



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 2019

Strahlenschutzbericht 2019

Rapport sur la radioprotection 2019

Rapporto di radioprotezione 2019

Radiological Protection report 2019

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4
Préface	6
Prefazione	8
Foreword	10
Nuklearunfälle	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)	29
2 Weitere Kernanlagen	33
2.1 Paul Scherrer Institut (PSI)	33
2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)	34
2.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)	35
2.4 Universität Basel	35
3 Dosimetrie	37
3.1 Einleitung	37
3.2 Personendosimetrie	37
3.3 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen	38
3.4 Entwicklung der Exposition	40

B:	Umweltradioaktivität bei Kernanlagen, Überwachung	43
4	Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen	45
4.1	Emissionen aus den Kernanlagen	45
4.2	Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen	47
4.3	In-situ-gammaspektrometrische Messungen in der Umgebung der Kernkraftwerke	47
4.4	Immissionsmessungen im Wasserpfad	48
4.5	Messung von Spezialnukliden in Böden in der Umgebung des KKM	48
5	Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)	53
5.1	Übersicht	53
5.2	Systeminstandhaltung und -ergänzung	53
5.3	Systemverfügbarkeit und Störungen	55
5.4	Qualitätssicherung	55
5.5	Messergebnisse	56
6	Atmosphärische Ausbreitung	59
6.1	Modellberechnungen im Ereignisfall	59
6.2	Atmosphärisches Ausbreitungs- und Dosisberechnungsmodell JRODOS	59
6.3	Produkte für die Notfallschutzpartner	61
6.4	Digitalisierung der Arbeitsweise in der Notfallorganisation	61
7	Aeroradiometrische Messungen	65
7.1	Einleitung	65
7.2	Messungen und Messresultate 2019	66
7.3	Literatur	68
Anhang 1:	Personendosimetriedaten	69
Anhang 2:	Emissionsdaten aus den Kernanlagen	72

Vorwort

Im vorliegenden Strahlenschutzbericht 2019 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 2019 wurden in den Kernanlagen von insgesamt 5093 dosimetrierten Personen 2392 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 (zum Beispiel zerstörungsfreie Prüfungen) entspricht.

Die Individualdosen der im Aufsichtsbereich des ENSI beschäftigten Personen sind 2019 mit einem Maximalwert von 8,8 mSv und einem Mittelwert von 0,5 mSv deutlich unter dem Dosisgrenzwert von 20 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen geblieben.

Bezüglich des Themas Personalbestand im Strahlenschutz während der Revisionsarbeiten wurden 2019 Inspektionen und Fachgespräche geführt. Die Aufmerksamkeit des ENSI bleibt in dieser Sache hoch, da weiterhin grundsätzlich, aufgrund der verstärkten Rückbautätigkeit von Kernkraftwerken in Deutschland, eine angespannte Marktlage bei der Akquise von qualifiziertem Fremdpersonal im Strahlenschutz herrscht.

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 2019 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% 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: Mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung 2018; Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität in der Schweiz, Ergebnisse 2018, Bundesamt für Gesundheit 2019, Seiten 41 und 42.

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.

Die Vorbereitungsarbeiten für die Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg wurden seitens ENSI im Bereich Strahlenschutz begleitet und in verschiedenen Freigaben beurteilt. Schwerpunktthemen waren das übergeordnete Strahlenschutzreglement, verschiedene Einrichtungen für die Demontage- und Rückbautätigkeiten sowie die Prozesse und Messinstrumente zur fachkundigen Befreiung von Materialien und Räumen.

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

2019 bekannt gewordene Vorkommnis von fin-
gierten Funktionsprüfungsprotokollen im Kern-
kraftwerk Leibstadt führte zu einer Serie von Mass-
nahmen zur Verbesserung der Prozesse und
Sicherheitskultur des Kernkraftwerks. Aus mess-
technischer Sicht zeigten die Nachprüfungen der
Messbeständigkeit der betroffenen Messgeräte
keine Unterschreitungen der Sollwertebereiche:
die Messgeräte haben während der entsprechen-
den Periode konform gemessen bzw. waren ein-
satzbereit. Die Sicherheit des Personals und der
Bevölkerung sowie der Umwelt war somit stets
gewährleistet. Als Folge dieses Vorkommnisses in-
tensivierte das ENSI im Berichtsjahr seine Inspek-
tionstätigkeit in der betroffenen Kernanlage. Die
Ergebnisse dieser intensivierten Aufsicht sind im
Aufsichtsbericht 2019 des ENSI dargestellt.

Das vom ENSI betriebene Messnetz zur automati-
schen Dosisleistungsüberwachung in der Umge-
bung der Kernkraftwerke (MADUK) misst ganzjäh-
rig 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 ab-
rufbar. Für die Behörden und gegenüber der Öff-
entlichkeit dient dieses Messnetz der Beweissiche-
rung. Im Berichtsjahr wurden keine erhöhten
Ortsdosisleistungswerte, die auf Abgaben der
Kernkraftwerke zurückzuführen wären, festge-
stellt. Einzelne lokal erhöhte Messwerte sind auf
Schwankungen der natürlichen (Untergrund-)
Strahlung, zum Beispiel nach Regenfällen,
zurückzuführen.

Im Berichtsjahr wurden alle Grenzwerte der Strah-
lenschutzverordnung eingehalten. Es gab in den
Kernanlagen keine Vorkommnisse, die zu einer un-
zulässigen 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 konse-
quent angewendet wird.

MADUK-Messwerte:

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

Monatliche radioaktive Abgaben der schweizeri-
schen Kernkraftwerke:

[https://www.ensi.ch/de/dokumente/document-
category/monatlich-bilanzierte-abgaben/](https://www.ensi.ch/de/dokumente/document-category/monatlich-bilanzierte-abgaben/)

Neben der Aufsicht über den Normalbetrieb der
Kernanlagen beurteilt das ENSI, ob eine ausrei-

chende Vorsorge gegen Störfälle und Unfälle bei
Kernanlagen getroffen worden ist. Im Ereignisfall
bei einer Kernanlage ist das ENSI ein Partner im
Verbund Notfallschutz Schweiz und betreibt dazu
eine Notfallorganisation.

Seit Anfang 2016 wird zur Modellierung der at-
mosphärischen Ausbreitung und zur Dosisbe-
rechnung im Ereignisfall das Programm JRODOS
(Java-based Realtime Online DecisiOn Support
system) eingesetzt. JRODOS erlaubt die direkte
Verwendung von 3D-Wettervorhersagedaten aus
dem Modell COSMO-1 von der MeteoSchweiz mit
einer Maschenweite von einem Kilometer. Um der
kleinräumigen Landschaftsstruktur der Schweiz
und des süddeutschen Raumes gerecht zu wer-
den, verwendet JRODOS das feinst aufgelöste
Höhenmodell (DHM25) des Bundesamtes für Lan-
destopografie swisstopo. Damit stehen dem ENSI
jederzeit einsetzbare, wertvolle und genaue Ins-
trumente 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 im Berichtsjahr anlässlich von Notfallübun-
gen vom ENSI inspiziert. Optimierungsmöglichkei-
ten wurden vereinzelt festgestellt und die betrof-
fenen Betreiber wurden in Folge dessen angehalten,
Verbesserungsmassnahmen umzusetzen.

Das ENSI nahm an der Sicherheitsverbandsübung
(SVU) 2019 des Bundes als auch an der in dieser
eingebetteten Gesamtnotfallübung (GNU) STYLOS
im Kernkraftwerk Beznau teil. Die Ziele für die ei-
gene ENSI-Notfallorganisation wurden von exter-
nen Beobachtern als erreicht beurteilt. Die als Ver-
besserungspotential identifizierten Punkte fürs
ENSI sowie für die anderen Notfallpartner flossen
in die Übungsberichte für eine geeignete Umset-
zung ein.

Ferner hat das ENSI 2019 die grossen Nuklearun-
fälle von Leistungsreaktoren mit speziellem Blick
auf den Notfallschutz Revue passieren lassen. Da-
bei konnten wertvolle Erkenntnisse gewonnen und
für die nationale sowie internationale Zusamen-
arbeit angewendet werden. Unter anderem auf-
grund der Erkenntnisse aus Fukushima erachtet es
das ENSI als zwingend, dass künftig bei einem Nu-
klearunfall der Nutzen einer Evakuierung sorgfältig
gegen die Folgerisiken in einem integralen Ansatz
abgewogen wird.

Préface

Dans le présent rapport sur la radioprotection 2019, 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 installations 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 leur exploitation grâce aux importants efforts déployés par les exploitants, mais aussi par les autorités. En 2019, sur les 5093 personnes ayant été mesurées au total dans les installations nucléaires, 2392 Pers.-mSv ont été accumulés. Les doses collectives ont atteint une valeur basse, correspondant à l'état radiologique des installations, ainsi qu'à l'étendue nécessaire des travaux réalisés dans les zones contrôlées (par exemple des essais non destructifs). Avec une valeur maximale de 8,8 mSv et une valeur moyenne de 0,5 mSv, les doses individuelles des personnes travaillant en 2019 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 ionisant dans un cadre professionnel.

Concernant la thématique des effectifs en personnel de radioprotection lors des travaux de révision, des inspections et des discussions techniques ont été menées en 2019. L'IFSN reste très attentive à cette question, car la situation du marché pour l'acquisition de personnel externe qualifié en radioprotection reste tendue en raison de l'augmentation des activités de démantèlement des centrales nucléaires en Allemagne.

Les rejets de substances radioactives depuis les installations 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 également en 2019 les limites de rejets fixées par les autorités, en partie avec des marges importantes.

Sur la base de calculs très conservateurs, l'IFSN confirme que les émissions des installations nucléaires suisses ont conduit dans le voisinage immédiat à une dose inférieure à 0,005 mSv par année. La comparaison avec la dose moyenne an-

nuelle de rayonnement de 5,8 mSv de la population en Suisse (voir tableau ci-joint) montre que la part venant des installations nucléaires atteint le domaine de maximum 0,1%.

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

Tableau: Exposition moyenne de la population au rayonnement ionisant en 2018; radioprotection et surveillance de la radioactivité en Suisse, résultats 2018, Office fédéral de la santé publique 2019, pages 41 et 42.

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 installations 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.

L'IFSN a suivi les travaux préparatoires de désaffectation de la centrale nucléaire de Mühleberg dans le domaine de la radioprotection et les a évalués dans le cadre de différents permis d'exécution. Les principaux sujets abordés ont été le règlement de radioprotection principal, diverses installations pour l'activité de démontage et de démantèlement, ainsi que les processus et les instruments de mesure pour la libération autorisée des matériaux et des locaux.

L'IFSN s'assure au moyen d'inspections et de mesures comparatives, 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 centre de tests accrédité selon ISO 17025. L'évènement des protocoles d'inspection falsifiés à la centrale nucléaire de Leibstadt, dévoilé en janvier 2019, a conduit à une série de mesures visant à améliorer les processus et

la culture de sécurité de la centrale nucléaire. D'un point de vue des techniques de mesure, la vérification ultérieure de la stabilité de mesure des instruments de mesure concernés n'a pas montré de dépassement des intervalles de valeurs cibles: les instruments de mesure ont mesuré de façon juste pendant la période correspondante ou se trouvaient en état de fonctionner. La sécurité du personnel et de la population, ainsi que de l'environnement, était ainsi toujours garantie. Suite à cet événement, l'IFSN a intensifié ses activités d'inspection au cours de l'année sous revue dans l'installation nucléaire concernée. Les résultats de cette surveillance intensifiée sont présentés dans le rapport de surveillance 2019 de l'IFSN.

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 toutes les 10 minutes, par heure et journalières peuvent être consultées sur le site Internet de l'IFSN en temps réel. Pour les autorités et vis-à-vis de l'opinion publique, ce réseau de mesure fait office d'instrument de preuve. 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 sous-sol), par exemple après des averses. Durant l'année sous revue, toutes les valeurs limites de l'ordonnance sur la radioprotection ont été respectées. Les installations nucléaires suisses n'ont connu aucun événement ayant conduit à une exposition interdite au rayonnement pour le personnel ou la population. L'IFSN conclut que les installations 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-mensuels-comptabilises/>

Outre de la surveillance du fonctionnement normal des installations nucléaires, l'IFSN évalue si des précautions suffisantes ont été prises contre les défauts

et les accidents dans les installations nucléaires. En cas d'évènement dans une installation nucléaire, l'IFSN est partenaire du Réseau national de sécurité et gère à cet effet une organisation d'urgence.

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 d'utiliser directement les données 3D de prévisions météorologiques provenant du modèle COSMO-1 de MétéoSuisse avec un maillage de 1 km. Pour tenir compte de la petite structure paysagère 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. Ainsi, l'IFSN a à disposition des instruments utilisables, valables et précis pour l'évaluation actuelle (diagnostic) et la prévision de la situation radiologique, ainsi que pour la formulation de recommandations permettant d'ordonner des mesures de protection pour la population. Ces instruments sont régulièrement testés lors d'exercices. La préparation des exploitants des installations nucléaires aux situations d'urgence 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 tenus de mettre en œuvre des mesures d'amélioration.

L'IFSN a participé à l'Exercice 2019 du Réseau national de sécurité (ERNS) de la Confédération, ainsi qu'à l'Exercice général d'urgence (EGU) STYLOS qui y était intégré et a eu lieu à la centrale nucléaire de Beznau. Les objectifs de l'organisation d'urgence propre à l'IFSN ont été évalués par des observateurs externes comme ayant été atteints. Les points identifiés comme pouvant être améliorés pour l'IFSN et les autres partenaires d'urgence ont été intégrés dans les rapports d'exercice pour une mise en œuvre appropriée.

De plus, l'IFSN a passé en revue en 2019 les accidents nucléaires majeurs de réacteurs de puissance avec une attention particulière à la protection d'urgence. Dans ce cadre, de précieux enseignements ont été obtenus et appliqués à la coopération nationale et internationale. Se fondant en partie sur les enseignements de Fukushima, l'IFSN considère comme impératif à l'avenir, en cas d'accident nucléaire, que les avantages d'une évacuation soient soigneusement pesés par rapport aux risques qui en découlent dans le cadre d'une approche intégrée.

Prefazione

Nel presente Rapporto di radioprotezione 2019 l'Ispettorato federale della 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 2019 negli impianti nucleari le 5093 persone soggette a dosimetria hanno accumulato nel complesso 2392 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). Le dosi individuali delle persone occupate nell'ambito di sorveglianza dell'IFSN risultano nel 2019 con un valore massimo di 8,8 mSv ed un valore medio di 0,5 mSv chiaramente inferiori al limite di dose di 20 mSv per le persone esposte professionalmente alle radiazioni ionizzanti.

Per quanto riguarda il tema del personale di radioprotezione necessario durante i lavori di revisione, nel 2019 sono state effettuate ispezioni e discussioni tecniche. L'attenzione dell'IFSN rimane elevata in questo ambito, poiché il mercato per l'acquisizione di personale esterno qualificato continua a essere teso in virtù dell'aumento delle attività di smantellamento delle centrali nucleari in Germania. 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 2019, in parte anche con margini considerevoli.

Con calcoli molto conservativi l'IFSN conferma che le emissioni delle installazioni nucleari svizzere, rilevate nelle immediate vicinanze, si attestano su 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%.

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 media della popolazione alle radiazioni ionizzanti nel 2018; Radioprotezione e sorveglianza della radioattività in Svizzera, Risultati 2018, Ufficio federale della sanità pubblica 2019, pagine 41 e 42.

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 d'uso 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 di obiettivo 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 ha seguito i lavori preparatori per la disattivazione della centrale nucleare di Mühleberg in relazione ai temi della radioprotezione e li ha valutati in diverse autorizzazioni. I principali temi trattati sono stati il regolamento sulla radioprotezione, le diverse installazioni per lo smantellamento e la disattivazione, i processi e gli strumenti di misura per il declassamento e l'esonazione di materiali e locali. 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 dei protocolli di test di funzionamento falsificati della centrale nucleare di Leibstadt, divenuto noto nel gennaio 2019, ha portato all'adozione da parte della centrale di una serie di misure per migliorare i processi e la cultura della sicurezza. Dal punto di vista metrologico, la verifica della stabilità di misurazione degli strumenti in questione non ha evidenziato alcuna misura al di sotto degli intervalli nominali. Se ne deduce che, nonostante i test sal-

tati, gli strumenti di misura, hanno prodotto risultati corretti o erano pronti per l'uso conforme. La sicurezza del personale, della popolazione e dell'ambiente è stata sempre garantita. In seguito a questo evento, nell'anno in esame l'IFSN ha intensificato le sue attività di ispezione presso la centrale nucleare in questione. I risultati di questa vigilanza intensificata sono presentati nel rapporto di vigilanza 2019 dell'IFSN.

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 ad oscillazioni del valore naturale di radioattività di sottofondo, ad esempio a seguito di piogge.

Nel 2019 sono stati rispettati tutti i valori limite dell'Ordinanza sulla radioprotezione. Nelle installazioni 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 installazioni 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/monatlich-bilanzierte-abgaben/>

Oltre a sorvegliare l'esercizio normale degli impianti nucleari, l'IFSN valuta se sono state prese sufficienti precauzioni contro gli incidenti di dimensionamento e gli incidenti gravi degli impianti nucleari. In caso di evento in un impianto nucleare, l'IFSN è partner della rete svizzera di preparazione alle emergenze e gestisce a tal fine un'organizzazione d'emergenza.

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'utilizzo diretto dei dati di previsione meteo 3D del modello COSMO-1 di MeteoSvizzera con una maglia di 1 km. Per tenere conto della struttura del paesaggio della Svizzera e della Germania meridionale, caratterizzato da spazi ridotti, il sistema JRODOS utilizza il modello altimetrico ad alta risoluzione (DHM25) dell'Ufficio federale di topografia swisstopo. In questo modo l'IFSN dispone sempre di preziosi 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.

Nell'anno in rassegna, la preparazione alle emergenze degli esercenti delle installazioni 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.

Nel 2019 l'IFSN ha partecipato all'esercitazione della rete integrata svizzera per la sicurezza (ERSS) della Federazione e all'esercitazione d'emergenza generale (EEG) STYLOS con uno scenario sulla centrale nucleare di Beznau. Osservatori esterni hanno confermato in tale occasione che gli obiettivi dell'organizzazione d'emergenza dell'IFSN sono stati raggiunti. I punti dove apportare migliorie sia riguardo le attività dell'IFSN, sia quelle degli altri partner della protezione d'emergenza sono stati raccolti nei rapporti d'esercitazione in vista di un'implementazione adeguata di soluzioni.

Infine l'IFSN nel corso del 2019 ha rianalizzato gli incidenti gravi di reattori nucleari di potenza del passato riguardo al tema della protezione d'emergenza. Ne sono state tirate lezioni preziose che possono essere utilizzate nell'ambito della cooperazione nazionale ed internazionale. In particolare, sulla base degli insegnamenti tratti dal disastro nucleare di Fukushima, l'IFSN ritiene indispensabile che in futuro, in caso di incidente nucleare, i benefici di un'evacuazione vengano attentamente valutati in un approccio integrato rispetto ai rischi che ne derivano.

Foreword

In this Radiological Protection Report 2019 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 the annual collective doses in Switzerland's nuclear power plants have been significantly reduced since the begin of power operations thanks to major efforts by both the operators and the authorities. During 2019 a total of 5093 classified persons (persons obliged to wear a personal dosimeter for work purposes) received 2392 man-mSv across all nuclear installations. The collective doses have reached a low level, commensurate with the radiological condition of the plants and the scope of the work required to be performed in controlled zones (e.g. non-destructive inspections). With a maximum amount of 8,8 mSv and a mean amount of 0,5 mSv, the 2019 individual doses for people employed in ENSI's area of supervision were significantly below the dose limit of 20 mSv for occupationally exposed persons (dose limit for workers category A).

Concerning the topic of radiation protection personnel during the revision work, inspections and technical discussions were carried out in 2019. ENSI's attention remains high on this matter, as the market situation for the acquisition of qualified external radiation protection personnel remains tense due to the increased dismantling activities of nuclear power plants in Germany.

The discharge of radioactive substances in the exhaust air and waste water of nuclear installations is dealt with in Part B of the report. In 2019, the operators of nuclear installations have again complied – in some cases by considerable margins – with the release limits specified by the authorities. 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. A comparison with the average annual radiation dose for the

Swiss population of 5,8 mSv (see following table) shows that the contribution from nuclear facilities is at most 0,1% 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: Average radiation exposure of the general population in Switzerland in 2018; *Strahlenexposition der Bevölkerung 2018; Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität in der Schweiz, Ergebnisse 2018, Bundesamt für Gesundheit 2019, pages 41 and 42.*

Liquid discharges (excluding tritium) from Swiss nuclear installations 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 installation licenses and monitored accordingly. The specification of a target value ensures that the different measures available according to the state-of-the-art of science and technology are investigated and incorporated in technical solutions as appropriate.

ENSI has monitored the preparatory work for the decommissioning of the Mühleberg nuclear power plant in the area of radiological protection and written down its assessment in various permits. The main topics were the overarching radiation protection regulations, various facilities for dismantling and decommissioning, and the processes and measuring instruments for the professional release of materials and rooms.

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 notified event of falsified functional test protocols at the Leibstadt nuclear power plant, which became known in Jan-

uary 2019, led to a series of measures to improve the processes and safety culture of the nuclear power plant. From a metrological point of view, the verification of the measurement stability for the measuring instruments concerned did not show any value below the nominal ranges. The conclusion was drawn that, missing functional tests notwithstanding, those measuring instruments showed correct values during use, or were ready for a metrologically correct use. The safety of the personnel and the population as well as the environment was thus always ensured. As a result of this event, ENSI intensified its inspection activities at the nuclear power plant concerned during the year under review. The results of this intensified supervision are presented in ENSI's supervisory report 2019.

The ENSI operated network for automatically monitoring the dose rate in the vicinity of nuclear power plants (MADUK), measures dose rates in the surroundings of the plants all year round and 24 hours a day. The 10-minute, hourly and daily average 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 rainfalls.

In the reporting year all limits contained in the Federal Ordinance on Radiological Protection were met. There were no events in the nuclear facilities leading to an inadmissible exposure of staff or the public to radiation. ENSI concludes that the Swiss nuclear facilities continue to maintain an adequate radiological protection in which the optimization 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/monatlich-bilanzierte-abgaben/>

In addition to supervising the normal operation of nuclear facilities, ENSI assesses whether sufficient precautions have been taken against incidents and accidents in nuclear facilities. In the event of a nuclear accident ENSI is a partner in the Swiss Emer-

gency Preparedness Network and operates its own emergency organisation for this purpose.

The JRODOS (Java-based **R**ealtime **O**nline **D**ecision **S**upport system) software has been used since the beginning of 2016 to model atmospheric dispersion and calculate the dose in the event of an accident. JRODOS allows the direct use of 3D weather forecast data from the COSMO-1 model from MeteoSwiss 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 high-resolution elevation model (DHM25) from the Federal Office of Topography swisstopo. Consequently, ENSI has invaluable, precise tools available at all times to make up-to-date assessments (diagnostics) and forecasts of the radiological situation which can be used to create recommendations for the implementation of actions to protect the general public. These instruments are regularly tested in exercises.

In the year under review, the emergency preparedness of the nuclear installation 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 the necessary measures.

ENSI took part in the Federal integrated safety exercise 2019 (SVU) as well as in the therein integrated STYLOS general emergency exercise (GNU) with a scenario related to the Beznau nuclear power plant. External observers came to the conclusions that ENSI's emergency organisation achieved the predefined goals for the exercises. At the same time, potential for improvement was identified for ENSI as well as for the other emergency partners and incorporated into the exercise reports for appropriate implementation.

Lastly, ENSI has reviewed during the course of 2019 the major nuclear accidents of power reactors with special attention to emergency protection. Valuable findings were gained and applied to national and international cooperation. Based in particular on the findings from Fukushima, ENSI considers it imperative that in future, in the event of a nuclear accident, the benefits of an evacuation are carefully weighed up against the corresponding risks in an integrated approach.

Nuklearunfälle

Im Kernenergiezeitalter führten hauptsächlich die Erkenntnisse aus drei Unfällen zu einer deutlichen Verbesserung der nuklearen Sicherheit und des Schutzes der Bevölkerung. Viele Verbesserungen wurden im Bereich der Anlagensicherheit umgesetzt, welche die Robustheit einer Kernanlage erhöhen, andere Verbesserungen wurden im Organisatorischen erreicht. Das Bewusstsein für die Notwendigkeit internationaler Abstimmung wurde durch die drei Unfälle wesentlich geprägt.

Der Nuklearunfall in Harrisburg

Im März 1979 stellten im Block 2 des Kernkraftwerks in Harrisburg, auf der Insel Three Mile Island, im US-amerikanischen Bundesstaat Pennsylvania, die Speisewasserpumpen ab. Die normale technische Störung entwickelte sich aufgrund technischer Mängel, menschlicher Fehler und organisatorischem Unvermögen zum bis dahin schwersten Unfall in einem westlichen Kernkraftwerk. Teile des Reaktorkerns schmolzen und grosse Mengen radioaktiver Stoffe gelangten in den Primärkühlkreis und in das Sicherheitsgebäude der Anlage. Weil das Sicherheitsgebäude während des gesamten Ablaufs weitgehend dicht blieb, wurden nur kleine Mengen von radioaktiven Stoffen in die Umgebung abgegeben. Die berechnete Strahlendosis für die Bevölkerung entsprach einem Bruchteil der natürlichen Strahlung. Bis die Anlage wieder vollständig unter Kontrolle war, dauerte es mehrere Tage. Während dieser Tage litten die Menschen in der Umgebung unter vom Ereignis verursachten Stress und Anspannungen. Die Informationen der offiziellen Stellen waren unzureichend und zum Teil widersprüchlich.

Weil die konkreten Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt marginal waren, zielten die gewonnenen Erkenntnisse und die daraus abgeleiteten Massnahmen auf lokale Verbesserungen ab. Das heisst, Verbesserungspotential wurde insbesondere bei der Auslegung von Anlagen selbst erkannt.

International wurden grosse Fortschritte beim Verständnis von Abläufen bei schweren Unfällen erzielt. Dadurch wurde die Sicherheitstechnik deutlich verbessert und die Betriebs- und Sicherheitskultur gefördert. Das menschliche Verhalten wurde als entscheidender Faktor der Anlagensicherheit

erkannt und die Anforderungen an das Personal in Kernanlagen wurden folglich erhöht. In allen Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren wurden sicherheitsorientierte Überprüfungen (auch betreffend die Organisation von Kernanlagen) eingeführt. Die Anwendung von probabilistischen Risikoabschätzungen (PSA) zur Ermittlung der Häufigkeit schwerer Unfälle etablierte sich weltweit und die systematische Auswertung der Betriebserfahrung der eigenen und anderer Kernanlagen wurde intensiviert. Beides wird seitdem zur kontinuierlichen Verbesserung der Nuklearen Sicherheit verwendet.

Zusammengefasst richteten sich die Massnahmen in erster Linie auf die Reduzierung der Wahrscheinlichkeit eines schwerwiegenden Unfalls. Von der Information der Bevölkerung abgesehen, hatte der Unfall auf Three Mile Island keine nennenswerten Prozessanpassungen für den Bevölkerungsschutz zur Folge.

Der Nuklearunfall von Tschernobyl

Im April 1986 ereignete sich im Kernkraftwerk Tschernobyl ein schwerer Unfall. Während eines Tests wurde der Reaktor in einem unzulässigen Bereich betrieben. Das führte zum Verlust der Kontrolle über die Reaktivität im Reaktor. Das Einleiten der Schnellabschaltung führte aufgrund einer Auslegungsschwäche bei diesem Reaktortyp zu einem prompt überkritischen Verhalten des Reaktors. Die als Hitze freigesetzte enorme Energiemenge führte zu zwei Dampfexplosionen, welche den Reaktorkern und das Reaktorgebäude zerstörten. Weil für diesen Typ Reaktor kein Sicherheitsgebäude vorgesehen war, waren somit sämtliche Barrieren zum Einschluss der Radioaktivität durchbrochen.

Das für die Moderation der Neutronen verwendete Graphit entzündete sich durch die hohen Temperaturen der Leistungsexkursion. Der Graphitbrand transportierte radioaktive Stoffe in grosse Höhen der Atmosphäre, von wo aus diese über grosse Teile Europas verteilt wurden. Der Unfall in Tschernobyl war der erste Unfall in einem Kernkraftwerk mit messbaren Auswirkungen ausserhalb des Betreiberlandes.

Die Sowjetunion informierte die Welt sehr spät über das Ereignis. Das Kernkraftwerk Forsmark in Schweden mass zwei Tage nach dem Unfall er-

höhte Radioaktivität auf dem eigenen Kraftwerksareal. Die schwedischen Betreiber vermuteten zuerst eine Leckage im eigenen Kraftwerk. Das konnte aber schnell ausgeschlossen werden und so wurde der Zwischenfall im Westen bekannt. Die Sowjetunion informierte anschliessend zum ersten Mal über einen Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl. Betroffene Staaten hatten dadurch deutlich weniger Zeit, sich vorzubereiten und die Bevölkerung aufzuklären.

Der Schutz der Bevölkerung wurde in Westeuropa unterschiedlich gehandhabt. Eine einheitliche, abgestimmte Vorgehensweise existierte zu dem Zeitpunkt nicht. Die Massnahmen der betroffenen Länder waren nicht untereinander abgestimmt.

Auch wenn aufgrund seiner grundsätzlich andersartigen Bauart keine unmittelbaren technischen Massnahmen für westliche Reaktoren umgesetzt werden mussten, stiess der Unfall von Tschernobyl und dessen Aufarbeitung Verbesserungsmassnahmen an. Das gemeinsame Verständnis der gestaffelten Sicherheitsvorsorge (Defence in Depth) wurde vorangetrieben. Die IAEA verabschiedete mit der Convention on Nuclear Safety ein internationales Übereinkommen über die nukleare Sicherheit. Dieses basiert auf den von der IAEA geschaffenen und weitgehend anerkannten, grundlegenden Sicherheitsprinzipien für Kernanlagen: den Safety Fundamentals. Mit dem Übereinkommen wurden erstmals völkerrechtlich verbindliche Mindestanforderungen für die Sicherheit von zivilen Kernkraftwerken geschaffen.

Die grenzüberschreitenden Auswirkungen machten deutlich, dass internationale Regelungen, die eine rasche Weiterleitung von Informationen über einen Unfall sowie über die Organisation der Hilfeleistung bei derartigen Unfällen ermöglichen, fehlten. In der Folge wurde das Übereinkommen über die frühzeitige Benachrichtigung bei nuklearen Unfällen sowie das Übereinkommen über Hilfeleistung bei nuklearen Unfällen oder strahlungsbedingten Notfällen erarbeitet. Beide Übereinkommen wurden von der Schweiz am 31. Mai 1988 ratifiziert.

Die Bedeutung der gegenseitigen Überprüfung wurde unterstrichen und weiter vorangetrieben. Die Betreiber von Kernkraftwerken gründeten die World Association of Nuclear Operators (WANO), welche durch gegenseitige Unterstützung und Informationsaustausch die internationale Zusammenarbeit und Professionalität der Kernenergieindustrie fördern und dadurch die Kernkraftwerke sicherer und zuverlässiger machen soll.

Der Nuklearunfall von Fukushima

Als Folge des Tohoku-Chihou-Taiheiyu-Okii Erdbebens im März 2011 wurden die drei laufenden Blöcke des Kernkraftwerks Fukushima Daiichi mit einer Reaktorschnellabschaltung automatisch abgestellt. Drei weitere Blöcke waren aufgrund laufender oder bevorstehender Revisionen bereits abgestellt und drucklos. Die externe Stromversorgung der Anlage wurde durch das Erdbeben – in erster Linie wegen beschädigter Stromleitungen zur Anlage – unterbrochen. Die Notstromdieselmotoren starteten automatisch und die Anlage befand sich im Notstromfall. Zu diesem Zeitpunkt verhielt sich die Anlage gemäss Auslegung.

Der durch das Erdbeben ausgelöste Tsunami erreichte das Kraftwerksgelände rund 45 Minuten nach dem Erdbeben. Dies führte zum kompletten Ausfall der Stromversorgung (inklusive der Notstromaggregate) und zum Verlust der Wärmesenke. Drei Reaktoren heizten sich durch die nicht abgeführte Nachzerfallswärme kontinuierlich auf und der Druck im Reaktordruckbehälter stieg an. Verschiedene Umstände verhinderten oder verzögerten Notfallmassnahmen auf der Anlage. Material für die Bekämpfung eines schweren Unfalls war nicht ausreichend vorhanden und dessen Beschaffung von ausserhalb der Anlage war durch die Folgen des Erdbebens und des Tsunamis deutlich erschwert oder sogar unmöglich. Die Kernanlagen erlitten grosse Schäden und die Reaktorkerne begannen zu schmelzen. Wasserstoffexplosionen beschädigten das Sicherheitsgebäude und damit die letzte Barriere zum Einschluss der Radioaktivität. Die dadurch freigesetzten radioaktiven Stoffe kontaminierten als Folge die Umgebung der Kernanlagen.

Die beitragenden Faktoren umfassen die Bereiche Mensch, Technik und Organisation mit vielfältigen Zusammenhängen und Wechselwirkungen untereinander. Nicht zuletzt herrschte eine ungenügend ausgeprägte Sicherheitskultur. Technisch ist der Unfall in Fukushima begründet in der auf den Standort bezogenen, ungenügenden Auslegung der Anlage sowie Mängel in der nuklearen Aufsicht, welche die Umsetzung von Verbesserungen erschwerten.

Die Aufarbeitung der Anordnungen von Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung zeigte Verbesserungspotential auf allen Stufen auf. Eine adäquate Vorbereitung auf nukleare Notfälle beinhaltet eine klare Rollenverteilung der Partner im Notfallschutz, etablierte Befehlsketten sowie entsprechend vorbereitete vorbehaltene Entschlüsse auf allen Stu-

fen. Die vorbehaltenen Entschlüsse müssen nach einfach zu erkennenden und klaren Kriterien ausgelöst werden und der örtliche Wirkungsbereich (Notfallschutzzonen) ist im Vorfeld bereits zu definieren und zu kommunizieren. Zudem wurde offensichtlich, dass eine Notfallschutzplanung auch für Gebiete ausserhalb der vordefinierten Notfallschutzzonen hinaus erforderlich ist.

Die IAEA-Mitgliedstaaten unterzeichneten daraufhin die *Vienna Declaration on Nuclear Safety*. Sie richtet sich insbesondere an eine verbesserte Auslegung neuer Anlagen und an systematische Sicherheitsüberprüfungen sowie die konsequente Implementierung der *IAEA Safety Standards*. Der Vorschlag der Schweiz, die Anforderungen auch für bestehende Anlagen zu erhöhen und entsprechende Nachrüstungen verbindlich einzufordern, fand international keinen Konsens. Für die Schweiz ist die stetige Verbesserung der nuklearen Sicherheit und die Nachrüstpflcht bereits in der Gesetzgebung verankert. Zudem wurde mit IDA NOMEX (interdepartementale Arbeitsgruppe zur Überprüfung der Notfallschutzmassnahmen bei Extremereignissen in der Schweiz) ein umfassendes Programm für den externen Notfallschutz lanciert.

Internationaler Konsens zum Notfallschutz

Die Empfehlungen und Vorgaben zum Notfallschutz waren vor Tschernobyl in erster Linie auf die Verbesserung der Anlagensicherheit ausgerichtet. Die Prämisse war, einen Unfall in dessen Entstehung zu verhindern und die Notwendigkeit, einen Notfall zu bekämpfen, zu minimieren. Erst der Vorfall in Tschernobyl stärkte das Bewusstsein für die Notwendigkeit einer internationalen Harmonisierung betreffend die Anlagensicherheit (gestaffelte Sicherheitsvorsorge), der nationalen Notfallbekämpfung und des raschen internationalen Informationsaustauschs. Die Betrachtung des Notfallschutzes als Ganzes wurde nach den Unfällen in Tschernobyl und Fukushima deutlich verstärkt.

Planungszonen

Die IAEA gibt vor, dass für Gebiete um Kernanlagen Vorbereitungen für den Bevölkerungsschutz getroffen werden müssen. Dabei hat sich die Aufteilung in drei Gebiete etabliert, welche inzwischen von praktisch allen Ländern angewandt

wird. Das Gebiet um die Kernanlage (3–5 km), gemäss IAEA die *Precautionary Action Zone* (PAZ), entspricht in der Schweiz der Notfallschutzzone 1, die *Urgent Protective Action Planning Zone* (UPZ, 15–30 km) der Notfallschutzzone 2. Die *Extended Planning Distance* (EPD) entspricht in der Schweiz dem restlichen Staatsgebiet.

Die Schweiz darf hier als Vorreiter bezeichnet werden. Im Notfallschutzkonzept von 1977 wurden bereits die heute noch gebräuchlichen Notfallschutzzonen 1 und 2 definiert und die Alarmierung im Notfall wurde festgeschrieben.

Schutzmassnahmen für die Bevölkerung

Für die definierten Planungsgebiete sind Schutzmassnahmen für die Bevölkerung vorgesehen. Es herrscht Konsens über die anzuordnenden Schutzmassnahmen (geschützter Aufenthalt im Haus oder im Schutzraum, Evakuierung, Einnahme von Kaliumiodid-Tabletten sowie Ernte- beziehungsweise Weideverbot). In der Schweiz sind diese Sofortmassnahmen in der Verordnung über den Bundesstab Bevölkerungsschutz im sogenannten Dosismassnahmenkonzept aufgeführt.

Nationale Unterschiede

International ergeben sich aber Unterschiede bei den Kriterien, bei deren Erreichen Schutzmassnahmen anzuordnen sind. Die Dosissschwellen sind zum Teil unterschiedlich und die Integrationszeit für die Ermittlung der Dosis variiert ebenfalls. Unterschiede ergeben sich auch durch die Schutzwirkung der vorhandenen Infrastruktur. So ist der geschützte Aufenthalt in der Schweiz, durch robuste Bauweise der Häuser, deutlich wirksamer als zum Beispiel in den USA mit leichterer Bauweise. Auch die in der Schweiz für alle Einwohner gesetzlich vorgesehenen Schutzräume, mit deutlich höherer Schutzwirkung, sind nicht in allen Ländern vorgesehen. Gleichfalls können zum Beispiel unterschiedliche Bevölkerungsdichten das Auslösen von Schutzmassnahme beeinflussen.

Aus diesem Grund ist es vor allem für Länder mit grenznahen Kernanlagen wichtig, dass nicht nur die Schutzmassnahmen grenzübergreifend kompatibel sind, sondern auch die Auslösung und Anordnung derselben. In Europa verfolgt man deshalb den Ansatz der Heads of the European Radiological protec-

tion Competent Authorities (HERCA), der zusammen mit der Western European Nuclear Regulators Association (WENRA) entwickelt wurde.

Internationale Zusammenarbeit

Die Schweiz hat früh die internationale Zusammenarbeit intensiviert, als kleines Land die Notwendigkeit der gegenseitigen Information erkannt und den nachbarschaftlichen Austausch gefördert. Noch vor den Erkenntnissen aus dem Unfall in Tschernobyl unterschrieb die Schweiz 1979 mit Deutschland eine Vereinbarung und mit Frankreich ein Abkommen über den radiologischen Notfallschutz respektive den Informationsaustausch bei Zwischenfällen oder Unfällen, die radiologische Auswirkungen haben können. Das Übereinkommen über die frühzeitige Benachrichtigung bei nuklearen Unfällen wurde 1986 und das Übereinkommen über nukleare Sicherheit 1994 in Wien beschlossen. Die beiden Übereinkommen wurden in der Schweiz 1988, beziehungsweise 1996, ratifiziert.

Die Schweiz vertrat stets die Ansicht, dass die Kontaktpflege und der regelmässige Informationsaustausch allein nicht genügen, weshalb sie sich aktiv an der Entwicklung eines allgemeingültigen Ansatzes zur Zusammenarbeit in der Notfallvorsorge und in der Notfallbekämpfung beteiligt hat.

Der HERCA-WENRA-Ansatz

National unterschiedliche Kriterien bei der Anordnung von Schutzmassnahmen können bei Unfällen in grenznahen Kernanlagen die Wirkung der Schutzmassnahmen verringern. Haben beispielsweise zwei Länder die gleichen Massnahmen vorgesehen, lösen diese aber zu unterschiedlichen Zeitpunkten oder in unterschiedlich grossen Gebieten aus, kann das zu Missverständnissen in der Bevölkerung und zu einem Vertrauensverlust in die Behörden führen. Das Risiko, dass sich Personen in von Notfallschutzmassnahmen betroffenen Gebieten nicht an die nationalen Vorgaben halten und sich stattdessen an den vermeintlich konservativeren Massnahmen des Nachbarlandes orientieren, besteht durchaus. Dadurch könnte die Notfallbekämpfung geschwächt und die vorgesehenen Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung ihre Wirkung verfehlen.

Die Notfallvorsorge hat sich in den Ländern Europas nahezu unabhängig voneinander entwickelt.

Der international vorgegebene Rahmen liess einen gewissen Spielraum bei der Entwicklung der Notfallpläne zu. Das führte zu gut etablierten und in Übungen erprobten Notfallplänen auf nationaler Ebene. Die Kompatibilität dieser nationalen Notfallpläne untereinander stand jedoch nicht im Vordergrund. Vertreter von HERCA und WENRA haben zur Problematik der grenzüberschreitenden Harmonisierung von Notfallschutzmassnahmen einen gemeinsamen Ansatz erarbeitet, der am 21. Oktober 2014 von beiden Organisationen verabschiedet wurde. Dieser HERCA-WENRA-Ansatz (HWA) verfolgt das Ziel, allfällige grenzüberschreitende Inkonsistenzen im Ansatz zu vermeiden und die Umsetzung von Notfallschutzmassnahmen um eine verunfallte Kernanlage bestmöglich zu koordinieren, beziehungsweise zu harmonisieren. Hiermit sollen nicht eine Gleichschaltung der nationalen gesetzlichen Grundlagen verfolgt, sondern Freiräume in nationalen Gesetzgebungen für eine effizientere Zusammenarbeit im Sinne des Bevölkerungsschutzes genutzt und gegebenenfalls geschaffen werden.

Der gemeinsame HERCA-WENRA-Ansatz gilt als ein wichtiger Schritt zur Verbesserung der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit im Bevölkerungsschutz. Er baut auf ein gemeinsames technisches Verständnis der Lage vor Ort, auf Koordination und gegenseitiges Vertrauen. Er gibt selbst keine Notfallprozesse vor, sondern zielt darauf ab, in einer Krisensituation harmonisiert und koordiniert zu handeln.

Die drei Stufen des HERCA-WENRA-Ansatzes

Der HERCA-WENRA-Ansatz soll in allen Phasen (vgl. Abbildung 1) eines Notfalls Anwendung finden. Unterschieden wird eine Phase der Vorbereitung, eine Phase unmittelbar nach Eintreten eines Unfalls und die langfristige Bekämpfung des Notfalls.

Stufe 1: Vorbereitung

Das Ziel in der Vorbereitung ist es, ein gemeinsames Verständnis für die bestehenden nationalen Ansätze und Konzepte durch die Entwicklung oder die Verbesserung der bereits bestehenden bilateralen und multilateralen Kontakte zu erreichen.

Stufe 2: Frühphase

Für die Frühphase eines Unfalls sieht der Ansatz einen raschen Austausch von Informationen vor.

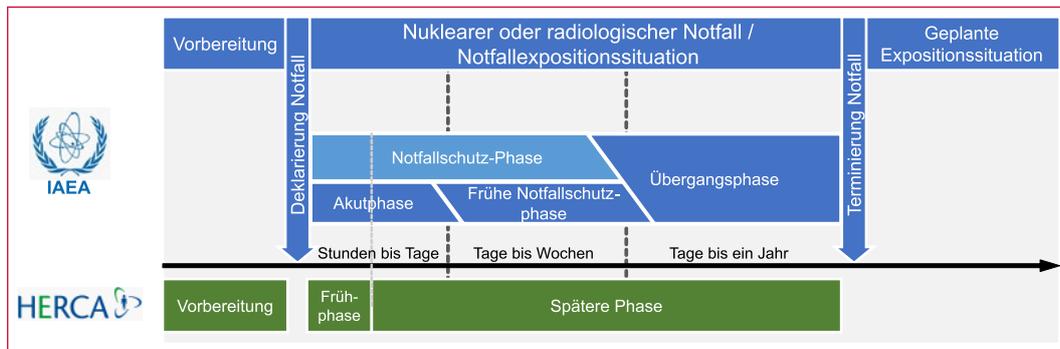


Abbildung 1:
Stufen des HWA
im Kontext der
Phasen gemäss IAEA.

Das im Rahmen der Vorbereitung erzielte bessere Verständnis führt hier zu kürzeren Entscheidungsfindungsprozessen. Den Krisenstäben soll empfohlen werden, in den ersten Stunden nach dem Reaktorunfall die Notfallschutzmassnahmen des Unfalllandes zu übernehmen, nach dem Motto «we do the same as the accident country».

Stufe 3: Spätere Phase

In der späteren Phase soll ein koordiniertes Vorgehen bei der Anordnung von Schutzmassnahmen auf der Grundlage eines gemeinsamen Lageberichtes, gegebenenfalls dem der IAEA, erfolgen.

Umsetzung des HERCA-WENRA-Ansatzes

Die nationale Umsetzung des HERCA-WENRA-Ansatzes wurde durch die Working Group on Emergencies (WGE), eine Arbeitsgruppe der HERCA, begleitet. Die Schweiz ist darin durch das BAG, das BABS und das ENSI vertreten. Das ENSI präsidierte die WGE von 2015 bis 2017. Die WGE stellt praxisorientierte Anleitungen zur Implementierung des HERCA-WENRA-Ansatzes zur Verfügung und sorgt durch ihre Arbeit für ein besseres gemeinschaftliches Verständnis im Bereich der Notfallvorsorge und der Notfallbekämpfung.

Ein erster Schritt, die eigene, nationale Notfallvorsorge anderen Ländern zugänglicher zu gestalten, war die Erstellung von länderspezifischen Faktenblättern. Jedes Land fasst auf zwei Seiten die Entscheidungsprozesse, die beratenden Organe und den Ablauf der Alarmierung in einem Notfall zusammen. Darüber hinaus werden die Nuklearanlagen im Land, die Schutzstrategie und die Anwendung der Kriterien für den Notfallschutz kurz umschrieben. Die Faktenblätter sind über die HERCA-Webseite allen zugänglich und werden regelmässig aktualisiert. Die Faktenblätter tragen zu einer verbesserten, grenzüberschreitenden Koordination und Harmonisierung von Notfallschutz-

massnahmen bei, weil sie aufzeigen, was potentiell betroffene Staaten für den Notfall vorgesehen haben und nach welchen Ansätzen sich Handlungsstränge richten.

Essentiell für das Funktionieren der Kooperation zwischen Nachbarländern sind aber der regelmässige Austausch und das Vorhandensein von entsprechenden Abkommen über den Informationsfluss und Datenaustausch. Um im eigenen Land die Empfehlung aussprechen zu können, dass in einer frühen Phase die Notfallschutzmassnahmen des benachbarten Unfalllandes übernommen werden sollen (Stufe 2), müssen sich die Entscheidungsträger auf nationaler Ebene darüber bewusst sein, was die Übernahme von Massnahmen für das eigene Land bedeuten. Dieses gegenseitige Vertrauen wird auch dadurch gefördert, dass Nachbarländer in nationale Notfallübungen mit eingebunden werden, zumindest in der Rolle des Beobachters. So wird Deutschland bei den alle zwei Jahre in der Schweiz durchgeführten Gesamtnotfallübungen aktiv mit eingebunden und sämtliche Kommunikations- und Entscheidungswege werden regelmässig geübt.

Der Stand der Implementierung des HERCA-WENRA-Ansatzes in den einzelnen Ländern wird von der WGE laufend verfolgt. Kritische Umsetzungspunkte werden im Rahmen eines Self-Assessments abgefragt und das Gesamtergebnis genutzt, die Hilfestellung weiter zu verbessern.

Der HERCA-WENRA-Ansatz Teil II

Als Grundlage für die Entwicklung des Teil II dienten Erkenntnisse aus dem Unfall in Fukushima, welcher sich durch einen kompletten Stromausfall auf der Anlage und einen Zusammenbruch der Kommunikationsinfrastruktur auszeichnete. Im sehr unwahrscheinlichen Fall, dass bei einem schweren Unfall wenig bis keine Informationen zum Zustand einer Kernanlage verfügbar sind und

es auch nicht absehbar ist, dass sich das in nützlicher Frist ändert, die Gefährdung zudem gross ist, sieht der HERCA-WENRA-Ansatz einen Teil II als separaten, verkürzten Notfallablauf vor. Dieser Extremfall ist jedoch nicht als übergeordneter Rahmen zur länderübergreifenden Koordination oder zur generellen, schnellen Anordnung von – möglicherweise kontraproduktiven – Notfallschutzmassnahmen gedacht. In diesem Sinn unterscheidet sich der Teil II massgeblich von der Philosophie des Teils I, weil es hier darum geht, ein spezielles Verfahren für das Unfallland zu etablieren. Um Unklarheiten bei der Umsetzung des Teils II vorzubeugen, hat die HERCA 2019 einen weiteren Bericht verabschiedet, in dem Präzisierungen zum Konzept vorgenommen worden sind.

Tritt ein solcher Extremfall ein, muss eine Lagebeurteilung der Fachbehörde mit deutlich weniger Informationen erfolgen. Wenn die Unfallursache vermuten lässt, dass schnelle Handlungen in der Frühphase notwendig sind und die Informationsbeschaffung dauerhaft schwer beeinträchtigt ist, wird eine für den Bevölkerungsschutz auf das Wesentliche reduzierte Abfrage des Anlagenstatus vorgenommen. In Anlehnung an die Ereignisse in Fukushima und in Anbetracht der in der Schweiz vorherrschenden Bedingungen schlägt das ENSI vor, ein anlagenbezogenes Kriterium zu verwenden, welches mit einer hohen Wahrscheinlichkeit mit einer Freisetzung in gefährdendem Umfang einher geht (z.B. das Vorliegen einer «Kernschmelze bei hohem Druck»). Sollte das ENSI zur Beurteilung kommen, dass so ein Spezialfall vorliegt, obliegt es dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz zu beurteilen und zu entscheiden, welche der vorbereiteten Schutzmassnahmen (auch in Kombination) den besten Schutz für die Bevölkerung bietet und angeordnet werden muss.

Der Teil II adressiert so potentielle oder noch vorhandene Lücken der Notfallplanung in einem Land. Er soll auch als Aufruf verstanden werden, eventuell vorhandenes Verbesserungspotenzial umzusetzen, um damit den Weg der «fundierten Entscheidung» basierend auf den verfügbaren Informationen zu stärken. Ist zum Beispiel eine nicht redundant ausgelegte und wenig robuste Kommunikationsinfrastruktur der Grund für nicht ausreichend vorliegende Informationen, soll die Kommunikation gehärtet werden. Teil II ist nicht als Ersatz oder als Einstieg in den vorgesehenen nationalen Notfallplan zu verstehen, sondern soll im Sinne einer Ausnahmeregelung auch die Möglichkeit berücksichtigen, dass trotz aller Vorbereitung, eine

Situation entstehen kann, in welcher der Notfallplan nicht wie vorgesehen befolgt werden kann, aber dennoch rasche Entscheidungen gefällt werden müssen.

Der Beitrag der Schweiz zum HERCA-WENRA-Ansatz

Die Schweiz war von Beginn an aktiv bei der Mitgestaltung des HERCA-WENRA-Ansatzes beteiligt. Mit der Vereinbarung mit Deutschland 1979 und dem Abkommen mit Frankreich (ebenfalls 1979) hat die Schweiz den Austausch mit den Nachbarländern sehr früh gefördert. So konnte die Schweiz bei der Entwicklung ihren Erfahrungsvorsprung gewinnbringend beisteuern.

Durch die regelmässigen Werksnotfallübungen und die nationalen Gesamtnotfallübungen (mit der Beteiligung Deutschlands) hat sich die Schweiz eine Expertise aufgebaut und beteiligte sich massgebend bei der Präzisierung und Klärung von Begriffen und Konzepten im HERCA-WENRA-Ansatz. Die Schweiz ist sich als verhältnismässig kleines Land zudem bewusst, dass ein reibungsfreier Austausch und offene Kommunikation mit dem Ausland von essentieller Wichtigkeit ist und legt deshalb grossen Wert auf die Pflege eines sehr guten Verhältnisses mit dem angrenzenden Ausland.

Ausblick

Die bisherigen Verbesserungen in der internationalen Zusammenarbeit werden weiter vorangetrieben. Die HERCA wird sich im Rahmen der WGE weiter mit der Implementierung des HERCA-WENRA-Ansatzes auf nationaler Ebene befassen. Bereits etablierte Schnittstellen zwischen verschiedenen Ländern werden weiter gepflegt und ausgebaut, um den Austausch in der Vorsorgephase aufrechtzuerhalten. Damit wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass die Kooperation im Notfall länderübergreifend funktioniert und der Schutz der Bevölkerung sichergestellt werden kann. Die Schweiz, darunter das ENSI, beteiligt sich auch künftig an der Weiterführung und der Verbesserung des Austauschs auf internationaler Ebene. Der Stand der Umsetzung des HERCA-WENRA-Ansatzes wird regelmässig überprüft. Aktuell läuft das zweite Self-Assessment aller HERCA-Länder zum aktuellen Stand. Die Resultate werden im Rahmen der WGE aufgenommen zur kontinuierlichen Verbesserung der Implementierung des HERCA-WENRA-Ansatzes.

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 für die Sektion folgende Ereignisse und Meilensteine erwähnenswert:

- Die verstärkte Rückbautätigkeit von Kernkraftwerken in Deutschland sorgt weiterhin für eine angespannte Marktlage bei der Akquise von qualifiziertem Fremdpersonal im Strahlenschutz. 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 die Sektion Radiologischer Arbeitsschutz während der Jahresrevisionen die KKW inspiziert. Bei den zu diesem Sachverhalt inspizierten Werken KKB, KKG und KKL konnte Normalität festgestellt werden. Die Aufsichtsgespräche werden 2020 fortgeführt.
- Im Zentrum des Berichtsjahres stand die Vorbereitung für den Rückbau des KKM unter anderem mit Freigaben für Arbeiten während der Etablierung des Technischen Nachbetriebs oder im Hinblick auf die Stilllegungsphase 1. Themen wie die Einführung eines überarbeiteten Strahlenschutzreglementes oder die Durchsetzung der Anforderungen aus der Verordnung über den Umgang mit radioaktivem Material (UraM) in Bezug auf Lüftungsanlagen wurden bearbeitet. Der Rückbau des Forschungsreaktors an der Universität Basel wurde aus Sicht des operativen Strahlenschutzes ebenfalls beaufsichtigt, wobei eine sehr gute Praxis festgestellt wurde. Die eingesetzten Schutzmittel, zum Beispiel die Einhausung der Rückbauorte, die Filteranlage oder die Aktivitätsüberwachung, entsprachen dem Stand der Technik.
- 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 Nachrüstungen 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.
- Eine weitere bevorstehende Anpassung des Regelwerks betrifft die für den operativen Strahlenschutz massgebende Richtlinie HSK-R-07 «Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Institutes» aus dem Jahr 1995. Die neue Richtlinie ENSI-G12 zum anlageninternen Strahlenschutz wird die Richtlinie HSK-R-07 ersetzen. Im Dezember 2019 wurde ein wichtiger Meilenstein erreicht: der Entwurf der Richtlinie ENSI-G12 wurde für eine interne Anhörung fertiggestellt. Die externe Vernehmlassung der Richtlinie ist für das 2. Quartal 2020 und die Inkraftsetzung für Ende 2020 vorgesehen.

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 von einem Monat übereinstimmt und weil eine nachvollziehbare und korrekte Jobdosimetrie dank deren Programmierbarkeit nur mit elektronischen Dosimetern erfolgen kann.

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

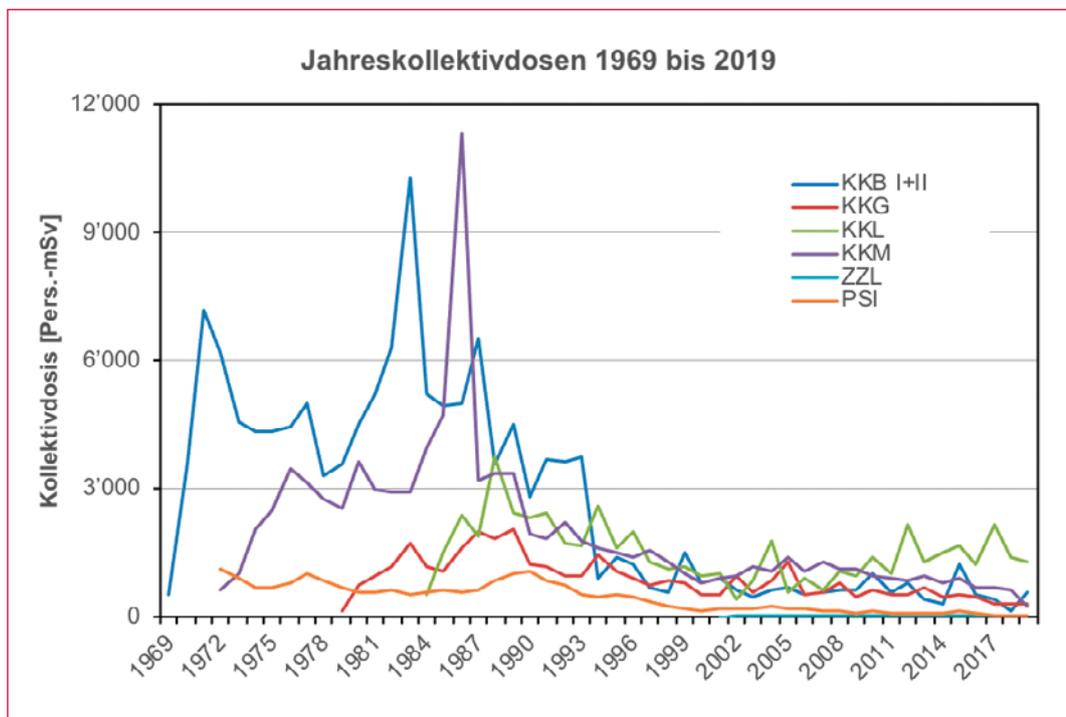
Bei der Auswertung der Daten richtet sich das ENSI nach der «Empfehlung zur Rundung der Dosiswerte der anerkannten Personendosimetriestellen

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

Im vorliegenden Bericht wird unter dem Begriff Kollektivdosis die Summe der effektiven Dosis, durch interne- und externe Bestrahlung, als auch der Neutronendosis einer Population zusammengefasst.

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 2019.



1 Kernkraftwerke

1.1 Kernkraftwerk Beznau (KKB)

Schutz des Personals

Im Berichtsjahr wurden sowohl im KKB 1 als auch im KKB 2 Revisionsstillstände durchgeführt, wobei rund 1274 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz kamen:

KKB 1	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
Revisionsstillstand/ Brennelementwechsel	205
Leistungsbetrieb	44
Gesamte Jahreskollektivdosis	249

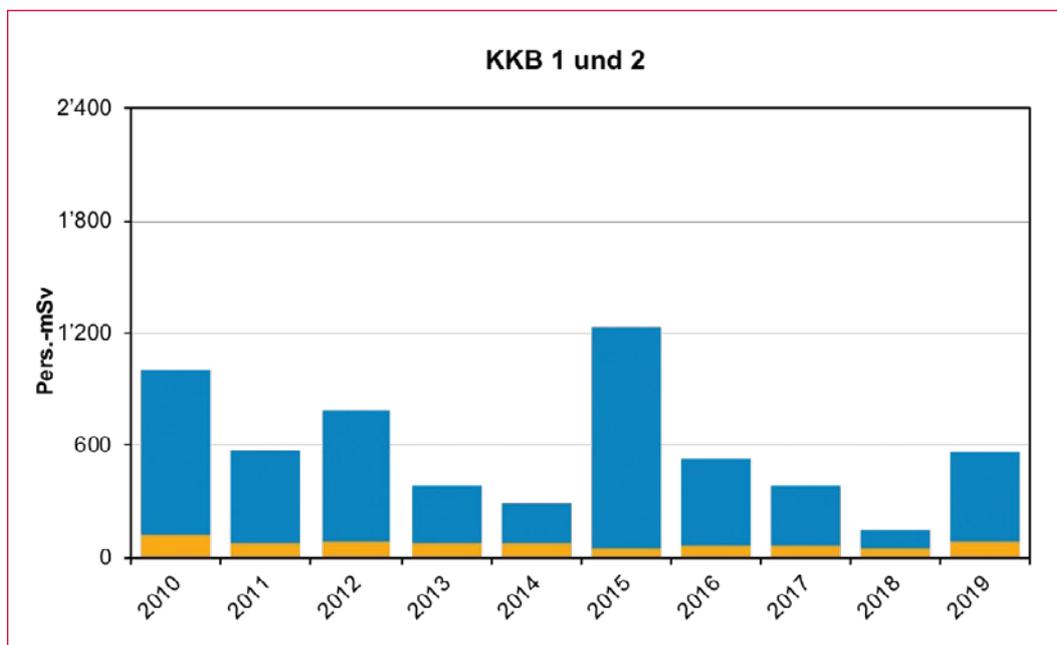
KKB 2	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
Revisionsstillstand/ Brennelementwechsel	267
Leistungsbetrieb	43
Gesamte Jahreskollektivdosis	310

Im Kalenderjahr 2019 wurde in den beiden Blöcken des KKB von 1274 dosimetrisch überwachten Personen eine Kollektivdosis von 559 Pers.-mSv verzeichnet. Die höchste im KKB registrierte Individualdosis betrug 7,0 mSv (2018: 3,4 mSv) und lag deutlich unterhalb des Dosisgrenzwerts der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlen-

exponierte 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. Bei zwei Angestellten wurden Ausscheidungsanalysen auf Transurane (^{238}Pu , $^{293}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$, ^{241}Am und ^{242}Cm) durchgeführt. Ein Mitarbeiter arbeitete in der Reaktorgrube ohne passenden Filter (Filterklasse FFP3). Bei dem zweiten Mitarbeiter gab es einen Alarm am Grobmonitor. Untersuchungen zeigten, dass sich ein Alpha-Hotspot am Schuh befand. Beide Mitarbeiter wurden gebeten, vorsorglich eine Stuhlprobe abzugeben. Die Ergebnisse der Ausscheidungsanalysen lagen unterhalb der Nachweisgrenze, d. h. sie sind gesundheitlich unbedeutend.

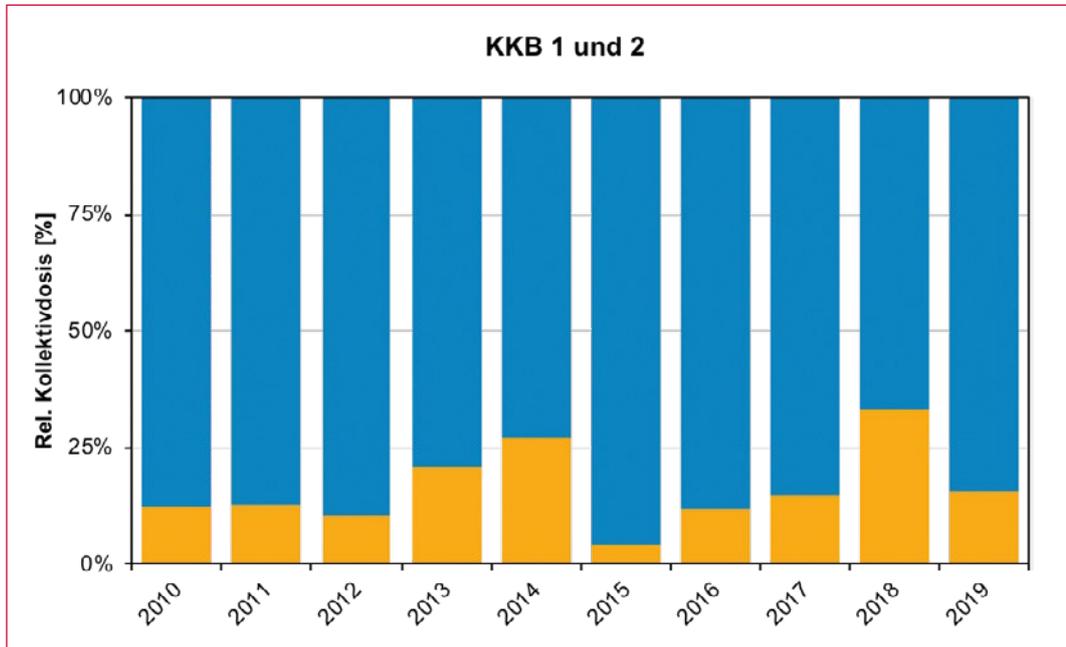
Der Block 1 wurde im Berichtsjahr am 3. Mai 2019 zum geplanten 44. Revisionsstillstand abgefahren. Das Abfahren der Anlage verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Nach einer Stillstandsdauer von 39 Tagen wurde der Leistungsbetrieb am 10. Juni 2019 wieder aufgenommen.

Im Vergleich zum Vorjahr sind die Ortsdosisleistungen (ODL) an den Komponenten des Primärkreislaufs an den Hauptkühlmittelleitungen (Closure Legs A und B) im Mittel um zirka 28% gestiegen und liegen jetzt bei zirka 3 mSv/h. Der sinkende Trend der

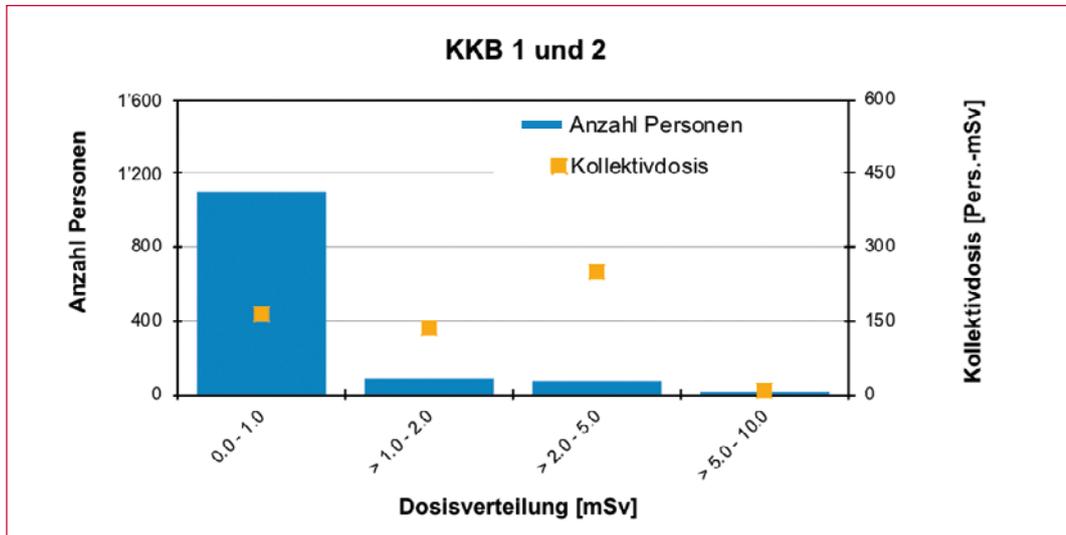


Darstellung A.2:
Jahreskollektivdosen (Pers.-mSv) KKB 1 und 2 von 2010 bis 2019. In Blau sind die Daten aus den Revisionsstillständen, in Gelb diejenigen aus dem Leistungsbetrieb.

Darstellung A.3:
Relative Jahreskollektivdosen KKB 1 und 2 von 2010 bis 2019. In Blau sind die Daten aus den Revisionsstillständen, in Gelb diejenigen aus dem Leistungsbetrieb.



Darstellung A.4:
Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen 2019 im KKB 1 und 2.



vorangegangenen Jahre ist auf den dreijährigen Anlagenstillstand von 2015 bis 2018 zurückzuführen. Dies entspricht etwas mehr als der halben Halbwertszeit (HWZ) von ^{60}Co . Ebenso liegen die Ortsdosisleistungswerte (ODL) an den Hot Legs A und B weiterhin auf einem tiefen Niveau bei zirka 0,5 mSv/h. Im Vergleich mit dem Vorjahr kann ein Anstieg von 16,5% festgestellt werden. Der Deckel des Reaktordruckbehälters (RDB) wurde im Jahr 2015 ersetzt und hat nun sein erstes Betriebsjahr nach dem verlängerten Stillstand hinter sich, die dort gemessene Kontaktdosisleistung liegt bei 14,5 mSv/h. Die mittleren ODL an den Mänteln der Dampferzeuger zeigen, wie in den vergangenen Jahren, konstant niedrige Werte im Bereich von rund 0,15 mSv/h. Die nuklidspezifischen Messungen der Oberflächenkontaminationen im KKB 1 zeigen, dass das Beta:Alpha-Verhältnis im hohen Masse system-

und komponentenabhängig ist. Die Verhältnisse reichen von 10:1 bis zu 3000:1. Die Nuklidgemische der Kontaminationen im Block 1 des KKB werden von ^{60}Co und ^{51}Cr dominiert, gefolgt von ^{95}Nb und ^{95}Zr . In einigen Systemen finden sich weitere Nuklide in relevanten Mengen wie beispielsweise ^{137}Cs , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ und $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Von den Alphastrahlern wurde in vielen Systemen das Isotop ^{241}Am gefunden.

Bei den Luftkontaminationen hat das Nuklid ^{60}Co mit 41,4% den grössten Anteil am Nuklidgemisch, gefolgt von ^{51}Cr (9%) und ^{124}Sb (7%). Im Überwachungszeitraum wurden Alpha-Aktivitäten an vier Tagen in der Raumluft gemessen. Die ^{241}Am -Werte lagen zwischen 1,1 mBq/m³ und 6,3 mBq/m³.

Aufgrund der vorhandenen Alpha-Kontaminationen in der Reaktorgrube wurde während der ge-

samtener Dauer der Revisionsabstellung die Reaktorgrube als eine Zone Typ IV eingestuft. Aus dem gleichen Grund sind im Sicherheitsgebäude, BE-Lager und Nebengebäude zahlreiche Arbeiten unter Bedingungen der Zone IV durchgeführt worden.

Die akkumulierte Kollektivdosis für die Revisionsabstellung des Blocks 1 betrug 205 Pers.-mSv (korrigierte EPD-Daten). Im Vergleich zur Plandosis von 286 Pers.-mSv, liegt das Gesamtergebnis zirka 28% unter den Planungswerten. Ursache für die Abweichung ist, dass die ODL in Block 1 seit dem Stillstand 2015 kontinuierlich durch den ^{60}Co -Zerfall abgenommen hat. Die Reduzierung der ODL konnte bei der Planung der Jobdosen nicht berücksichtigt werden, da die aktuellen ODL-Werte zum Zeitpunkt der Planung noch nicht gemessen wurden.

Block 2 wurde planmässig am 10. August 2019 für die 45. Revision abgestellt. Das Abfahren verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Nach einer Stillstandsdauer von 41 Tagen wurde der Leistungsbetrieb am 20. September 2019 wieder aufgenommen.

Die Ortsdosisleistungen an den Komponenten des Primärkreislaufs haben sich im Vergleich zum Vorjahr erhöht. An den Closure Legs stieg die ODL im Mittel leicht an. Sie beträgt für das Closure Leg A zirka 1,3 mSv/h und für die B-Seite zirka 1,6 mSv/h, was jeweils einen Anstieg um zirka 9% bedeutet. Beim Hot-Leg A ist ein Anstieg der ODL von 9.1% und beim Hot-Leg B ein Anstieg von 3.2% zu verzeichnen, die Werte liegen jetzt bei 0,28 beziehungsweise 0,39 mSv/h. Der RDB-Deckel wurde im Jahr 2015 ersetzt, die dort gemessene Kontaktdosisleistung stieg im Vergleich zum Vorjahr um 25% an und liegt nun bei 16,9 mSv/h. Die ODL an den Dampferzeugern blieb im Vergleich zum Vorjahr konstant und liegt mit zirka 0,13 mSv/h auf sehr niedrigem Niveau.

Bei der Oberflächenkontamination lag der niedrigste Wert für das Verhältnis von Beta/Gamma zu Alpha bei 90. Auf dem Boden und an den Komponenten und Wänden der Reaktorgrube konnte, sowohl nach der ersten als auch nach der zweiten Feinreinigung am Ende der Revision, kein Beta/Gamma zu Alpha Verhältnis bestimmt werden, da alle Alpha-Messungen Werte kleiner als die Nachweisgrenze (NWG) ergaben. Die Nuklidzusammensetzung der Kontaminationen bestand grösstenteils aus ^{60}Co , gefolgt von den kurzlebigen Nukliden ^{51}Cr , ^{95}Zr und ^{95}Nb . In den mit Primärkühl-

mittel beaufschlagten Systemen wurde teilweise auch ^{241}Am in geringen Anteilen gemessen.

Die Luftkontamination wurde während des gesamten Brennstoffwechsels von ^{60}Co mit 30% und ^{51}Cr mit 29% dominiert, ^{95}Nb , ^{95}Zr , ^{65}Zn und ^{124}Sb folgen mit Anteilen von 6 bis 12%. Als Alpha-Aktivität wurde ^{241}Am an einem Tag in der Raumluft gemessen. Der Wert lag bei 8,9 mBq/m³ und wurde während des Abhebens des RDB-Deckels festgestellt.

Die mit elektronischen Personendosimetern ermittelte Kollektivdosis für den Brennelementwechsel betrug 267 Pers.-mSv (korrigierte EPD-Daten). Im Vergleich zur Plandosis von 289 Pers.-mSv, liegt das Gesamtergebnis um 7,5% 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 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 1 und 2 während der Revisionen ein fachgerechter Strahlenschutz praktiziert wurde.

Strahlenschutzinstrumentierung

Im Berichtsjahr hat das ENSI im KKB stichprobenweise die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser überprüft. Der Weg von der Probenerhebung über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Monats- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar.

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

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

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem Bundesamt für Gesundheit (BAG) durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und lod-

filtern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKB.

- An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlichen Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetrie-stelle des KKB den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)

Schutz des Personals

Im Berichtsjahr wurden im KKG für rund 1325 beruflich strahlenexponierte Personen folgende Kollektivdosen ermittelt:

KKG	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
Revisionsstillstand	195
Leistungsbetrieb	91
Gesamte Jahreskollektivdosis	286

Im Kalenderjahr 2019 belief sich die Kollektivdosis im KKG auf 286 Pers.-mSv. Die höchste im KKG registrierte Individualdosis betrug 5,3 mSv (2018: 4,1 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. Bei der Zwischenabschaltung zur Beseitigung einer Leckage an einer Druck-Messleitung wurde eine

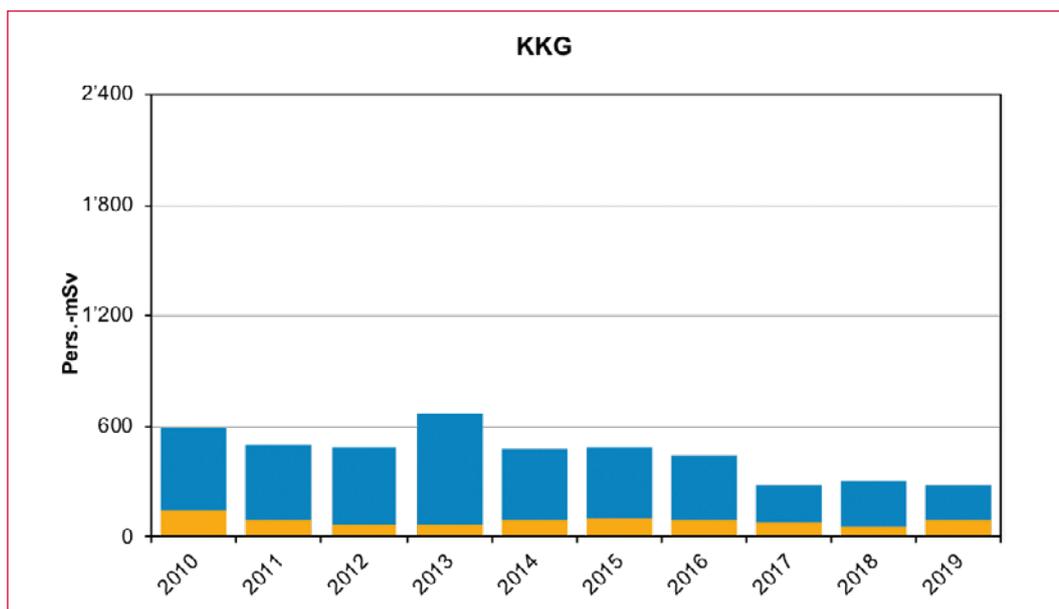
zusätzliche Kollektivdosis von zirka 4 Pers.-mSv akkumuliert.

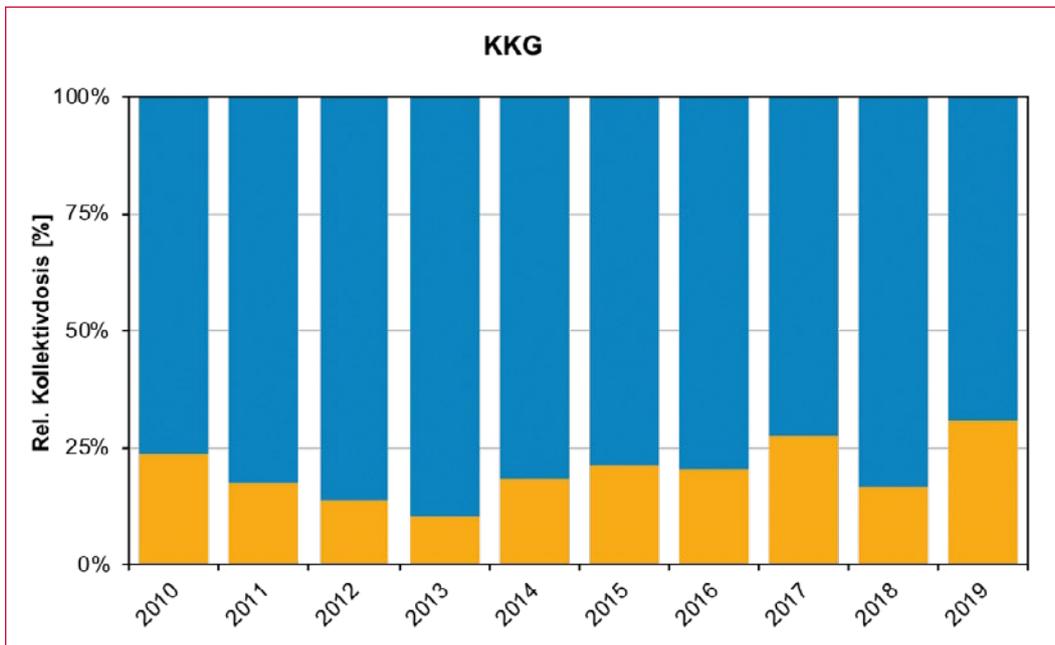
Zwischen dem 1. und 22. Juni 2019 war die Anlage wie geplant für die jährliche Revision abgestellt. Bei den Arbeiten während des Revisionsstillstands wurden 195 Pers.-mSv akkumuliert (korrigierte EPD-Daten); geplant waren 251 Pers.-mSv. Somit wurde der Dosiszielwert um zirka 23% unterschritten, was in Anbetracht des anerkannten Toleranzbereichs von $\pm 20\%$ gut übereinstimmt. 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 ^{60}Co (max. 0,08 CA, der Richtwert für Aktivität in der Luft) und von Edelgasen (max. 0,002 CA). Es wurden keine nennenswerten Aktivitätskonzentrationen von ^{131}I oder ^{132}I 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 $0,1 \text{ Bq/m}^3$.

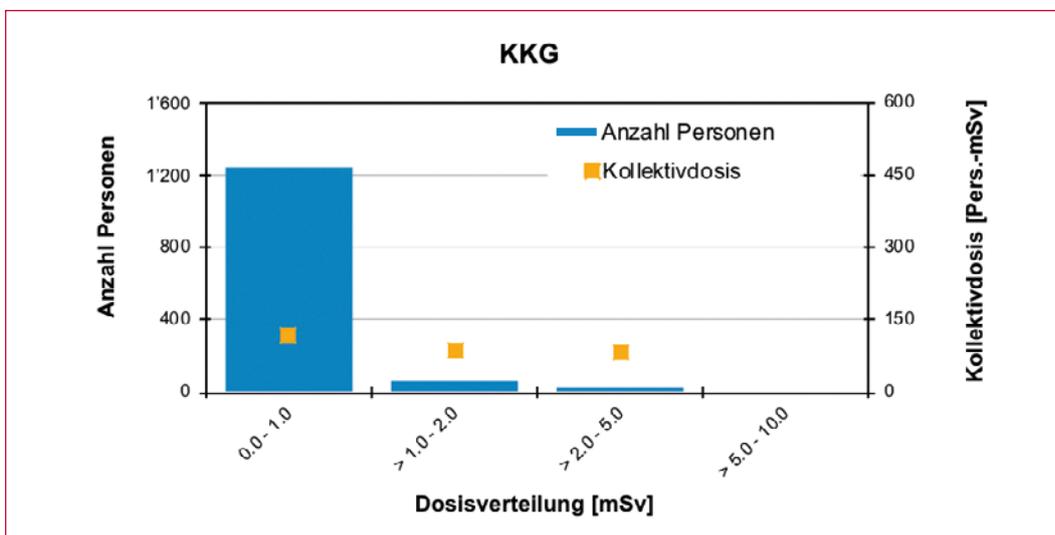
Nach dem Abfahren der Anlage präsentierte sich die kontrollierte Zone in einem radiologisch und konventionell sauberen Zustand. Der Kontaminationsgrad der kontrollierten Zone blieb auch weiterhin während der Revision niedrig.

Darstellung A.5:
Jahreskollektivdosen (Pers.-mSv) KKG von 2010 bis 2019. In Blau sind die Daten aus den Revisionsstillständen, in Gelb diejenigen aus dem Leistungsbetrieb.





Darstellung A.6:
Relative Jahreskollektivdosen KKG von 2010 bis 2019. In Blau sind die Daten aus den Revisionsstillständen, in Gelb diejenigen aus dem Leistungsbetrieb.



Darstellung A.7:
Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen 2019 im KKG.

Seit Beginn der Zinkdosierung im Jahr 2005 nahm die Dosisleistung an Primärkreislaufkomponenten im Mittel um zirka 71% ab. Im Jahr 2019 setzte sich der Trend fort und die mittlere Dosisleistung an diesen Komponenten nahm gegenüber 2018 um etwa 2% ab. Im Innenbereich des Reaktordeckels betrug die Dosisleistung 50 mSv/h und ist somit im Vergleich mit dem Jahr 2006 (280 mSv/h) rund 82% tiefer.

Zu Beginn der Revision wurde an der Druckhalter-Entwässerungsleitung ein «hot spot» mit einer Dosisleistung von 120 mSv/h detektiert. Durch den Einsatz einer Abschirm-Manschette um die Leitung konnte die Dosisleistung auf 0,1 mSv/h reduziert werden.

Insgesamt wurden in der kontrollierten Zone für Abschirmungen zur Begrenzung der externen Strahlenexposition rund 29 Mg Blei verwendet.

Als Beispiel für Optimierungsmassnahmen im Bereich Strahlenschutz sei der Wechsel eines Fingers einer Kerninstrumentierungslanze erwähnt. Das Lanzenjoch wurde zur Dekontamination unter Wasser mit Hochdruck abgespritzt, wodurch beim eigentlichen Wechsel des Lanzenfingers, der auf einem Podest hinter einer Bleiabschirmung über Wasser erfolgte, durch die Reduzierung der losen Kontamination eine sehr tiefe Jobdosis erzielt wurde. Als Grund für die 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 tiefen 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 von Inspektionen 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. Zusätzlich hat das ENSI im KKG stichprobenweise die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser überprüft. Der Weg von der Probenerhebung über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Monats- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar.

Am 17. Februar 2019 fiel der Monitor zur Überwachung der Kaminfortluft hinsichtlich radioaktiver Iod-Isotope aufgrund eines defekten Schranklüfters, der die gemeinsame Sicherung des Schranklüfters und der Messgasförderpumpe ausgelöst hatte, für rund zwei Stunden aus. 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.

Zusätzlich zu den ENSI-Inspektionen wurden bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen nationale Labors beziehungsweise 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, jährlichen Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetrie-stelle des KKG den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)

Schutz des Personals

Im Kalenderjahr 2019 wurden im KKL für 1867 beruflich strahlenexponierte Personen folgende Kollektivdosen ermittelt:

KKL	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
Revisionsstillstand	925
Leistungsbetrieb	356
Gesamte Jahreskollektivdosis	1281

Im Berichtsjahr belief sich die im KKL akkumulierte Kollektivdosis auf 1281 Pers.-mSv (DIS-Dosen). Die höchste registrierte Jahresindividualdosis betrug 8,8 mSv (2018: 12,4 mSv). Alle Individualdosen lagen deutlich unter dem Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr.

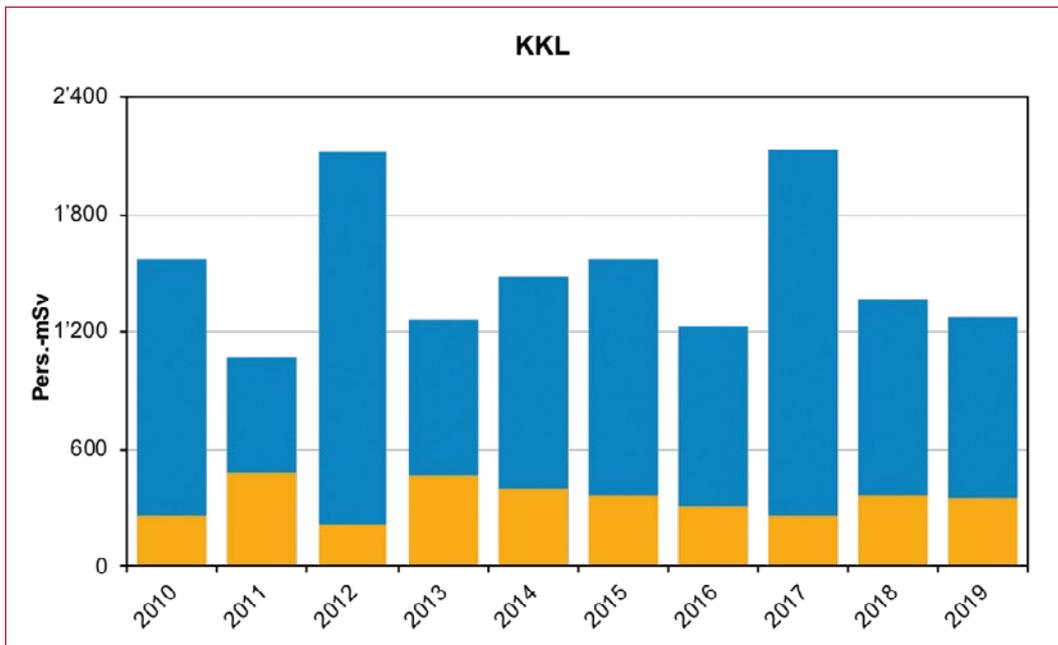
Während des 35. Zyklus sowie während den Brennelementinspektionen wurden keine Hinweise auf Brennelementdefekte festgestellt, die zum Austritt von radioaktiven Isotopen aus den Hüllrohren in das Reaktorkühlmittel geführt haben.

Die Wasserstoffeinspeisung wurde vorgängig zur Jahreshauptrevision 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.

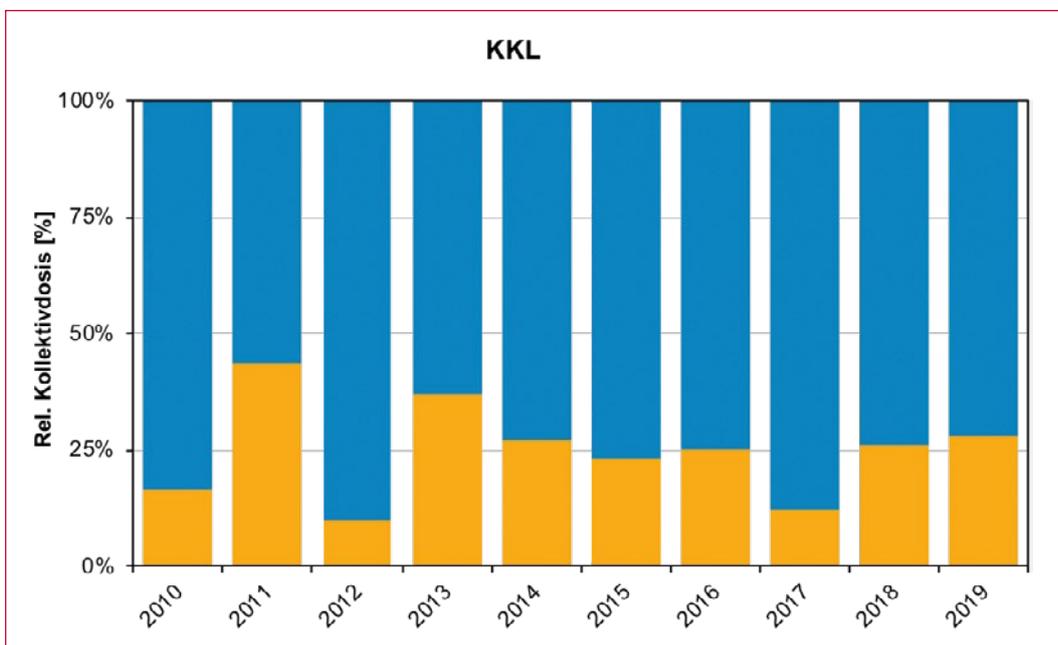
Der radiologische Zustand im Primärteil der Anlage veränderte sich im Vergleich zum Vorjahr nicht wesentlich und kann als gut bezeichnet werden. Die getroffenen Massnahmen beim Revisionsstillstand der Anlage führten in den Räumen des Abfahrkühlsystems (RHR) zu einer Stabilisierung oder sogar zu einer Abnahme der Dosisleistung. Die mittlere Dosisleistung an der Umwälzschleife lag mit 1,8 mSv/h unter dem Wert des Vorjahres (1,9 mSv/h).

Die Dosisprognose für die geplante Jahreshauptrevision 2019 (vom 3. Juni bis zum 3. Juli) ergab einen Wert von 912 Pers.-mSv. Tatsächlich führte die Jahreshauptrevision zu einer Kollektivdosis von 925 Pers.-mSv (korrigierte EPD-Daten), was mit der Planungsungenauigkeit von ± 20% im Einklang steht.

Es wurden während der Jahreshauptrevision 1612 Personenkontaminationen festgestellt, die sich mit einfachen Mitteln entfernen liessen. Die Anzahl registrierte Zonenzutritte waren 57 200. Im Mittel lagen die an den Endmonitoren am Zonenausgang



Darstellung A.8:
Jahreskollektivdosen (Pers.-mSv) KKL von 2010 bis 2019. In Blau sind die Daten aus den Revisionsstillständen, in Gelb diejenigen aus dem Leistungsbetrieb.



Darstellung A.9:
Relative Jahreskollektivdosen KKL von 2010 bis 2019. In Blau sind die Daten aus den Revisionsstillständen, in Gelb diejenigen aus dem Leistungsbetrieb.

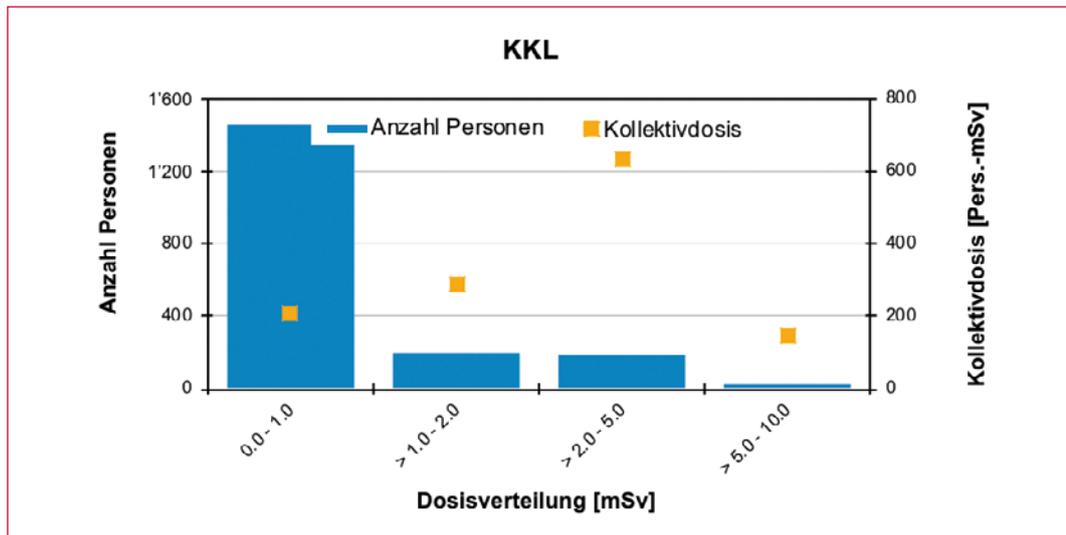
gemessenen Personenkontaminationen bezogen auf die Anzahl Austritte im Bereich von 2,8%. Dies liegt über den internen Vorgaben des KKL von max. 1%; das KKL behält den Sachverhalt unter Beobachtung. Es wurde während dieser Zeitperiode eine einzige Inkorporation mit einer Folgedosis kleiner als 1 mSv registriert.

Die Kollektivdosisplanungen der einzelnen Jobs fielen in vielen Fällen wie erwartet aus. Abweichungen von den geplanten Werten waren nachvollziehbar: Beispielsweise überstieg der Arbeitsaufwand deutlich den prognostizierten Wert oder mechanische Probleme verursachten zeitlichen Verzögerungen.

Gemäss den Meldekriterien der Richtlinie ENSI-B03 wurde dem ENSI vor der Revision eine Dosisplanung für die zerstörungsfreien Prüfungen von RDB-Stützen mit einer erwarteten Kollektivdosis von über 50 Pers.-mSv eingereicht. Diese Arbeit wurde mit 88 Pers.-mSv geplant. Für die Arbeit RDB-Schliessen, die mit 46 Pers.-mSv geplant war, hat das KKL proaktiv eine detaillierte Strahlenschutzplanung erstellt, die dem ENSI ebenfalls eingereicht wurde. Die Kollektivdosen nach abgeschlossenen Arbeiten betragen 90 beziehungsweise 39 Pers.-mSv. Dies entspricht einer guten Übereinstimmung mit der Planung.

Im Zuge der Vorbereitungsarbeiten für das Öffnen des Reaktordruckbehälters erfolgte vor dem Revi-

Darstellung A.10:
Kollektivdosen und
Anzahl beruflich
strahlenexponierter
Personen 2019
im KKL.



sionsanfang ein Training des Personals, in welchem auch Erfahrungen aus der Jahreshauptrevision 2018 diskutiert und analysiert wurden.

Die Reinigung der Oberflächen im Reaktorbecken führte zu einer erhöhten Kontamination des Drywelldeckels. Das KKL kommt deshalb zum Schluss, dass den Auswirkungen einer Dekontamination auf andere Komponenten mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden muss.

Während dem Wiederanfahren kam es zu einer Verschmutzung des Drywells mit Hydraulikflüssigkeit. Die erstellte Dosisprognose für die Reparaturen und Reinigung im Drywell von 75 Pers.-mSv wurde mit den tatsächlich akkumulierten 17 Pers.-mSv deutlich unterschritten.

Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKL wurde im Rahmen von mehreren Inspektionen 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 Berichtsjahr hat das ENSI eine Inspektion zur Materialbefreiung durchgeführt. Dabei prüfte das ENSI die eingereichten Unterlagen und führte stichprobenweise Kontrollmessungen durch. Die Ergebnisse der Kontrollmessungen stimmten mit den Resultaten des Betreibers überein. Die gesetzlichen Vorgaben bezüglich der Materialbefreiung waren eingehalten. In einer weiteren Inspektion hat das ENSI im KKL stichprobenweise die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die

Fortluft und das Abwasser überprüft. Der Weg von der Probenerhebung über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Monats- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar.

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. Die darauffolgenden Abklärungen wiesen darauf hin, dass der Mitarbeiter in diesem Zeitraum auch die Prüfprotokolle von weiteren mobilen Strahlungsmessgeräten gefälscht hatte. Die Nachprüfungen der Messbeständigkeit der betroffenen Messgeräte zeigten, dass keine Unterschreitungen der Sollwertebereiche festgestellt wurden: die Messgeräte haben während der entsprechenden Periode konform gemessen beziehungsweise waren einsatzbereit. Die Sicherheit des Personals und der Bevölkerung sowie der Umwelt war somit stets gewährleistet. Als Folge dieses Vorkommnisses intensivierte das ENSI im Berichtsjahr seine Inspektionsstätigkeit. Die Ergebnisse dieser intensivierten Aufsicht sind im Aufsichtsbericht 2019 des ENSI dargestellt.

Zusätzlich zu den ENSI-Inspektionen wurden bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen nationale Labors beziehungsweise 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 bis auf eine Probe Übereinstimmung mit den Werten des KKL. Das KKL hat

Massnahmen identifiziert um solche Abweichungen in Zukunft zu verhindern.

- An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlichen Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetrie-stelle des KKM den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

1.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)

Schutz des Personals

2019 war das letzte Jahr des Leistungsbetriebs von KKM. Nach dem Wiederanfahren im September 2018 wurde ein verlängerter Zyklus ohne Revisionsabstellung gefahren. Das Kernkraftwerk hat am 20. Dezember 2019 seinen Leistungsbetrieb definitiv eingestellt.

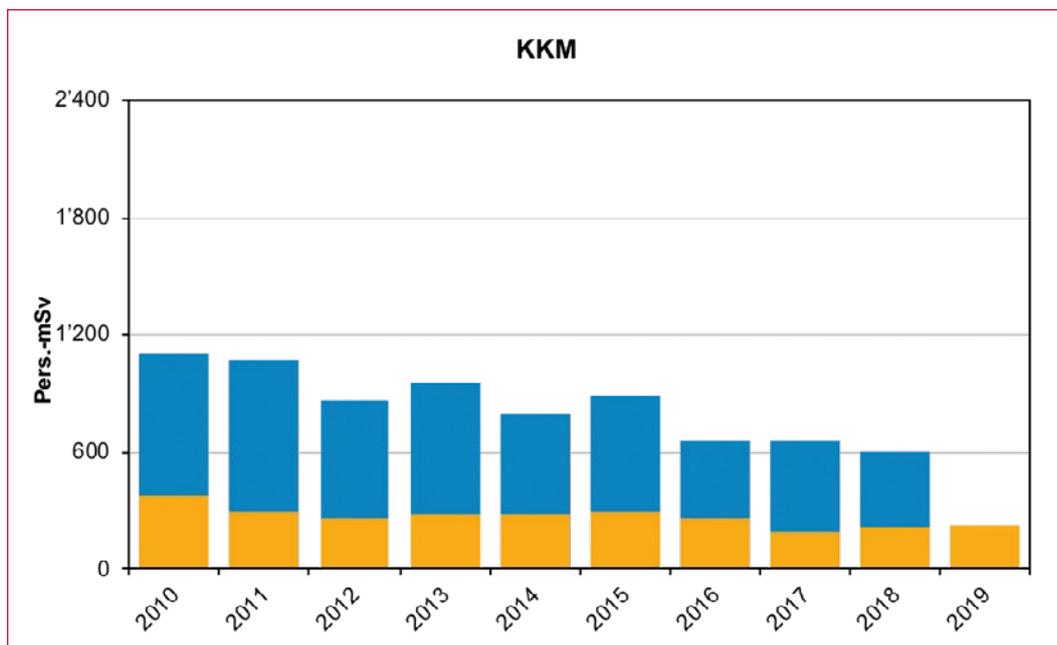
Im Berichtsjahr wurden im KKM für 631 beruflich strahlenexponierte Personen folgende Kollektivdosen ermittelt:

KKM	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
Revisionsstillstand	–
Leistungsbetrieb	230
Gesamte Jahreskollektivdosis	230

Im Berichtsjahr belief sich die Kollektivdosis im KKM auf 230 Pers.-mSv (mittels TLD erfasst). Die höchste ermittelte Individualdosis betrug 5,9 mSv (2018: 7,6 mSv). Der in der Strahlenschutzverordnung festgelegte Jahresgrenzwert von 20 mSv für beruflich

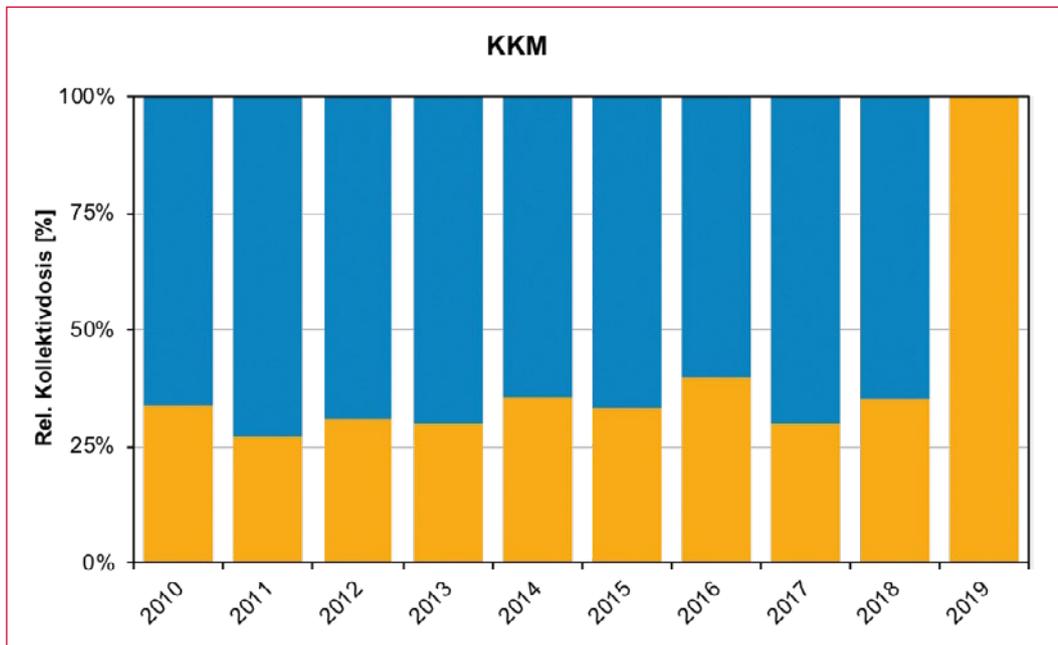
strahlenexponierte Personen wurde somit deutlich unterschritten. Im Berichtszeitraum traten weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle auf.

Das KKM hat im Berichtsjahr die in den Vorjahren etablierte wasserchemische Fahrweise mit Zink-, Edelmetall- und Wasserstoff-Einspeisung im verlängerten Betriebszyklus 46 fortgesetzt. Die Edelmetall-Einspeisungen in diesem Zyklus verliefen wie geplant. Die 21. und 22. Edelmetalleinspeisung (Platin) erfolgte im Juli respektive im Oktober/November. Dabei wurden 188,5 g und 230,8 g Platin zudosiert. Anhand einer höheren Zudosierungsrate als in vergangenen Jahren wurde das Ziel verfolgt, möglichst viele Aktivierungsprodukte ins Reaktorwasser zu lösen, um diese mit der Reaktorwasserreinigung aus dem Kreislauf zu entfernen. Aufgrund des Wegfalls der Jahresrevision konnten im Berichtsjahr keine Dosisleistungsmessungen an der Frischdampfleitung und an den Umwälzschleifen durchgeführt werden. Diese werden erst nach dem Öffnen des Drywells im Frühjahr 2020 getätigt. Die dominierenden Aktivitätsprodukte ^{58}Co und ^{59}Co im Reaktorwasser waren während des Berichtszeitraums, mit Ausnahme der Zeit der forcierten Edelmetalleinspeisung, auf einem durchgehend tiefen Niveau unterhalb von $1,0\text{E}+07 \text{ Bq/m}^3$. Während des Betriebs bis zum endgültigen Abschalten des Reaktors am 20. Dezember 2019 wurden keine Anzeichen für einen Brennelementschaden festgestellt. Die Brennstoffschadensfreiheit und ein möglichst tiefer Wert bei der Dosisleistung an den Umwälzschleifen stellen eine gute radiologische Ausgangsbasis für den Rückbau dar.

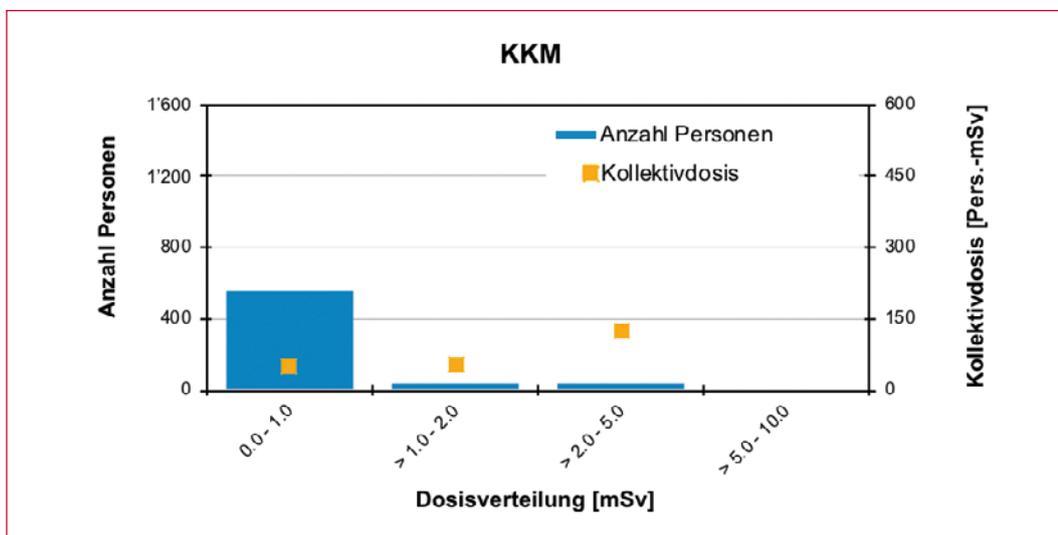


Darstellung A.11: Jahreskollektivdosen (Pers.-mSv) KKM von 2010 bis 2019. In Blau sind die Daten aus den Revisionsstillständen, in Gelb diejenigen aus dem Leistungsbetrieb.

Darstellung A.12:
Relative Jahreskollektivdosen KKM von 2010 bis 2019. In Blau sind die Daten aus den Revisionsstillständen, in Gelb diejenigen aus dem Leistungsbetrieb. 2019 wurde kein Revisionsstillstand abgehalten.



Darstellung A.13:
Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen 2019 im KKM.



Für den Berichtszeitraum 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 Verhalten der in der kontrollierten Zone arbeitenden Personen war bei den verschiedenen Inspektionen des ENSI stets korrekt und der praktizierte Strahlenschutz war gesetzeskonform.

Das KKM verfügt über qualifiziertes und erfahrenes Eigenpersonal; es konnte damit die radiologische Überwachung während des letzten Betriebszyklus ausführen. Die Herausforderung für das KKM besteht nun darin, die geordnete Ausserbetriebnahme und den Rückbau in den folgenden Jahren zu bewerkstelligen und das dafür notwendige Personal für einen zielgerichteten Strahlenschutz bereitzustellen.

Im Hinblick auf die Stilllegung des KKM hat das ENSI im Berichtsjahr die geplanten Arbeiten aus Sicht des Strahlenschutzes bewertet. Insbesondere wurden die Themen zum Überwachungs- und Zonenkonzept beurteilt. Die Einhaltung und Überwachung der Zonentypen- und Gebietstypenkonformität stellen unter anderem die Grundlage für den operationellen Strahlenschutz dar. Dabei spielen die vorbereiteten Strahlenschutzmassnahmen eine tragende Rolle, um dem Optimierungsprinzip gerecht zu werden. Vor diesem Hintergrund und in Anbetracht der Vielzahl an strahlenschutzrelevanten Tätigkeiten im Jahr 2020 hat das ENSI eine umfassende Strahlenschutzplanung gefordert und bereits auch Detailplanungen für dosisintensive Arbeiten beurteilt.

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 Messgeräte einwandfrei funktionierten. In einer weiteren Inspektion hat das ENSI im KKM stichprobenweise die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser überprüft. Der Weg von der Probenentnahme über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Monats- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar.

Im Berichtsjahr hat das ENSI das Verfahren zur Freimessung von Materialien mit der für die Stilllegung vom KKM neu angeschafften Gesamt-Gamma-Freimessanlage freigegeben. Dasselbe gilt auch für das Verfahren zur Freimessung von Materialien mittels In-Situ-Gammaspektrometrie.

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

Zusätzlich zu den ENSI-Inspektionen wurden bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen nationale Labors beziehungsweise 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, jährlichen Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des KKM den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten bis auf eine für den Personenschutz unbedeutende Ausnahme erbracht. Im Bereich der niederenergetischen Gamma-Strahlung werden die akkumulierten Dosen überschätzt. Abklärungen zur Verbesserung der Messgenauigkeit wurden in die Wege geleitet.

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. Das PSI-Personal forscht 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 sich im Rückbau befindlichen Forschungsreaktoren SAPHIR und DIORIT sind Kernanlagen im Aufsichtsbereich des ENSI. Weitere PSI-Einrichtungen der Medizin und Forschung wie zum Beispiel Beschleuniger fallen in den Aufsichtsbereich des BAG.

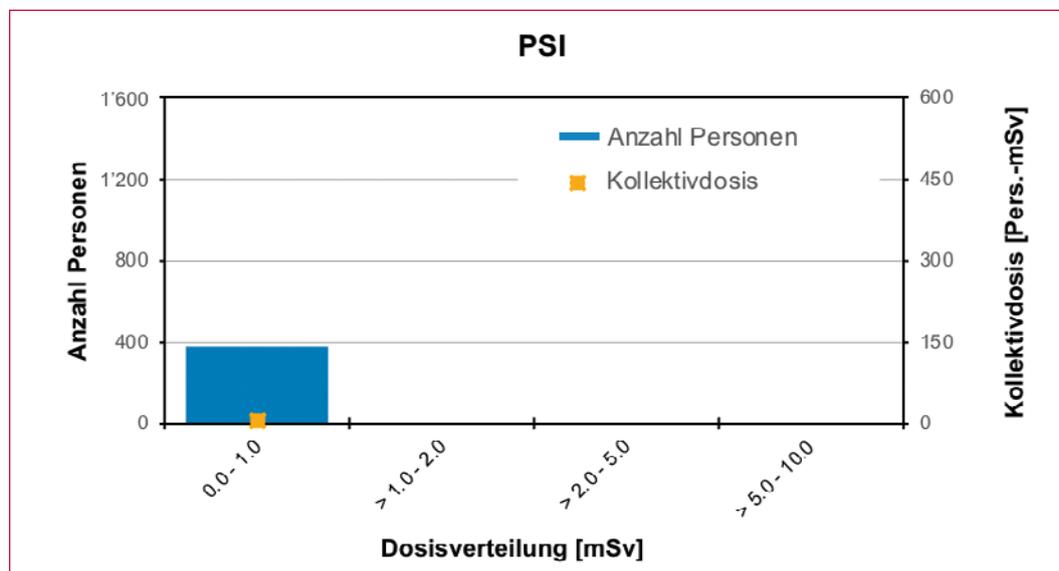
Im Jahr 2019 akkumulierten die 1973 beruflich strahlenexponierten Personen des PSI eine Kollektivdosis von 28 Pers.-mSv (2018: 31,6 Pers.-mSv für 1928 Personen). Davon stammen 4,7 Pers.-mSv aus dem Aufsichtsbereich des ENSI mit 378 beruflich strahlenexponierten Personen (2018: 7,5 Pers.-mSv für 361 Personen) bei einer höchsten Individualdosis von 0,5 mSv (2018: 0,8 mSv).

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

Strahlenschutzinstrumentierung

Im Berichtsjahr hat das ENSI eine Inspektion zur Materialbefreiung durchgeführt. Dabei prüfte das ENSI die eingereichten Unterlagen und führte stichprobenweise Kontrollmessungen durch. Die Ergebnisse der Kontrollmessungen stimmten mit den Resultaten des Betreibers überein. Die gesetzlichen Vorgaben bezüglich der Materialbefreiung waren eingehalten. Zusätzlich hat das ENSI im PSI stichprobenweise die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser überprüft. Der Weg von der Probenerhebung, über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Quartals- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar.

Am 8. Juni 2019 fiel die radiologische Abfalllabor-Fortluftstrangüberwachung infolge eines defekten Bauteils im Datenlogger für 12 Tage aus. Am 27. November 2019 hatte die Hotlabor-Fortluftstrangüberwachung die halbjährliche Funktionsprüfung nicht bestanden und wurde in Folge dessen für 7 Tage ausser Betrieb genommen. Die Detektoren zeigten bei der Konstanzprüfung mit radioaktiven Prüfquellen nicht die geforderten Sollwerte an. Nach einer eingehenden Überprüfung der Anlage und der Nachjustierung der Hochspannung des Iod-Detektors konnte die Störung behoben werden. Da sowohl der Abfalllabor- wie auch der Hotlabor-Fortluftstrang in das Hochkamin geleitet werden, war mit der Hochkamin-Fortluftüberwachung PSI-Ost trotz der beiden Vor-



Darstellung A.14: Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im PSI im Aufsichtsbereich des ENSI.

kommissionen 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 beziehungsweise 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 PSI.
- An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlichen Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetrie-stelle des PSI den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)

Im Jahr 2019 akkumulierten im ZZL 212 beruflich strahlenexponierte Personen eine Kollektivdosis von 19,3 Pers.-mSv. Sie lag damit bei 76% des für das Berichtsjahr geplanten Wertes von 25,5 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 oder der Arbeitsumfang geringer ausfiel als erwartet. Werden dann noch gemäss Art. 32 Abs. 2 der Dosimetrieverordnung viele kleine Dosen unterhalb von 0,075 mSv abgerundet, so kann sich eine Diskrepanz zur Planungs-dosis ergeben. Die höchste registrierte Einzeldosis betrug 1,6 mSv (2018: 2,6 mSv). Im Berichtsjahr wurden weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch

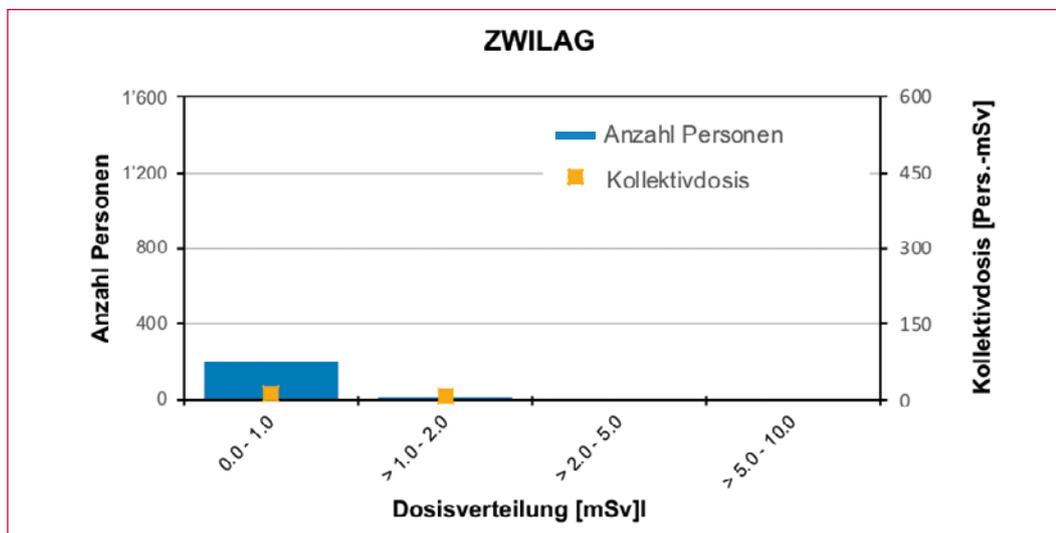
Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle festgestellt. Die durch den Strahlenschutz regelmässig erhobenen Proben lieferten keine Hinweise auf unzulässige Kontaminationen auf den Oberflächen oder in der Atemluft. Zu den strahlenschutzrelevanten Arbeiten im Berichtsjahr mit signifikanten Beiträgen zur Kollektivdosis zählten unter anderem die Arbeiten an der Ausmauerung der Plasma-Anlage, die Instandhaltungsarbeiten Gebäude V, der Service der Rauchgasreinigung und internen Wasseraufbereitung, der Behälterempfang, der Verbrennungsbetrieb sowie Arbeiten im Gebäude H und an Transport- und Lagerbehälter.

Im Rahmen der 26. Verarbeitungskampagne wurden 142 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 2019 eine reguläre Kampagne mit einer Dauer von 12 Wochen zwischen dem 23. September und dem 13. Dezember 2019. Während dieser Kampagne wurden insgesamt 671 Abfallfässer mit aktivem verbrenn- und schmelzbarem Abfall, davon 6 Fässer mit aktiven Flüssigabfällen, sowie 39 Fässern mit inaktivem Glas verarbeitet. 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. Zusätzlich hat das ENSI eine Inspektion zur Materialbefreiung durch-

Darstellung A.15:
Kollektivdosen und
Anzahl beruflich
strahlenexponierter
Personen im ZZL.



geführt. Dabei prüfte das ENSI die eingereichten Unterlagen und führte stichprobenweise Kontrollmessungen durch. Die Ergebnisse der Kontrollmessungen stimmten mit den Resultaten des Betreibers überein. Die gesetzlichen Vorgaben bezüglich der Materialbefreiung waren eingehalten. 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. In einer weiteren Inspektion hat das ENSI im ZZL stichprobenweise die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser überprüft. Der Weg von der Probenerhebung, über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Monats- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar.

Zusätzlich zu den ENSI-Inspektionen wurden bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen nationale Labors beziehungsweise 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 2019 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 570 Stunden bei kleiner Leistung (bis 50 W) für Ausbildungs- und Forschungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 1596 Wh thermische Energie erzeugt. Im Vergleich zum Vorjahr bedeutet dies einen Anstieg in der Betriebsdauer von 34% und bei der erzeugten Energie von 102%. 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 13 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 2019 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 2019 eingehalten wurden.

2.4 Universität Basel

Der Forschungsreaktor AGN-211-P der Universität Basel diente bis zu seiner endgültigen Ausserbetriebnahme im Jahr 2015 vorwiegend der Ausbildung von Studentinnen und Studenten sowie der Anwendung der Neutronenaktivierungsanalytik.

Vor der Ausserbetriebnahme wurde der Kernbrennstoff 2015 in die USA zurückgeführt. Das gesamte noch in der Anlage vorhandene Quellinventar aus dem Aufsichtsbereich des ENSI wurde 2015 in den Aufsichtsbereich des Bundesamtes für Gesundheit transferiert.

Die Universität Basel stellte 2018 den Freigabeantrag zur Phase 1 des Rückbaus der Anlage. Das ENSI hat den Antrag geprüft und erteilte als zuständige Aufsichtsbehörde des Bundes im April 2019 die Freigabe zum Rückbau.

Der Reaktor befand sich im Aufsichtsjahr bis zum Juni 2019 im Nachbetrieb und seitdem im Rückbau. Die Rückbauarbeiten konnten im Dezember 2019 abgeschlossen werden. Die Anlage steht für die Freimessung der Räume bereit.

Insgesamt konnten etwa 3,400 t Material freigegeben und der konventionellen Entsorgung zugeführt werden. 2,935 t Material wurden als radioaktiver Abfall dem PSI zur Entsorgung übergeben. Die für den Reaktor tätigen Personen des Eigenpersonals akkumulierten im Berichtsjahr im Rahmen des Nachbetriebs und Rückbaus Dosen, die unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Das im Rückbau eingesetzte Fremdpersonal akkumulierte eine Kollektivdosis durch Direktstrahlung von 0,034 Pers.-mSv, die maximale Individualdosis war 0,006 mSv. Da der Arbeitsbereich für den Rückbau

stark radonbelastet ist, wurden auch die Radondosen des Fremdpersonals erhoben. Die durch Radon akkumulierte Kollektivdosis war 12,3 Pers.-mSv, die maximale Individualdosis betrug 3,64 mSv. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und den Abwasserpfad war unbedeutend.

Das ENSI kam zum Schluss, dass die Universität Basel die vorgegebenen Betriebsbedingungen und die Vorschriften zum Strahlenschutz für das Personal und die Umwelt einhielt.

Strahlenschutzinstrumentierung

Im Berichtsjahr wurden der Reaktor zurückgebaut und die dabei anfallenden Materialien wurden entweder befreit oder als radioaktiver Abfall entsorgt. In diesem Zusammenhang hat das ENSI eine Inspektion zur Materialbefreiung durchgeführt. Dabei prüfte das ENSI die eingereichten Unterlagen und führte stichprobenweise Kontrollmessungen durch. Die Ergebnisse der Kontrollmessungen stimmten mit den Resultaten des Betreibers überein. Die gesetzlichen Vorgaben bezüglich der Materialbefreiung wurden eingehalten.

3 Dosimetrie

3.1 Einleitung

Als zuständige Aufsichtsbehörde hat das ENSI zu prüfen, ob bei der Strahlenexposition des Personals die gesetzlichen Limiten sowie die regulatorischen Richtwerte eingehalten werden. Die 2018 in Kraft gesetzte revidierte 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 Dosimetriemeldungen 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 Kalenderjahr 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 und nimmt bei Bedarf mit den Betreibern für Abklärungen Kontakt auf. Durch die Planungen wird ein wichtiger 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 bespricht das ENSI die Planung und Optimierungsmassnahmen mit dem Betreiber.

Zur Ermittlung der Dosen und zum Nachweis der Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben betreibt jedes Kernkraftwerk und das PSI eine vom ENSI anerkannte Personendosimetriestelle, die anerkannte persönliche Dosimeter für das Eigen- und Fremdpersonal zur Verfügung stellt, sie auswer-

tet und die akkumulierten Dosen registriert. Für das ZZL übernimmt die Personendosimetriestelle des KKB diese Aufgaben. Die an den Hochschulen verwendeten Dosimeter werden für die EPFL vom Institut de radiophysique (IRA) und für die Universität Basel von der Suva ausgewertet. Die Neutronendosimeter werden für alle Anlagen von der Dosimetriestelle des PSI zur Verfügung gestellt und ausgewertet.

3.2 Personendosimetrie

Das dosimetrierte Personal in den Kernanlagen wird in Eigenpersonal (EP) und Fremdpersonal (FP) eingeteilt. Ferner wird das Personal auch in Worker Kategorie A oder B aufgeteilt. Eine Person in der Kategorie A darf nicht mehr als 20 mSv pro Kalenderjahr akkumulieren, in der Kategorie B ist der entsprechende Grenzwert laut Strahlenschutzverordnung bei 6 mSv festgelegt.

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 für die Informationen in seinem Strahlenschutzbericht bereinigt. Dadurch und durch die in der Einleitung zu Teil A erwähnten Rundungen können sich in den nachfolgenden Tabellen numerische Unterschiede ergeben.

Für das Jahr 2019 haben die fünf vom ENSI anerkannten Personendosimetriestellen (KKB, KKG, KKL, KKM und PSI) insgesamt 5093 beruflich strahlenexponierte Personen mit einer Kollektivdosis von 2392 Pers.-mSv gemeldet (Mehrfachbuchungen bereinigt). Diese Werte schliessen die Meldungen der IRA und Suva für das beruflich strahlenexponierte Personal an der EPFL und der

Uni Basel ein. Die Meldungen der Dosimetriestelle des PSI an das ENSI umfassen seit 2018 nur Dosen von Anlagen aus dem Aufsichtsbereich dem ENSI. Die vom PSI für alle Anlagen der Schweiz zur Verfügung gestellten und ausgewerteten Neutronen-Dosimeter vom Typ PADC (siehe auch Tabelle C.4) werden im Aufsichtsbereich des ENSI von den einzelnen Personendosimetriestellen der Kernanlagen abgegeben und die Resultate ebendort entsprechend verbucht.

In den Tabellen C.1 bis C.4 im Anhang C werden die detaillierten Dosimetriedaten nach Anzahl Personen und nach Kernanlagen aufgeschlüsselt.

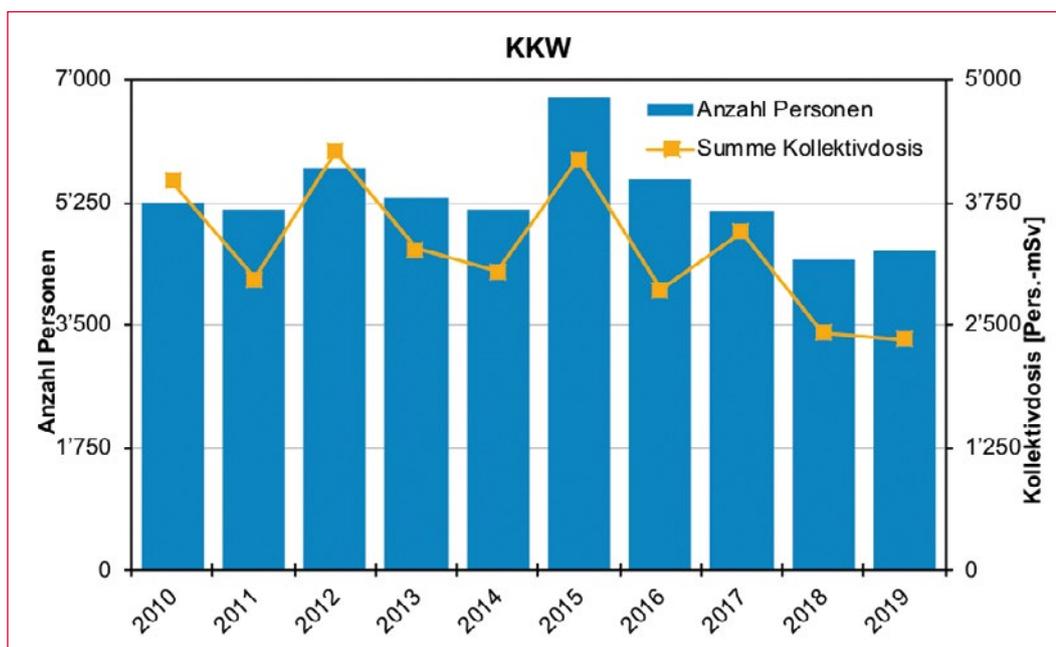
3.3 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen

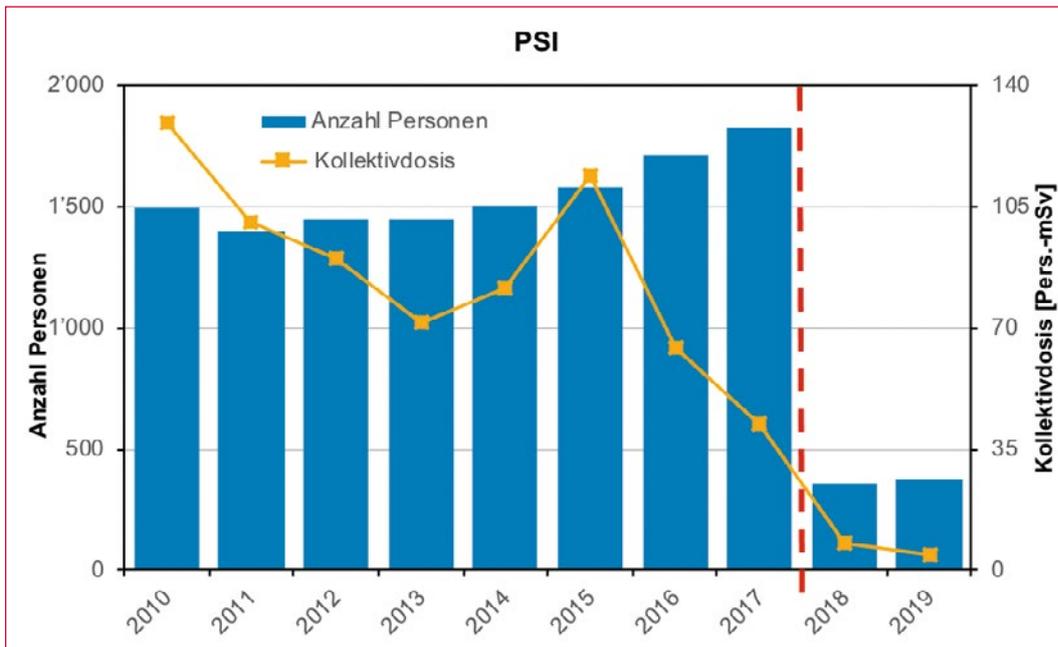
Die Kollektivdosen konnten grundsätzlich im Laufe der Jahre deutlich verringert werden und haben sich, nicht zuletzt aufgrund des anfangs der neunziger Jahre in Kraft getretenen Jahresgrenzwerts für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv auf einem niedrigen Niveau eingependelt. Verlängerte Revisionsstillstände stechen dann schnell aus dem Verbund der Kollektivdosen heraus, weil mehr Arbeiten im Strahlenfeld durchgeführt werden (siehe Darstellung A.1) und die Anzahl Anwesenheitsstunden im Strahlenfeld (auch mit tiefen Dosisleistungen) zunimmt. Umfangreiche Systemänderungen oder grössere Reparaturen können die akkumulierten Kollektivdosen in einem Jahr stark beeinflussen, obwohl die Grundlast der Strahlenexposition für die einzelnen Personen grundsätzlich gleich bleibt.

Der Quotient aus der Dosis pro erzeugter elektrischer Energie hat sich aufgrund der erreichten Dosisreduktionen, der in der Mehrheit zeitlich verkürzten Stillstände und 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 2019 erreichte Wert liegt mit 0,089 Pers. mSv pro GWh_(e) sogar unter den Werten der Vorjahre und ist der tiefste Wert seit 1991.

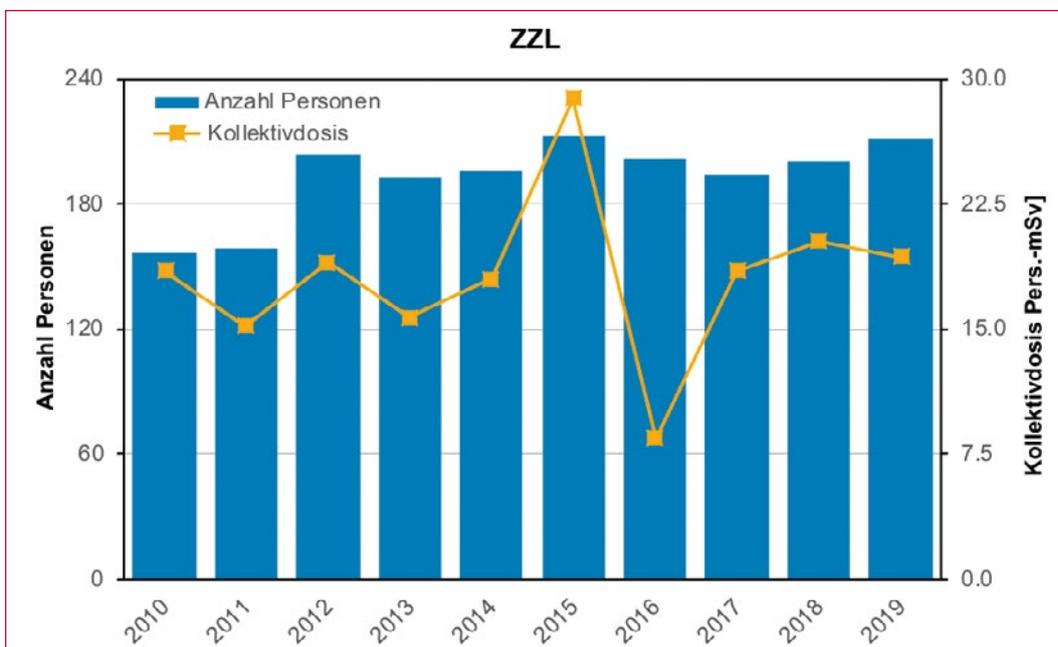
Über die letzten Jahre konnten die mittleren Individualdosen deutlich gesenkt werden. Die Zahl der beruflich strahlenexponierten Personen im Aufsichtsbereich des ENSI verhielt sich über einige Jahre konstant, zeigte dann aber wieder eine deutlich steigende Tendenz und sinkt nun seit 2015 wieder. Im Jahr 2019 lag die Anzahl der beruflich strahlenexponierten Personen mit 5093 gegenüber dem Vorjahr (4938) auf etwa gleichem Niveau. Die von diesen Personen akkumulierte Kollektivdosis von 2392 Pers.-mSv (2018: 2449 Pers.-mSv) fiel geringer aus. Die mittlere Exposition des Eigen- und Fremdpersonals lag im Jahr 2019 für alle Kernanlagen mit 0,5 mSv auf dem Niveau des Vorjahres. Die maximalen Individualdosen, die von wenigen Spezialisten an Arbeitsorten mit relativ hoher Ortsdosisleistung oder nach Arbeiten in mehreren Kraftwerken akkumuliert werden können, sind nach wie vor eine Herausforderung für den operationellen Strahlenschutz. Im Berichtsjahr 2019 wurde der Jahresgrenzwert von 20 mSv für die Individualdosis des beruflich strahlenexponierten Personals im Aufsichtsbereich des ENSI in allen Kernanlagen eingehalten. Die höchste akkumu-

Darstellung A.16:
Summe der Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen in Kernkraftwerken von 2010 bis 2019.





Darstellung A.17: Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im PSI von 2010 bis 2019 (ab 2018 werden für das PSI nur die für die Anlagen im Aufsichtsbereich des ENSI akkumulierten Dosen aufgeführt).



Darstellung A.18: Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen am ZZL von 2010 bis 2019.

lierte Individualdosis lag mit 8,8 mSv unter derjenigen des Vorjahres (12,4 mSv). Seit Inkrafttreten der damals neuen Strahlenschutzverordnung im Jahr 1994 gab es im Aufsichtsbereich des ENSI drei Grenzwertüberschreitungen bei der Individualdosis von beruflich strahlenexponiertem Personal, die aber in jedem Fall unter 50 mSv lagen.

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 Strahlendosen führen, zeigen nachhaltigen Erfolg. Die Herausforderung sowohl für die Betreiber als auch für die Aufsichtsbehörde besteht darin, die-

sen guten Zustand zu erhalten. Trotzdem kann es, wie im KKL, eine seit Mitte der 2000er Jahre anhaltende sichtbare Tendenz zu höheren Kollektivdosen geben. Der Grund dafür kann in umfangreichen und dosisintensiven Arbeiten gefunden werden, die sicherheitstechnisch notwendig sind. Das KKL und das ENSI sind jedoch weiterhin bestrebt, geeignete Massnahmen zu ergreifen, um die Tendenz des Kollektivdosisanstiegs abzufordern. In den letzten Jahren hat sich die Kollektivdosis aber auf einem höheren Niveau wieder stabilisiert.

Ungeplante Strahlenexpositionen können durch konsequente Aus- und Weiterbildung des Personals im Strahlenschutz, Planung der Tätigkeiten

und deren Abfolge, Absperrungen (Zutritt- und Aufenthaltseinschränkungen) 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 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 beispielsweise temporäre Abschirmungen aus Bleiblechen, ist weitestgehend ausgeschöpft. Optimierungen sowie schnellere Montage und Demontage von Abschirmungen, Verfeinerungen beim Design und bei der Planung von Massnahmen erlauben es, die Effizienz dieser Mittel noch zu steigern. Beiträge zu einer weiteren signifikanten Dosisreduktion dürfen aber nicht mehr erwartet werden. Vielmehr werden sowohl alterungsbedingte Aufwendungen für die Werkstoffprüfung im Strahlenfeld und die damit verbundene Exposition des Personals zu beobachten sein. Zudem entstehen neue Herausforderungen aufgrund des startenden Rückbaus der Kernanlagen. Die Gewährleistung der radiologischen 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 in der Schweiz und im Ausland nicht vernachlässigt werden.

Änderungen in der Wasserchemie in Druckwasser (DWR) wie auch in den Siedewasserreaktoren (SWR) können zu einer Dosisreduktion beitragen. Das Verfahren der DZO-Dosierung (depleted zinc oxide) wird vom KKG seit dem Jahr 2005 mit Erfolg angewendet und hat eine im Vergleich mit diesem Zeitpunkt im Durchschnitt um 71% gesunkene Dosisleistung gebracht, die gegenüber dem Vorjahr noch leicht ausgeprägter war (knapp 2% gegenüber 2018). Diese Verringerungen der Oberflächen- und Ortsdosisleistung sind erfreulich und tragen ebenfalls zur Minimierung der Kollektiv- und Individualdosen bei.

Das KKB stützt sich zur Dosisreduktion auf die seit einigen Jahren optimierte Abfahrchemie. Dabei wird während der Reinigung beim Abfahren 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 hauptsächlich durch ^{60}Co verursacht wird, nicht weiter ansteigt 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, indem die Lithiumkonzentration erhöht wurde.

Bislang konnten keine unerwünschten Auswirkungen der 2010 erfolgten Änderung der Reaktorkühlmittelchemie bei Leistungsbetrieb festgestellt werden. Im KKB 1 konnten nach dem Stillstand von 2015 bis 2018 wieder ähnlich tiefe Werte für die ^{58}Co - und ^{60}Co -Konzentrationen gemessen werden wie in den Jahren davor. Im KKB 2 blieben die Konzentrationen von ^{58}Co und ^{60}Co im Reaktorkühlmittel seit den letzten Zyklen auf ähnlich niedrigem Niveau.

Das KKM hat im Berichtsjahr die in den Vorjahren erfolgreiche wasserchemische Fahrweise mit Zink-, Edelmetall- und Wasserstoff-Einspeisung auch im Hinblick auf einen bestmöglichen Startzustand für die Stilllegungsarbeiten fortgesetzt. Im gesamten Berichtsjahr wurde im KKM dem Speisewasser Zink und Wasserstoff und dem Rohkondensat Sauerstoff zudosiert. Die Verfügbarkeit der Wasserstoffeinspeisung lag bei 99,8%. Im Berichtsjahr wurden im KKM im Juli und Oktober/November 188,5g respektive 230,8g Platin zudosiert. Der Mittelwert aus insgesamt 30 Dosisleistungsmessungen an verschiedenen Stellen an den beiden Umwälzschleifen wurde aufgrund des Wegfalls des Revisionsstillstandes im Jahr 2019 nicht gemessen. Die Abnahme der mittleren Ortsdosisleistung an der Umwälzschleife im Vergleich zu 2004 (4 mSv/h) betrug auf Basis der 2018 gemessenen Werte 55%.

Das KKL hat im Berichtsjahr weiterhin ganzjährig mit einer erhöhten Rate von 0,38 ppb Zink ins Speisewasser zudosiert. Das KKL führte im 2019 endenden Betriebszyklus im Januar und April zwei Edelmetall-Einspeisungen mit 250g beziehungsweise 200g Platin durch. Zwei weitere Applikationen folgten im folgenden Betriebszyklus im September und Dezember mit weiteren 250g beziehungsweise 200g Platin. Während 96,7% des

Berichtsjahres wurde zudem Wasserstoff ins Speisewasser zudosiert (Vorjahr: 98,8%).

Der Mittelwert der Dosisleistung an den Umwälzschleifen sank im Vergleich zum Vorjahr um rund 2% von 1,884 auf 1,84 mSv/h. Der Mittelwert für den Betriebszyklus der ^{60}Co -Konzentration im Reaktorwasser sank im Vergleich zum Vorjahr um etwa 15% auf $1,4\text{E} + 7 \text{ Bq/m}^3$. Eine weitere Bildung der in den vergangenen Jahren vermehrt auftretenden Hotspots durch akkumulierte aktivierte Korrosionsprodukte wurde durch den optimierten Betrieb der Systeme verhindert.

Der Einsatz von persönlichen Funkdosimetern bewährt sich zunehmend bei Arbeiten in wechselnden Strahlenfeldern. Mit diesen Geräten kann eine nicht gerechtfertigt erhöhte Strahlenexposition einer Person vermieden werden, ohne dass sich die überwachenden Strahlenschutzfunktionsträger selbst ins Strahlenfeld begeben müssen.

Zusammenfassend erwartet das ENSI für den Strahlenschutz, dass sich der gute Zustand in den schweizerischen Kernkraftwerken halten wird. Für das Anlagenpersonal könnte dies eine weitere, wenn auch im Durchschnitt nur geringe Reduktion der überwiegend schon geringen Exposition bedeuten. 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 radiologische 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 Gamma-Kamera, die Verwendung von Funkdosimetern, die Einführung der Zinkeinspeisung und der Einsatz von Messgeräten mit Anzeigen sowie Warneinrichtungen ausserhalb von Strahlenfeldern könnten noch zu Verbesserungen beitragen.

B: Umweltradioaktivität bei Kernanlagen, Überwachung

Vorwort der Leitung der Sektion Strahlenmessung

Die Sektion Strahlenmessung befasst sich mit den Messmitteln zum Schutz 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 für das Jahr 2019 folgende Highlights hervorzuheben:

- Am 20. Dezember 2019 wurde das Kernkraftwerk Mühleberg endgültig abgestellt. Im Hinblick auf die bei der Stilllegung zur Befreiung anfallenden Materialmengen hat der Betreiber einen neuen Freimessschrank angeschafft. Die Sektion hat die Verfahren zur Befreiung von Materialien mittels dieses Schrankes und mittels In-Situ-Gammaskopmetrie beurteilt und freigegeben.
- Mit der Übernahme von neuen, international harmonisierten Befreiungsgrenzen in der Strahlenschutzverordnung wird das Volumen der bei der Stilllegung der Schweizer Kernkraftwerke anfallenden radioaktiven Abfälle mehr als verdoppelt. Dieser Effekt kann mit einer 30-jährigen Abklinglagerung nach Art. 117 StSV teilweise kompensiert werden. Die am 1. Februar 2019 in Kraft getretene Revision der KEV ermöglicht nun auch den Bau und Betrieb von Abklinglagern ausserhalb von Kernanlagen. Auf Basis der Strahlenschutzgesetzgebung wurden im Berichtsjahr die Anforderungen an die Sicherheit und Sicherung sowie an das Aufsichts- und Bewilligungsverfahren für ein solches externes Abklinglager definiert. Diese externen Abklinglager müssen nach der zurzeit noch gültigen Kernenergiehaftpflichtverordnung nicht versichert werden. Dies ändert sich aber, sobald das Pariser Übereinkommen über die Haftung gegenüber Dritten auf dem Gebiet der Kernenergie in Kraft tritt. Aufgrund des geringen Gefährdungspotentials eines solchen Abklinglagers will das Bundesamt für Energie die Herausnahme der externen Abklinglager aus dem Geltungsbereich des Pariser Übereinkommens beim zuständigen Gremium der NEA

beantragen. Die Sektion hat eine Vorlage mit den technischen Parametern für die Ausnahmeregelung und die Explanatory Notes erstellt.

- Die Sektion betreibt das Messnetz MADUK zur Überwachung der Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke. Das im Jahr 2018 lancierte Projekt zum Ersatz der 57 Messstationen in der Umgebung der Kernkraftwerke durch autarke, erdbebenfeste Messstationen, die über Mobilfunk und Satellit die Messdaten an die Zentrale liefern können, ist im Zeitplan. Prototypen der Messsonden wurden im Jahr 2019 getestet und erfolgreich durch das METAS geeicht. Eine erste Charge der Messsonden soll bis zum Ende des dritten Quartals 2020 ausgetauscht werden. Der Abschluss des Projekts ist bis Mitte 2021 geplant.
- Im Berichtsjahr wurde ein Projekt zur Überprüfung der Richtlinie ENSI-G14 «Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen» hinsichtlich des aktuellen Stands der Technik (beispielsweise neue Empfehlungen der ICRP, einschlägige IAEA-Standards und -Reports, aktuelle Rechenmodelle) gestartet. Zudem soll der Grad der Konservativität der Berechnungsannahmen für verschiedene Strahlenexpositionssituationen überprüft werden. Auf Basis der Ergebnisse dieser Überprüfungen wird die Richtlinie angepasst.

Vorwort der Leitung der Sektion Störfallauswirkungen & 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 Notfallbereitschaft der Kernanlagenbetreiber wurde anlässlich von Notfallübungen vom ENSI inspiziert. Die Notfallorganisation des ENSI nahm zudem sowohl an der Sicherheitsverbundübung (SVU) 2019 des Bundes als auch an der in dieser eingebetteten Gesamtnotfallübung (GNU) STYLOS im Kernkraftwerk Beznau teil. Die Erkenntnisse von internen und externen Beobachtern wurden in einem Bericht zusammengetragen. Die allgemeinen Ziele, die Ziele der Stabsarbeit und Medienarbeit sowie die organisationsspezifischen Ziele des ENSI wurden aus Sicht der Beobachter erfüllt. Die Übung liess auch Optimierungspotenzial erkennen: für reibungsfreiere Abläufe innerhalb und ausserhalb der ENSI-Notfallorganisation ist die Dokumentenlenkung und der nachvollziehbare Informationsfluss zu verbessern, die Vorgehensweise bei unsicherer Informationslage festzulegen, die Schulungen unter anderem inhaltlich um die Themen der Ressourcen- und Zeitplanung zu erweitern. Eine Rückmeldung des ENSI erfolgte gleichfalls an das Bundesamt für Bevölkerungsschutz als federführende Organisation für Gesamtnotfallübungen. Hierbei regte das ENSI Verbesserungen bzgl. Einsatzkonzept der Elektronischen Lagedarstellung (ELD), Organisation und Durchführung von Telekonferenzen sowie Aufgebot und Einsatz von Elementen des Bundesstabes Bevölkerungsschutz an.
- Im Jahr 2019 wurden im Hinblick auf die Gesamtnotfallübung im November im Kernkraftwerk Beznau wieder umfangreiche Schulungen der Mitglieder der Notfallorganisation durchgeführt. Die Schulungen umfassten auch den Einsatz des JRODOS-Systems, welches das ENSI im Rahmen seines Beratungsmandats nach Notfallschutzverordnung Art. 9 für die Erstellung von Prognosen und die Bestimmung der Konsequenzen einer Freisetzung von Radioaktivität in die Umgebung im Ereignisfall einsetzt. Zirka 25 Mitglieder der Notfallorganisation des ENSI beherrschen dessen Handhabung. Ein besonderer Schwerpunkt der Ausbildung bildete 2019 die Handhabung einer neuen Arbeitsplattform: durch eine digitale Integration der Prozesse der Notfallorganisation werden Arbeitsabläufe vereinfacht und die Erstellung von Produkten teilweise automatisiert. Diese bis anhin auf eine Kernanlage beschränkte, als Pilotprojekt konzipierte digitale Oberfläche soll aufgrund des positiven Rücklaufs aus der Gesamtnotfallübung fortgeführt und erweitert werden.
- Die revidierte Richtlinie ENSI-B12 «Notfallschutz in Kernanlagen» wurde im August 2019 verabschiedet und trat am 1. September desselben Jahres in Kraft. Die Richtlinie 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 Neuauflage 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.

4 Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser und der Abluft lagen im Jahr 2019 für die vier Schweizer Kernanlagen KKB 1 und 2, KKG, KKL und KKM sowie für das PSI und das am gleichen Standort gelegene 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.

Neben dem MADUK-Messnetz, welches in Kap. 5 beschrieben ist, wird die Ortsdosisleistung im Nahbereich der Kernanlagen und am Arealzaun mit passiven Dosimetern ständig überwacht. Zusätzlich führt das ENSI vierteljährlich stichprobenweise Dosisleistungsmessungen am Arealzaun durch. Die Ergebnisse der passiven Dosimeter und der vierteljährlichen Messungen des ENSI zeigen, dass die gesetzlichen Vorgaben des Art. 79 Abs. 2 StSV eingehalten sind.

Im Rahmen des permanenten Probenahme- und Messprogramms für Immission, welches auch die Messungen in der Umgebung der Kernanlagen gemäss den Abgabereglementen beinhaltet, wurden die wichtigsten Expositionspfade radioaktiver Stoffe in der Umgebung der Kernanlagen überwacht.

Das bei der In-Situ-Gammaspektrometrie im Boden gemessene künstliche Radionuklid ^{137}Cs kann mit den Atomwaffentests oder mit dem Reaktorunfall in Tschernobyl in Verbindung gebracht werden. Andere künstliche Radionuklide konnten bei diesen Messungen nicht nachgewiesen werden. Im aquatischen Milieu zeigten Wasser-, Wasserpflanzen-, Sediment- und Fischproben teilweise Spuren von künstlichen Radionukliden wie beispielsweise ^{54}Mn und ^{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 den

Atomwaffentests, dem Reaktorunfall in Tschernobyl und den Abgaben der Kernkraftwerke möglich. Detaillierte Resultate zu allen Messungen des Probenahme- und Messprogramms können dem BAG-Jahresbericht 2019 über «Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz» entnommen werden.

Zusätzlich zum permanenten Probenahme- und Messprogramm wurde, im Auftrag des ENSI, durch das PSI in den Jahren 2017 bis 2019 speziell für das KKM vor dessen Einstellung des Leistungsbetriebs ein Spezialmessprogramm für Spezialnuklide wie ^{55}Fe , ^{63}Ni und Aktinide durchgeführt. Die Untersuchung zeigt die radiologisch sehr geringe Belastung der Böden um das Kernkraftwerk Mühleberg.

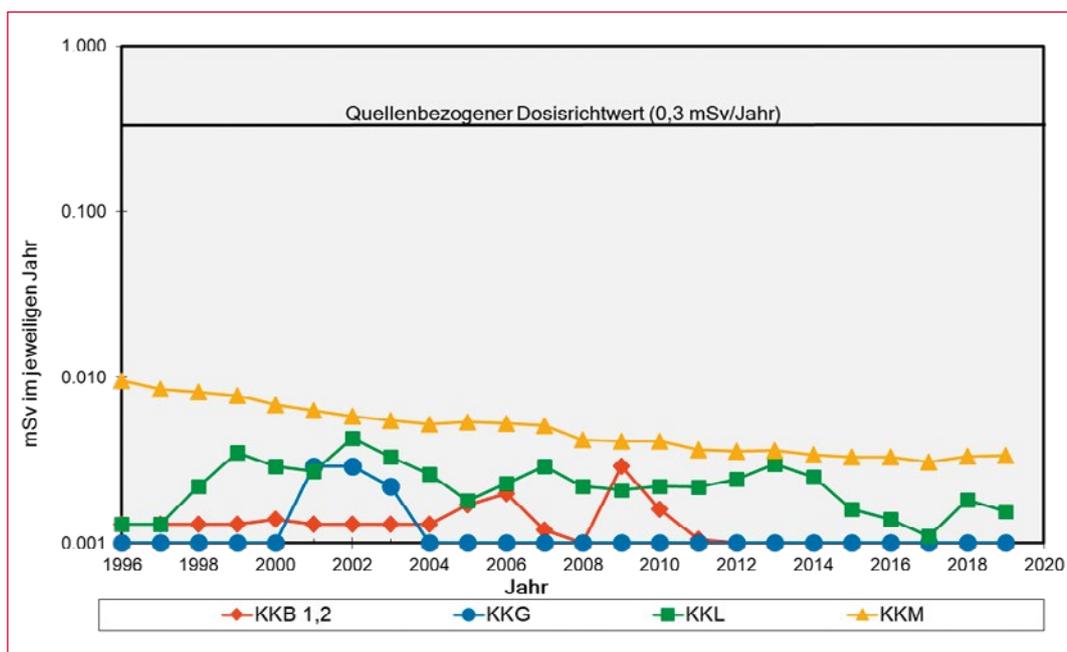
4.1 Emissionen aus den Kernanlagen

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 ZZL gemessenen Abgabewerte sowie die unter ungünstigen Annahmen gemäss Richtlinie ENSI-G14 errechneten Personendosen für Erwachsene, 10-jährige Kinder und Kleinkinder in der Umgebung der betreffenden Anlage im Jahr 2019. Die Abgaben des PSI 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 Kurzzeitabgabegrenzen eingehalten. Zur Überprüfung der Messverfahren der Kernanlagen hat das ENSI an 194 Proben eigene gamma-spektrometrische 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 2019 die ^{14}C -Aktivität in der Abluft gemessen. Der Dosisbeitrag von ^{14}C wurde aus den Messwerten ermittelt. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die ^{14}C -Abgaben aus den schweizerischen Kernkraftwerken im Normalbetrieb 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 2019 nur einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwertes. Das PSI ist aufgrund der Bewilligung für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung verpflichtet, sowohl für die einzelnen Anlagen als auch für die Gesamtanlage des PSI die aus den Abgaben resultierende Dosis in der Umgebung zu berechnen. Für das ganze PSI (alle Kernanlagen plus Anlagen im Aufsichtsbereich des BAG) errechnet das ENSI eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von weniger als 0,010 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 2019 bilanzierten Abgaben des ZZL sind in den Tabellen B.1 und D.3a bis D.3c (im An-



Darstellung B.1: Berechnete Dosen für die meistbetroffenen Personen¹ (Erwachsene) in der Umgebung der schweizerischen KW

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.

hang 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 Siedewasserreaktoren mit dem Dampf in die Turbine im Maschinenhaus getragen wird. Weiter können Abfalllager zu einer erhöhten Ortsdosis am Zaun beitragen. Am Zaun des KKM wurden bei stichprobenweise vierteljährlich vom ENSI durchgeführten Messungen Dosisleistungen zwischen etwa $0,08 \mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und $0,22 \mu\text{Sv/h}$ ermittelt.

Auf ein Jahr hochgerechnet würde basierend auf dem maximalen Momentanwert am meist exponierten Ort eine Dosiserhöhung von zirka $1,2 \text{ mSv}$ resultieren. Die vom KKM ausgewerteten Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun ergeben für das Berichtsjahr nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes von zirka $0,7 \text{ mSv}$ eine Dosiserhöhung von etwa $1,3 \text{ mSv}$. Am Zaun des KKL wurden bei vierteljährlichen Stichproben des ENSI während des Leistungsbetriebes Ortsdosisleistungen zwischen $0,06 \mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und $0,19 \mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Dies entspricht nach Ab-

zug des Untergrundes am meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von zirka $1,1 \text{ mSv}$ pro Jahr. Die höchste, mit den TLD am Zaun ermittelte Jahresdosis (nach Abzug des natürlichen Untergrundes von $0,6 \text{ mSv}$) beträgt $1,2 \text{ mSv}$. Auf Grund der stichprobenweise vom ENSI gemessenen Ortsdosisleistung am Zaun des Paul Scherrer Instituts, Areal Ost ergibt sich hochgerechnet auf ein Jahr eine Ortsdosis von $0,3 \text{ mSv}$ ohne natürlichen Untergrund. Im Jahr 2019 betrug der höchste, mit einem Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun des PSI ermittelte Wert zirka $0,2 \text{ mSv}$ (ohne natürlichen Untergrund von zirka $0,6 \text{ mSv}$). Beim KKB und KKG wurde am Zaun weder mittels TLD resp. EDIS noch bei den vierteljährlichen Stichproben des ENSI eine signifikante Erhöhung der Ortsdosis über dem natürlichen Untergrund festgestellt. Beim Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) 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 $0,02 \text{ mSv}$ pro Woche für Wohn- und Aufenthaltsräume und von $0,1 \text{ mSv}$ pro Woche für andere Bereiche.

4.3 In-situ-gammaspektrometrische Messungen in der Umgebung der Kernkraftwerke

Gemäss den Abgabereglementen werden im Zweijahresrhythmus an den Standorten der MADUK-Stationen in-situ-gammaspektrometrische Messungen durchgeführt. Im 2019 erfolgten die Messungen an insgesamt 24 Standorten in der Umgebung des KKG und des KKL. An Standorten, an denen sich die MADUK-Messsonde auf dem Dach eines Gebäudes befindet, werden keine in-situ-gammaspektrometrischen Messungen durchgeführt (Stationen L-07, G-05, G-12 und G-13).

Bei den Messungen konnten ausser ^{137}Cs keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen werden. Die Aktivitäten von ^{137}Cs lagen im Bereich der Ergebnisse aus früheren Jahren und stammen hauptsächlich aus dem Fallout der Bombentests und dem Tschernobyl-Unfall.

4.4 Immissionsmessungen im Wasserpfad

Die Eawag führt im Auftrag des ENSI Immissionsmessungen im Wasserpfad stromabwärts der Kernanlagen durch. Gemessen werden Wasser-, Grundwasser-, Sediment-, Wasserpflanzen- und Fischproben gemäss den Abgabereglementen.

In den Wasserproben an den Probenahmestellen Hagneck (Aare), Klingnau (Aare) und Pratteln (Rhein) wurden neben Spuren von ^{137}Cs keine weiteren künstlichen Radionuklide nachgewiesen. In den Grundwasserproben bei Aarberg, Döttingen und Pratteln konnten keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen werden.

Hingegen wurden in einzelnen Sedimentproben bei Hagneck und Klingnau Spuren von ^{54}Mn und ^{60}Co detektiert. Die maximalen Werte für ^{54}Mn und ^{60}Co lagen unter 1 Bq/kg (Befreiungsgrenze LL 100 Bq/kg). In einer einzelnen Sedimentprobe von Klingnau wurde zudem ^{131}I mit einer Aktivität von rund 6 Bq/kg detektiert, weniger als ein Tausendstel der Befreiungsgrenze (LL 10 000 Bq/kg) für diesen Nuklid nach Strahlenschutzverordnung. Die Herkunft von ^{131}I kann nicht abschliessend geklärt werden, da auch in der Nuklearmedizin ^{131}I eingesetzt wird. In allen Sedimentproben und in einzelnen Wasserproben wurde ^{137}Cs gemessen. Dieses stammt hauptsächlich aus ausgewaschenem ^{137}Cs des Fallouts aus den Bombentests und dem Tschernobyl-Ereignis. Der maximale Wert für ^{137}Cs im Wasser betrug 0,4 Bq/m³ (Immissionsgrenzwert 36 000 Bq/m³) und im Sediment rund 8 Bq/kg (Befreiungsgrenze LL 100 Bq/kg).

In den Proben der Wasserpflanzen konnten keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen werden. Im Fisch unterhalb von KKL wurde ^{137}Cs mit einer Aktivität von 1 Bq/kg nachgewiesen.

4.5 Messung von Spezialnukliden in Böden in der Umgebung des KKM

In seinem Gutachten zum Stilllegungsprojekt des KKM sah das ENSI in Absprache mit dem BAG für den Zeitraum von drei Jahren vor der definitiven Einstellung des Leistungsbetriebs eine Erweiterung des existierenden Messprogramms in der Umgebung des KKM für Spezialnuklide wie ^{55}Fe , ^{63}Ni , ^{90}Sr und Aktiniden (Umgebungsüberwachungsprogramm plus) zur Ermittlung des Zustan-

des vor Aufnahme der Stilllegungsarbeiten vor. Dieses erweiterte Messprogramm wurde in den Jahren 2017 bis 2019 im Auftrag des ENSI durch die Radioanalytik des PSI durchgeführt. Dabei wurden sechs Standorte in der Umgebung des KKM sowohl gammaspektrometrisch wie hinsichtlich der genannten Spezialnuklide (^{55}Fe , ^{63}Ni , ^{90}Sr , ^{238}Pu , ^{239}Pu und ^{241}Am) halbjährlich beprobt und untersucht. Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen und der Messresultate kommt das PSI zu folgenden Schlussfolgerungen: «Es zeigte sich, dass die Böden rund um das Kernkraftwerk Mühleberg radiologisch sehr sauber sind. Kürzerlebige Nuklide wie das ^{134}Cs (Anm.: aus dem Tschernobyl-Reaktorunfall) sind praktisch komplett abgeklungen, das Niveau der Aktinide wie Pu-Isotope ist allgemein tief und die Messwerte für ^{90}Sr nähern sich ebenfalls den Nachweisgrenzen. Sogar ^{137}Cs ist nur noch im Mittel mit 6 Bq/kg präsent.

Aus den Auswertungen der Isotopenverhältnisse wird plausibel, dass die gefundenen Aktinide auf die atmosphärischen Kernwaffentests zurückzuführen sind und die geringen Mengen an ^{137}Cs und das teilweise gefundene ^{90}Sr sehr wahrscheinlich noch aus dem Tschernobyl-Reaktorunfall stammen.

Derart tiefe Spuren von künstlichen Nukliden bilden ein sehr tiefes Hintergrundniveau, vor dem bereits geringfügige zusätzliche radiologische Immissionen (so zum Beispiel während des Rückbaus des KKM) gemessen werden müssten.

Es konnten bei den untersuchten Nukliden keine Hinweise auf jüngere Immissionen von Aktiniden oder Spaltprodukten gefunden werden und auch keine Hinweise auf einen lokalen Einfluss durch den Betrieb des KKM. Dies stimmt mit der laufenden Überwachung anderer Kernkraftwerke in der Schweiz überein. Während die Kraftwerke im Rahmen ihrer Eigen- und Fremdüberwachung ihre Emissionen fortlaufend messen und auch publizieren, sind auf der Immissionsseite in den Böden keine messbaren Einflüsse im Vergleich zu Standorten fernab der Kernkraftwerke festzustellen.»

Die vom PSI zusammengestellten Resultate geben zusätzlich zum routinemässigen Umgebungsüberwachungsprogramm des BAG einen sehr guten Überblick über den radiologischen Zustand der Umgebung des KKM vor der Aufnahme der Stilllegungsarbeiten. Diese können bei Verdacht auf allfällige Abgaben während der Arbeiten als Referenz herangezogen werden.

Tabelle B.1: Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2019 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
KKB 1 + KKB 2	Abwasser 4200 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	3,1·10 ⁸	-	4·10 ¹¹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,5·10 ¹³	1,5·10 ¹³	7·10 ¹³	21 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	3,4·10 ¹²	3,4·10 ¹²	1·10 ¹⁵	0,3 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	4,7·10 ⁵	-	6·10 ⁹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	2,1·10 ⁶	-	4·10 ⁹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,6·10 ¹⁰	-	-	-	<0,001	0,0011	0,0018
	Dosis total						<0,001	0,0011	0,0018
KKG	Abwasser 7362 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	2,1·10 ⁶	-	2·10 ¹¹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,7·10 ¹³	1,7·10 ¹³	7·10 ¹³	25 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	<2,6·10 ¹²	<2,7·10 ¹²	1·10 ¹⁵	<0,3 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	9,1·10 ⁴	-	1·10 ¹⁰	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	1,9·10 ⁴	-	7·10 ⁹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	6,8·10 ¹⁰	-	-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total						<0,001	<0,001	<0,001
KKL	Abwasser 13 746 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,0·10 ⁸	-	4·10 ¹¹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	6,8·10 ¹¹	6,8·10 ¹¹	2·10 ¹³	4 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	1,8·10 ¹¹	-	2·10 ¹⁵	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	4,9·10 ⁵	-	2·10 ¹⁰	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	3,6·10 ⁷	3,6·10 ⁷	2·10 ¹⁰	0,2 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	4,1·10 ¹¹	-	-	-	0,0016	0,0021	0,0035
Dosis total						0,0016	0,0021	0,0035	
KKM	Abwasser 1483 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	4,5·10 ⁷	-	4·10 ¹¹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	6,7·10 ¹⁰	6,7·10 ¹⁰	2·10 ¹³	0,4 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	-	-	2·10 ¹⁵	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,8·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0,1 %	0,0024	0,0024	0,0023
		Iod: ¹³¹ I	1,6·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	4,0·10 ¹¹	-	-	-	<0,001	0,0013	0,0022
Dosis total						0,0034	0,0037	0,0045	
ZZL	Abwasser 307 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	3,1·10 ⁸	-	2·10 ¹¹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	4,9·10 ⁹	-	-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	β-/γ-Aerosole	2,5·10 ⁵	-	1·10 ⁹	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		α-Aerosole	9,9·10 ³	-	3·10 ⁷	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	4,8·10 ⁸	-	1·10 ¹²	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,9·10 ⁹	-	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 2019 und der daraus berechneten Dosen für Einzelpersonen der Bevölkerung.

	PSI Ost				
	Hochkamin	Saphir, Proteus	Forschungslabor	Betriebs-Gebäude radioaktive Abfälle	Bundeszwischenlager
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]					
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	-	-	-
Tritium	-	-	-	-	-
Abgaben über die Abluft^{1,2} [Bq/a]					
Edelgase und andere Gase	4,1·10 ¹¹	-	-	-	-
β-/γ-Aerosole, ohne Iod	7,4·10 ⁵	-	-	-	2,2·10 ⁴
α-Aerosole	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	4,7·10 ⁴	-	-	-	-
Tritium als HTO	2,3·10 ¹⁰	-	-	1,3·10 ¹⁰	6,6·10 ⁹
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	-	-	-	1,8·10 ⁸	9,7·10 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 Fortluftanlagen	Injektor II	C-Labor	Abwasser 1075 m ³	Abluft	Äquivalentabgaben
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]						
Nuklidgemisch ohne Tritium				6,5·10 ⁷		1,8·10 ⁷
Tritium				3,6·10 ¹⁰		
Abgaben über die Abluft^{1,2} [Bq/a]						
Edelgase und andere Gase	2,4·10 ¹⁴	4,1·10 ¹⁰	-	-	2,4·10 ¹⁴	1,0·10 ¹⁵
β-/γ-Aerosole, ohne Iod	1,1·10 ¹⁰	1,0·10 ⁷	7,6·10 ³	-	1,1·10 ¹⁰	-
α-Aerosole	-	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	1,4·10 ⁸	-	-	-	1,4·10 ⁸	8,2·10 ⁷
Tritium als HTO	3,1·10 ¹²	-	-	-	3,1·10 ¹²	-
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	-	-	-	-	1,9·10 ⁸	-
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:						
Erwachsene	0,010	<0,00015	<0,00015	<0,00015		0,010
Kind 10 Jahre	0,010	<0,00015	<0,00015	<0,00015		0,010
Kleinkinder	0,010	<0,00015	<0,00015	<0,00015		0,010
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert ⁴	6,7 %	<0,1 %	<0,1 %	<0,1 %		<7 %

Fussnoten zu den Tabellen B.1 bis B.2

¹ Bei der **Art der Abgaben** resp. den **Bilanzier-ten Abgaben** ist Folgendes zu präzisieren:

Abwasser: Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-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 (Spalte «Normiert»). 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 (Anhang D) 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 Gesamtabgabe wird zudem auch ein ¹³¹Iod-Äquivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben, wobei sich der Gewichtungsfaktor aus dem Verhältnis des Ingestionsdosisfaktors des jeweiligen Nuklides zum Ingestionsdosisfaktor von ¹³¹I ergibt. Die Ingestionsdosisfaktoren sind der 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 zirka $\pm 50\%$. Abgaben unterhalb 0,1% der Jahresabgabelimite werden vom ENSI als nicht-relevant betrachtet und werden in der Spalte «Normiert» nicht ausgewiesen (-).

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 zirka zehn Stunden akkumuliert wird – werden in der Regel nicht angegeben. Beim PSI wird die Jahresdosis der Gesamtanlage als Summe über die Abgabestellen gebildet.

⁴ **Abgabelimiten** gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die Abgabelimiten wurden so festgelegt, dass die Jahresdosis für Personen in der Umgebung (vgl. Fussnote 3) für die Kernkraftwerke unter 0,3 mSv/Jahr respektive das Zentrale Zwischenlager in Würenlingen (ZZL) unter 0,05 mSv 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.

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, welche in der ganzen Schweiz verteilt sind, 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

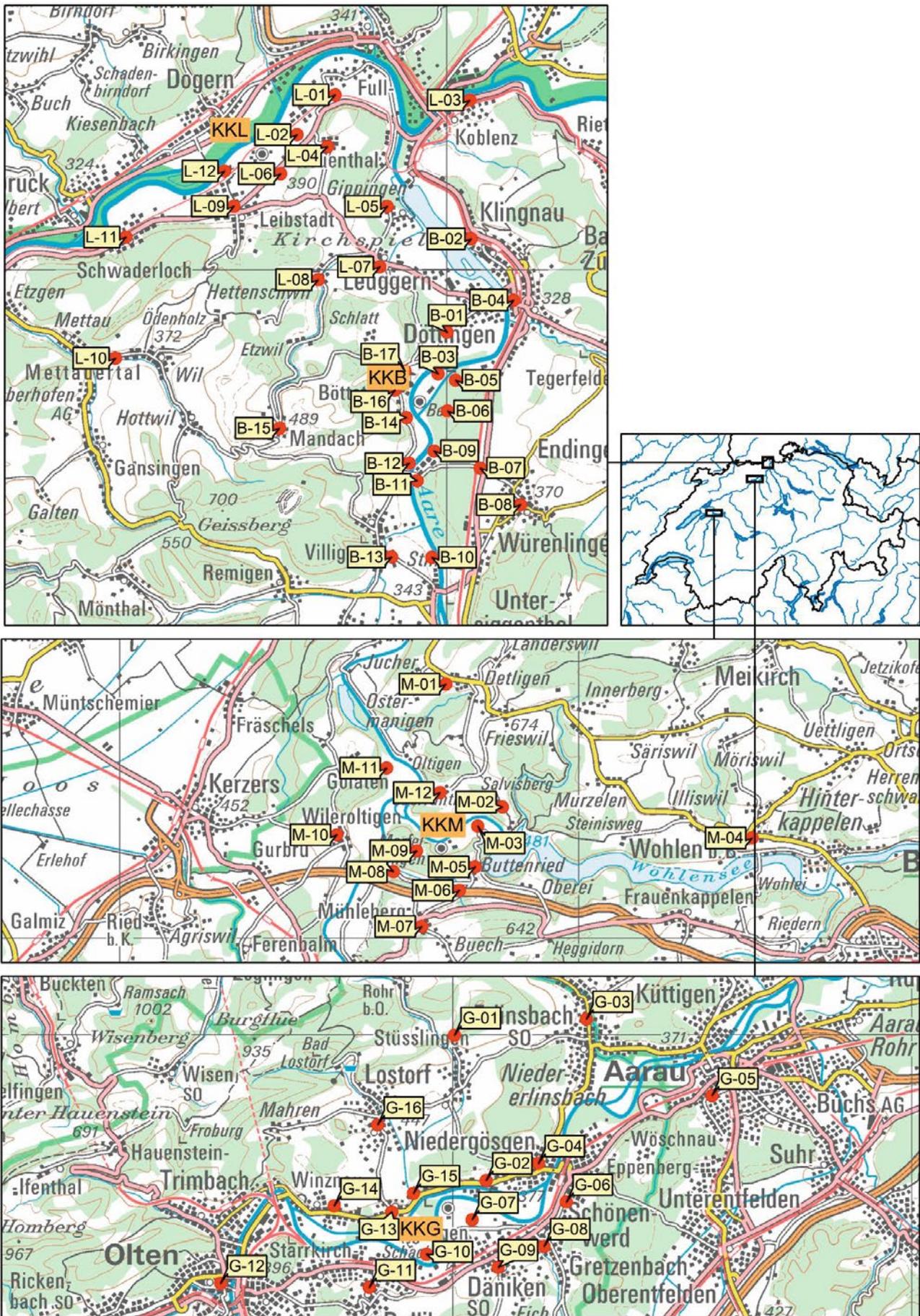
und internen Partnern: Nationale Alarmzentrale (NAZ) in Zürich, Kernreaktorfernüberwachung Baden-Württemberg sowie die Systeme ADAM und JRODOS/LASAT im ENSI. Die Darstellung B.2 zeigt die Standorte der Messsonden in der Umgebung der Kernkraftwerke.

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

5.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung

Im Jahr 2019 wurden Erweiterungen beim Treiber für die Übernahme der Ausbreitungsrechnungen von JRODOS vorgenommen, um die Erstellung von zusätzlichen Produkten für die Notfallschutzpartner zu ermöglichen. Bei den ANPA-EMI-Daten wurden die übertragenen Parameter um Temperatur und Füllstand der Brennelementlagerbecken erweitert.

Im zweiten Quartal wurden die Prüfmuster der neuen Messsonden geliefert. Diese wurden auf die Einhaltung der Spezifikationen getestet. Gleichzeitig wurden die Messwertzentralen für die neuen Messsonden eingerichtet und im Zusammenspiel mit den Prüfmustern erfolgreich in Betrieb genommen. Ende November konnte die Freigabe für die Serienproduktion der Messsonden erfolgen. Die Prüfmuster wurden durch das METAS erfolgreich geeicht. Die erste Teillieferung der Messsonden ist im ersten Quartal 2020 eingetroffen. Ende 2019 ging ausserdem der Treiber für die Übernahme der Messdaten in das bestehende MADUK-System in den Probebetrieb.



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 Ver-

fügbarekeit. Im Berichtsjahr führten geplante Unterhaltsarbeiten seitens der Werke zu einem Unterbruch von 34,8 Stunden bei KKL. Ein Konfigurationsfehler bei der Integration neuer Datenpunkte für KKM führte auf Seiten des ENSI zu einem Unterbruch von 1,6 Stunden. Bei KKG wurden sieben Unterbrüche länger als eine Stunde registriert mit einer Gesamtdauer von 11,2 Stunden, wobei keiner der Unterbrüche länger als drei Stunden dauerte.

Die Tabelle B.3 gibt eine Übersicht über die Störungen an den Messstationen mit Störungsdauer, permanentem Datenverlust und Ursache der Störung.

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

Station	Störungsdauer [h]	Permanenter Datenverlust [h]	Ursache
G-03	154,3	154,3	Defektes Netzteil
L-11	101,5	25,0	Defektes Netzkabel aufgrund Umbauarbeiten
B-01	93,0	14,5	Defektes Netzteil
G-09	128,7	55,5	Umbau am Standort
G-05	13,5	13,5	Defekte Messsonde
L-04	90,0	90,0	Defekte Messsonde
B-06	15,0	15,0	Blockierter Datenlogger
L-06	11,0	11,0	Arbeiten am Stromnetz
M-08	130,3	130,3	Defekte Messsonde

Die Stationselektronik lief auch im 2019 grösstenteils zuverlässig. Die Station G-03 fiel aufgrund eines defekten Netzteils über die Weihnachtstage und Neujahr 2018/2019 aus. Die Reparatur konnte erst Anfang Januar 2019 ausgeführt werden. Es verbleibt eine Datenlücke von 154,3 Stunden im Jahr 2019.

2019 waren diverse Kommunikationsunterbrüche zu den Messstationen von insgesamt 1486,8 Stunden zu verzeichnen, deren Ursachen nicht immer festgestellt werden konnten. Davon entfielen 1407,7 Stunden auf die Station L-11. Dort wurde im Zuge der Abschaltung des analogen Telefonnetzes auf einen Mobilrouter migriert. Wie sich im Betrieb zeigte, war das Mobilfunksignal aber häufig für einen stabilen Betrieb zu schwach. Deshalb wurde Anfang Dezember die Station wieder auf einen Festnetzanschluss migriert. Eine Störung beim Provider führte bei den Stationen L-06 und L-12 zu einem Kommunikationsunterbruch von 1,5 Stunden. Bei den Stationen B-14, B-16, B-17, L-10 und M-10 waren Unterbrüche unbekannter Ursache von insgesamt 13,1 Stunden zu verzeichnen. Ein

umgestürzter Baum beschädigte die Kommunikationsleitung der Station B-14. Die Reparatur konnte nach 41,5 Stunden abgeschlossen werden. Eine Störung in der Infrastruktur des Providers führte zu Kommunikationsunterbrüchen bei B-07 von 3,7 Stunden, bei B-17 von 3,3 Stunden und bei L-11 von 3,2 Stunden. Ein Stromausfall in Böttstein verursachte Unterbrüche zu den Stationen B-14, B-16 und B-17 während 2 Stunden. Bei allen Kommunikationsstörungen konnten die Daten nachträglich lückenlos archiviert werden.

Im Berichtsjahr lag die gemäss Managementhandbuch des ENSI bestimmte Systemverfügbarkeit bei 99,6% (Verfügbarkeit der ANPA- und EMI-Daten eingerechnet). Die Verfügbarkeit der Dosisleistungsdaten aller MADUK-Stationen im Archiv betrug 99,98%.

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 beziehungsweise 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 Ansprechvermögen 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 ¹³⁷Cs-Quelle werden erhöhte Werte bei jeder Sonde während zirka 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 2019 wurden an jeder Sonde zwei Funktionsprüfungen durchgeführt. Bei den Funktionsprüfungen erfüllten alle Sonden inklusive die Reservesonden die Prüfkriterien.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme wurden auch im Jahr 2019 Messungen mittels In-Situ-Gammaspektrometrie bei den Sonden der Messringe Gösigen und Leibstadt durchgeführt. Die Messwerte lagen im Bereich der früheren Jahre. Ausser ¹³⁷Cs vom Fallout der Atombombentests und des Tschernobyl-Unfalls konnten keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen werden.

5.5 Messergebnisse

Im Jahr 2019 wurden insgesamt 13 Verletzungen des Nettodosisleistungsschwellenwertes von 50 nSv/h registriert (Tabelle B.4). Davon waren 12 aufgrund von gleichzeitig registriertem Niederschlag und/oder dem für Radonfolgeprodukte typischen Abklingverhalten auf Washout von natürlichen Radionukliden zurückzuführen. Zum Zeitpunkt der Erhöhung bei der Station B-12 (PSI-Areal West) am 30. Juli um 07:40 Uhr zeichnete die Niederschlagsmessung am Standort PSI keinen Niederschlag auf. Die Station B-11 welche sich ebenfalls auf dem PSI-Areal (PSI-Areal Ost) befindet, zeigte zum Zeitpunkt der Schwellwertverletzung keine Erhöhung der Messwerte. Beim Betrieb des Beschleunigers am PSI-West messen die Stationen B-11 und B-12 bei bestimmten Windlagen (Kombination Windgeschwindigkeit und Windrichtung) die Emissionen aus der Fortluftanlage PSI-West. Auf Grund fehlender Messwerte für die Windsituation am Standort PSI (nur Prognosedaten vorhanden) ist eine abschliessende Aussage über die Ursache der Erhöhung nicht möglich.

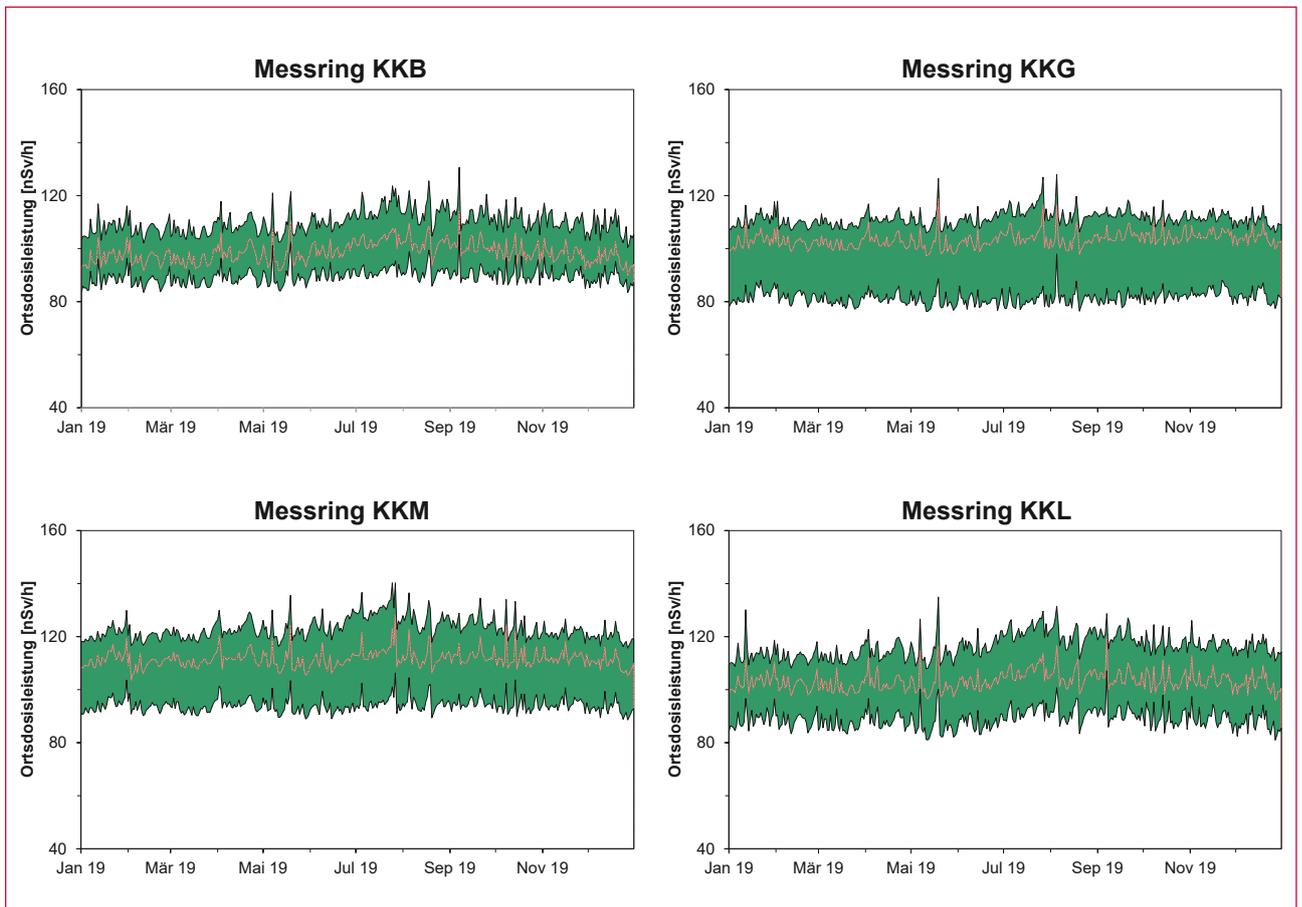
Erhöhte Ortsdosisleistungswerte, die auf Abgaben der Kernkraftwerke zurückzuführen waren, wurden keine festgestellt.

Die jährliche Überprüfungskampagne der NADAM-Sonden an den Standorten, an denen auch eine MADUK-Station in Betrieb ist, führte 2019 bei keiner MADUK-Sonde zu wesentlichen Erhöhungen der Messwerte.

Die Darstellung B.3 zeigen 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 2019.

Datum	Station	Dauer [h]	Max. NDL [nSv/h]	Max. ODL [nSv/h]
07.01.2019 07:50	L-02	1,2	61	158
10.05.2019 21:30	B-02	0,2	51	152
28.07.2019 03:20	M-01	0,2	51	180
28.07.2019 05:10	L-06	0,5	54	161
28.07.2019 05:20	G-10	0,2	52	160
28.07.2019 05:50	L-12	0,2	52	164
28.07.2019 06:50	G-15	0,5	68	161
28.07.2019 07:10	G-07	0,2	51	193
30.07.2019 07:40	B-12	0,2	53	159
30.07.2019 20:40	M-01	0,2	53	167
10.08.2019 05:30	G-08	0,2	50	169
20.08.2019 18:20	L-06	0,7	64	195
20.08.2019 18:30	L-02	0,2	61	183



Darstellung B.3: Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKB, KKG, KKL, KKM (im Uhrzeigersinn) im Jahr 2019.

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, der möglichen Ausbreitung der Radioaktivität in der Umgebung und deren Konsequenzen. Das ENSI berät zudem das Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) und den Bundesstab Bevölkerungsschutz (BSTB) bei der 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, das heisst vor Beginn der Freisetzung, stehen dazu jedoch keine Radioaktivitätsmessungen in der Umgebung zur Verfügung. Die von der Kernanlage bei einem Unfall ausgehende Gefährdung wird deshalb mittels anlagenbezogenen Daten und Ausbreitungsrechnungen in der Umgebung abgeschätzt. Diese Modellrechnungen dienen insbesondere dazu, das potenziell gefährdete Gebiet abzugrenzen, die notwendigen Schutzmassnahmen festzulegen und den Einsatz der Messorganisation nach erfolgter Freisetzung von radioaktiven Stoffen zu planen.

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 früh

zu erkennen und einzustufen, sondern darüber hinaus auch über die Mittel und das Fachwissen, um diese Entwicklungen auf ihre Bedeutung für den Bevölkerungsschutz hin 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. JRODOS (Java-based Realtime Online Decision Support 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 Einsitz nimmt. Innerhalb von JRODOS wird für die eigentliche Ausbreitungsrechnung das Programm LASAT (Lagrange-Simulation von Aerosol-Transport) 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 werden (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 in Deutschland sowie der Industrie eingesetzt. LASAT bietet ein breites Anwendungsspektrum: Unter den Anwendungsbereichen befinden sich beispielsweise die TA Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft), Störfälle, Screening, Geruchsstoffe, Bioaerosole, Radionuklide und bewegte Quellen. LASAT wird kontinuierlich weiterentwickelt und wurde ausgehend von den Anforderungen des ENSI von seinen Entwicklern zum Teil wesentlich überarbeitet und verbessert, insbesondere hinsichtlich Parallelisierung.

JRODOS erlaubt die direkte Verwendung von 3D-Wettervorhersagedaten aus dem von der Me-

teoSchweiz 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.

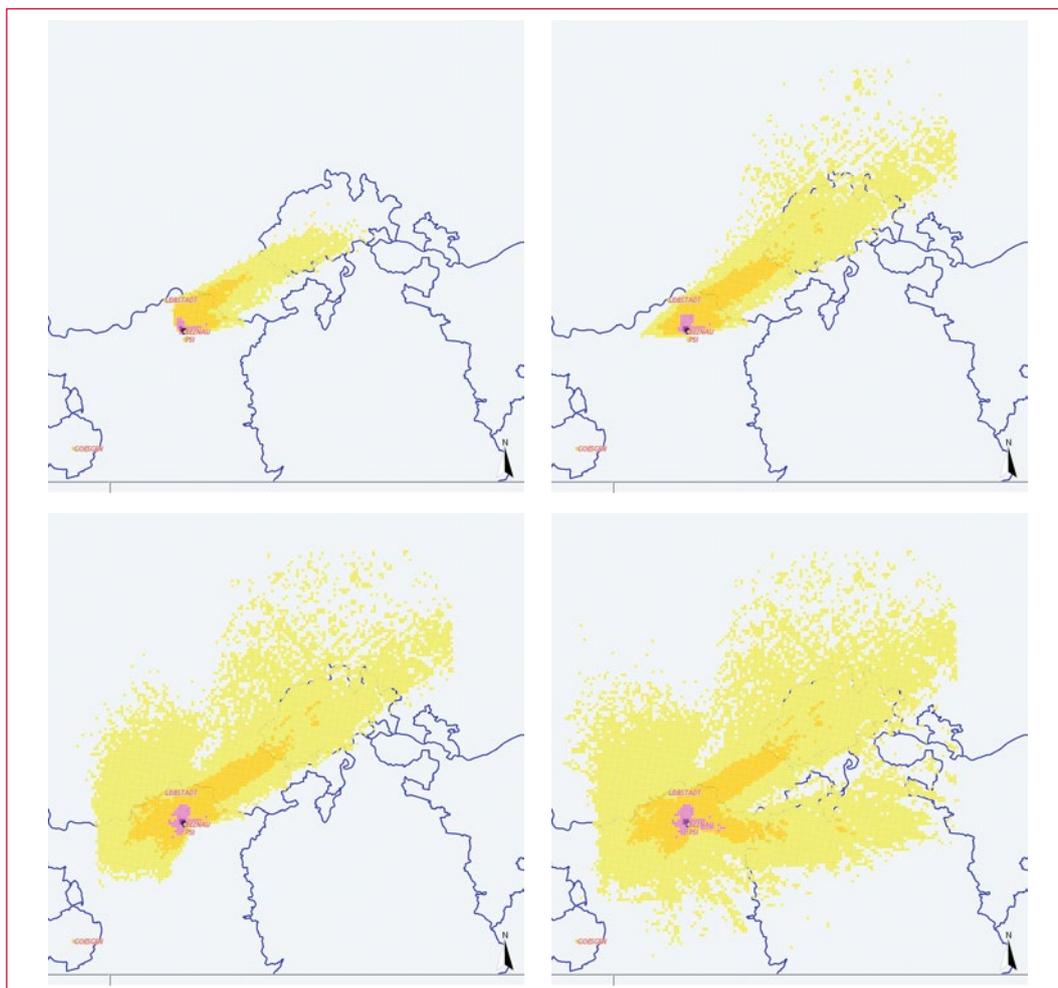
Eine wesentliche Neuerung gegenüber dem Vorgängermodell ADPIC stellt auch die Erweiterung des Rechengebiets auf 500×500 km² dar, wobei für den Nahbereich um eine Kernanlage die orographische Auflösung von 250m beibehalten wird. Das Rechengitter besitzt eine Schachtelung

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 in jeder Lage wahrnehmen zu können, betreibt das ENSI zwei eigene, unabhängige und räumlich getrennte JRODOS-Systeme. Deren Auslegung wurde so gewählt, dass störfallspezifische Berechnungen im Ereignisfall (und bei Übungen) spätestens innerhalb einer Stunde nach der Einsatzbereitschaft der ENSI-Notfallorganisation zu erwarten sind.

Zur Gewährleistung der dauernden Verfügbarkeit des Systems und Überwachung der aktuellen Ausbreitungssituation werden automatisiert rund



Darstellung B.4: Beispiel einer JRODOS/COSMO-Simulation für das Kernkraftwerk Beznau.

Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 3. April 2019 um 7:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 10m über Boden, Dauer der Freisetzung 12 Stunden. Ausbreitungssituation um 10:00 Uhr (links oben), 12:30 Uhr (rechts oben), 15:30 Uhr (links unten) und 19:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit. Vordergrund: Integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit bis zu einer Abwinddistanz von 48 km. Hintergrund: Politische Grenzen

um die Uhr im Stundentakt für alle Kernanlagen routinemässige Berechnungen mit einer Einheitsquelle (1 Bq/s kontinuierliche Abgabe auf drei verschiedenen Freisetzungshöhen) für die folgenden 12 Stunden durchgeführt. Zudem können Routineberechnungen auch im Ereignisfall – insbesondere zu Beginn eines Einsatzes der ENSI-Notfallorganisation – für eine erste Beurteilung verwendet werden.

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.

Beispiel einer JRODOS/COSMO-Simulation

In der Darstellung B.4 wird beispielhaft eine JRODOS/COSMO-Simulation für den KKW-Standort Beznau 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.

6.3 Produkte für die Notfallschutzpartner

Die Beratung der Notfallschutzpartner durch das ENSI im Notfall erfolgt sowohl im Rahmen von Telefonkonferenzen als auch in Form von periodisch erstellten und via Elektronischer Lagedarstellung zur Verfügung gestellten Lageberichten. Seit jeher werden dabei Ergebnisse der störfallspezifischen Berechnungen als Karten den Notfallschutzpartnern zur Verfügung gestellt. Als Grundlage für die Empfehlung von Schutzmassnahmen beinhalteten diese Karten in der Vergangenheit die farblich abgestufte Einfärbung der Rechengitterzellen ent-

sprechend dem Dosismassnahmenkonzept (Anh. 2 VBSTB). Da die politischen Gemeinden im Bevölkerungsschutz die Basis für die Planung und Anordnung von Schutzmassnahmen bilden, werden neu und ergänzend diese für eine bessere Verständlichkeit eingefärbt (vgl. Darstellungen B.5 und B.6). Aus dem Vergleich der Abbildungen B.5 und B.6 lässt sich optisch die Konservativität der Herangehensweise einfach erkennen.

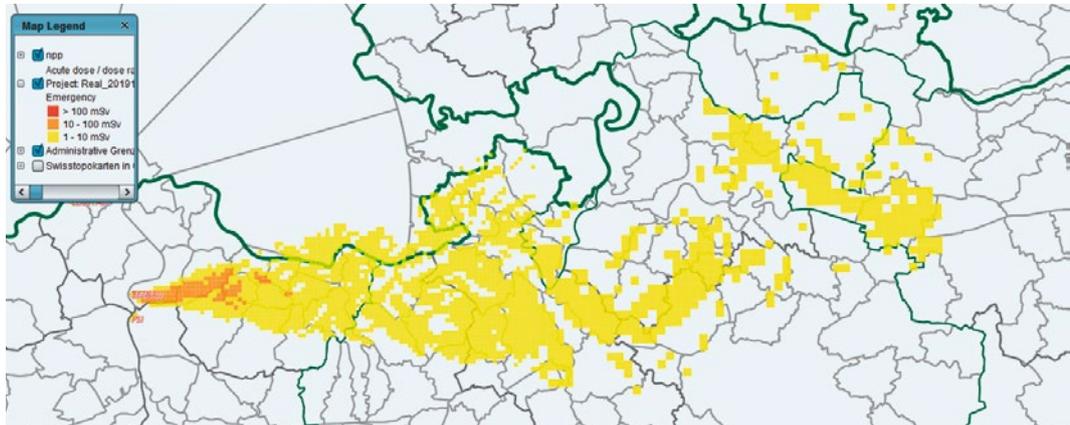
Im Berichtsjahr wurde die Produktpalette der Notfallorganisation des ENSI um zusätzliche Ergebnisse der störfallspezifischen Berechnungen erweitert. Neu werden die Bodenkontaminationen für die Leitnuklide ^{131}I und ^{137}Cs (vgl. Darstellung B.7) sowie die Ortsdosisleistung (alle am Simulationsende) grafisch dargestellt, welche bei der Planung des Einsatzes der Messorganisation genutzt werden können. Darüber hinaus wird auch die Wolkenankunftszeit ausgewiesen; diese Grösse stellt die Zeitspanne dar, welche zwischen der Abgabe von Radioaktivität und deren Ankunft an einem geografischen Ort verstreicht, und ist somit eine zusätzliche, wesentliche Information für die Planung von Schutzmassnahmen.

Auf der Basis der neuen Karte «Potenziell betroffenes Gebiet» ist fortan eine Aussage möglich, welche Notfallschutzzonen und -sektoren aufgrund der vorherrschenden Wettersituation bei einem Radioaktivitätsaustritt von Schutzmassnahmen betroffen sein könnten. Dieses Produkt nutzt die mit einem Zeithorizont von zwölf Stunden laufenden Routineberechnungen und kann somit jederzeit erstellt werden. In der Frühphase eines Ereignisses ist eine solche Information von grosser Bedeutung, da sie ebenfalls eine Aussage dazu erlaubt, welche Gebiete im Falle einer Freisetzung von Radioaktivität nicht betroffen sein werden.

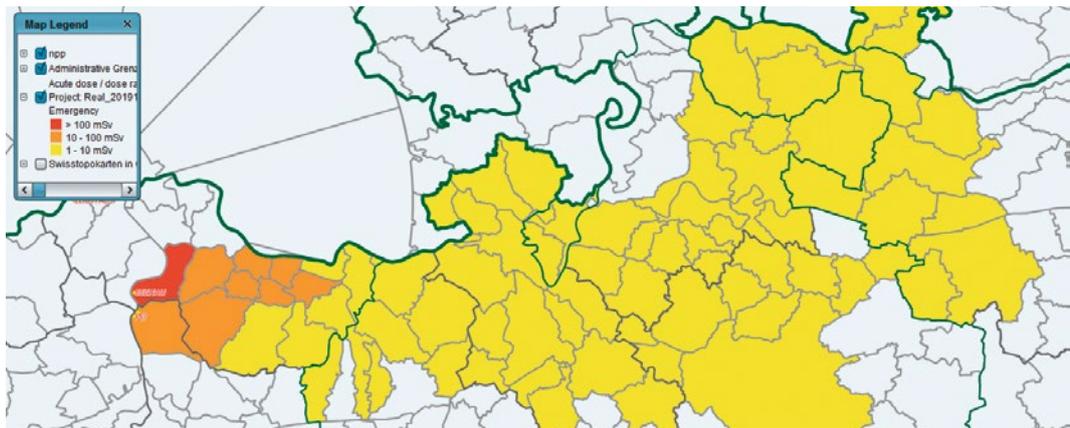
Die dergestalt erweiterte Produktpalette zuhanden der Notfallschutzpartner spiegelt als Grundlage für seine Empfehlungen den umfassenden Beratungsauftrag des ENSI wider und trägt wesentlich zu einem effizienten und effektiven Notfallschutz bei.

6.4 Digitalisierung der Arbeitsweise in der Notfallorganisation

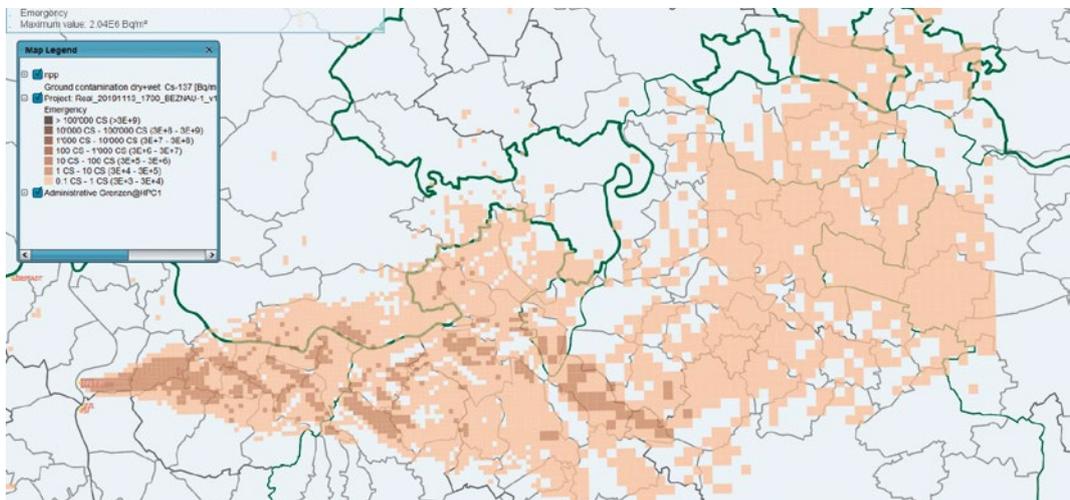
Im Zuge der kontinuierlichen Verbesserung hält die Digitalisierung auch in der Notfallorganisation Einzug. Erste Schritte dahingehend erfolgten bereits in der Vergangenheit durch die Nutzung von digitalen Werkzeugen wie der MADUK-Oberfläche



Darstellung B.5: DMK-Dosisgrösse «Effektive Dosis» visualisiert durch Einföhrung der Rechengitterzellen entsprechend der Dosischwelle nach DMK. Beispiel aus der Gesamtnotfallübung 2019.



Darstellung B.6: DMK-Dosisgrösse «Effektive Dosis» (gleiche Grösse wie in Darstellung B.5) visualisiert durch Einföhrung der politischen Gemeinden entsprechend der Dosischwelle nach DMK. Beispiel aus der Gesamtnotfallübung 2019.



Darstellung B.7: Bodenkontamination für ¹³⁷Cs. Beispiel aus der Gesamtnotfallübung 2019.

oder JRODOS, deren Mehrwert deutlich erkennbar ist. Diese Entwicklung wird mit der Erweiterung der Produktpalette fortgeföhrt: Zur Vereinfachung der Arbeitsabläufe und teil-automatisierten Erstellung der Produkte aus JRODOS wurde im Berichtsjahr eine Pilotoberfläche implementiert und an der Gesamtnotfallübung 2019 testweise genutzt. Diese Pilotoberfläche ermöglicht den beiden Ein-

satzgruppen Strahlenschutz und Reaktorsicherheit der ENSI-Notfallorganisation, einen Grossteil ihrer wiederkehrenden Arbeiten digital zu erledigen und zu dokumentieren; sie ersetzt damit grösstenteils die in diesen beiden Einsatzgruppen bislang genutzten Papierformulare. Seitens Einsatzgruppe Reaktorsicherheit wurde der Fragenkatalog überarbeitet und um eine stark vereinfachte schemati-

Schutzmassnahmen erstellt werden, bei welcher die Notfallschutzzonen und -sektoren sowie die Gemeinden ausserhalb der Notfallschutzzonen entsprechend der darin empfohlenen Schutzmassnahme eingefärbt werden (vgl. Darstellung B.10). Dieses Produkt visualisiert die bislang nur mündlich und schriftlich dargelegte Empfehlung in einer leicht verständlichen und präsentierbaren Form.

Die Pilotoberfläche enthält zusätzlich zu den obengenannten Möglichkeiten eine Übersichtsdarstellung in Ampelform zu den radiologischen Schutzzielen, zum MADUK-Schwellwertalarm, zur Windgeschwindigkeit am Standort und zur Notfallklasse. Dies gibt dem Benutzer einen Überblick über den aktuellen Stand der wesentlichen Kenngrössen und erlaubt eine schnelle, grobe Beurteilung der Situation. Auch wenn die Pilotoberfläche lediglich im Sinne eines Testlaufs während der Gesamtnotfallübung 2019 eingesetzt und bereits einiges an Verbesserungspotenzial identifiziert wurde, so sind die Rückmeldungen sowohl der Benutzer als auch der Notfallschutzpartner sehr positiv. Dies bestärkt die Bestrebungen zur schrittweisen Digitalisierung der Arbeitsweise der Notfallorganisation, welche auch in den kommenden Jahren fortgeführt werden.

7 Aeroradiometrische Messungen

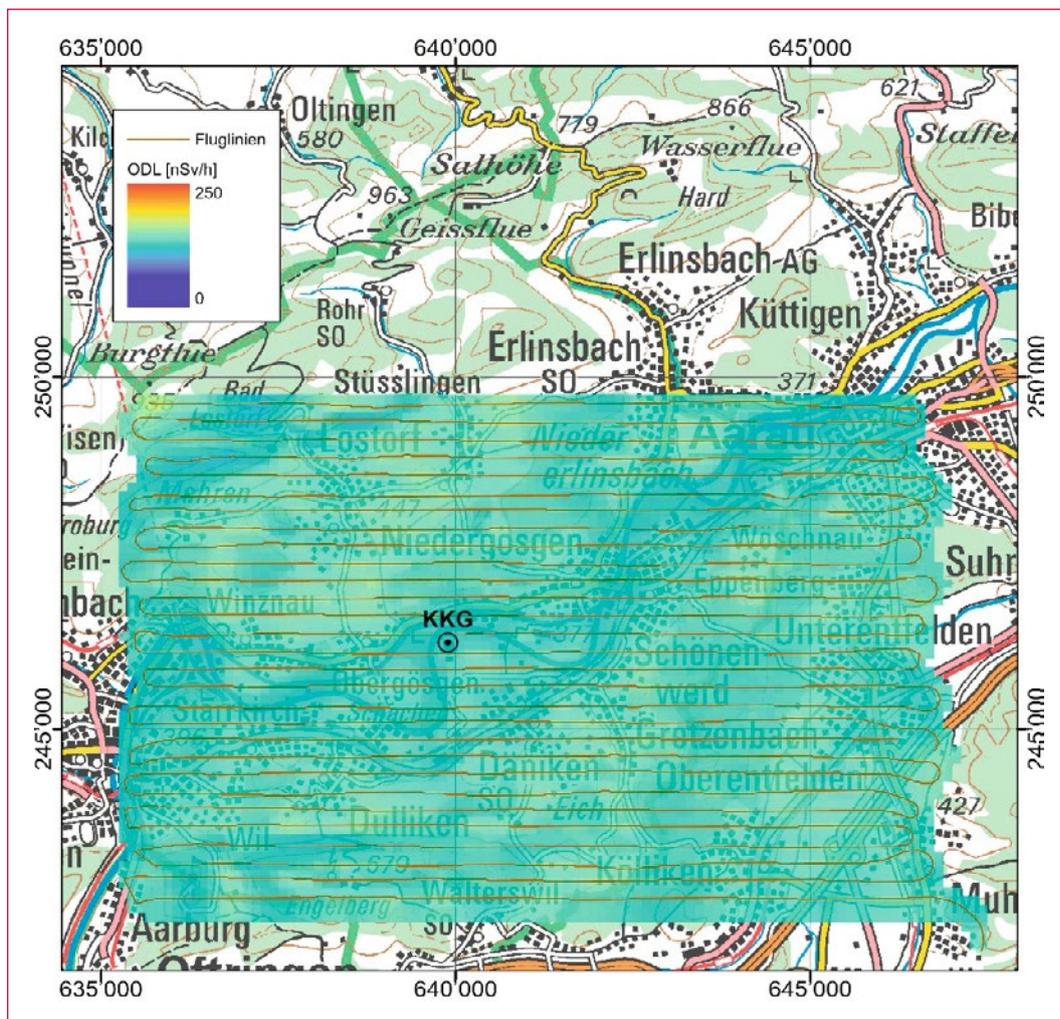
7.1 Einleitung

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 wurden 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 Nuklearreaktoren und «Dirty Bombs» im Vorder-

grund. Die jährlichen Messprogramme werden durch die Fachgruppe Aeroradiometrie zusammengestellt, die sich aus Mitgliedern der beteiligten Stellen zusammensetzt. Der Einsatz erfolgt unter der Regie der NAZ.

Mit den Messflügen 2018 erfolgte die Ablösung des alten Messsystems durch ein Messsystem der Firma Mirion, welches durch die RUAG im Superpuma-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 weiterhin vier Messsysteme für die Aufgaben der NAZ sowie des Kompetenzzentrums ABC KAMIR der Armee zur Verfügung. Wartung und Unterhalt erfolgen durch die Lieferanten. Im Jahre 2010 (Bucher et. al, 2010) wurde mithilfe der Auswertung der Langzeitdaten die Nachweis-



Darstellung B.11:
Ortsdosisleistung 2019
im Messgebiet KKG.
Kartendaten PK200
© Bundesamt für
Landestopografie.

grenze 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 und wird auch vom neuen Messsystem gewährleistet.

7.2 Messungen und Messresultate 2019

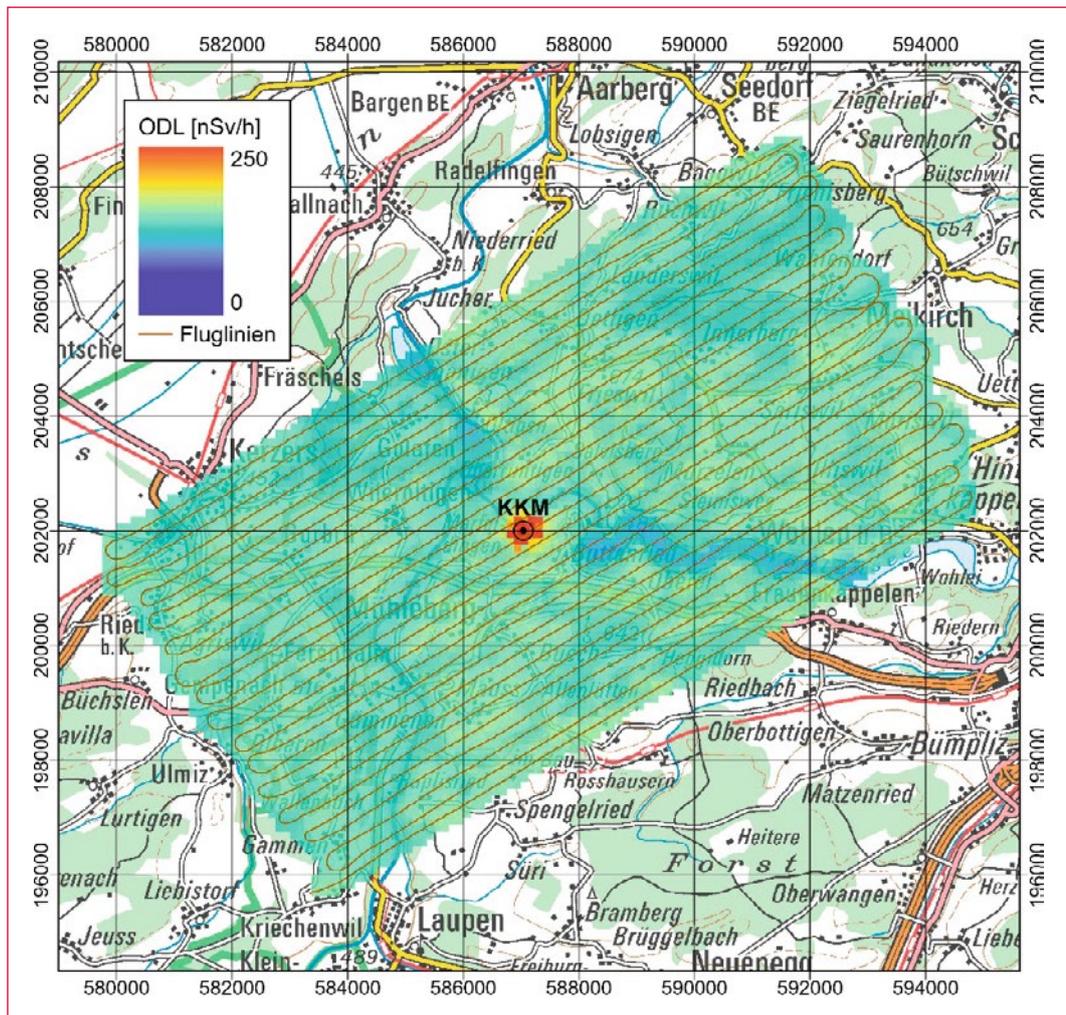
Vom 3. bis 7. Juni 2019 wurden turnusgemäss die Umgebungen des KKG und KKM gemessen. Im Rahmen der Messflüge 2019 wurden zudem die Messungen innerhalb der Zone 2 des KKG komplettiert. Über dem Neuenburgersee wurde ein Steigflug zur Charakterisierung des neuen Messsystems durchgeführt und von Chur bis Torre im Tessin ein Profil aufgenommen. Die detaillierten Ergebnisse sämtlicher Messungen werden in einem PSI-Bericht im Verlauf des Jahres 2020 publiziert.

Die Messresultate in den Messgebieten des KKG und des KKM zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. Im Bereich des KKG sind keine besonderen Werte bei der Ortsdo-

sisleistung (Darstellung B.11) zu erkennen. Das KKG mit seinem Druckwasserreaktor konnte aeroradiometrisch weder aufgrund der Ortsdosisleistung (Darstellung B.11) noch aufgrund des MMGC-Verhältnisses erkannt werden. Das MMGC-Verhältnis steht für den Quotienten der Zählraten im Energiebereich von 400–1400 keV und 1400–3000 keV. Da die meisten Spaltprodukte Gammalinien im Energiebereich unterhalb von 1400 keV aufweisen, stellt das MMGC-Verhältnis ein empfindliches Instrument zur Lokalisierung künstlicher Radionuklide dar.

Im Gegensatz zum KKG können am Standort vom KKM in der Ortsdosisleistungskarte (Darstellung B.12) erhöhte Messwerte erkannt werden. Diese sind beim KKM mit seinem Siedewasserreaktor hauptsächlich auf gestreute, hochenergetische Photonenstrahlung zurückzuführen. 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 hochener-

Darstellung B.12:
Ortsdosisleistung 2019
im Messgebiet KKM.
Kartendaten PK200
© Bundesamt für
Landestopografie.

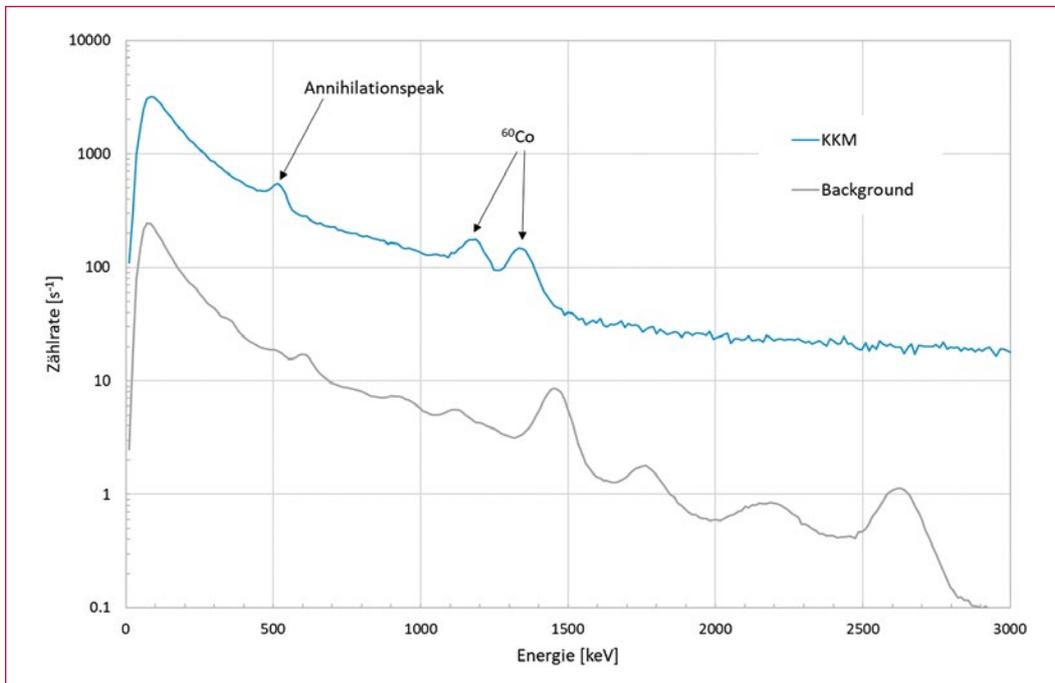


getische Gammastrahlung führt über Paarbildung und die damit verbundene Annihilationsstrahlung auch zu einem Peak bei 511 keV im Spektrum (Darstellung B.13).

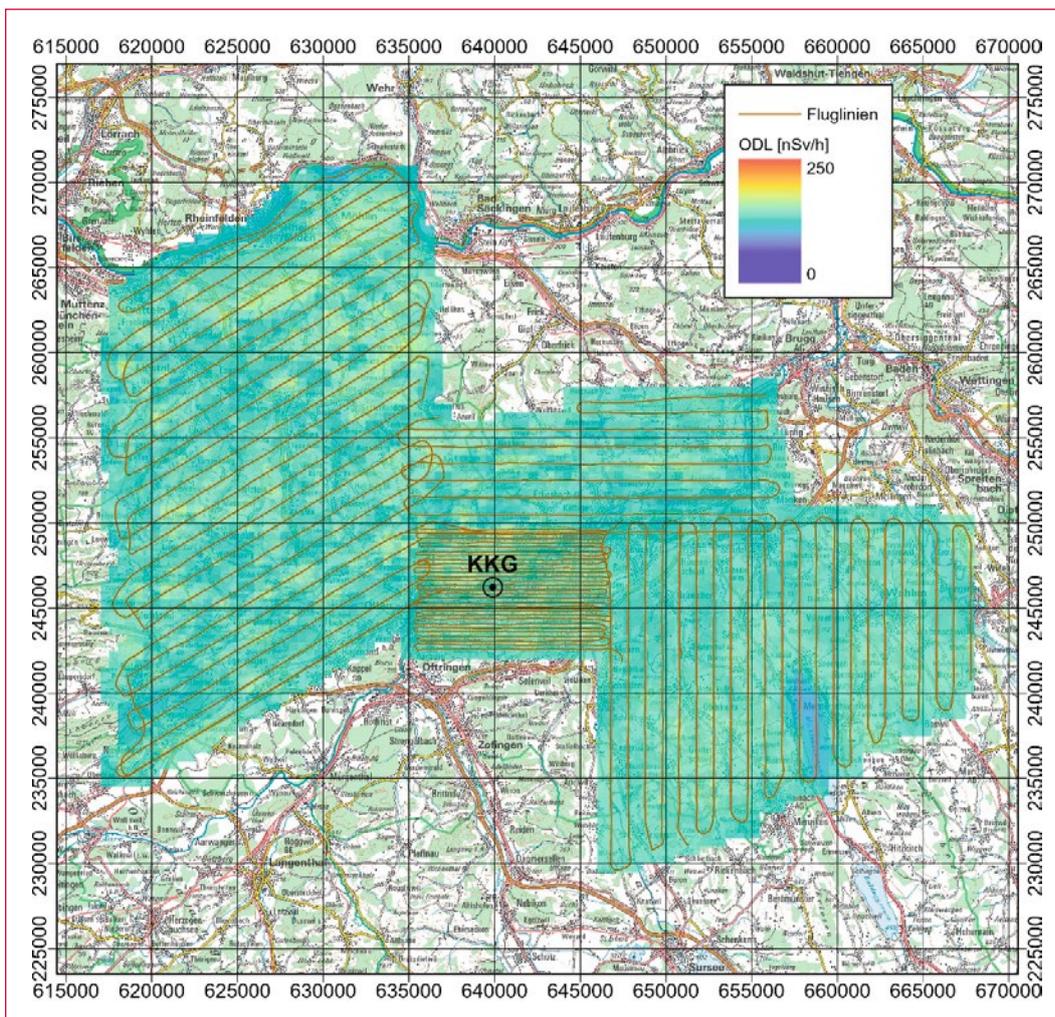
Zum Zeitpunkt der Messflüge war zudem ein Lagerschacht im Zwischenlager des KKM geöffnet.

Es wurden konditionierte Abfallgebinde mit ^{60}Co in das Zwischenlager transferiert. Entsprechend konnte in den Spektren der Doppelpeak von ^{60}Co detektiert werden (Darstellung B.13).

Ausserhalb der Betriebsareale des KKG und des KKM sind keine erhöhten Werte erkennbar.



Darstellung B.13:
Messkampagne 2019:
Gemittelte Spektren im Bereich des Betriebsgeländes KKM und in der weiteren Umgebung (Background).



Darstellung B.14:
Messkampagne 2019:
Ortsdosisleistung im Messgebiet der Zone 2 von KKG.
Kartendaten PK200
© Bundesamt für Landestopografie.

Unterschiede sind auf Einflüsse der Topographie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen.

Im Messgebiet der Notfallschutzzone 2 des KKG liegen die Messwerte im erwarteten Bereich. Unterschiede sind ebenfalls auf Einflüsse der Topographie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen (Darstellung B.14).

7.3 Literatur

Schwarz, G. F., 1991: Methodische Entwicklungen zur Aerogammaspektrometrie. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr.23, Schweizerische Geophysikalische Kommission.

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: Personendosimetriedaten

Tabelle C.1: Anzahl beruflich strahlenexponiertes Personal 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	393	709	1102	471	771	1242	383	1077	1460	247	306	553	1466	2351	3817
> 1,0– 2,0	34	58	92	20	37	57	43	154	197	32	5	37	127	238	365
> 2,0– 5,0	27	52	79	17	9	26	48	141	189	35	6	41	126	227	353
> 5,0–10,0	1		1				7	14	21				8	15	23
Total Personen	455	819	1274	508	817	1325	481	1386	1867	314	317	631	1727	2831	4558
Mittel pro Person [mSv]	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,7	0,7	0,7	0,6	0,1	0,4	0,5	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.

Tabelle C.2: Anzahl beruflich strahlenexponiertes Personal 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	295	83	378	22	400	77	130	207	3817	4340
> 1,0– 2,0				2	2	4	1	5	365	372
> 2,0– 5,0				2	2				353	355
> 5,0–10,0									23	23
Total Personen	295	83	378	26	404	81	131	212	4558	5093
Mittel pro Person [mSv]	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,2	0,0	0,1	0,5	0,5

Personal, das in mehreren Anlagen eingesetzt wurde, wird unter «Total KKW» und «Total Kernanlagen und Forschung» nur einmal gezählt. Dadurch fallen diese Summenwerte kleiner als die Summe der Werte von den einzelnen Anlagen aus. Individualdosen können sich aus den in verschiedenen Anlagen akkumulierten Dosen zusammensetzen.

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

¹ Hochschulen: EPF Lausanne und Universität Basel

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

Tabelle C.3: KKW, PSI¹ und ZZL.

Anlage	Dosisbereich [mSv]	Haut			Extremitäten*		
		Anzahl Personen			Anzahl Personen		
		Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total
KKB	0–25	455	819	1274	22	46	68
KKG	0–25	39	51	90	5	2	7
KKL	0–25	481	1386	1867	1	4	5
KKM	0–25	80	15	95	9	0	9
ZZL	0–25	81	131	212	0	0	0
PSI	0–25	295	83	378	32	3	35
Summe		1431	2485	3916	69	55	124

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

Triagemessungen des beruflich strahlenexponierten Personals

Tabelle C.4: Resultat der Triagemessungen für das beruflich strahlenexponierte Personal (Anzahl Personen beim Eigen- und Fremdpersonal) in Kernanlagen und Forschung (PSI¹).

	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
Resultat der Messungen														
alle negativ	381	660	456	704	467	1289	273	279	151	11	80	119	1808	3062
mind. eine positiv	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1

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

Es wurde 2019 in allen Kernanlagen keine Folgedosen E_{50} infolge Inkorporation registriert.

¹ Aufsichtsbereich des BAG miteinbezogen

Messmethoden der Personendosimetriestellen im Aufsichtsbereich des ENSI

Tabelle C.5: Vom ENSI anerkannte Personendosimetriestellen und deren Messmethoden.

Mess- stelle	Überwachung der äusseren Bestrahlung									Überwachung der Inkorporationen								
	Ganzkörper			Haut			Extremitäten			Ganzkörperzähler			Schilddrüse			Urin		
	r ¹	m ²	a ³	r ¹	m ²	a ³	r ¹	m ²	a ³	r ¹	m ²	a ³	r ¹	m ²	a ³	r ¹	m ²	a ³
KKB 1 und 2	β, γ, x n	DIS PADC	1355 85	β, γ, x	DIS	1355	β, γ, x	TLD	68	γ	Ge	3				α	ASP	5
KKG	γ	DIS	1325	β, γ, x	DIS	1325	γ	TLD	7	γ	PSC	1169	γ	PSC	1160			
KKL	γ	DIS	1984	β, γ, x	DIS	1984	γ	DIS	5	γ	Nal	1874	γ	Nal	1874			
KKM	γ	TLD/ DIS	724	β, γ, x	TLD/ DIS	724	γ	TLD	9	γ	Nal	552	γ	Nal	552			
PSI	g, n	TLD/ DIS/ RPL/ PADC	421	β, γ, x	TLD/ DIS/ RPL	421	γ	TLD	36	γ	Nal/ Ge	0	γ	Nal	0	β	LSC	0
ZZL ⁴	β, γ, x	TLD / DIS	650	β, γ, x	TLD/ DIS	650												

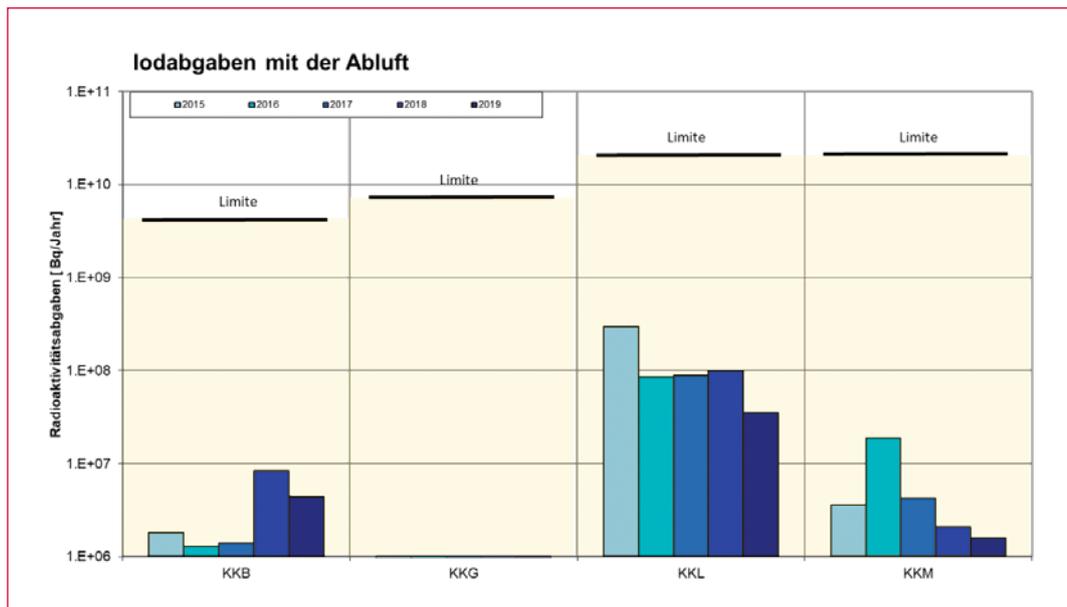
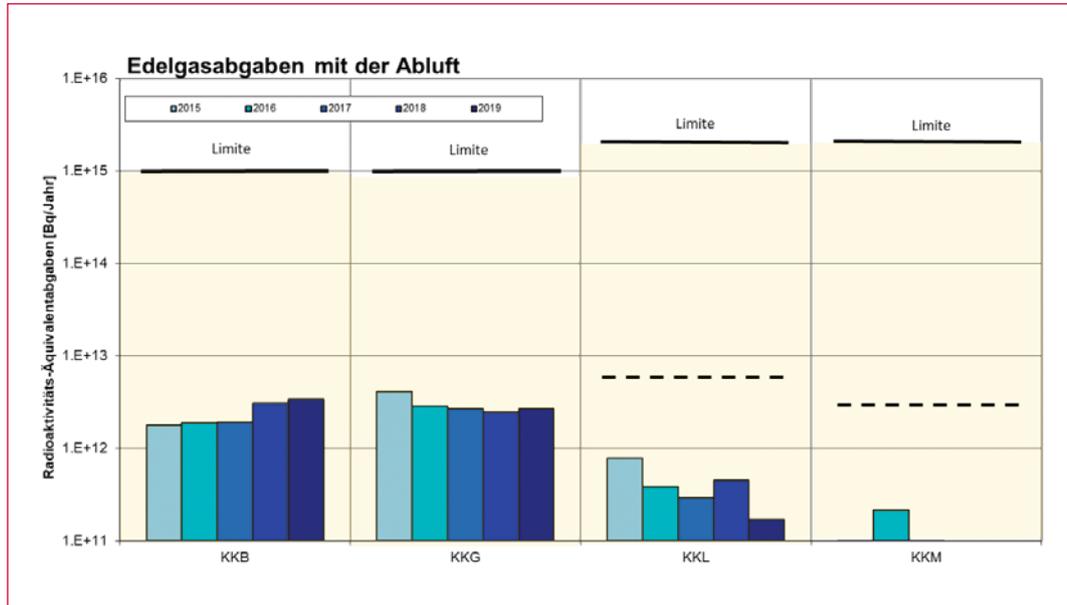
¹ r = Strahlungsart:
 β = Beta
 γ = Gamma
 n = Neutronen
 x = Röntgen

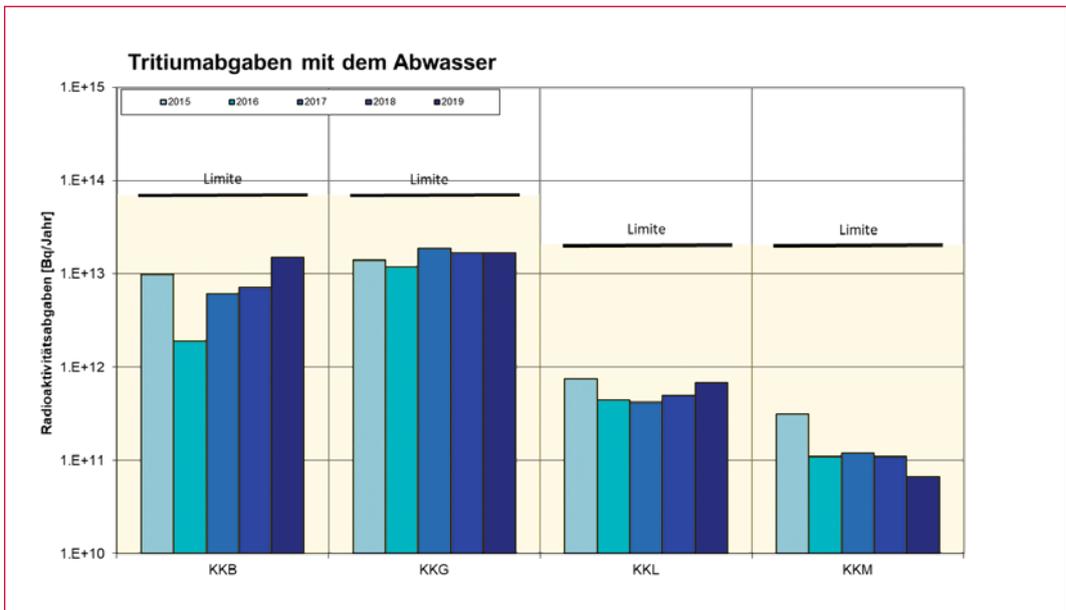
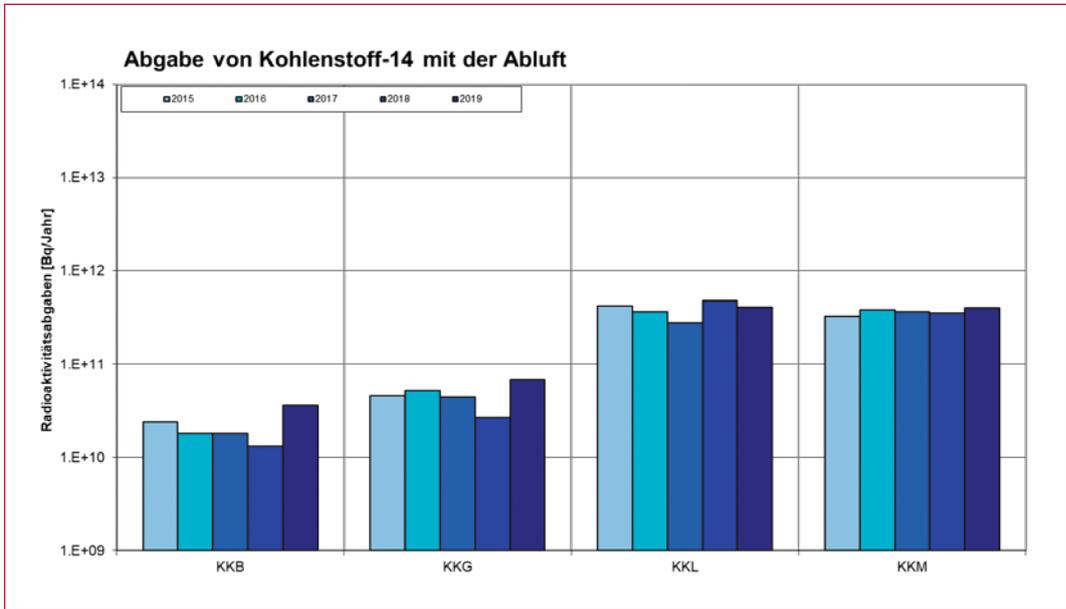
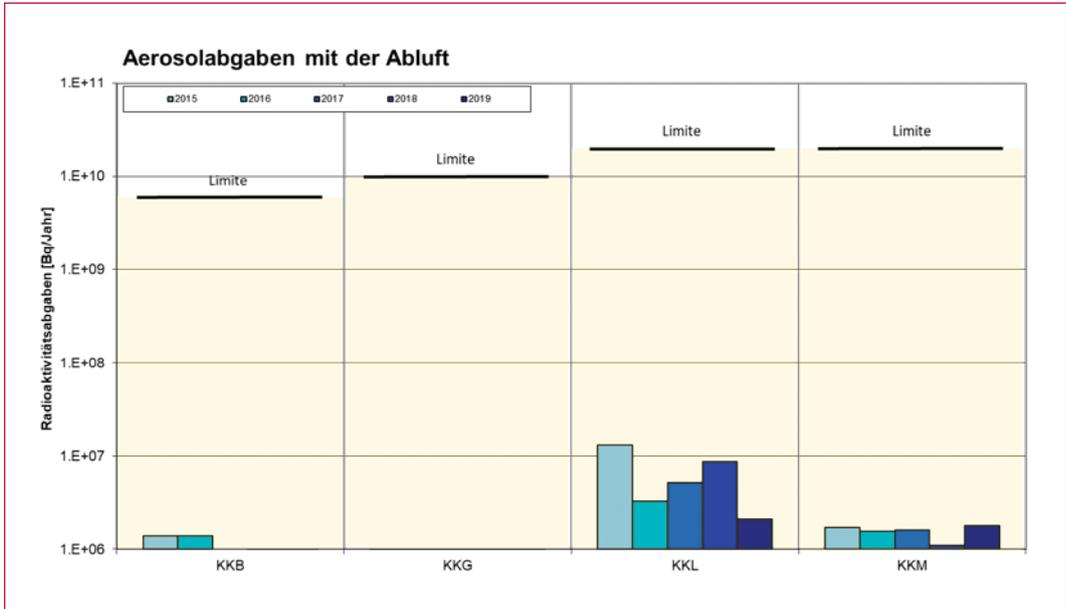
² m = Messmethode:
 TLD = Thermolumineszenzdosimeter
 DIS = Direct Ion Storage
 LSC = Flüssigkeitsszintillator
 Ge = Reinstgermanium-Detektor
 Nal = Nal(Tl)-Szintillator
 PADC = Poly-Allyl-Diglycol-Carbonat
 PSC = Plastikszintillator
 RPL = Radio Photo Luminescence

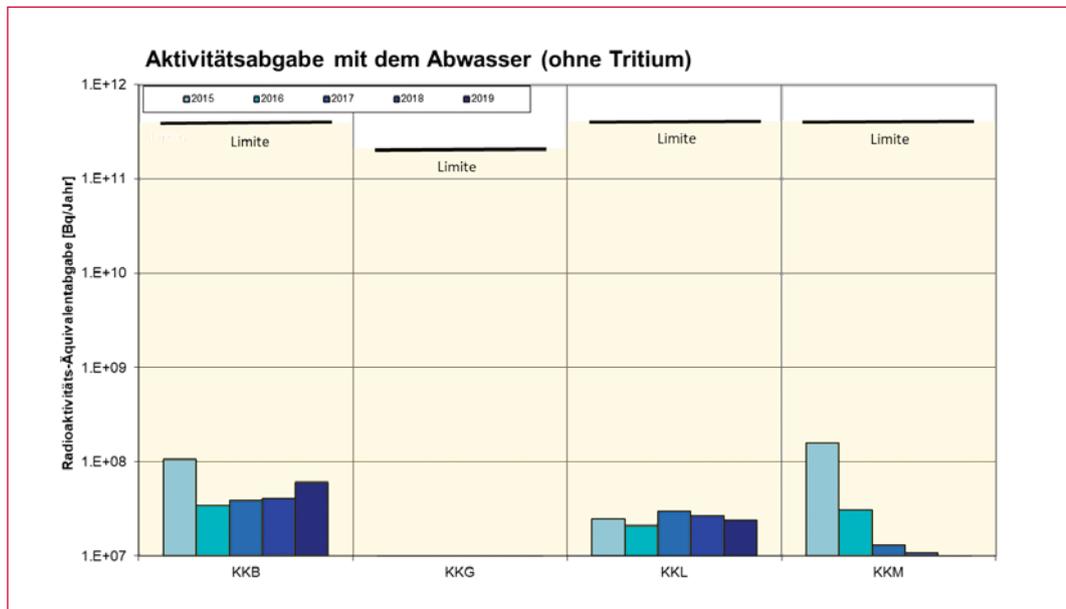
³ a = Anzahl der überwachten Personen

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

Anhang 2: Emissionsdaten aus den Kernanlagen

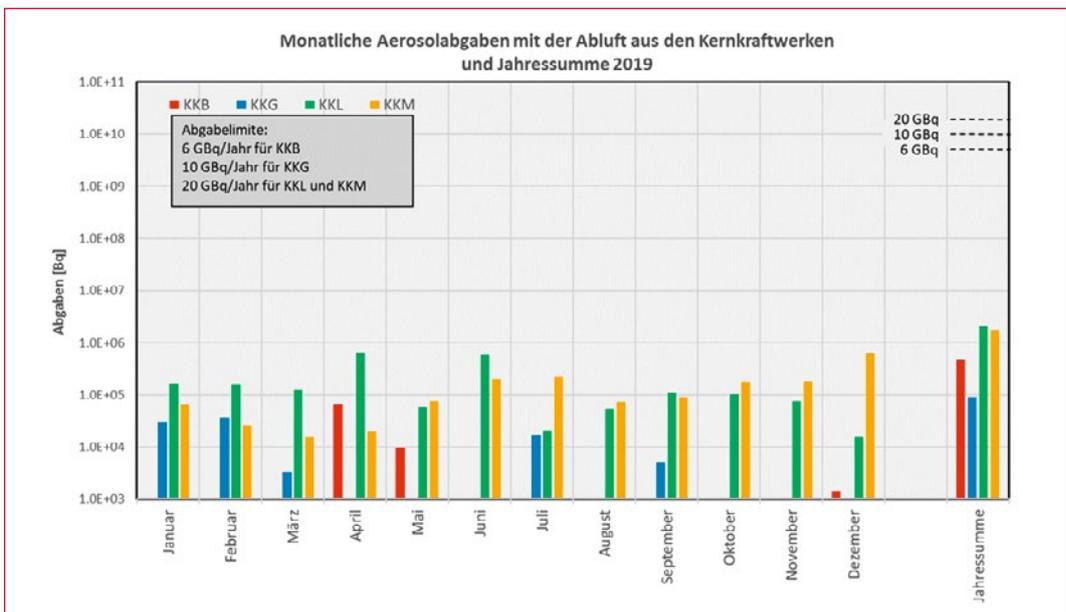
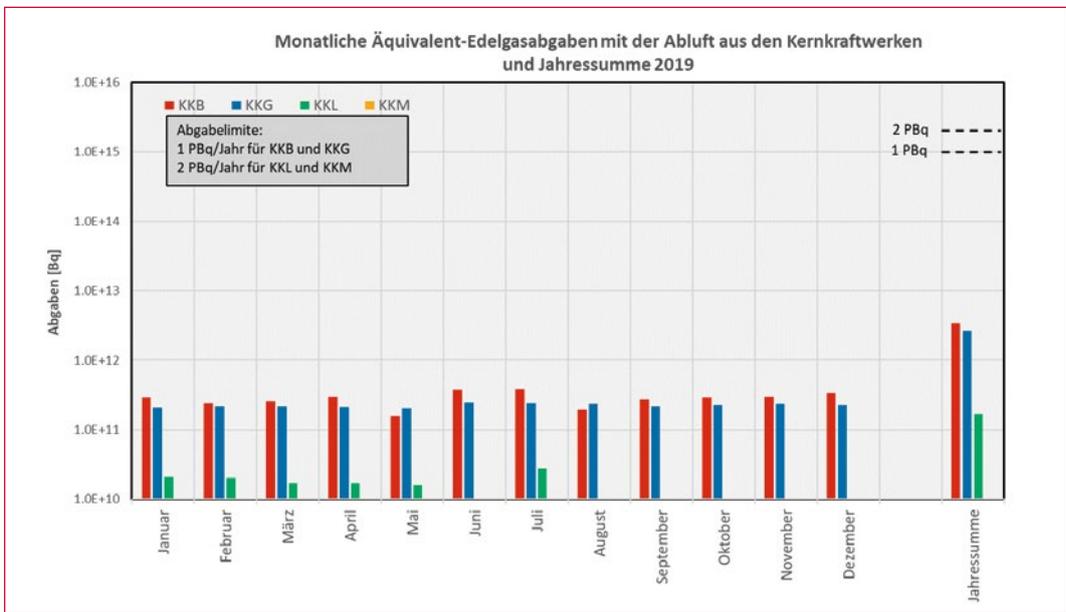
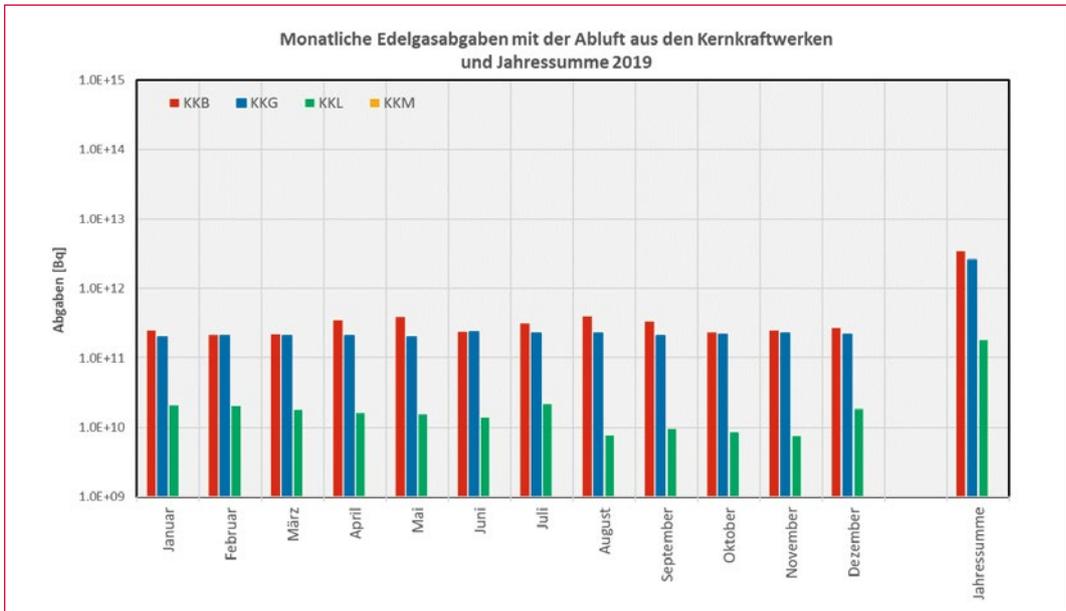


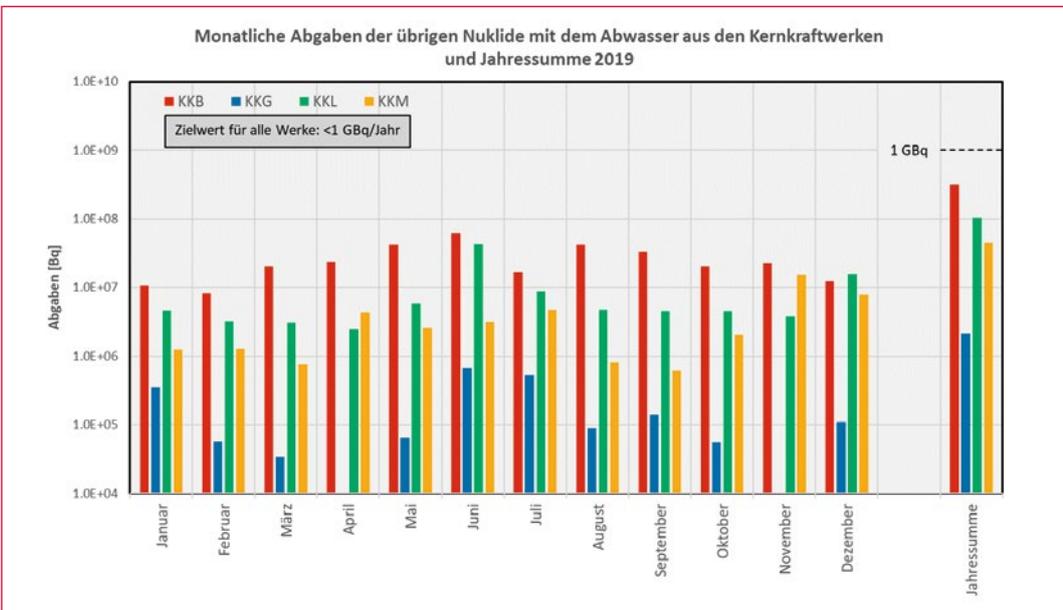
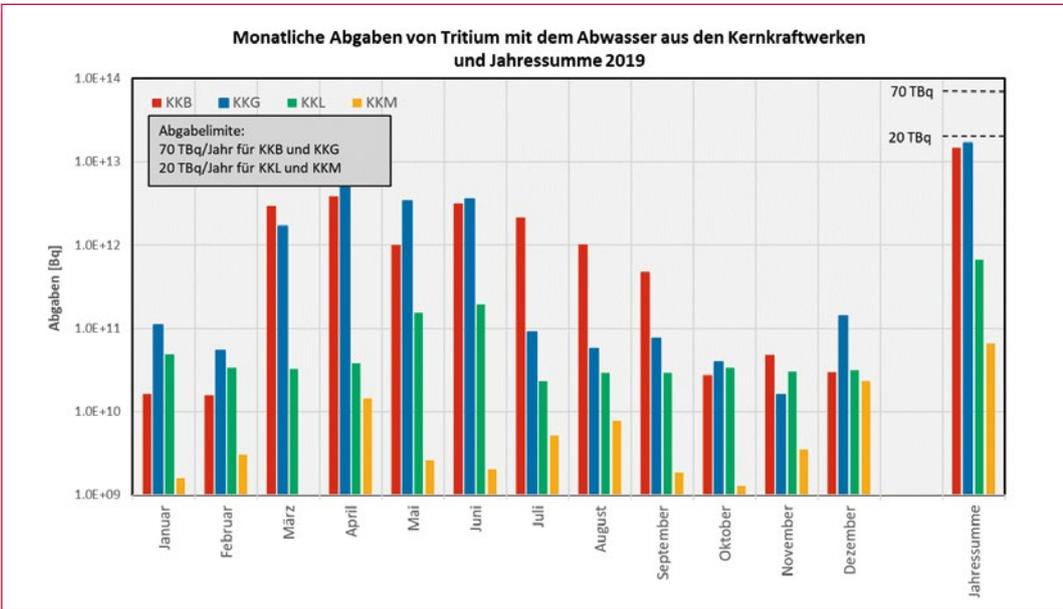
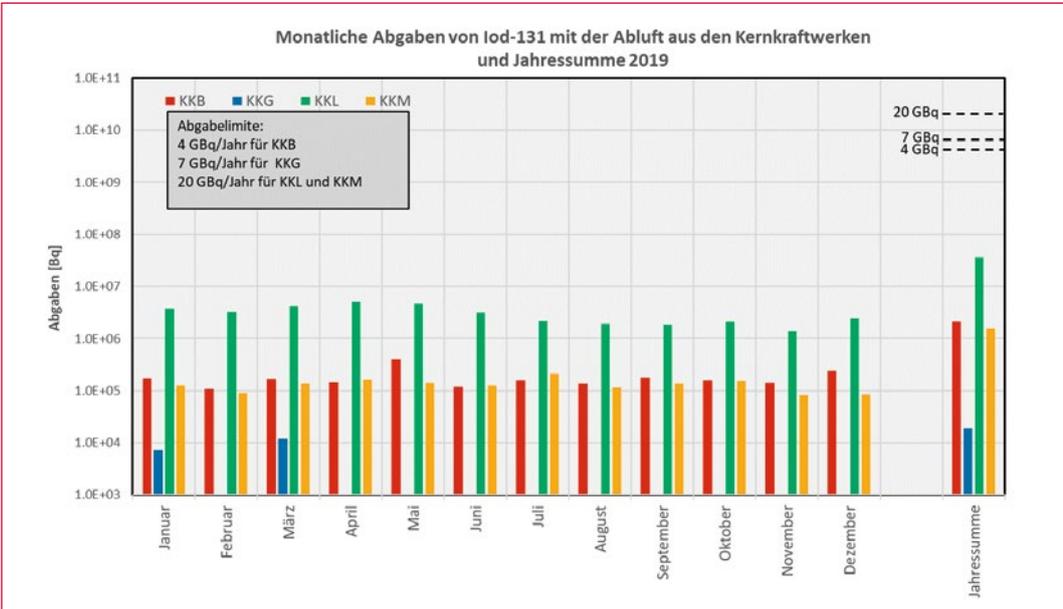


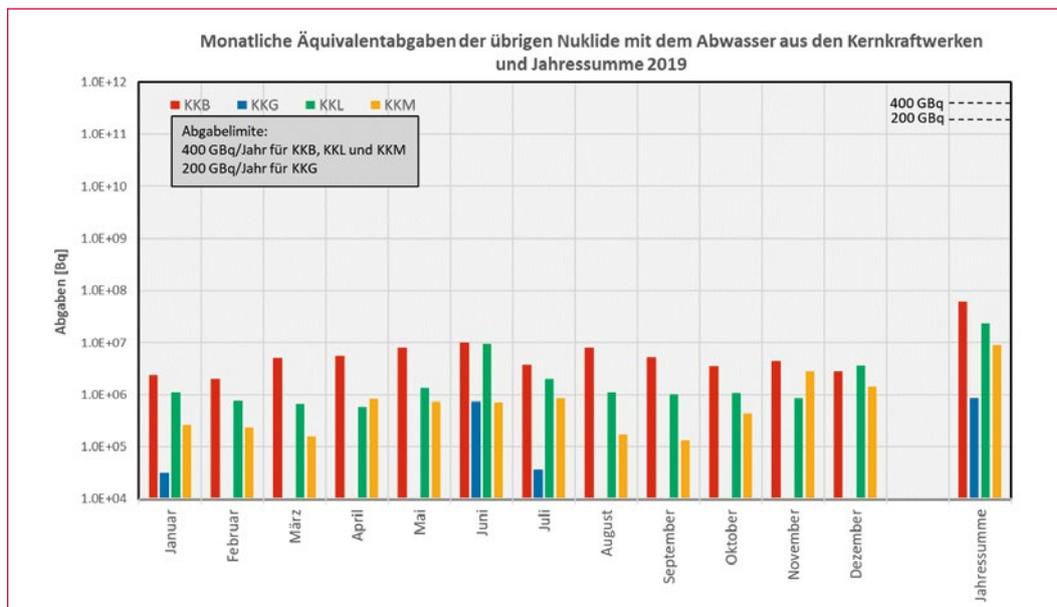


Darstellung D.1a: Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre und mit dem Abwasser in den letzten fünf Jahren (2015 bis 2019) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten.

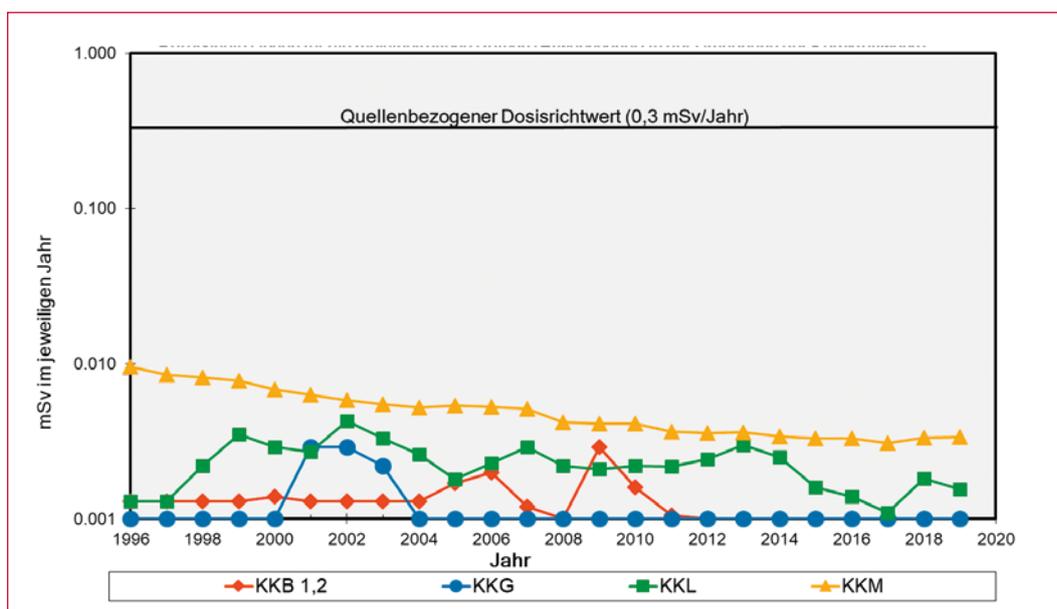
Angegeben ist für die jeweilige Nuklidgruppe und den Abgabepfad die Jahressumme der bei den einzelnen bilanzierenden Messungen durch die Kernkraftwerke ausgewiesenen Aktivitätsabgaben. Die Edelgasbilanzierung im KKB und im KKG basiert auf Beta-Totalmessungen. Für die Umrechnung in die für den Vergleich 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 2019, 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 2019 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 4200 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	3,1·10 ⁸	-	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,5·10 ¹³	1,5·10 ¹³	7·10 ¹³	21%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	3,4·10 ¹²	3,4·10 ¹²	1·10 ¹⁵	0,3%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	4,7·10 ⁵	-	6·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	2,1·10 ⁶	-	4·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,6·10 ¹⁰	-	-	-	<0,001	0,0011	0,0018
	Dosis total					<0,001	0,0011	0,0018	
KKG	Abwasser 7362 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	2,1·10 ⁶	-	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,7·10 ¹³	1,7·10 ¹³	7·10 ¹³	25%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	<2,6·10 ¹²	<2,7·10 ¹²	1·10 ¹⁵	<0,3%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	9,1·10 ⁴	-	1·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	1,9·10 ⁴	-	7·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	6,8·10 ¹⁰	-	-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total					<0,001	<0,001	<0,001	
KKL	Abwasser 13 746 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,0·10 ⁸	-	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	6,8·10 ¹¹	6,8·10 ¹¹	2·10 ¹³	4%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	1,8·10 ¹¹	-	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	4,9·10 ⁵	-	2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	3,6·10 ⁷	3,6·10 ⁷	2·10 ¹⁰	0,2%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	4,1·10 ¹¹	-	-	-	0,0016	0,0021	0,0035
	Dosis total					0,0016	0,0021	0,0035	
KKM	Abwasser 1483 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	4,5·10 ⁷	-	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	6,7·10 ¹⁰	6,7·10 ¹⁰	2·10 ¹³	0,4%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	-	-	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,8·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0,1%	0,0024	0,0024	0,0023
		Iod: ¹³¹ I	1,6·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	4,0·10 ¹¹	-	-	-	<0,001	0,0013	0,0022
	Dosis total					0,0034	0,0037	0,0045	
ZZL	Abwasser 307 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	3,1·10 ⁸	-	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	4,9·10 ⁹	-	-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	β-/γ-Aerosole	2,5·10 ⁵	-	1·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		α-Aerosole	9,9·10 ³	-	3·10 ⁷	-	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	4,8·10 ⁸	-	1·10 ¹²	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,9·10 ⁹	-	1·10 ¹⁴	<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 2019 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	4,1·10 ¹¹	-	-	-	-
β-/γ-Aerosole, ohne Iod	7,4·10 ⁵	-	-	-	2,2·10 ⁴
α-Aerosole	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	4,7·10 ⁴	-	-	-	-
Tritium als HTO	2,3·10 ¹⁰	-	-	1,3·10 ¹⁰	6,6·10 ⁹
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	-	-	-	1,8·10 ⁸	9,7·10 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 1075 m ³	Abluft	Äquivalent-abgaben
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]						
Nuklidgemisch ohne Tritium				6,5·10 ⁷		1,8·10 ⁷
Tritium				3,6·10 ¹⁰		
Abgaben über die Abluft^{1,2} [Bq/a]						
Edelgase und andere Gase	2,4·10 ¹⁴	4,1·10 ¹⁰	-	-	2,4·10 ¹⁴	1,0·10 ¹⁵
β-/γ-Aerosole, ohne Iod	1,2·10 ¹⁰	1,0·10 ⁷	7,6·10 ³	-	1,1·10 ¹⁰	-
α-Aerosole	-	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	1,4·10 ⁸	-	-	-	1,4·10 ⁸	8,2·10 ⁷
Tritium als HTO	3,1·10 ¹²	-	-	-	3,1·10 ¹²	-
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	-	-	-	-	1,9·10 ⁸	-
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:						
Erwachsene	0,010	<0,00015	<0,00015	<0,00015		0,010
Kind 10 Jahre	0,010	<0,00015	<0,00015	<0,00015		0,010
Kleinkinder	0,010	<0,00015	<0,00015	<0,00015		0,010
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert ⁴	6,7%	<0,1%	<0,1%	<0,1%		<7%

Tabelle D.3a: Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2019: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.

Nuklid β -/ γ -Strahler	Abgaben [Bq im Jahr] ²					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
³ H	1,5·10 ¹³	1,7·10 ¹³	6,8·10 ¹¹	6,7·10 ¹⁰	2,6·10 ¹⁰	4,9·10 ⁹
²² Na					1,5·10 ⁵	3,4·10 ⁵
²⁴ Na	4,1·10 ⁶					4,9·10 ⁴
⁵⁴ Mn	3,0·10 ⁶		4,0·10 ⁶	6,3·10 ⁶	1,6·10 ⁵	4,1·10 ⁵
⁵⁷ Co		2,5·10 ⁴			3,2·10 ⁴	
⁵⁸ Co	1,5·10 ⁷		1,8·10 ⁶	2,5·10 ⁶		2,1·10 ⁴
⁶⁰ Co	7,4·10 ⁷		9,8·10 ⁷	3,3·10 ⁷	3,3·10 ⁵	9,4·10 ⁶
⁶⁵ Zn	4,1·10 ⁴			2,1·10 ⁶	3,2·10 ⁴	
^{69m} Zn		3,8·10 ⁴				
⁸⁹ Sr	5,5·10 ⁵		1,0·10 ⁶	1,2·10 ⁵		
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	1,0·10 ⁶	5,7·10 ⁵		1,9·10 ⁵	7,0·10 ⁶	7,8·10 ⁴
⁹⁹ Mo	2,8·10 ⁴					
^{99m} Tc	3,0·10 ⁴				1,6·10 ³	
¹⁰³ Ru	7,3·10 ⁴					
^{110m} Ag	4,9·10 ⁶					
¹¹¹ In					1,5·10 ⁴	
¹²² Sb	2,5·10 ⁶					
¹²⁴ Sb	8,7·10 ⁷					3,1·10 ⁶
¹²⁵ Sb	2,4·10 ⁷					3,2·10 ⁷
^{123m} Te	1,5·10 ⁷	1,5·10 ⁶				
¹³² Te	1,2·10 ⁶					
¹²⁵ I					6,5·10 ³	
¹³¹ I	3,4·10 ⁶					
¹³³ I	4,5·10 ⁵					
¹³³ Ba					3,4·10 ³	
¹³⁴ Cs	7,8·10 ⁵				1,1·10 ⁵	3,5·10 ⁶
¹³⁷ Cs	7,7·10 ⁷	3,2·10 ⁴		6,8·10 ⁵	2,0·10 ⁷	2,6·10 ⁸
¹⁴¹ Ce	2,2·10 ⁴					
¹⁶¹ Tb					9,5·10 ⁶	
¹⁷² Lu					2,0·10 ⁴	
¹⁷³ Lu					8,3·10 ³	
¹⁷⁷ Lu					2,3·10 ⁷	
²⁰⁷ Bi					4,0·10 ³	
α -Strahler	*	<8,8·10 ⁴	9,5·10 ⁴	6,3·10 ³		*
^{234/238} U					3,7·10 ⁴	
^{239/240} Pu	5,5·10 ⁴				1,8·10 ⁴	
²³⁸ Pu/ ²⁴¹ Am	1,9·10 ⁵				1,8·10 ⁴	
²³⁹ Np						
²⁴² Cm	1,1·10 ⁴					
^{243/244} Cm	4,2·10 ⁵					

*Angabe umfasst für das KKB und ZZL das 4. Quartal 2018 bis und mit dem 3. Quartal 2019.

Tabella D.3b: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Edelgase und Iod 2019: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.

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

Tabelle D.3c: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Aerosole 2019: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.

Nuklid β -/ γ -Strahler	Abgaben [Bq im Jahr] ²					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
⁷ Be					3,6·10 ⁵	
²⁴ Na					1,9·10 ⁸	
³⁸ S					1,7·10 ⁸	
³⁹ Cl					4,4·10 ⁹	
⁵¹ Cr		4,6·10 ⁴		2,5·10 ⁵		
⁵⁴ Mn				1,9·10 ⁵		
⁵⁷ Co		4,6·10 ³				
⁵⁸ Co			3,7·10 ⁴	1,3·10 ⁵		
⁵⁹ Fe				6,5·10 ³		
⁶⁰ Co	6,8·10 ⁴		4,6·10 ⁵	5,8·10 ⁵	8,9·10 ⁵	1,3·10 ³
⁶⁵ Zn				1,1·10 ⁵		
⁷⁷ Br					3,3·10 ⁶	
^{80m} Br					1,8·10 ⁸	
⁸² Br					7,8·10 ⁸	
⁸⁹ Sr			1,4·10 ⁵			
⁹⁰ Sr						
^{99m} Tc					7,4·10 ⁵	
¹⁰³ Ru	4,0·10 ³	2,5·10 ³				
¹²¹ Te					4,7·10 ⁴	
^{123m} Te		3,0·10 ³				
¹²⁵ Sb				5,0·10 ⁵		
¹³¹ I (Aerosol)			1,6·10 ⁶			
¹³⁴ Cs						
¹³⁷ Cs	6,9·10 ³			3,8·10 ³		2,3·10 ³
¹⁴¹ Ce		3,3·10 ³				
¹⁴⁴ Ce		3,2·10 ⁴				
¹⁸¹ Re					6,8·10 ⁷	
¹⁸² Re					4,0·10 ⁸	
^{182m} Re					5,1·10 ⁵	
¹⁸³ Re					9,4·10 ⁶	
¹⁸² Os					2,2·10 ⁸	
¹⁸³ Os					2,5·10 ⁸	
^{183m} Os					1,8·10 ⁸	
¹⁸⁵ Os					1,6·10 ⁷	
¹⁹¹ Os	3,9·10 ⁵					
¹⁹¹ Pt					1,5·10 ⁷	
¹⁹² Au					2,4·10 ⁹	
¹⁹³ Au					3,5·10 ⁸	
¹⁹⁴ Au					4,3·10 ⁴	
¹⁹² Hg					2,0·10 ⁹	
^{193m} Hg					3,2·10 ⁸	
¹⁹⁴ Hg					4,3·10 ⁴	
¹⁹⁵ Hg					2,1·10 ⁹	
^{195m} Hg					1,4·10 ⁸	
^{197m} Hg					1,6·10 ⁸	
²⁰³ Hg					8,5·10 ⁶	
Nicht spezifizierte						2,5·10 ⁵
α -Aerosole	3,9·10 ³	2,5·10 ⁴	3,8·10 ³	1,9·10 ⁴		9,9·10 ³

Fussnoten zu den Tabellen D.1 bis D.3

¹ Bei der **Art der Abgaben** resp. den **Bilanzier-ten Abgaben** ist folgendes zu präzisieren:

Abwasser: Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-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 (Spalte «Normiert»). 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 demge-

genüber vernachlässigbar und liegt in der Grössenordnung der anderen schweizerischen Kernkraftwerke.

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

Beim PSI, bei dem andere Iod-Isotope nachgewiesen werden, ist die Abgabe für die einzelnen Abgabestellen und die Gesamtanlage als Summe der Aktivität der gemessenen Iod-Nuklide angegeben. Für die Gesamtabgabe wird zudem auch ein ¹³¹Iod-Äquivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben, wobei sich der Gewichtungsfaktor aus dem Verhältnis des Ingestionsdosisfaktors des jeweiligen Nuklides zum Ingestionsdosisfaktor von ¹³¹I ergibt. Die Ingestionsdosisfaktoren sind der 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 ¹³¹I 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 zirka + 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 zirka 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-10872
ISSN 1661-2914

© ENSI, Juni 2020

ENSI-AN-10872
ISSN 1661-2914

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