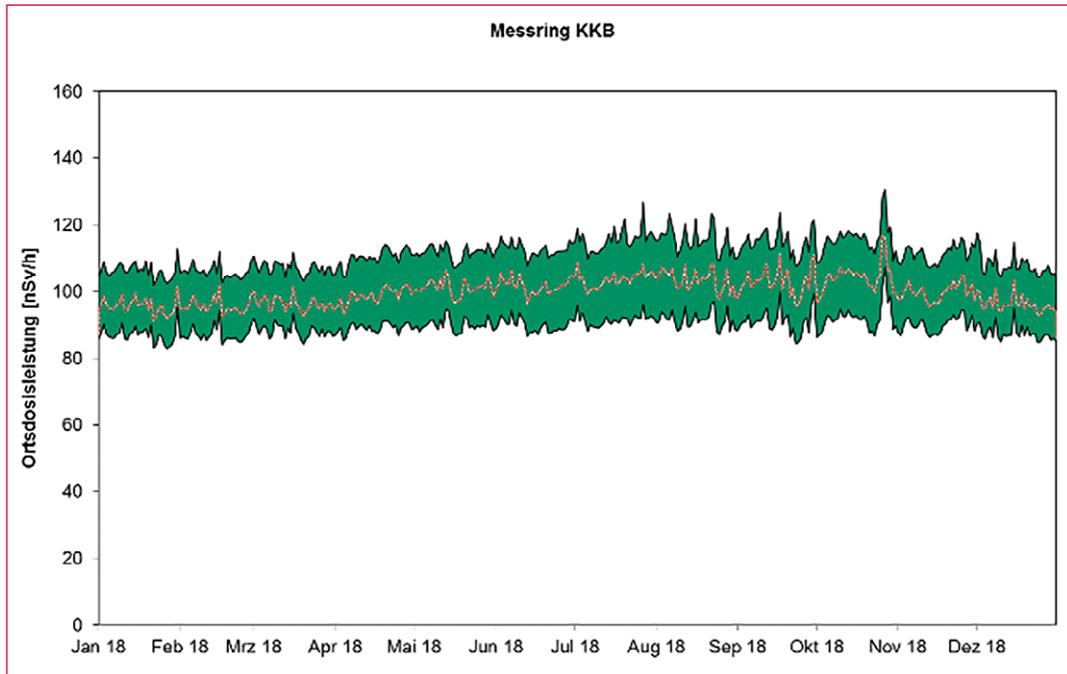
Die Darstellung B.4 zeigt die Maxima, die Minima und die Medianwerte der Tagesmittelwerte der jeweiligen Messringe im Berichtsjahr in den Umgebungen der Kernkraftwerke.

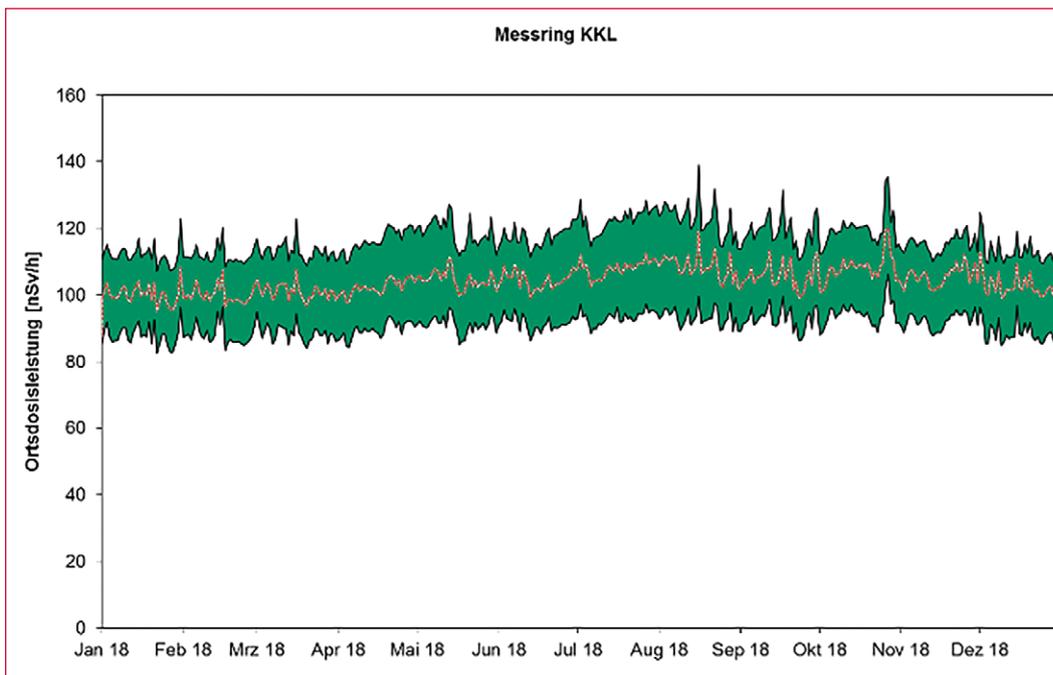
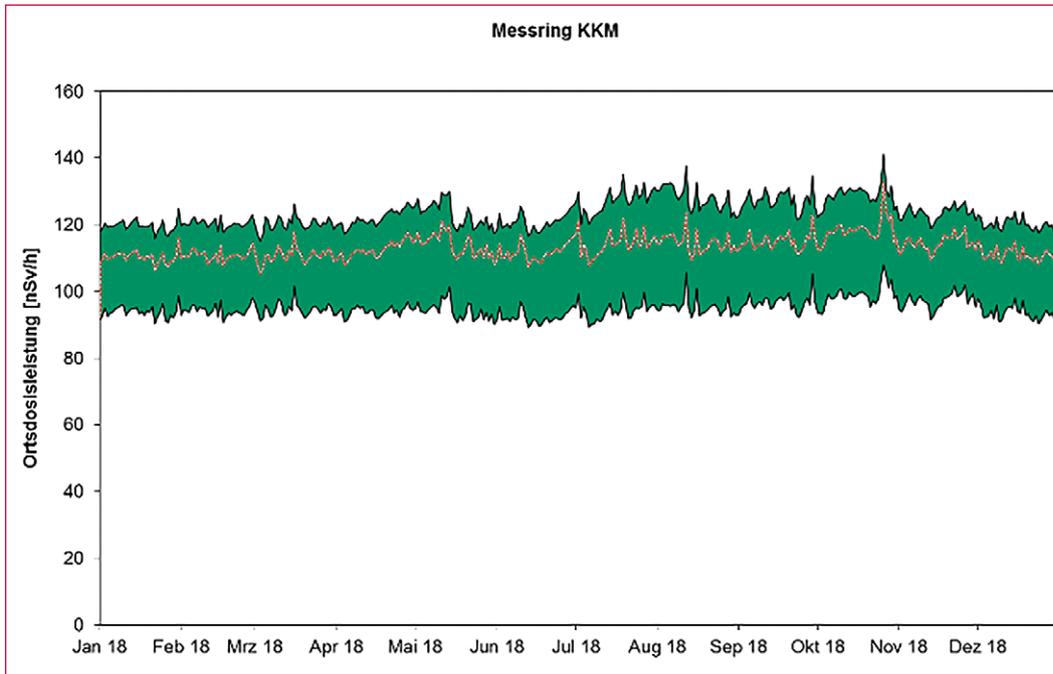
Tabelle B.4: Auflistung der Nettodosisleistungsschwellwertüberschreitungen im Jahr 2018.

Datum	Station	Dauer [h]	Max. ND [nSv/h]	Max. OD [nSv/h]
21.05.2018 19:40	B-04	0,2	52	156
21.05.2018 19:40	L-03	0,7	73	170
22.05.2018 20:30	L-09	0,5	57	169
22.05.2018 20:40	L-10	0,3	64	179
22.05.2018 20:20	L-11	1,0	76	191
22.05.2018 20:20	L-12	0,7	68	169
04.06.2018 19:40	G-14	0,5	62	192
04.06.2018 19:40	G-15	0,3	52	173
04.06.2018 19:40	G-16	0,2	68	182
08.06.2018 20:10	M-04	0,3	54	149
09.06.2018 19:30	L-08	0,2	51	185
15.06.2018 09:50	M-06	0,2	184	296
03.07.2018 07:30	M-04	0,3	53	186
03.07.2018 10:20	B-10	0,3	56	199
17.07.2018 13:40	B-02	0,5	57	151
17.07.2018 13:50	B-01	0,2	54	159
17.07.2018 20:30	M-04	0,5	57	157
20.07.2018 15:20	G-12	0,3	51	155
17.08.2018 16:40	G-12	0,7	66	167
17.08.2018 16:30	L-12	0,3	55	255
17.08.2018 16:30	L-06	0,3	64	231
17.08.2018 16:30	L-10	0,3	114	306
17.08.2018 16:30	B-15	0,3	76	202
13.09.2018 17:00	G-12	0,5	61	157
18.09.2018 21:00	L-10	1,2	100	260
27.10.2018 20:40	M-01	0,3	52	185



Darstellung B.3: Verlauf der gemessenen 1-Minuten-Messwerte an der Station M-06.





Darstellung B.4: Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKB, KKG, KKM, KKL im Jahr 2018.

6 Atmosphärische Ausbreitung

6.1 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 den Bundesstab Bevölkerungsschutz (VBSTB) 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) und den Bundesstab Bevölkerungsschutz (BSTB) 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.

6.2 Atmosphärisches Ausbreitungs- und Dosisberechnungsmodell JRODOS

Das ENSI verfügt seit vielen Jahren nicht nur über die Mittel und das Expertenwissen, um Entwicklungen in Schweizer Kernanlagen bei Unfällen rasch früh zu erkennen und einzustufen, sondern

darüber hinaus auch über die Mittel und das Fachwissen diese Entwicklungen auf ihre Bedeutung für den Bevölkerungsschutz zu bewerten.

Als Plattform für die Verarbeitung von Meteorodaten, die Berechnung von Windfeldern sowie die Ermittlung der Konsequenzen einer Freisetzung von luftgetragenen radioaktiven Stoffen und deren Visualisierung wird beim ENSI das Programm JRODOS eingesetzt. Dieses im Jahr 2016 beim ENSI eingeführte Programm ersetzt das seit vielen Jahren (ab 2002) beim ENSI hierzu eingesetzte Modell ADPIC ab. JRODOS (**J**ava-based **R**ealtime **O**nline **D**ecisi**O**n **S**upport system) ist ein vom Karlsruher Institut für Technologie KIT entwickeltes, modulares Entscheidungshilfesystem für den anlagenexternen Notfallschutz, welches von vielen europäischen Ländern genutzt wird. Die Weiterentwicklung erfolgt laufend durch das KIT, gesteuert von der RODOS User Group, in welcher das ENSI Einsatz nimmt. Innerhalb von JRODOS wird für die eigentliche Ausbreitungsrechnung das Programm LASAT (**L**Agrange-**S**imulation von **A**erosol-**T**ransport) verwendet. Dieser Programmcode berechnet die Ausbreitung von Spurenstoffen in der Atmosphäre, indem für eine Gruppe repräsentativer Stoffteilchen der Transport und die turbulente Diffusion durch einen Zufallsprozess auf dem Computer simuliert wird (Lagrange-Simulation). LASAT beruht auf einem Forschungsmodell, das 1980 entwickelt und in verschiedenen Forschungsvorhaben erprobt wurde. Seit 1990 ist es allgemein als Softwarepaket verfügbar und wird 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 TA Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft). LASAT ist konform zur Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 und bietet ein breites Anwendungsspektrum, unter anderem: TA Luft, Störfälle, Screening, Geruchsstoffe, Bioaerosole, Radionuklide und bewegte Quellen. LASAT wird kontinuierlich weiterentwickelt und wurde ausgehend von den Anforderungen des ENSI 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 Wettervorhersagemodells 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 Anforderungen, weshalb JRODOS das Höhenmodell DHM25 der Schweizerischen Landestopographie SwissTopo verwendet.

Eine wesentliche Neuerung gegenüber dem Vorgängermodell ADPIC stellt auch die Erweiterung des Rechengebiets auf 500x500 km² dar, wobei für den Nahbereich um eine Kernanlage die orographische Auflösung von 250m 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. Es ist in die Notfallorganisation des ENSI eingebunden und technisch mit den anderen Notfall-Werkzeugen ADAM und MADUK verknüpft. Um seine in der Notfallschutzverordnung zugewiesenen Aufgaben sicher in jeder Lage wahrnehmen zu können, betreibt das ENSI zwei eigene, geographisch unabhängige JRODOS-Systeme.

Zwei Arten von Rechnungen sind möglich:

- Routinemässige Berechnungen mit einer Einheitsquelle (1 Bq/s kontinuierliche Abgabe auf drei verschiedenen Freisetzungshöhen) für die folgenden 12 Stunden 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

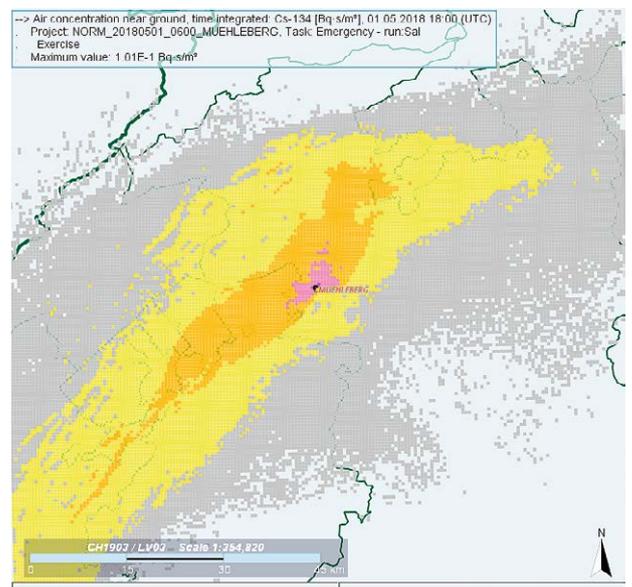
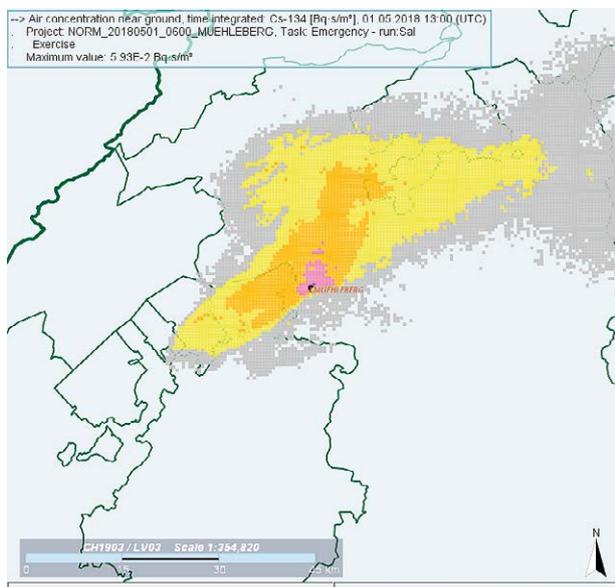
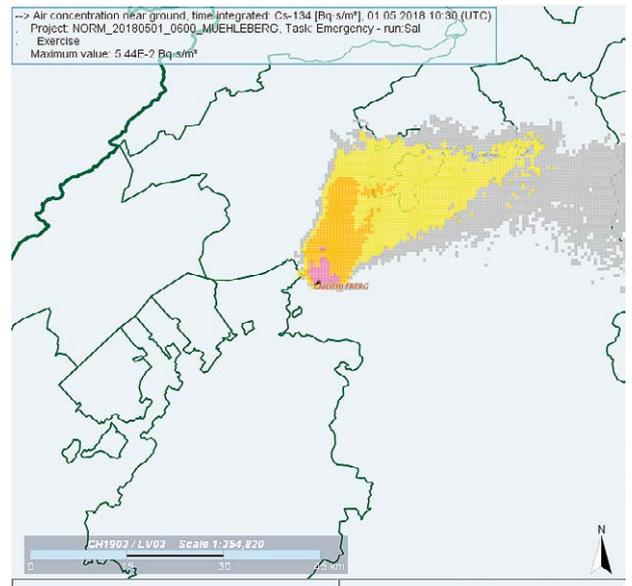
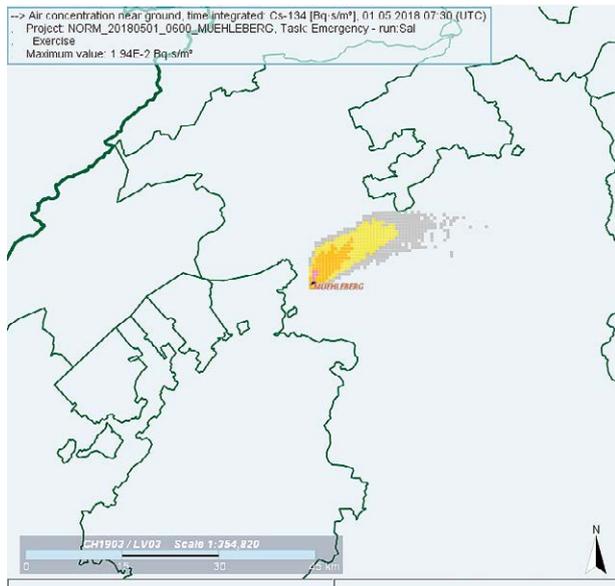
Systems und die Überwachung der aktuellen Ausbreitungssituation. Zudem können Routineberechnungen auch im Ereignisfall – insbesondere zu Beginn eines Einsatzes der ENSI-Notfallorganisation – für eine erste Beurteilung verwendet werden.

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 Verfügbarkeit 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.

Beispiele von JRODOS/COSMO-Berechnungen

In der Darstellung B.5 wird beispielhaft eine JRODOS/COSMO-Simulation für den KKW-Standort Mühleberg dargestellt. Die Darstellung stammt aus den Routineberechnungen und zeigt die berechnete integrierte Aktivitätskonzentration in Bodennähe als Funktion der Zeit für verschiedene ausgewählte, nicht repräsentative Zeitpunkte einer realen Wetterlage.



Darstellung B.5: Beispiel einer JRODOS/COSMO-Simulation für das Kernkraftwerk Mühleberg.

Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 1. Mai 2018 um 8:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 10 m über Boden, Dauer der Freisetzung 12 Stunden.

Ausbreitungssituation um 9:30 Uhr (links oben), 12:30 Uhr (rechts oben), 15:00 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

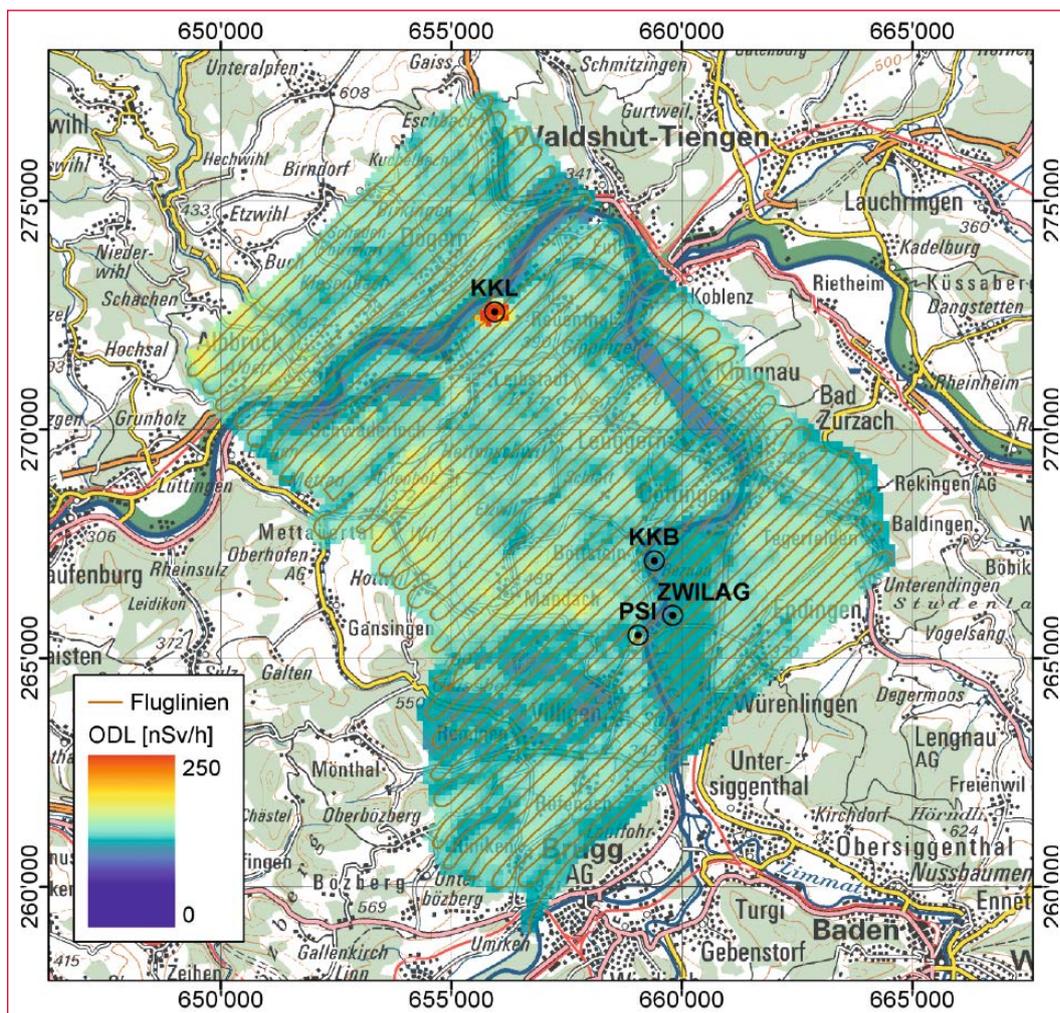
7 Aeroradiometrische Messungen

7.1 Einleitung

Aeroradiometrische Messungen wurden in der Schweiz im Jahr 1986 mit einem geophysikalischen Projekt am Institut für Geophysik der ETH Zürich aufgenommen. Die grundlegende Methodik für Datenerfassung, Datenverarbeitung, Kalibrierung und Kartendarstellung wurde innerhalb dieses Projektes entwickelt (Schwarz 1991). Seit 1989 wird die Umgebung der schweizerischen Kernanlagen mindestens im Zweijahresrhythmus vermessen. 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 Nuklear-

reaktoren 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).

Mit den Messflügen 2018 erfolgte die Ablösung der alten Messsysteme durch ein Messsystem der Firma Mirion, welches durch die RUAG im Super Puma Helikopter der Schweizer Luftwaffe integriert wurde. Das neue Messsystem wurde in den vorangehenden Messübungen eingehend getestet und die Ergebnisse mit denen des alten Systems verifiziert. Es stehen vier Messsysteme für die Aufgaben der NAZ sowie des Kompetenzzentrums



Darstellung B.6: Ortdosisleistung 2018 im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG. Kartendaten PK200© Bundesamt für Landestopografie.

ABC-KAMIR der Armee zur Verfügung. Wartung und Unterhalt erfolgt durch die Lieferanten. Im Jahre 2010 (Bucher et. al, 2010) wurde mithilfe der Auswertung der Langzeitdaten die Nachweisgrenze der Messmethode ermittelt: $0,02 \mu\text{Sv/h}$ werden in 95 von 100 Fällen erkannt (Vertrauensbereich 95 %). Dies entspricht ungefähr 20 % der natürlichen externen Strahlung.

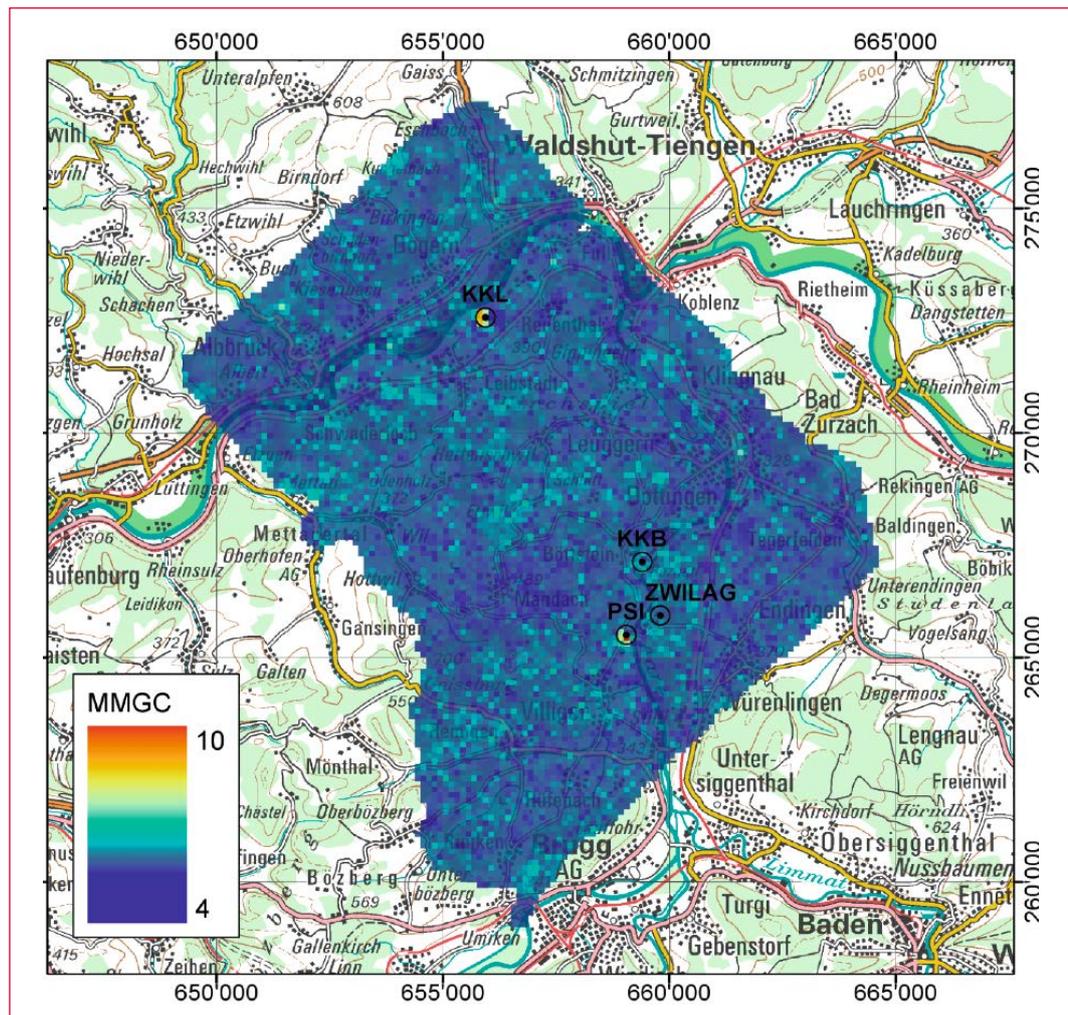
7.2 Messungen und Messresultate 2018

Vom 28. Mai bis 1. Juni 2018 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL), der Forschungseinrichtung Paul Scherrer Institut (PSI) sowie der Zwischenlager AG (ZWILAG) gemessen. Im Rahmen der Messflüge 2018 erfolgten zudem Messungen über den Sektoren 4 und 5 der Zone 2 von KKL und KKB, den Städten Solothurn und Fribourg, einem Gebiet am Mont Vully sowie entlang eines Profils von Thun nach Kandersteg. Über dem Genfersee wurde ein Steigflug zur Charakterisierung des neuen Mess-

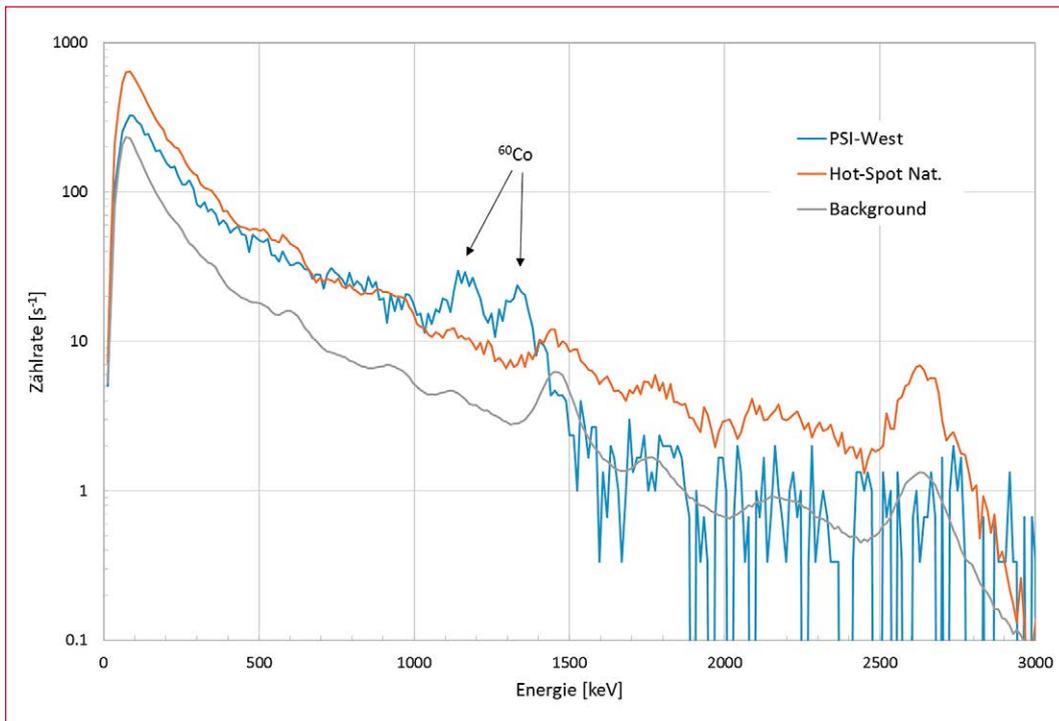
systems durchgeführt. Die detaillierten Ergebnisse sämtlicher Messungen werden in einem PSI-Bericht im Verlauf des Jahres 2019 publiziert.

Die Messresultate im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. Im Bereich des KKB sind keine besonderen Werte bei der Ortsdosisleistung (Darstellung B.6) zu erkennen. KKB mit seinem Druckwasserreaktor konnte aeroradiometrisch weder aufgrund der Ortsdosisleistung (Darstellung B.6) noch aufgrund des MMGC-Verhältnisses (Darstellung B.7) 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.

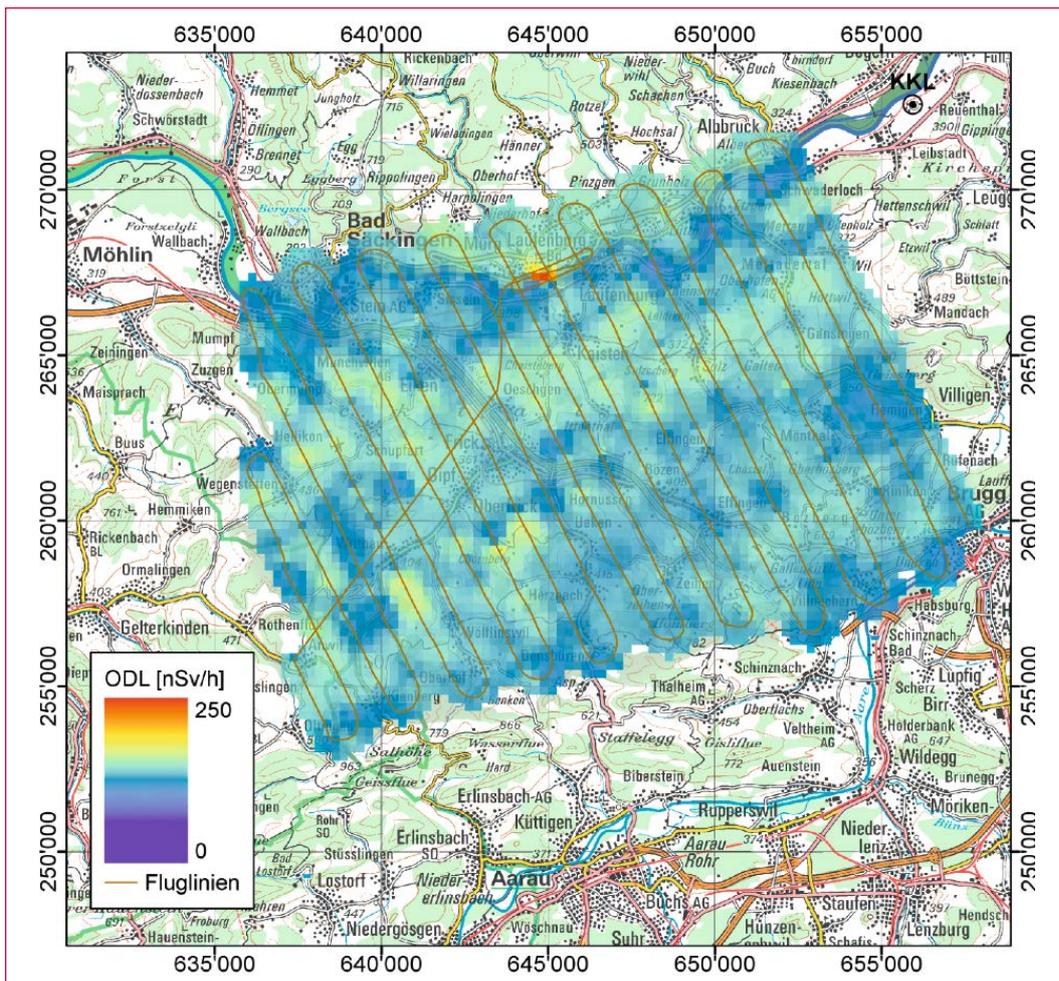
Im Gegensatz zum KKB können am Standort des KKL in der Darstellung B.6 erhöhte Messwerte erkannt werden. Das KKL mit seinem Siedewasserreaktor konnte anhand gestreuter, hochenergetischer Photonenstrahlung wie in früheren Jahren



Darstellung B.7: MMGC 2018 im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.



Darstellung B.8: Gemittelte Spektren im Bereich des Betriebsgeländes PSI-West und des Hot-Spots mit natürlich vorkommenden Radionukliden (Hot-Spot Nat.) im Vergleich zum gemittelten Spektrum ausserhalb der Betriebsareale und der Hot-Spots (Background). Die unterschiedliche Schwankungsbreite der drei Spektren ist auf die unterschiedliche Anzahl der zugrundeliegenden Einzelspektren zurückzuführen.



Darstellung B.9: Ortsdosisleistung im Messgebiet der Sektoren 4 und 5 der Zone 2 von KKB und KKL. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.

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.

Im MMGC-Verhältnis (Darstellung B.7) ist beim PSI West eine Erhöhung zu erkennen. Zum Zeitpunkt der Messflüge befand sich der Protonen-Beschleuniger aufgrund von Wartungsarbeiten im Stillstand. Für diese Wartungsarbeiten wurden die Abschirmungen geöffnet. Deshalb konnte ^{60}Co im Spektrum (Darstellung B.8) identifiziert werden, das durch Aktivierung von Stahl entsteht.

Ausserhalb der Betriebsareale der Kernanlagen sind im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG keine erhöhten Werte erkennbar. Unterschiede sind auf Einflüsse der Topographie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen.

Im Messgebiet der Sektoren 4 und 5 der Zone 2 von KKL und KKB wurde auf deutscher Seite des Rheins ein Hot-Spot (Darstellung B.9) detektiert. Der erhöhte Wert wurde auf dem Betriebsareal einer Firma registriert, die Zirkon-Mineralen industriell verarbeitet. In Verbindung mit Zirkon-Mineralen treten häufig auch natürlich vorkommende Radionuklide (NORM) insbesondere aus der Thorium-Reihe auf. Entsprechend sind im Spektrum (Darstellung B.8, Hot-Spot Nat.) die Zählraten im Bereich der Radionuklide aus der Thorium-Reihe im Vergleich zum Background erhöht. Am besten ist dies im hochenergetischen Teil des Spektrums zu erkennen.

Im restlichen Teil des Messgebietes der Sektoren 4 und 5 der Zone 2 von KKL und KKB liegen die Messwerte im erwarteten Bereich. Unterschiede sind auf Einflüsse der Topographie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen.

7.3 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.

Anhang 1: Personenedosimetriedaten

Tabelle C.1a: 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	412	520	932	454	723	1177	406	1072	1478	230	512	742	1496	2218	3714
> 1,0– 2,0	16	11	27	20	36	56	30	146	176	41	64	105	108	225	333
> 2,0– 5,0	6	2	8	20	18	38	48	132	180	36	44	80	110	209	319
> 5,0–10,0							9	34	43	5	4	9	15	45	60
> 10,0–15,0								1	1					3	3
Total Personen	434	533	967	494	777	1271	493	1385	1878	312	624	936	1729	2700	4429
Mittel pro Person [mSv]	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,8	0,8	0,8	0,6	0,8	0,4	0,6	0,5

Tabelle C.1b: 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	269	92	361	40	401	73	122	195	3714	4178
> 1,0– 2,0						4		4	333	336
> 2,0– 5,0							1	1	319	321
> 5,0–10,0									60	60
> 10,0–15,0									3	3
Total Personen	269	92	361	40	401	77	123	200	4429	4938
Mittel pro Person [mSv]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,5	0,5

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.

Kollektivdosis pro Dosisbereich der beruflich strahlenexponierten Personen

Tabelle C.2a: Kollektivdosen 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	52,8	38,0	90,8	35,9	79,3	115,2	45,8	162,9	208,7	32,7	104,1	136,8	167,2	314,9	482,1
> 1,0– 2,0	23,0	14,5	37,5	28,9	54,6	83,5	43,0	220,3	263,3	62,8	90,9	153,7	159,0	333,6	492,6
> 2,0– 5,0	16,6	4,6	21,2	53,9	47,2	101,1	153,7	441,6	595,3	112,2	140,8	253,0	336,3	678,9	1015,2
> 5,0–10,0							61,7	230,2	291,9	33,1	23,4	56,5	102,3	294,3	396,6
> 10,0–15,0								12,4	12,4					34,4	34,4
Total [Pers.-mSv]	92,4	57,1	149,5	118,7	181,1	299,8	304,2	1067,4	1371,6	240,8	359,2	600,0	764,8	1656,1	2420,9
Höchste Einzeldosis [mSv]	3,4	2,4	3,4	4,1	3,3	4,1	9,2	12,4	12,4	7,6	6,3	7,6	9,2	12,4	12,4

¹ Hochschulen: EPF Lausanne und Universität Basel

Tabelle C.2b: Kollektivdosen [Pers.-mSv] in weiteren Kern- und Forschungsanlagen aufgeschlüsselt nach Dosisbereich sowie die höchste erfasste Einzeldosis.

Dosisbereich [mSv]	PSI			Hochschulen ²	Total Forschung	ZZL			Total KKW	Total Kernanlagen und Forschung
	EP	FP	EP+FP			EP+FP				
0,0– 1,0	7,1	0,4	7,5	0,1	7,6	9,6	3,6	13,2	482,1	501,5
> 1,0– 2,0						4,5		4,5	492,6	496,2
> 2,0– 5,0							2,6	2,6	1015,2	1020,0
> 5,0–10,0									396,6	396,6
> 10,0–15,0									34,4	34,4
Total [Pers.-mSv]	7,1	0,4	7,5	0,1	7,6	14,1	6,2	20,3	2420,9	2448,8
Höchste Einzeldosis [mSv]	0,8	0,4	0,8	0,1	0,8	1,2	2,6	2,6	12,4	12,4

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.

Verteilung der beruflichen Lebensdosis des Eigenpersonals

Tabelle C.3a: Kernanlagen und PSI³, Anzahl Personen, Lebensdosisbereiche in mSv.

Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM	KKW Total	PSI	ZZL	Kernanlagen und PSI Total
> 100–150	17		10	15	42			42
> 150–200	4	1	5	8	18			18
> 200–250	3	1		6	10			10
> 250–300	1	1	1	1	4			4
> 300–350	1			3	4			4
Total Personen	26	3	16	33	78			78

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

Tabelle C.3b: Kernanlagen und PSI⁴, 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			20	16	6	42
> 150–200			4	8	6	18
> 200–250			5	3	2	10
> 250–300			1	2	1	4
> 300–350			1	3		4
Total Personen			31	32	15	78

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

² Hochschulen: EPF Lausanne und Universität Basel

³ Aufsichtsbereich des BAG miteinbezogen

⁴ Aufsichtsbereich des BAG miteinbezogen

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

Tabelle C.4a: Kernanlagen und Forschung (PSI⁵, 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	19	2	56	4	442	33	840	80	909	84	1233	58	403	15	4178
> 1,0– 2,0	1		5	1	34		68	1	72		123	1	30		336
> 2,0– 5,0			1		55		78		75	1	90		21		321
> 5,0–10,0					6		23		11		18		2		60
> 10,0–15,0							1		1		1				3
Total Personen	20	2	62	5	537	33	1010	81	1068	85	1465	59	456	15	4898
Mittel pro Person [mSv]	0,14	0,00	0,25	0,36	0,58	0,01	0,64	0,05	0,51	0,05	0,51	0,04	0,35	0,05	0,50
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	2,7	0,0	15,7	1,8	313,8	0,4	645,4	4,1	549,7	4,1	747,0	2,4	160,9	0,7	2448,7

Tabelle C.4b: Forschung (PSI⁶, 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	1	4	1	45	11	52	25	58	31	74	20	32	6	361
> 1,0– 2,0															
> 2,0– 5,0															
> 5,0–10,0															
> 10,0–15,0															
Total Personen	1	1	4	1	45	11	52	25	58	31	74	20	32	6	361
Mittel pro Person [mSv]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00	0,04	0,02	0,02
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	1,3	0,0	3,2	0,0	1,3	0,1	7,5

⁵ Aufsichtsbereich des BAG miteinbezogen

⁶ Aufsichtsbereich des BAG miteinbezogen

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

Tabelle C.5: Kernkraftwerk Beznau 1 und 2 (KKB), Anzahl Personen Eigen- und Fremdpersonal (EP/FP).

Dosisbereich	16-18 Jahre		19-20 Jahre		21-30 Jahre		31-40 Jahre		41-50 Jahre		51-60 Jahre		> 60 Jahre		Total									
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F										
[mSv]	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP								
> 0,0- 1,0	3	2	9	1	17	49	60	117	7	6	102	130	9	11	169	152	6	5	29	46	1	412	520	
> 1,0- 2,0					2	1	1	3			2	5			10	2			1			16	11	
> 2,0- 5,0					2	1	2	1			2				2				1			6	2	
> 5,0-10,0																								
> 10,0-15,0																								
Total Personen	3	2	9	1	19	50	63	121	7	6	106	135	9	11	181	154	6	5	30	47	1	434	533	
Mittel pro Person [mSv]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,3	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,2	0,1	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0,1	0,0	0,0	0,0	6,0	7,2	18,6	17,3	0,9	0,0	22,4	14,6	0,0	0,0	39,4	12,1	0,2	0,0	4,8	5,9	0,0	92,4	57,1	

Tabelle C.6: Kernkraftwerk Gösgen (KKG), Anzahl Personen Eigen- und Fremdpersonal (EP/FP).

Dosisbereich	16-18 Jahre		19-20 Jahre		21-30 Jahre		31-40 Jahre		41-50 Jahre		51-60 Jahre		> 60 Jahre		Total											
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F												
[mSv]	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP										
> 0,0- 1,0	1	2	3	1	17	68	91	170	12	8	135	153	16	7	118	222	9	3	46	81	1	2	454	723		
> 1,0- 2,0					4		8	11			5	6			7	12			3			20	36			
> 2,0- 5,0					4		7	7			11	3			2	2			2			20	18			
> 5,0-10,0																										
> 10,0-15,0																										
Total Personen	1	2	3	1	17	76	3	5	106	188	12	8	151	162	16	7	127	236	9	3	46	86	1	2	494	777
Mittel pro Person [mSv]	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,4	0,3	0,0	0,0	0,3	0,2	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0,0	0,7	0,0	0,0	0,8	29,7	0,1	0,0	41,0	56,5	0,3	0,2	52,7	34,9	0,0	0,0	22,2	44,3	0,2	0,0	1,3	14,7	0,0	0,0	118,7	181,1

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

Tabelle C.7: Kernkraftwerk Leibstadt (KKL), Anzahl Personen Eigen- und Fremdpersonal (EP/FP).

Dosisbereich	16-18 Jahre		19-20 Jahre		21-30 Jahre		31-40 Jahre		41-50 Jahre		51-60 Jahre		> 60 Jahre		Total												
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F													
[mSv]	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP											
> 0,0- 1,0	1	8	4	27	23	177	3	6	80	228	10	5	106	206	3	8	112	307	12	6	51	92	1	2	406	1072	
> 1,0- 2,0	1		4		25		36	1	8		36		9		22		10		43		3		14		30	146	
> 2,0- 5,0			1		2		35		12		27		19		25		11		39		4		5		48	132	
> 5,0-10,0					3		14		4		14		2		6		2		11		1		1		9	34	
> 10,0-15,0													2				1									1	
Total Personen	1	9	4	32	25	240	3	6	104	305	10	6	136	259	3	8	135	401	12	6	59	111	1	2	493	1385	
Mittel pro Person [mSv]	0,0	0,2	0,3	0,3	0,4	0,8	0,1	0,2	0,8	0,9	0,1	0,2	0,8	0,7	0,3	0,0	0,5	0,8	0,1	0,0	0,5	0,4	0,0	0,3	0,6	0,8	0,8
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0,0	1,8	1,1	11,1	9,5	196,9	0,3	86,1	283,4	0,8	1,4	104,9	190,1	0,9	0,0	71,1	335,0	0,7	0,0	29,1	46,8	0,0	0,6	304,2	1067,4		

Tabelle C.8: Kernkraftwerk Mühleberg (KKM), Anzahl Personen Eigen- und Fremdpersonal (EP/FP).

Dosisbereich	16-18 Jahre		19-20 Jahre		21-30 Jahre		31-40 Jahre		41-50 Jahre		51-60 Jahre		> 60 Jahre		Total											
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F												
[mSv]	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP										
> 0,0- 1,0	2		6		21	49	3	2	35	105	3	6	47	119	4	6	89	160	6	27	48	1	3	230	512	
> 1,0- 2,0			1		1		7		4		12		8		12		22		26		5		5		41	64
> 2,0- 5,0					3		9		5		15		9		2		15		14		3		4		36	44
> 5,0-10,0					1						3		4								1				5	4
> 10,0-15,0																										
Total Personen	2		7	1	25	66	3	2	44	135	3	6	68	133	5	6	126	200	1	6	36	57	1	3	312	624
Mittel pro Person [mSv]	0,1		0,5	1,6	0,4	0,8	0,0	0,0	0,7	0,8	0,0	0,1	1,0	0,4	0,6	0,1	0,8	0,6	1,3	0,0	0,7	0,5	0,0	0,0	0,8	0,6
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0,1		3,5	1,6	9,7	52,3	0,0	0,0	30,0	106,8	0,0	0,5	70,2	51,3	2,9	0,3	102,3	111,8	1,3	0,0	24,4	31,0	0,0	0,0	240,8	359,2

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

Table C.9: Total aller Kernkraftwerke, Anzahl Personen Eigen- und Fremdpersonal (EP/FP).

Dosisbereich	16-18 Jahre		19-20 Jahre		21-30 Jahre		31-40 Jahre		41-50 Jahre		51-60 Jahre		> 60 Jahre		Total													
	M		F		M		F		M		F		M			Total												
	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP														
[mSv]																												
> 0,0- 1,0	5	13	1	16	34	1	2	78	304	10	11	263	501	32	20	388	441	32	20	487	641	27	12	153	213	3	6	1496
> 1,0- 2,0	1			5	1	3	31	22	46	1		22	46	1		23	46	1		50	73	1		9	21			108
> 2,0- 5,0				1		5	50	26	52			26	52			42	33	1		29	59			7	14			110
> 5,0-10,0						6		4	19			4	19			6	5			3	15			2				15
> 10,0-15,0								1				1				1				1								3
Total Personen	5	14	1	16	40	1	3	86	391	10	11	315	619	32	21	459	526	33	20	569	789	28	12	171	248	3	6	1729
Mittel pro Person [mSv]	0,0	0,2	0,0	0,1	0,4	0,1	0,6	0,3	0,7	0,0	0,0	0,6	0,7	0,1	0,1	0,6	0,5	0,1	0,0	0,4	0,6	0,1	0,0	0,3	0,4	0,0	0,1	0,4
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0,1	2,6	0,0	1,1	14,6	0,1	1,7	26,0	286,1	0,1	0,3	178,0	462,7	2,0	2,1	254,3	286,8	3,8	0,3	237,3	499,9	2,4	0,0	59,6	98,4	0,0	0,6	764,8

Table C.10: Zentrales Zwischenlager (ZZL), Anzahl Personen Eigen- und Fremdpersonal (EP/FP).

Dosisbereich	16-18 Jahre		19-20 Jahre		21-30 Jahre		31-40 Jahre		41-50 Jahre		51-60 Jahre		> 60 Jahre		Total	
	M		F		M		F		M		F		M			Total
	EP	FP	EP	FP												
[mSv]																
> 0,0- 1,0																
> 1,0- 2,0																
> 2,0- 5,0																
> 5,0-10,0																
> 10,0-15,0																
Total Personen																
Mittel pro Person [mSv]																
Kollektivdosis [Pers.-mSv]																

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

Tabelle C.11: Kernkraftwerke und Zentrales Zwischenlager (ZZL), Anzahl Personen Eigen- und Fremdpersonal (EP/FP).

Dosisbereich	16-18 Jahre		19-20 Jahre		21-30 Jahre		31-40 Jahre		41-50 Jahre		51-60 Jahre		> 60 Jahre		Total											
	M		F		M		F		M		F		M			Total										
	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP												
[mSv]																										
> 0,0- 1,0	5	13	1	2	82	315	10	12	275	516	34	21	410	443	34	20	512	656	27	12	157	217	3	6	1567	2271
> 1,0- 2,0		1		1	3	31			22	46		1	26	46			52	71		1	9	21			113	223
> 2,0- 5,0			1		5	50			26	52			42	33	1		30	60			7	14			111	210
> 5,0-10,0						6			4	19			6	5			3	15			2				15	45
> 10,0-15,0										1							1									3
Total Personen	5	14	1	3	90	402	10	12	327	634	34	22	484	528	35	20	597	803	28	12	175	252	3	6	1806	2752
Mittel pro Person [mSv]	0,0	0,2	0,0	0,6	0,3	0,7	0,0	0,0	0,6	0,7	0,1	0,1	0,5	0,5	0,1	0,0	0,4	0,6	0,1	0,0	0,3	0,4	0,0	0,1	0,4	0,6
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0,1	2,6	0,0	1,7	26,0	287,8	0,1	0,3	180,3	463,5	2,0	2,1	262,5	285,9	3,8	0,3	244,8	499,0	2,4	0,0	60,2	99,4	0,0	0,6	783,4	1657,8

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

Tabelle C.12: KKW, PSI⁷ und ZZL.

Anlage	Dosisbereich [mSv]	Haut			Extremitäten*		
		Anzahl Personen			Anzahl Personen		
		Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total
KKB	0–25	434	533	967	8		8
KKG	0–25	40	54	94	6	10	16
	> 25–50					2	2
	> 50–75						
	> 75–100					3	3
	> 100–125					1	1
	> 125–150					1	1
KKL	0–25	493	1385	1878	5	8	13
KKM	0–25	91	123	214	4	8	12
ZZL	0–25	77	123	200			
PSI	0–25	269	91	360	33	5	38
Summe		1404	2309	3713	56	38	94

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

Triagemessungen des beruflich strahlenexponierten Personals

Tabelle C.13a: 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		PSI		ZZL		Summe Kernanlagen	
	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP
alle negativ	363	381	420	657	461	1225	275	578	125	10	75	116	1719	2967
mind. eine positiv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

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

Tabelle C.13b: Effektive Folgedosis E_{50} für das beruflich strahlenexponierte Personal aufgeschlüsselt nach Dosisbereich (Anzahl Personen beim Eigen- und Fremdpersonal) in Kernanlagen und Forschung (PSI, Gesamtpersonal).

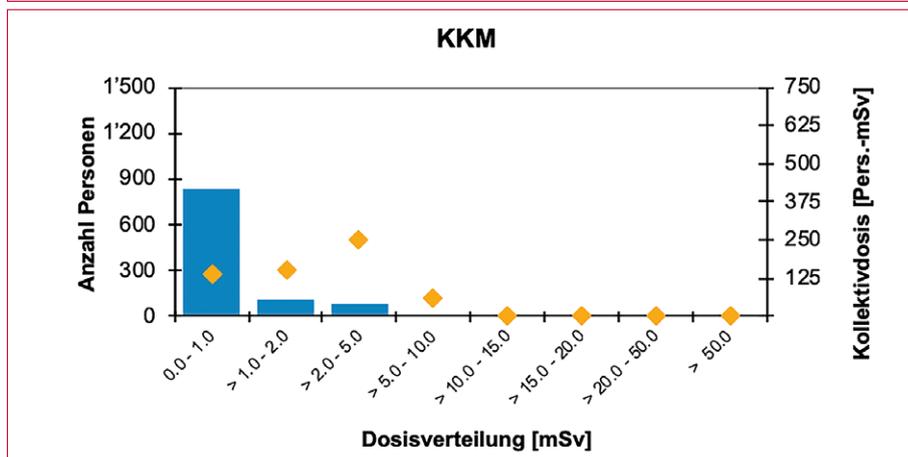
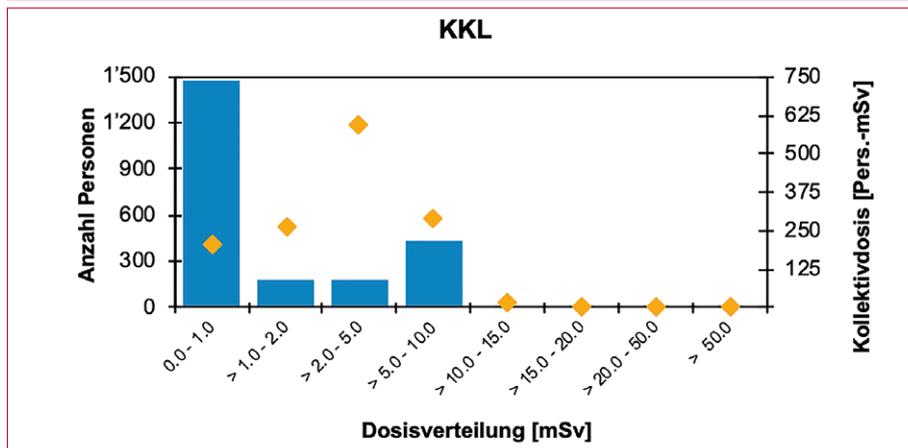
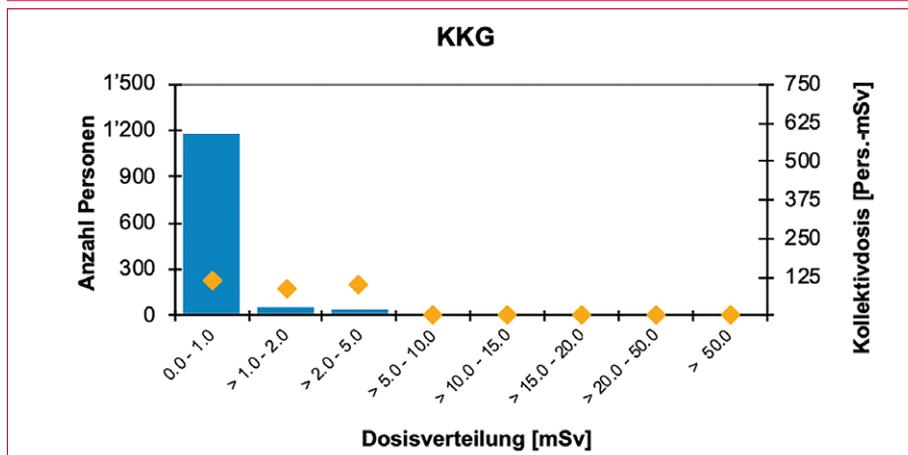
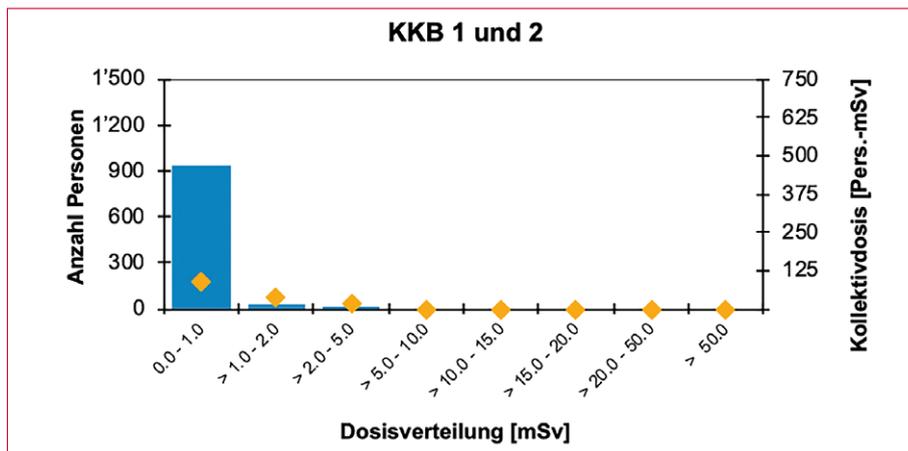
Folgedosis E_{50} Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2		KKG		KKL		KKM		PSI		ZZL		Summe Kernanlagen	
	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP	EP	FP
< = 1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Personen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

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

Es wurde 2018 in allen Kernanlagen keine Folgedosen E_{50} infolge Inkorporation registriert.

⁷ Aufsichtsbereich des BAG mit einbezogen

Kollektivdosen und Anzahl dosimetrierter Personen



Darstellung C.1: Anzahl Personen (Säulen) im Vergleich mit den Kollektivdosen (Rauten).

Messmethoden der Personendosimetriestellen im Aufsichtsbereich des ENSI

Tabelle C.14: 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	β,γ,x n	DIS PADC	967 100	β,γ,x	DIS	967	β,γ,x	TLD	8									
KKG	γ	DIS	1271	β,γ,x	DIS	1271	γ	TLD	23	γ	PSC	1077	γ	PSC	1077			
KKL	γ	DIS	1949	β,γ,x	DIS	1949	γ	DIS	13	γ	Nal	1798	γ	Nal	1798			
KKM	γ	TLD/ DIS	1033	β,γ,x	TLD/ DIS	1033	γ	TLD	12	γ	Nal	853	γ	Nal	853			
PSI	g, n	TLD/ DIS/ RPL	409	β,γ,x	TLD/ DIS/ RPL	409	γ	TLD	76	γ	Nal/ HPGe		γ	Nal				
ZZL ⁴	γ	TLD/ DIS	200	β,γ,x	TLD/ DIS	200	γ	TLD										

¹ r = Strahlungsart:

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 = Plastiksintillator

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 C.15: Kernkraftwerke: Relative Aufteilung der Kollektivdosen auf Betrieb und Revisionsstillstand von 2009 bis 2018 absolut und in Prozenten.

Jahr	KKB 1 und 2		KKG		KKL		KKM		Total	
	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand
2007	108 19%	457 81%	97 18%	452 82%	192 31%	420 69%	401 31%	900 69%	798 26%	2229 74%
2008	108 18%	501 82%	88 11%	686 89%	157 15%	924 85%	249 22%	881 78%	602 17%	2992 83%
2009	141 22%	489 78%	122 27%	326 73%	321 30%	745 70%	346 29%	862 71%	930 28%	2422 72%
2010	123 12%	885 88%	142 24%	453 76%	259 16%	1313 84%	370 33%	736 67%	894 21%	3387 79%
2011	75 13%	503 87%	86 17%	413 83%	471 44%	604 56%	289 27%	787 73%	921 29%	2306 71%
2012	82 10%	709 90%	67 14%	426 86%	212 10%	1914 90%	263 31%	596 69%	625 15%	3645 85%
2013	79 21%	305 79%	69 10%	602 90%	470 37%	797 63%	286 30%	672 70%	903 28%	2375 72%
2014	79 27%	212 73%	89 18%	393 82%	398 27%	1080 73%	284 36%	515 64%	849 28%	2200 72%
2015	51 4%	1176 96%	104 21%	389 79%	366 23%	1209 77%	296 33%	597 67%	817 20%	3371 80%
2016	63 12%	467 88%	89 20%	350 80%	310 25%	915 75%	264 40%	399 60%	727 25%	2131 75%
2017	56 15%	326 85%	79 28%	206 72%	257 12%	1871 88%	196 30%	465 70%	588 17%	2868 83%
2018	50 33%	100 67%	50 17%	250 83%	358 26%	1013 74%	211 35%	390 65%	669 28%	1752 72%

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

Tabelle C.16: Paul Scherrer Institut: Kollektivdosen des gesamten dosimetrierten Personals von 2009 bis 2018.

PSI-Gesamtpersonal			
Kalenderjahr	Anzahl Personen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person [mSv]
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
2018 ⁸	361	7,5	0,0

Tabelle C.17: Zentrales Zwischenlager Würenlingen: Kollektivdosen des dosimetrierten Personals von 2009 bis 2018.

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
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
2018	77	14,1	0,2	123	6,2	0,1	200	20,3	0,1

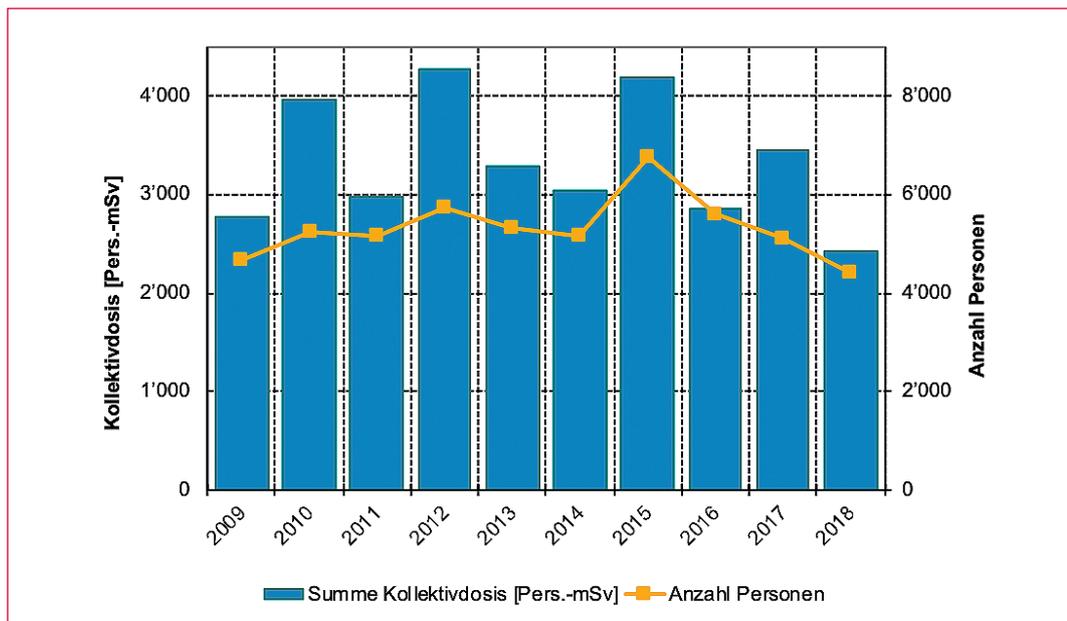
⁸ Seit 2018 wird nur das Personal aus dem Aufsichtsbereich des ENSI gezählt.

Jahreskollektivdosen in den Kernkraftwerken in der Schweiz

Tabelle C.18: Kernkraftwerke: Summe der Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen von 2009 bis 2018.

Jahr	Summe Kollektivdosis [Pers.-mSv]	Anzahl Personen
2009	2770	4680
2010	3966	5236
2011	2976	5150
2012	4267	5736
2013	3279	5305
2014	3050	5144
2015	4187	6749
2016	2857	5588
2017	3456	5108
2018	2421	4429

Die Anzahl Personen in dieser Tabelle entspricht der Summe der Meldungen der einzelnen Kraftwerke. Sie enthält demnach Mehrfachmeldungen der Personen, die in mehr als einer Anlage eingesetzt wurden. Weitere Informationen dazu sind im Kapitel 3.2 Personendosimetrie zu finden.



Darstellung C.2 / Darstellung A.10: Grafische Darstellung der Daten aus Tabelle A1.18.

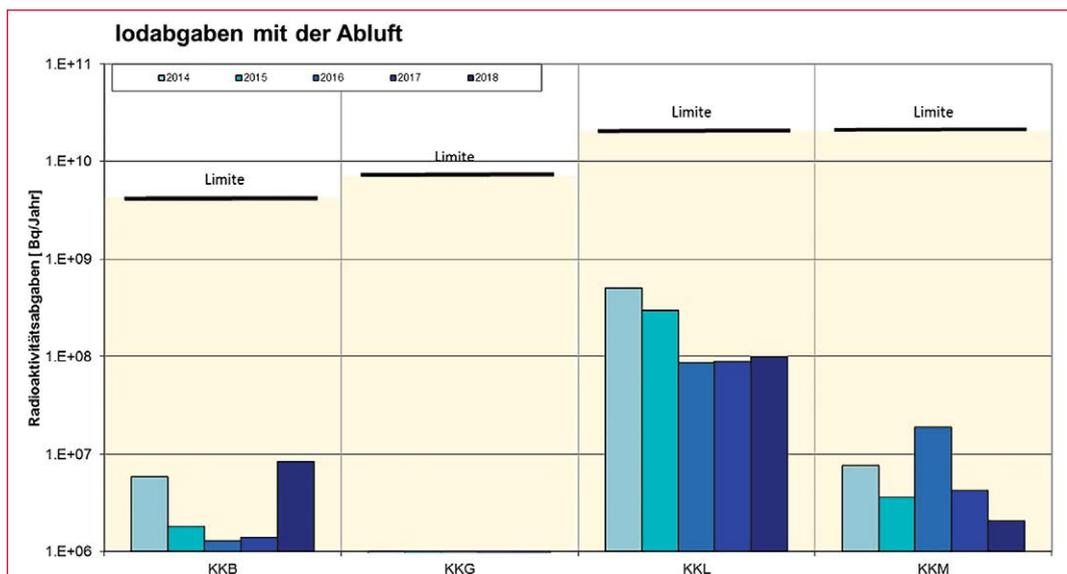
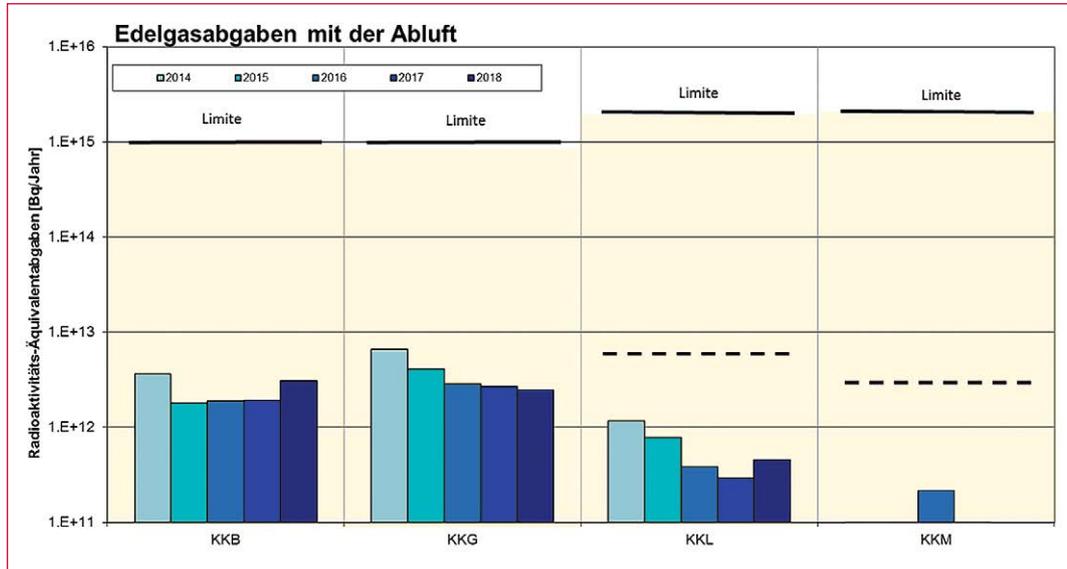
Vergleich von TLD- oder DIS-Daten mit EPD-Daten

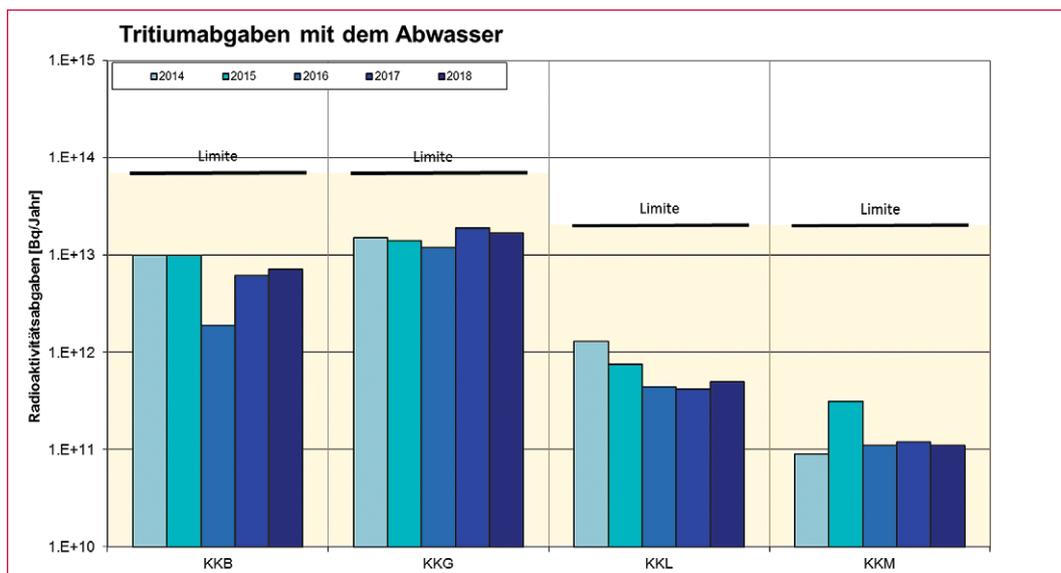
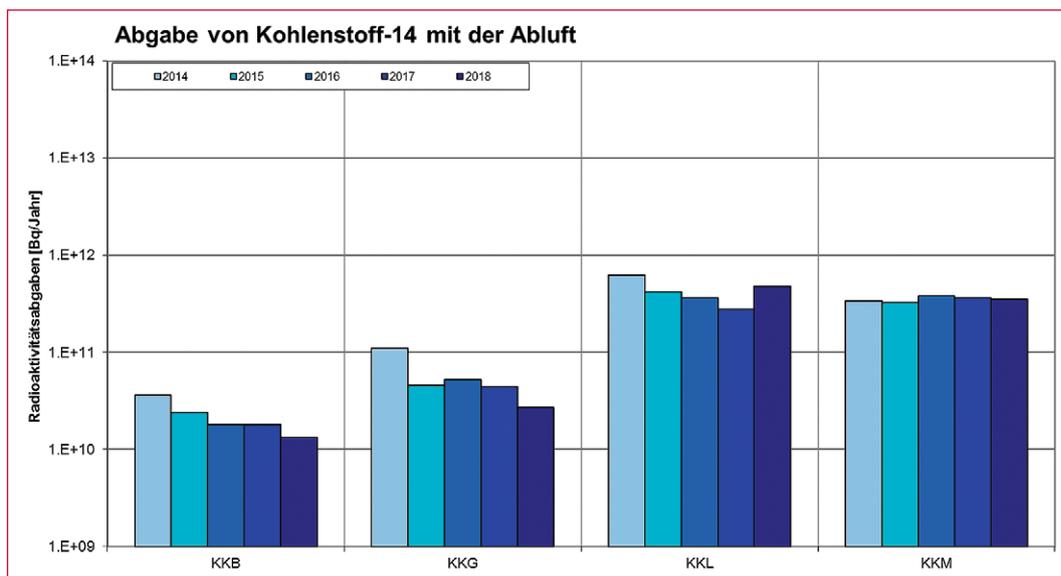
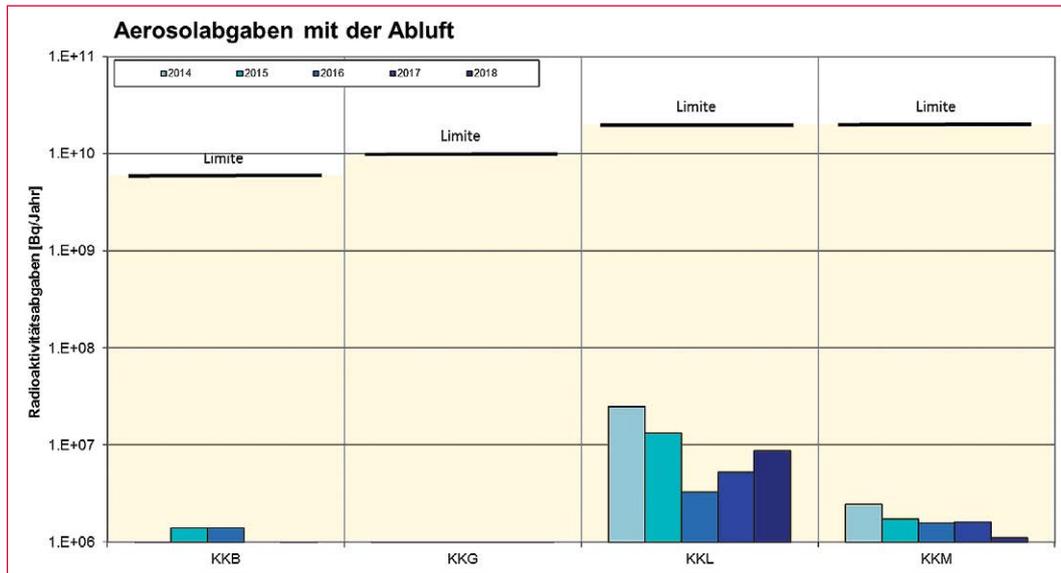
Die elektronischen Personendosimeter (EPD) liefern Messwerte, die von TLD- und DIS-Messwerten der behördlich anerkannten Personendosimetriestellen leicht abweichen können. Diese Abweichungen sind vom EPD-Typ sowie von den Eigenschaften des Strahlenfeldes abhängig. Ausserdem führt die Rundung bei den anerkannten Dosimetern im niedrigsten Dosisbereich zu geringeren Kollektivdosen gegenüber den mit EPD ermittelten, die grundsätzlich nicht gerundet werden.

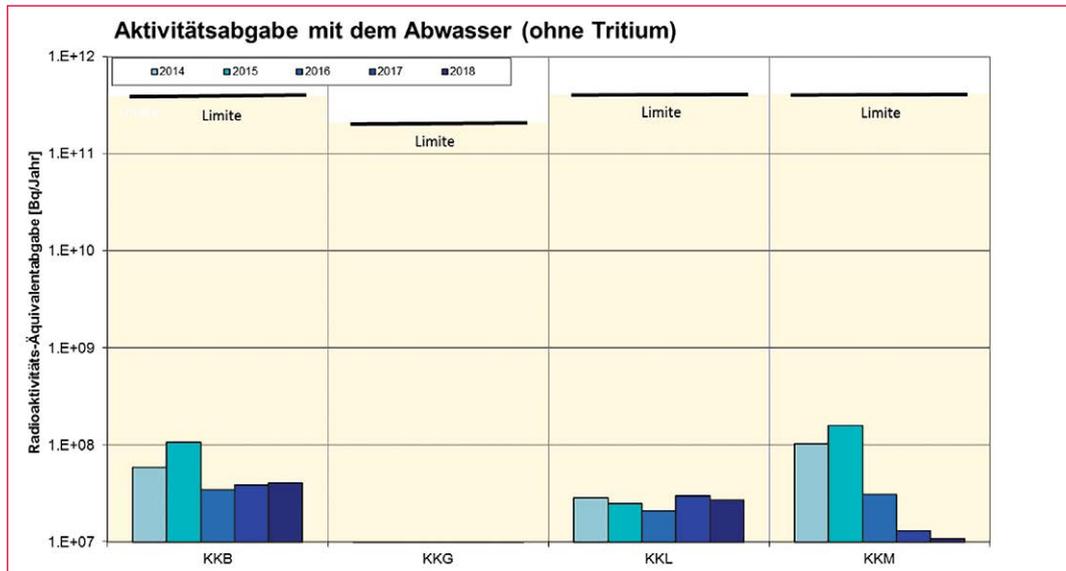
Tabelle C.19: Zusammenstellung der mit EPD und der mit Dosimetern der anerkannten Personendosimetriestellen ermittelten Kollektivdosen für das Kalenderjahr 2018.

Kernkraftwerk	TLD oder DIS [Pers.-mSv]		EPD [Pers.-mSv]		Verhältnis TLD/DIS/EPD	
KKB 1 und 2	EP	92	EP	102	EP	0,90
	FP	57	FP	59	FP	0,97
	Summe	150	Summe	161	EP und FP	0,93
KKG	EP	119	EP	137	EP	0,87
	FP	181	FP	201	FP	0,90
	Summe	300	Summe	337	EP und FP	0,89
KKL	EP	304	EP	313	EP	0,97
	FP	1067	FP	1027	FP	1,04
	Summe	1372	Summe	1339	EP und FP	1,02
KKM	EP	241	EP	310	EP	0,78
	FP	359	FP	418	FP	0,86
	Summe	600	Summe	728	EP und FP	0,82

Anhang 2: Emissionsdaten aus den Kernanlagen

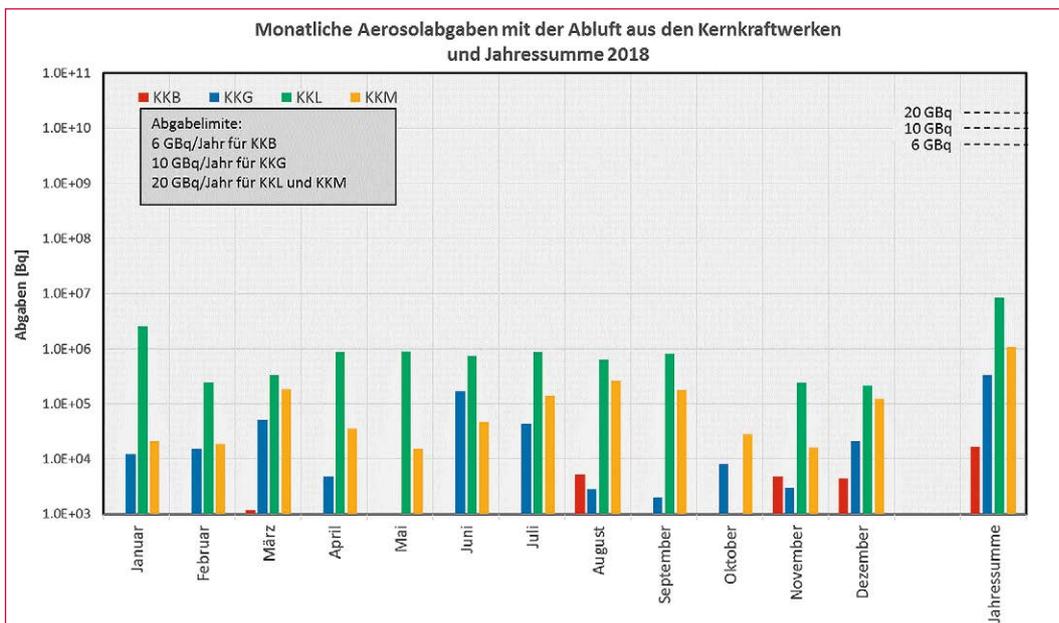
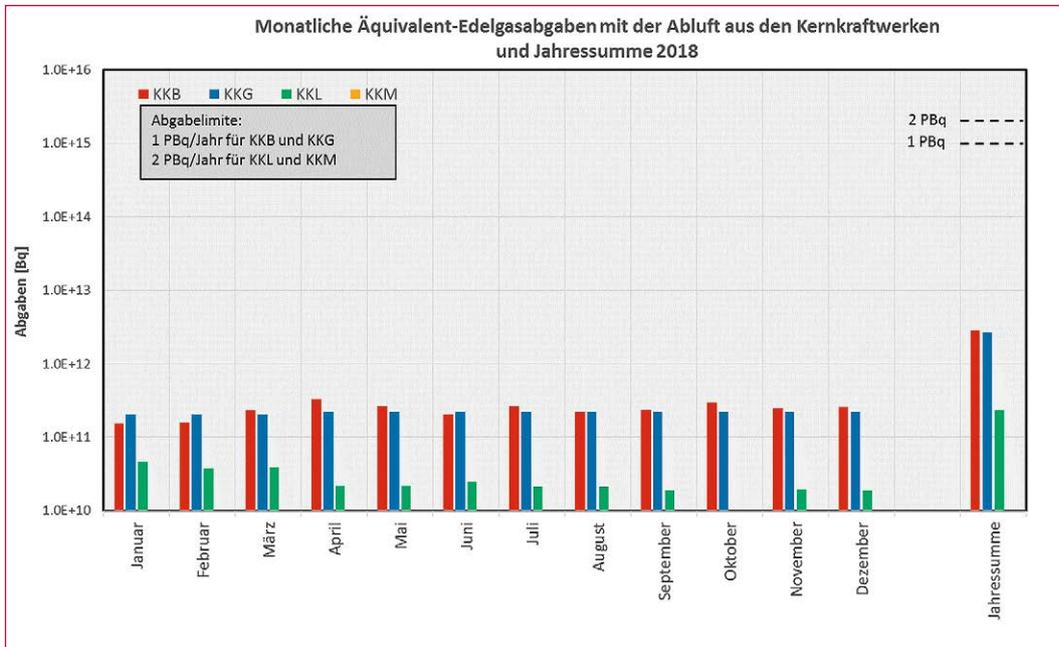
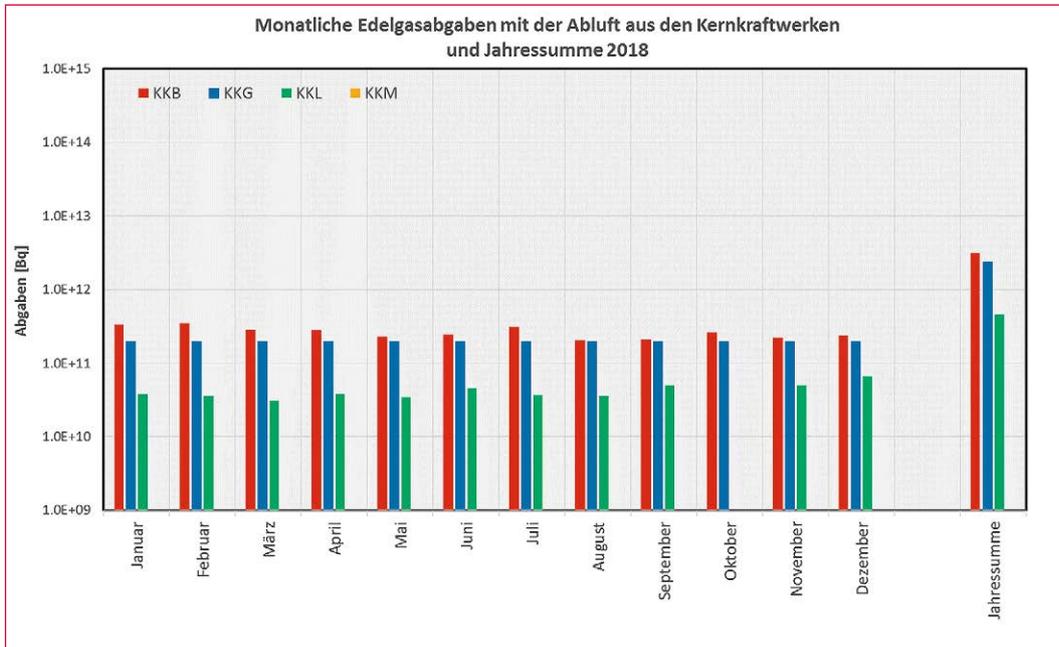


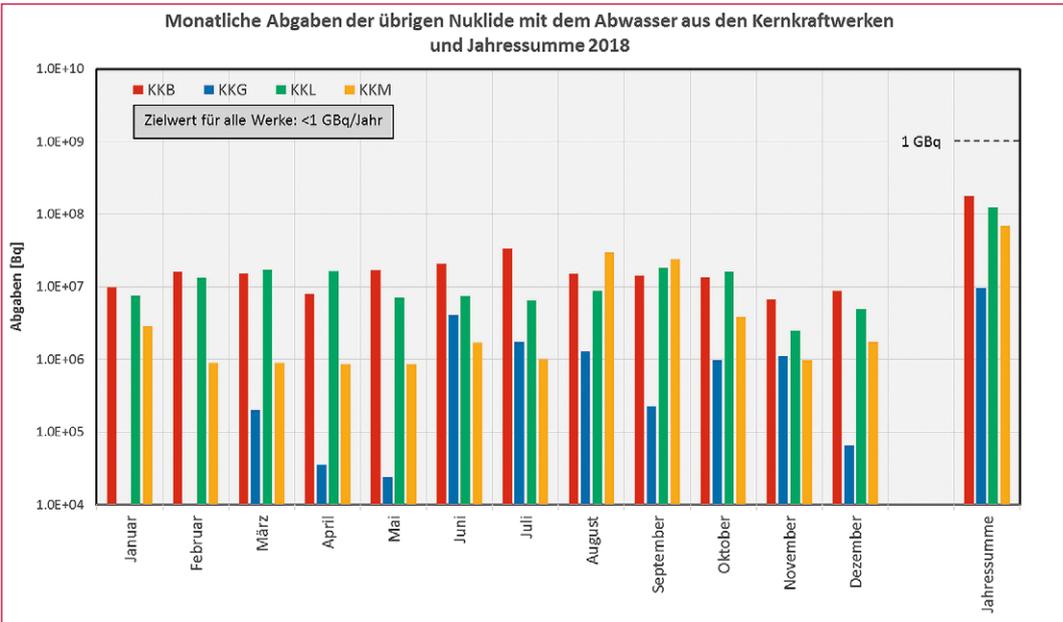
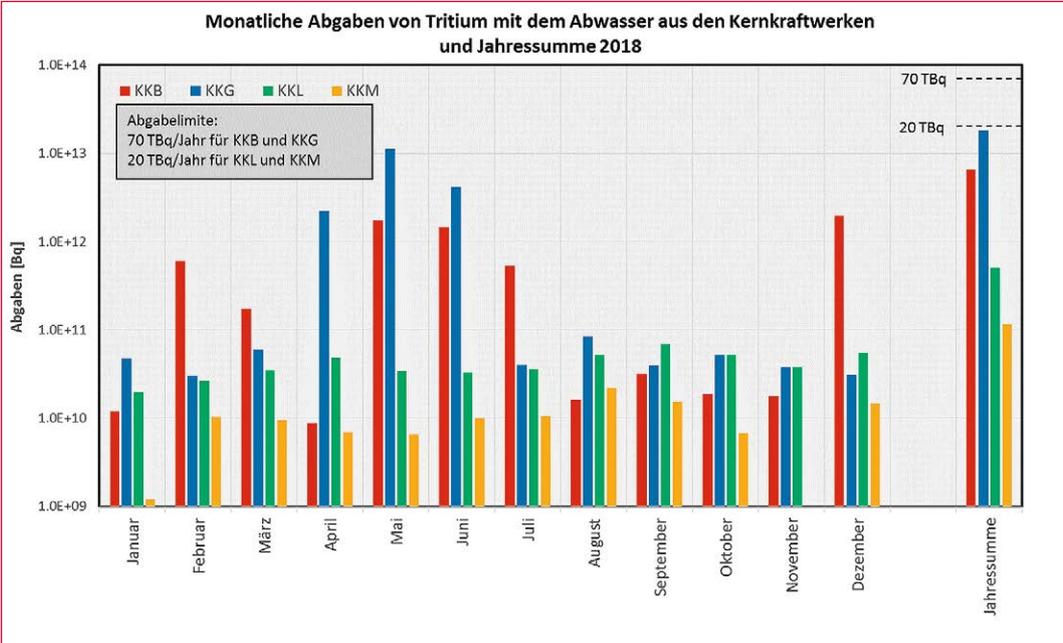
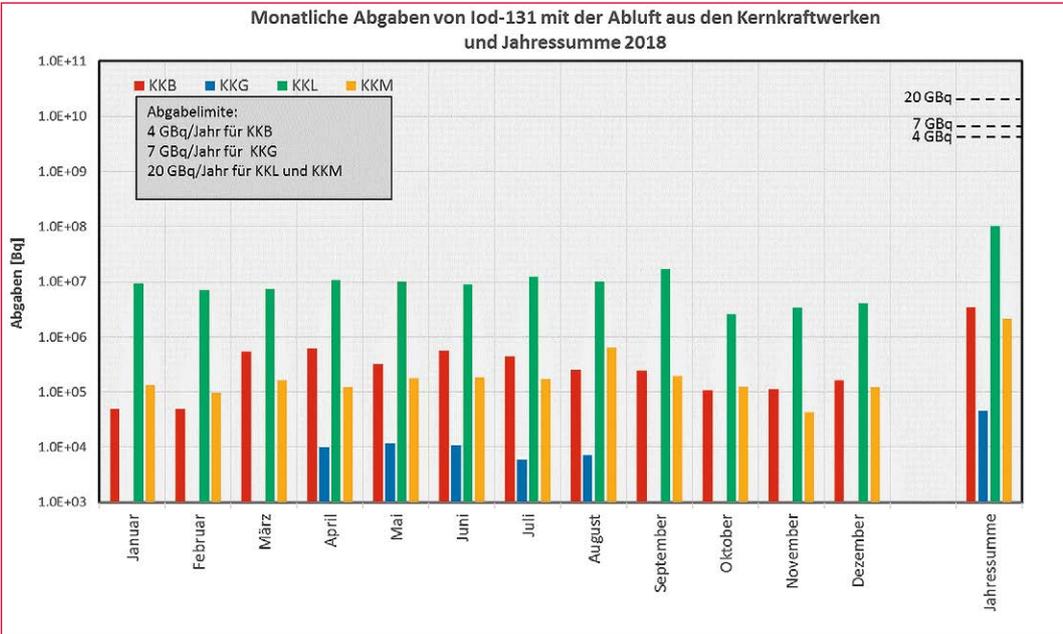


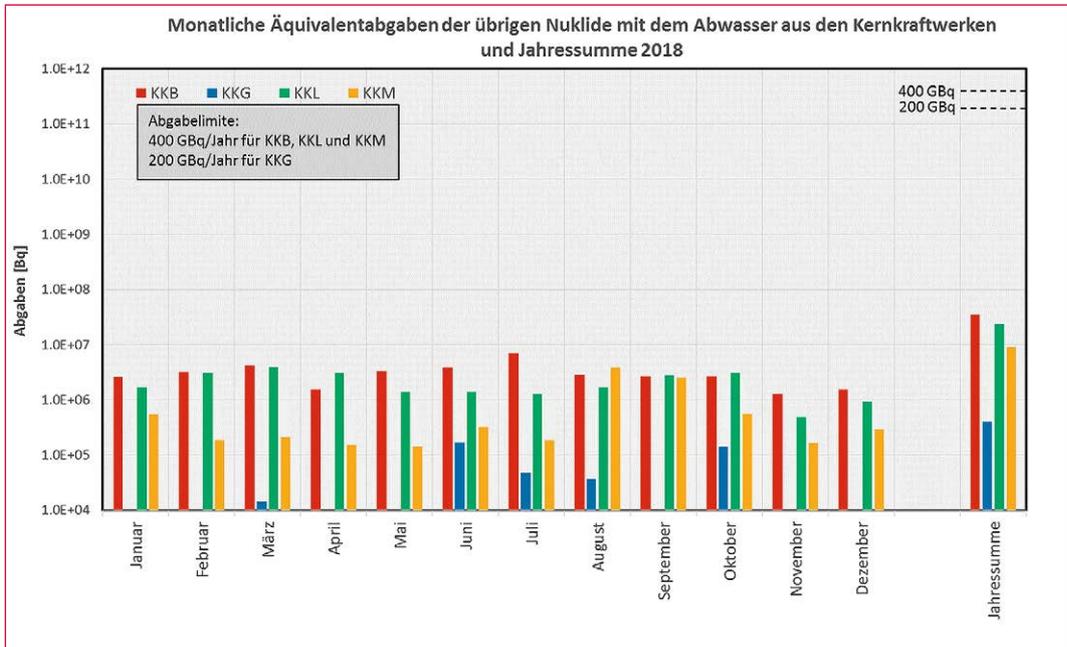


Darstellung D.1a: Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre und mit dem Abwasser in den letzten fünf Jahren (2014 bis 2018) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten.

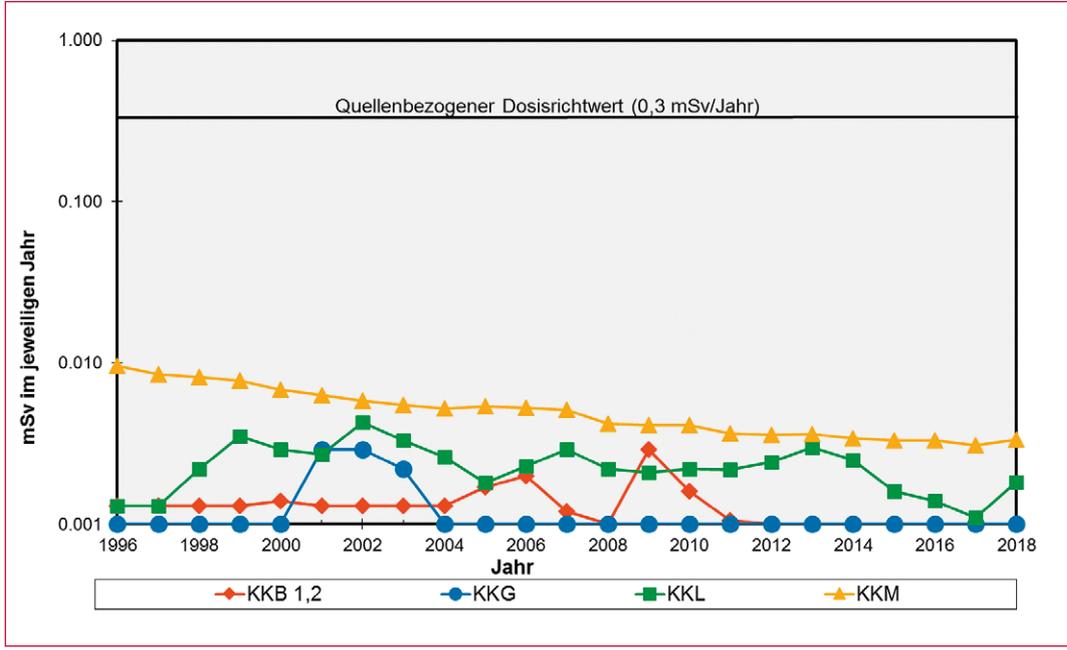
Angegeben ist für die jeweilige Nuklidgruppe und den Abgabepfad die Jahressumme der bei den einzelnen bilanzierenden Messungen durch die Kernkraftwerke ausgewiesenen Aktivitätsabgaben. Die Edelgasbilanzierung im KKB und im KKG basiert auf Beta-Totalmessungen. Für die Umrechnung in die für den Vergleich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







Darstellung D.1b: Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre und das Abwasser im Jahr 2018 aufgeschlüsselt nach einzelnen Monaten.



Darstellung D.2 / Darstellung B.1: 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 D.1 / Tabelle B.1: Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2018 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 3200 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,8·10 ⁸	-	4·10 ¹¹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	7,1·10 ¹²		7·10 ¹³	10 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	3,2·10 ¹²	3,1·10 ¹²	1·10 ¹⁵	0,3 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,6·10 ⁴	-	6·10 ⁹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	3,5·10 ⁶	-	4·10 ⁹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	1,3·10 ¹⁰		-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total					<0,001	<0,001	<0,001	
KKG	Abwasser 7509 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,2·10 ⁷	-	2·10 ¹¹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,7·10 ¹³		7·10 ¹³	25 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	<2,4·10 ¹²	<2,5·10 ¹²	1·10 ¹⁵	<0,3 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	3,3·10 ⁵	-	1·10 ¹⁰	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	4,7·10 ⁴	-	7·10 ⁹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	2,7·10 ¹⁰		-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total					<0,001	<0,001	<0,001	
KKL	Abwasser 13549 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,2·10 ⁸	-	4·10 ¹¹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	5,0·10 ¹¹		2·10 ¹³	3 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	4,6·10 ¹¹	-	2·10 ¹⁵	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	8,8·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	1,0·10 ⁸	1,1·10 ⁸	2·10 ¹⁰	0,6 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	4,8·10 ¹¹		-	-	0,0018	0,0024	0,0040
	Dosis total					0,0018	0,0024	0,0041	
KKM	Abwasser 2347 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	6,9·10 ⁷	-	4·10 ¹¹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,1·10 ¹¹		2·10 ¹³	0,6 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	-	-	2·10 ¹⁵	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,1·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0,1 %	0,0025	0,0024	0,0024
		Iod: ¹³¹ I	2,1·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,5·10 ¹¹	-	-	-	<0,001	0,0011	0,0019
	Dosis total					0,0034	0,0036	0,0043	
ZZL	Abwasser 340 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	3,3·10 ⁸	-	2·10 ¹¹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	2,6·10 ¹⁰	-	-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	β-/γ-Aerosole	2,7·10 ⁵	-	1·10 ⁹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		α-Aerosole	1,0·10 ⁴	-	3·10 ⁷	-	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	1,2·10 ⁸	-	1·10 ¹²	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total					<0,001	<0,001	<0,001	

Tabelle D.2 / Tabelle B.2: Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2018 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	2,0·10 ¹¹	-	-	-	-
β-/γ-Aerosole, ohne Iod	2,3·10 ⁷	-	-	-	5,8·10 ⁴
α-Aerosole	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	1,5·10 ⁶	-	-	-	-
Tritium als HTO	3,2·10 ¹⁰	-	-	3,0·10 ¹⁰	8,7·10 ⁹
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,3·10 ⁶	-	-	4,7·10 ⁷	7,1·10 ⁶
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:					
Erwachsene	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015
Kind 10 Jahre	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015
Kleinkinder	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert ⁴	<0,1 %	<0,1 %	<0,1 %	<0,1 %	<0,1 %

	PSI West			Gesamtanlage des PSI ^{1,2}		
	Zentrale Fortluft-anlagen	Injektor II	C-Labor	Abwasser 949 m ³	Abluft	Äquivalent-abgaben
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]						
Nuklidgemisch ohne Tritium				3,2·10 ⁸		8,4·10 ⁷
Tritium				8,4·10 ¹⁰		
Abgaben über die Abluft^{1,2} [Bq/a]						
Edelgase und andere Gase	1,8·10 ¹⁴	2,8·10 ¹⁰	-	-	1,8·10 ¹⁴	7,7·10 ¹⁴
β-/γ-Aerosole, ohne Iod	1,1·10 ¹⁰	5,1·10 ⁶	2,0·10 ⁴	-	1,1·10 ¹⁰	-
α-Aerosole	-	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	2,3·10 ⁷	-	-	-	8,5·10 ⁶	8,3·10 ⁶
Tritium als HTO	7,4·10 ¹¹	-	-	-	8,2·10 ¹¹	-
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	-	-	-	-	5,7·10 ⁷	-
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:						
Erwachsene	0,007	<0,00015	<0,00015	<0,00015	0,007	
Kind 10 Jahre	0,007	<0,00015	<0,00015	<0,00015	0,007	
Kleinkinder	0,007	<0,00015	<0,00015	<0,00015	0,007	
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert ⁴	4,7 %	<0,1 %	<0,1 %	<0,1 %	<5 %	

Tabelle D.3a: Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2018: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.

Nuklid β -/ γ -Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
³ H	7,1·10 ¹²	1,7·10 ¹³	5,0·10 ¹¹	1,1·10 ¹¹	8,4·10 ¹⁰	2,6·10 ¹⁰
⁷ Be					2,8·10 ⁷	
²² Na					2,0·10 ⁶	5,7·10 ⁶
²⁴ Na	4,8·10 ⁵					
⁴⁴ Ti					1,8·10 ⁴	
⁴⁶ Sc					1,0·10 ⁵	
⁵¹ Cr	3,1·10 ⁵			6,3·10 ⁶	3,3·10 ⁵	2,0·10 ⁵
⁵⁴ Mn	1,1·10 ⁶		8,4·10 ⁶	1,4·10 ⁷	2,6·10 ⁶	1,0·10 ⁶
⁵⁶ Co					8,6·10 ⁴	
⁵⁷ Co					7,3·10 ⁵	
⁵⁸ Co	3,0·10 ⁶	9,3·10 ⁴		4,7·10 ⁶	3,9·10 ⁵	2,1·10 ⁴
⁶⁰ Co	5,4·10 ⁷	8,3·10 ⁵	1,1·10 ⁸	4,1·10 ⁷	1,1·10 ⁶	1,7·10 ⁷
⁶⁵ Zn	2,3·10 ⁵			1,8·10 ⁶	4,9·10 ⁶	
⁶⁷ Ga					6,9·10 ⁴	
^{69m} Zn		4,0·10 ⁴				
⁷⁵ Se					8,1·10 ⁴	
⁸³ Rb					1,2·10 ⁴	
⁸⁵ Sr					1,2·10 ⁴	
⁸⁸ Y					4,6·10 ⁴	
⁸⁹ Sr	1,6·10 ⁵			4,5·10 ³		
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	1,3·10 ⁶			2,5·10 ⁴	1,2·10 ⁷	1,2·10 ⁵
⁹⁵ Nb		9,1·10 ⁴				
^{99m} Tc	2,2·10 ⁴	1,1·10 ⁶				
^{110m} Ag	2,7·10 ⁶				2,4·10 ⁴	
¹¹¹ In					8,3·10 ⁴	
¹²² Sb	1,2·10 ⁵					
¹²⁴ Sb	1,1·10 ⁷	2,4·10 ⁵		1,5·10 ⁵	3,1·10 ⁵	8,4·10 ⁵
¹²⁵ Sb	1,8·10 ⁷					2,8·10 ⁷
^{123m} Te	1,0·10 ⁶	6,8·10 ⁶				
¹³² Te	1,6·10 ⁴	5,3·10 ⁵				
¹³¹ I	2,0·10 ⁶					
¹³² I		2,3·10 ⁶				
¹³³ I	2,4·10 ⁵					
¹³³ Ba					1,9·10 ⁴	
¹³⁴ Cs	1,2·10 ⁶				3,3·10 ⁶	5,1·10 ⁶
¹³⁷ Cs	8,1·10 ⁷		2,4·10 ⁶	1,1·10 ⁶	2,3·10 ⁸	2,8·10 ⁸
¹⁶⁰ Tb					3,3·10 ⁴	
¹⁶¹ Tb					3,6·10 ⁶	
¹⁶⁹ Yb					6,6·10 ⁴	
¹⁷² Lu					3,8·10 ⁵	
¹⁷³ Lu					1,8·10 ⁵	
¹⁷⁷ Lu					3,2·10 ⁷	
¹⁸⁵ Os					8,9·10 ⁴	
¹⁹⁵ Au					7,0·10 ⁵	
²⁰⁷ Pb					5,6·10 ⁴	
α -Strahler	*	<7,0·10 ⁴	2,0·10 ⁵	2,1·10 ⁴		*
^{234/238} U					3,6·10 ⁴	
^{239/240} Pu	4,6·10 ³				2,2·10 ⁴	
²³⁸ Pu/ ²⁴¹ Am	2,8·10 ⁴				2,2·10 ⁴	1,5·10 ³
²³⁹ Np						
²⁴² Cm	5,7·10 ³					
^{243/244} Cm	6,3·10 ⁴					

* Angabe umfasst für das KKB und ZZL das 4. Quartal 2017 bis und mit dem 3. Quartal 2018.

Table D.3b: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Edelgase und Iod 2018: 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	5,7·10 ¹¹	5,7·10 ¹¹	4,2·10 ¹¹	2,7·10 ¹⁰	8,2·10 ¹¹	1,3·10 ¹⁰
¹⁴ C (CO ₂)	1,3·10 ¹⁰	2,7·10 ¹⁰	4,8·10 ¹¹	3,5·10 ¹¹	5,7·10 ⁷	1,2·10 ⁸
¹¹ C					2,8·10 ¹³	
¹³ N					2,9·10 ¹³	
¹⁵ O					1,2·10 ¹⁴	
¹⁸ F					9,2·10 ¹¹	
²⁴ Ne					1,6·10 ¹²	
⁴¹ Ar					4,1·10 ¹²	
⁸⁵ Kr			5,6·10 ¹⁰		2,0·10 ¹¹	
^{85m} Kr	1,1·10 ¹¹					
⁸⁸ Kr	1,9·10 ¹¹					
¹³³ Xe	1,6·10 ¹²		6,2·10 ¹⁰			
¹³⁵ Xe	1,3·10 ¹²		1,3·10 ¹¹			
^{135m} Xe			2,1·10 ¹¹			
EG-Aequiv.						
EG: β-total		<2,4·10 ¹²				
Andere						
Iod						
¹²³ I					1,6·10 ⁷	
¹²⁵ I					8,4·10 ⁶	
¹³¹ I	3,5·10 ⁶	4,7·10 ⁴	1,1·10 ⁸	2,1·10 ⁶		
¹³³ I	2,4·10 ⁷					

Tabelle D.3c: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Aerosole 2018: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.

Nuklid β/γ -Aerosole	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
³⁸ S					4,3·10 ⁸	
³⁹ Cl					9,7·10 ⁹	
⁵¹ Cr						
⁵⁴ Mn		5,8·10 ³		1,6·10 ⁵		
⁵⁷ Co		3,6·10 ³				
⁵⁸ Co				1,3·10 ⁵		
⁶⁰ Co	1,2·10 ³		2,2·10 ⁵	7,2·10 ⁵	6,8·10 ⁵	2,7·10 ³
⁶⁵ Zn				2,2·10 ⁴		
⁷⁷ Br					2,1·10 ⁵	
^{80m} Br					1,8·10 ⁹	
⁸² Br					3,5·10 ⁸	
⁸⁹ Sr			3,9·10 ⁵			
⁹⁰ Sr						
⁹⁵ Nb				3,9·10 ³		
^{99m} Tc					2,3·10 ⁷	
¹⁰³ Ru		8,6·10 ³				
^{110m} Ag		1,3·10 ⁵				
^{123m} Te		9,1·10 ⁴				
¹²⁵ Sb						
¹³¹ I (Aerosol)		4,3·10 ³	7,0·10 ⁶			
¹³⁴ Cs						
¹³⁶ Cs						
¹³⁷ Cs	1,5·10 ⁴			3,1·10 ⁴		3,2·10 ³
¹⁴⁰ Ba			5,5·10 ⁵			
¹⁴⁰ La			6,4·10 ⁵			
¹⁴¹ Ce		1,4·10 ⁴				
¹⁴⁴ Ce		7,7·10 ⁴				
¹⁸¹ Re					3,9·10 ⁷	
¹⁸² Re					1,1·10 ⁸	
^{182m} Re					2,5·10 ⁶	
¹⁸³ Re					5,6·10 ⁶	
¹⁸² Os					1,3·10 ⁸	
¹⁸³ Os					1,3·10 ⁸	
^{183m} Os					2,1·10 ⁸	
¹⁸⁵ Os					1,0·10 ⁷	
¹⁸⁵ W					2,9·10 ⁸	
¹⁹² Au					7,5·10 ⁸	
¹⁹³ Au					6,5·10 ⁷	
¹⁹⁴ Au					2,2·10 ⁵	
¹⁹² Hg					4,3·10 ⁸	
^{193m} Hg					1,4·10 ⁸	
¹⁹⁴ Hg					2,2·10 ⁵	
¹⁹⁵ Hg					5,1·10 ⁸	
^{195m} Hg					5,5·10 ⁷	
^{197m} Hg					6,9·10 ⁷	
²⁰³ Hg					4,5·10 ⁶	
Nicht spezifizierte						7,4·10 ⁴
α -Aerosole	4,6·10 ³	4,6·10 ⁴		2,2·10 ⁴		3,3·10 ³

Fussnoten zu den Tabellen D.1 bis D.3

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

Abwasser: Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-Immissionsgrenzwert für Gewässer ($IG_{Gw,ref}$ -Wert) von 10 Bq/l angegeben. Die Berechnung der IG_{Gw} -Werte für die einzelnen Nuklide ist dem Anhang 7 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. 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-Immissionsgrenzwert für die Luft ($IG_{Lf,ref}$ -Wert) von $2 \cdot 10^3$ Bq/m³ angegeben. Die Berechnung der IG_{Lf} -Werte für die Edelgasnuklide ist dem Anhang 7 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. 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- $IG_{Lf,ref}$ -Wert von $2 \cdot 10^3$ 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 acht 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 D.2 deutlich erkennbar. Der leichte Anstieg in 2018 ist auf die Einführung neuer Dosisfaktoren für die externe Bodenstrahlung zurückzuführen. Der Dosisbeitrag der Aerosole, welche im Berichtsjahr abgegeben

wurden, ist demgegenüber vernachlässigbar und liegt in der Grössenordnung der anderen schweizerischen Kernkraftwerke.

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

Beim PSI, bei dem andere Iod-Isotope nachgewiesen werden, ist die Abgabe für die einzelnen Abgabestellen und die Gesamtanlage als Summe der Aktivität der gemessenen Iod-Nuklide angegeben. Für die Gesamtanlage wird zudem auch ein ¹³¹Iod-Äquivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben, wobei sich der Gewichtungsfaktor aus dem Verhältnis des Ingestionsdosisfaktors des jeweiligen Nuklides zum Ingestionsdosisfaktor von ¹³¹I ergibt. Die Ingestionsdosisfaktoren sind der StSV entnommen.

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

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

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

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-10657
ISSN 1661-2914

© ENSI, Mai 2019

ENSI-AN-10657
ISSN 1661-2914

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