



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

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



Strahlenschutzbericht 2020



**Strahlenschutzbericht
Rapport sur la radioprotection
Rapporto di radioprotezione
Radiation protection report**

2020

INHALTS- VERZEICHNIS

06

Vorwort **6**

Préface	6
Prefazione	8
Foreword	8

10

Zehn Jahre nach Fukushima **10**

24

Strahlenschutz in den Kernanlagen **24**

01 Grundlagen anlageninterner Strahlenschutz	26
02 Kernkraftwerke	32
2.1 Kernkraftwerk Beznau, Block 1 und 2 (KKB 1 und KKB 2)	32
2.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)	40
2.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)	48
2.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)	56
03 Weitere Kernanlagen	64
3.1 Paul Scherrer Institut (PSI)	65
3.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)	68
3.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)	71
3.4 Universität Basel	72

74

Umgebungsüberwachung und Schutz der Bevölkerung: Emissionen und Immissionen **74**

04 Grundlagen Emissions- und Immissionsüberwachung	76
05 Emissionen aus den Kernanlagen	77
06 Immissionen in der Umgebung der Kernanlagen	81
6.1 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen	81
6.2 Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)	82
6.3 In-situ-gammaspektrometrische Messungen in der Umgebung der Kernanlagen	91
6.4 Immissionsmessungen im Wasserpfad	91
6.5 «Ergänzungsprogramm – Nullpegelmessung Rückbau Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) 2017–2019»	92
6.6 Aeroradiometrische Messungen	92

96

Notfallschutz **96**

07 Grundlagen Notfallschutz	98
7.1 Notfallschutz in der Schweiz	101
7.2 Notfallschutz international	103
08 Notfallschutz im ENSI	106
8.1 Aufgaben des ENSI	106
8.2 Die ENSI-Notfallorganisation	107
09 Notfallschutz Inspektionen	117



120

Anhang 1 – Dosimetriedaten **120**

122

Anhang 2 – Emissionsdaten aus den Kernanlagen **122**

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser

Das Jahr 2020 wurde von der COVID-19-Pandemie geprägt. Die Betreiber von Kernanlagen in der Schweiz sowie das ENSI als Aufsichtsbehörde haben sich anpassen und unter erschwerten Bedingungen arbeiten müssen, um den Schutz von Mensch und Umwelt vor radiologischen Risiken weiterhin zu gewährleisten.

Das ENSI hat sich anhand eines durchgehenden Programms mit Kontrollen, Inspektionen und Messungen davon überzeugt, dass 2020 alle Kernanlagen in der Schweiz die Limiten für die Abgabe radioaktiver Stoffe an die Umwelt mit grossen Margen einhielten. Aus dem Betrieb der Kernanlagen resultieren im Jahresmittel (potentielle) Dosen für die Bevölkerung, die kleiner als 0,01 mSv sind (unter «Übrige» in der nachfolgenden Figur subsumiert dargestellt). Für das Berichtsjahr kann das ENSI ebenfalls bestätigen, dass alle gesetzlichen Anforderungen an die Strahlenexposition des Personals in den Kernanlagen eingehalten wurden.

Préface

Chères lectrices, chers lecteurs,

L'année 2020 a été marquée par la pandémie de COVID-19. Les exploitants d'installations nucléaires en Suisse ainsi que l'IFSN comme autorité de surveillance ont dû s'adapter et travailler dans des conditions particulières afin de continuer d'assurer la protection de l'être humain et de l'environnement contre les risques radiologiques.

Grâce à un programme continu de contrôles, d'inspections et de mesures, l'IFSN s'est assurée qu'en 2020 toutes les installations nucléaires en Suisse respectaient avec de grandes marges les limites de rejet de substances radioactives dans l'environnement. L'exploitation des installations nucléaires entraîne une moyenne annuelle de doses (potentielles) à la population inférieure à 0,01 mSv (inclue sous «Autres» dans le graphique ci-dessous). Pour l'année sous revue, l'IFSN peut également confirmer que toutes les exigences légales concernant l'exposition du personnel aux rayonnements dans les installations nucléaires ont été respectées.

Mittlere Jahresdosis / Dose annuelle moyenne [mSv]



Ein Schwerpunkt für die Aufsicht im Berichtsjahr war das am 19. Dezember 2019 definitiv abgestellte Kernkraftwerk Mühleberg. Das ENSI hat die sicherheitstechnisch notwendigen Anlagenänderungen sowie die Vorbereitungsarbeiten für die Stilllegung beaufsichtigt. Im Bereich Strahlenschutz ging es konkret um die Begutachtung der Prozesse für die Befreiung von Materialien, die Prüfung von Strahlenschutzplanungen und die Beurteilung der Auslegung und Installation der Dekontaminationseinrichtungen im Freigabeverfahren. Die dosisintensiven Rückbautätigkeiten werden für die nächsten Jahre weiterhin im Fokus des ENSI bleiben.

Im Bereich Notfallschutz wurde der Schwerpunkt auf den Erhalt der Einsatzfähigkeit der Notfallorganisationen unter Pandemiebedingungen gelegt. Zudem wurde der schwere Nuklearunfall in Fukushima-Daiichi von 2011 nochmals unter die Lupe genommen, um weitere Erkenntnisse für die Notfallvorsorge und das Krisenmanagement in der Schweiz zu gewinnen.

Für das ENSI gehört die Information der Öffentlichkeit zum gesetzlichen Auftrag. Als Leiterin des Fachbereichs Strahlenschutz im ENSI ist es mir ein Anliegen einen proaktiven Beitrag dazu zu leisten mittels einer transparenten Informationspolitik zu unseren Strahlenschutzthemen. Die Berichterstattung im Strahlenschutz erfolgt neben dem jährlichen Strahlenschutzbericht mit der Publikation in Echtzeit der Messergebnisse aus dem MADUK-Umweltüberwachungssystem des ENSI sowie der monatlichen Publikation der Abgaben aus den Kernanlagen.

Ich lade Sie dazu ein, uns Ihr Feedback und Ihre Anregungen zum neuen Erscheinungsbild des Strahlenschutzberichtes an info@ensi.ch zu senden.

Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre.



Rosa Sardella

L'un des accents de la surveillance au cours de l'année sous revue a été la centrale nucléaire de Mühleberg, qui a été définitivement mise à l'arrêt le 19 décembre 2019. L'IFSN a supervisé les modifications de l'installation requises pour des raisons de sécurité et les travaux préparatoires pour la désaffectation. Pour ce qui concerne la radioprotection, il s'agissait notamment de l'évaluation des processus de libération des matériaux, de l'examen des plans de radioprotection et de l'évaluation, dans le cadre de la procédure d'autorisation, de la conception et de l'installation des équipements de décontamination. Les activités de démantèlement à dose intensive resteront au centre de l'attention de l'IFSN au cours des prochaines années.

Dans le domaine de la protection en cas d'urgence, l'accent a été mis sur le maintien de la capacité opérationnelle des organisations d'urgence dans des conditions de pandémie. En outre, le grave accident nucléaire de Fukushima-Daiichi de 2011 a été réexaminé afin d'en tirer des enseignements pour la préparation aux situations d'urgence et à la gestion des crises en Suisse.

Pour l'IFSN, l'information au public fait partie de son mandat légal. En tant que responsable de la division Radioprotection à l'IFSN, il me tient à cœur d'y contribuer de manière proactive par une politique d'information transparente dans le domaine de la radioprotection. Outre le rapport annuel sur la radioprotection, l'information dans le domaine de la radioprotection comprend également la publication en ligne en temps réel des résultats de mesure du système de surveillance de l'environnement MADUK de l'IFSN, ainsi que la publication mensuelle des rejets des installations nucléaires.

En espérant que la nouvelle apparence du Rapport sur la radioprotection vous plaira, je vous invite à nous envoyer vos suggestions à info@ensi.ch.

Je vous souhaite une lecture enrichissante.

Prefazione

Foreword

Cari lettori e care lettrici

Dear Readers,

Il 2020 è stato dominato dalla pandemia COVID-19. I gestori degli impianti nucleari in Svizzera, così come l'IFSN in qualità di autorità di vigilanza, hanno dovuto adattarsi e lavorare in condizioni straordinarie per continuare a garantire la protezione delle persone e dell'ambiente dai rischi radiologici.

The year 2020 was defined by the COVID-19 pandemic. The operators of nuclear installations in Switzerland and ENSI as the regulatory authority had to adapt and work under exceptional conditions to ensure the continued protection of people and the environment against radiation hazards.

In base a un programma continuo di controlli, ispezioni e misurazioni, l'IFSN può certificare che nel 2020 tutti gli impianti nucleari in Svizzera hanno rispettato con ampi margini i limiti di emissione di sostanze radioattive nell'ambiente. Il funzionamento degli impianti nucleari comporta (potenzialmente) una dose media annuale alla popolazione inferiore a 0,01 mSv (inclusa sotto «Altri» nella figura seguente). Anche per l'anno in esame l'IFSN può confermare che tutte le prescrizioni legali per l'esposizione alle radiazioni del personale negli impianti nucleari sono state rispettate.

Based on a continuous programme of checks, inspections and measurements, ENSI is confident that all nuclear installations in Switzerland have complied with the limits for the release of radioactive substances into the environment by a considerable margin during 2020. The operation of nuclear installations results in a (potential) mean annual dose for the population that is less than 0.01 mSv (included under Others in the following figure). ENSI can also confirm for the reporting year that all legal requirements on the radiation exposure of personnel in the nuclear installations have been complied with.

Dose media annuale / Average annual dose [mSv]



Una delle priorità per la vigilanza nell'anno in esame è stata la centrale nucleare di Mühleberg, il cui esercizio è definitivamente terminato il 19 dicembre 2019. L'IFSN ha supervisionato le modifiche dell'impianto necessarie per motivi di sicurezza e i lavori preparatori per la disattivazione. Nell'ambito della radioprotezione, ciò ha comportato specificamente la valutazione dei processi di esenzione dei materiali, la revisione dei piani di radioprotezione e la valutazione nella procedura di autorizzazione della progettazione e dell'installazione degli impianti di decontaminazione. Quelle attività di smantellamento con dosi rilevanti rimarranno l'obiettivo dell'IFSN per i prossimi anni.

Nell'area della risposta alle emergenze, l'attenzione si è concentrata sul mantenimento della capacità operativa delle organizzazioni d'emergenza in condizioni di pandemia. Inoltre, il grave incidente nucleare di Fukushima-Daiichi del 2011 è stato esaminato di nuovo approfonditamente al fine di ottenere ulteriori spunti per la preparazione alle emergenze e la gestione delle crisi in Svizzera.

Fornire informazioni al pubblico fa parte del mandato legale dell'IFSN. Come responsabile della divisione Radioprotezione dell'IFSN ritengo di contribuire in modo proattivo a questa finalità mediante una politica d'informazione trasparente nel campo della radioprotezione. Oltre al rapporto annuale sulla radioprotezione, il reporting nel settore della radioprotezione comprende anche la pubblicazione online in tempo reale dei risultati delle misurazioni del sistema di monitoraggio ambientale MADUK dell'IFSN e la pubblicazione mensile delle emissioni degli impianti nucleari.

Nella speranza che il nuovo layout del Rapporto di radioprotezione incontri la vostra approvazione, vi invito a inviarci i vostri suggerimenti a info@ensi.ch.

Buona lettura.



Rosa Sardella

Oversight activities during the reporting year focused among others on the Mühleberg Nuclear Power Plant which was shutdown on 19 December 2019. ENSI oversaw the necessary plant safety changes and the preparations for decommissioning. In terms of radiation protection, this involved appraising the processes for the clearance of materials, checking the radiation protection plans and assessing as part of the approval process the design and installation of the decontamination facilities. The high-dose dismantling activities will remain a focus of ENSI's activities over the coming years.

In terms of emergency preparedness, the focus was on maintaining operational capabilities of the response organisations under pandemic conditions. In addition, the major nuclear accident in Fukushima-Daiichi was again subject to scrutiny with the aim of gaining more insights into emergency preparedness and crisis management in Switzerland.

Keeping the public informed is another aspect of ENSI's legal mandate. As head of the Radiation protection division at ENSI, it is my concern to make a proactive contribution to this goal by means of a transparent information policy on radiation protection topics. Alongside the annual radiation protection report, reporting on radiation protection is also covered by means of an online link to the real-time measurement results from ENSI's MADUK environmental monitoring network as well as in the monthly publication of the releases from nuclear installations.

While I hope that you like the new layout of the Radiation protection report, if you have any thoughts, feedback or tips, please feel free to share these with us by emailing info@ensi.ch.

Enjoy your reading.

ZEHN JAHRE NACH FUKUSHIMA

Am 11. März 2011 um 14:46 Uhr (Ortszeit) ereignete sich ein Erdbeben der Magnitude 9,0 im Pazifischen Ozean, circa 140 Kilometer vor der japanischen Ostküste, dessen Epizentrum sich 24 Kilometer unter dem Meeresboden befand. Kurz danach, um 15:36 Uhr, wurde die japanische Ostküste von einem Tsunami mit Wellenhöhen bis zu 16 Metern (und noch grösseren geschätzten Auflaufhöhen) überschwemmt. Die Naturereignisse verursachten katastrophale Schäden und zogen fast 20 000 Tote nach sich. Sie waren auch der Beginn des Nuklearunfalls am Standort Fukushima-Daiichi.

Freisetzungen radioaktiver Stoffe beim Nuklearunfall von Fukushima-Daiichi

Die Bestimmung der aus Fukushima-Daiichi während des Nuklearunfalls 2011 freigesetzten Menge radioaktiver Stoffe (der sogenannte Quellterm) ist bis heute mit Unsicherheiten behaftet.

Aufgrund des totalen Verlusts der Stromversorgung am Standort Fukushima-Daiichi, der Infrastrukturschäden in der Umgebung und der Explosionen innerhalb der Anlage war die für die Messung von Freisetzungen vorgesehene Instrumentierung der Anlage nicht verfügbar beziehungsweise zerstört. Die Infrastrukturschäden hatten zudem die Messinstrumentierung in der Umgebung teilweise unbrauchbar gemacht. Für die Bestimmung der tatsächlich freigesetzten Menge radioaktiver Stoffe und der Dauer der Abgabe musste daher auf Abschätzungen und aufwändige Rückrechnungen auf Basis der vorhandenen Daten zurückgegriffen werden.

Zur Bestimmung eines Quellterms müssen die radioaktiven Stoffe während der Freisetzung gemessen beziehungsweise bilanziert werden. Das ist genau dann möglich, wenn eine Instrumentierung installiert ist, die in der Lage ist, grosse Mengen von Radioaktivität zu erfassen, die Freisetzung innerhalb des Messbereichs der Instrumentierung liegt und wenn der Abgabepfad bekannt ist. Gelangt zum Beispiel eine grosse Menge radioaktiver Stoffe über den

Kamin in die Umwelt, ist der Quellterm hinreichend genau bestimmbar. Ist eine Messung nicht installiert oder verfügbar, etwa durch den kompletten Verlust der Stromversorgung, oder kann nicht ausgeschlossen werden, dass radioaktive Stoffe auch über andere Wege in die Umwelt gelangen, wird die Bestimmung des Quellterms schwieriger. Beides traf auf die Situation in drei Blöcken des Kernkraftwerks Fukushima-Daiichi zu.

In diesem Fall ist die Bestimmung der tatsächlich freigesetzten Menge radioaktiver Stoffe nur möglich, indem die nachfolgende Kontamination in der Umgebung gemessen wird – inklusive Bestimmung der entsprechenden Isotope – und indem mit den vorhandenen Wetterdaten der Quellterm rückwärts berechnet wird. Die Genauigkeit des Quellterms ist demnach abhängig von der Messgenauigkeit der Kontamination und der Qualität der Wetterdaten (primär dreidimensionale Windfelddaten in genügend hoher Auflösung und Niederschlagsdaten) während der Freisetzung. Bei Fukushima-Daiichi kommt erschwerend hinzu, dass die Freisetzung über den Pazifischen Ozean nicht zu einer stationären und einfach messbaren Kontamination führte. Zur Bestimmung dieses Anteils des Quellterms wurden Kontaminationsmessungen im Ozean und Interpolationen von Kontaminationswerten an Land beigezogen. Der zeitliche Ablauf der Freisetzung kann über Ortsdosismesssonden bestimmt werden, wie sie in der Schweiz zur Überwachung der Radioaktivität in

der Umgebung von Kernanlagen installiert sind (MADUK, Kapitel 6.2). Die Bestimmung eines Quellterms nach einer Freisetzung entspricht im Grunde der Umkehrung der Prognoserechnungen, wie sie das ENSI bei einem Kernkraftwerksunfall in der Schweiz durchführen würde. Die Rechnungen erlauben eine Prognose der zu erwartenden Kontamination der Umgebung, basierend auf einem gemessenen oder abgeschätzten Quellterm und hochaufgelösten Wetterprognosedaten.

Verbesserte oder verfeinerte Modelle (insbesondere im Bereich der Wettermodellierung) zur Rückrechnung der Kontamination auf den Quellterm führen dazu, dass auch zehn Jahre nach dem Ereignis in Fukushima-Daiichi noch Korrekturen am Quellterm vorgenommen werden.

Die Messungen in der Umgebung von Fukushima-Daiichi zeigten, dass insbesondere zwei Nuklide, ¹³¹I und ¹³⁷Cs, für die Kontamination der Umgebung sowie die Strahlenexposition der

Bevölkerung von Bedeutung sind. ¹³¹I mit einer relativ kurzen Halbwertszeit von ungefähr acht Tagen ist vor allem zu Beginn des Unfalls relevant. Die Aufnahme von Iod in den Körper kann mit der Sättigung der Schilddrüse mit stabilem Iod mittels Einnahme von «Iodtabletten» signifikant reduziert werden. ¹³⁷Cs ist das bestimmende Nuklid für die längerfristige Kontamination und ohne Massnahmen das massgebende Nuklid für die Strahlenbelastung der Bevölkerung. Über die gesamte Dauer des Unfalls wurden aus drei Blöcken der Anlage Fukushima-Daiichi ¹³⁷Cs mit einer Radioaktivität in der Grössenordnung von 10¹⁶ Bq und ¹³¹I mit einer Radioaktivität in der Grössenordnung von 10¹⁷ Bq freigesetzt. Das entspricht in etwa einem Achtel der in Tschernobyl freigesetzten Menge an ¹³⁷Cs und ¹³¹I. Der Hauptanteil der Freisetzung erfolgte über mehrere Tage vom 12. bis zum 31. März 2011.

		Tschernobyl Block 4		Fukushima-Daiichi Blöcke 1-3	
Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Atmosphäre in PBq (10 ¹⁵ Bq) und als prozentualer Anteil des Kerninventars	¹³³ Xe	6500	(100%)	7300	(61%)
	¹³¹ I	1760	(60%)	120	(2%)
	¹³⁴ Cs	47	(30%)	10	(1,3%)
	¹³⁷ Cs	85	(30%)	10	(1,3%)
	⁹⁰ Sr	10	(4%)	< 0,01	(< 0,001%)
	²³⁹ Pu	0,013	(1,5%)	sehr gering (keine Erhöhung zum globalen Fallout durch Nuklearwaffentests messbar)	

Tabelle 1: Vergleich der radioaktiven Freisetzung: Tschernobyl und Fukushima-Daiichi (Quelle: UNSCEAR 2020 Report, Scientific Annex B: Levels and effects of radiation exposure due to the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station).

Im untenstehenden Diagramm ist die Freisetzung von ^{131}I und ^{137}Cs in den jeweils ersten zehn Tagen der Unfallverläufe in Fukushima-Daiichi (Blöcke 1-3) und Tschernobyl (Block 4) dargestellt. Die Gesamtmenge an freigesetzter Radioaktivität entspricht der Fläche unter den beiden Kurven. Die Freisetzungswerte von Tschernobyl sind analog zu den oben genannten Gründen mit einer noch grösseren Unsicherheit behaftet als die Werte von Fukushima-Daiichi.

Freisetzung von ^{137}Cs Vergleich Fukushima und Tschernobyl



Freisetzung von ^{131}I Vergleich Fukushima und Tschernobyl



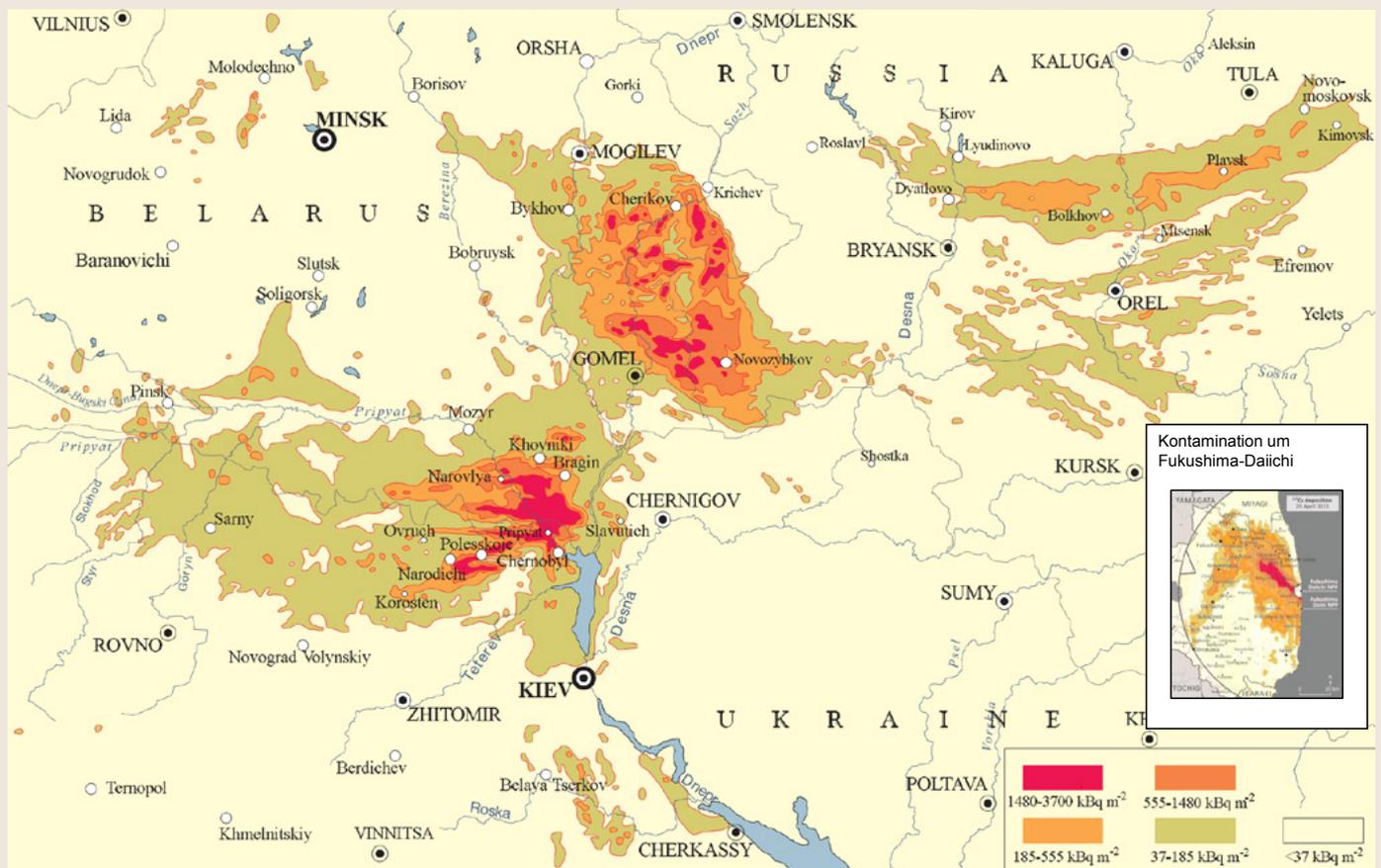
Darstellung 1: Abgaben von ^{137}Cs und ^{131}I aus Fukushima-Daiichi und Tschernobyl im Vergleich für die ersten zehn Tage (Quelle: H. Terada et al., Journal of Environmental Radioactivity 213, 2020 beziehungsweise SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes UNITED NATIONS New York, 2000 VOLUME II: EFFECTS).

- Tschernobyl
- Fukushima-Daiichi

Im Unterschied zu Tschernobyl konnte in Fukushima-Daiichi die Radioaktivität teilweise zurückgehalten werden, weil gewisse Barrierenfunktionen (Reaktordruckbehälter und Reaktorgebäude) zum Teil noch intakt waren. In Tschernobyl wurden radioaktive Stoffe ungehindert über zehn Tage kontinuierlich freigesetzt.

Die freigesetzte Radioaktivität führte zu einer Kontamination der Umgebung um das Kernkraftwerk. Auch hier zeigt sich das im Vergleich zu Tschernobyl geringere Ausmass der Kontamination. Gründe sind zum einen die Art des Unfallablaufs, bei welchem in Tschernobyl ein Graphitbrand dazu führte, dass radioaktive Stoffe hoch in die Atmosphäre aufstiegen und verteilt wurden, und zum anderen der deutlich grössere Quellterm und die kontinuierliche Freisetzung.

Darstellung 2: Bodenkontamination von ¹³⁷Cs um Tschernobyl und um Fukushima im gleichen Kartenmassstab (Quelle: IAEA – Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience, IAEA – The Fukushima Daiichi Accident. Technical Volume 4/5. Radiological Consequences).



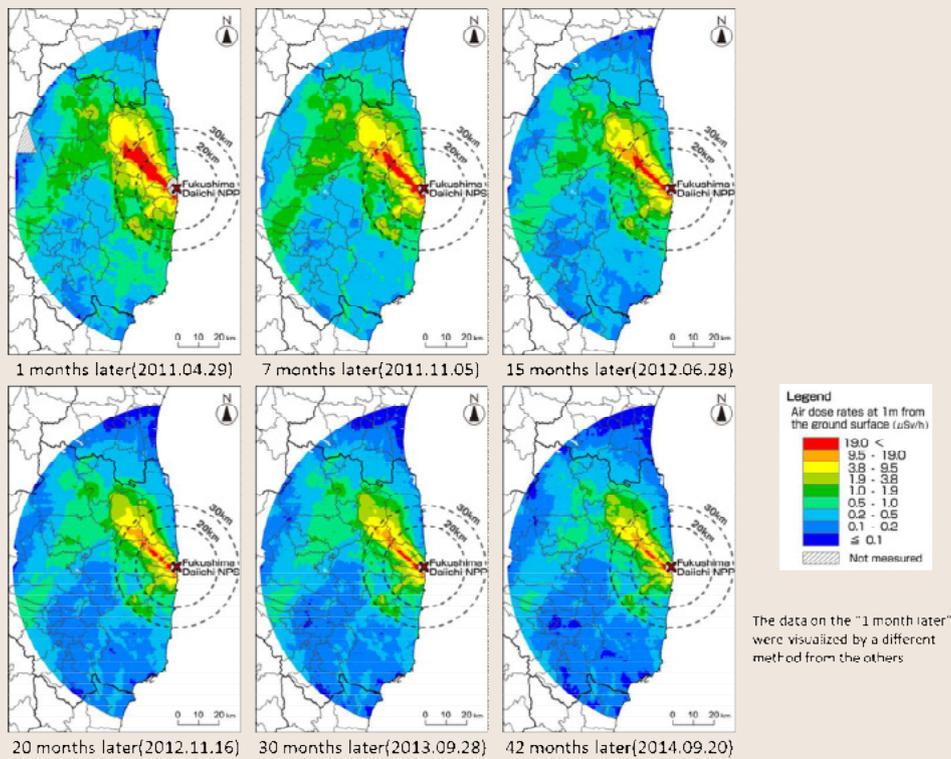
Entwicklung der radiologischen Lage um Fukushima

Die aus der Anlage Fukushima-Daiichi freigesetzten Radionuklide wurden abhängig von den herrschenden Wetterverhältnissen trocken oder nass abgelagert. Nasse Deposition durch Regen oder Schnee führte zu den höchsten Kontaminationen nordwestlich von Fukushima-Daiichi. Ein bedeutender Teil der freigesetzten Aktivitätsmenge wurde über den Pazifischen Ozean verfrachtet und dort auch deponiert (IAEA, 2015: The Fukushima Daiichi Accident. Technical Volume 4/5. Radiological Consequences). Aufgrund des Volumens des Pazifischen Ozeans und der entsprechenden Verdünnung der Aktivitäten führten die Freisetzungen in die Atmosphäre aus Sicht des Strahlenschutzes zu keinen relevanten Aktivitätskonzentrationen im Pazifik.

Während der Freisetzungen wurde die radiologische Lage hauptsächlich mit fix installierten Dosisleistungs- und Luftaktivitätsmessstationen verfolgt. Diese zeigten bis Ende April 2011 erhöhte Luftaktivitätskonzentrationen (IAEA, 2015). Die fixen Messstationen lieferten aufgrund der beschränkten Anzahl kein vollständiges Bild der radiologischen Lage.

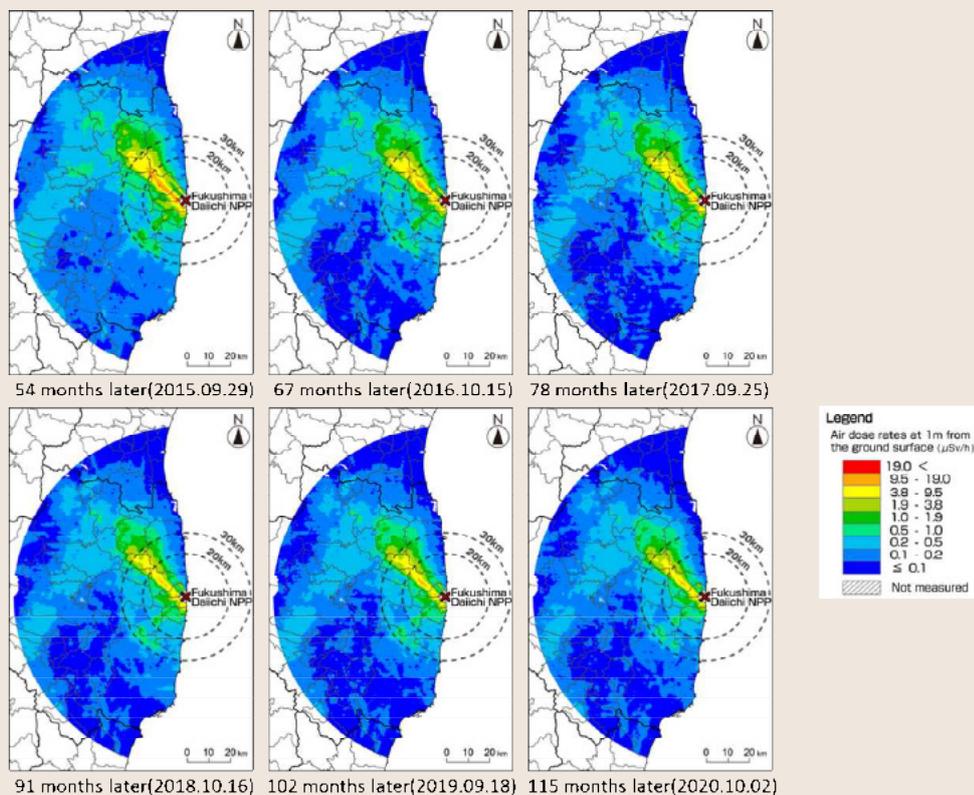
Vom 17. bis 19. März 2011 führte das US Department of Energy/National Nuclear Security Administration (US DOE/NNSA) eine erste Messkampagne im Umkreis von bis zu 30 Kilometern zu Fukushima-Daiichi aus der Luft (Aeroradiometrie) durch. Diese Messkampagne gab eine erste flächendeckende Übersicht der radiologischen Lage in diesem Gebiet und zeigte maximale Ortsdosisleistungen von über 125 $\mu\text{Sv/h}$ an. Weitere gemeinsame Messkampagnen des japanischen Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) und dem US DOE/NNSA folgten vom 6. bis 29. April und vom 18. bis 26. Mai 2011 in einem Umkreis von 100 Kilometern, plus in Teilgebieten der Präfekturen Ibaraki und Tochigi. MEXT führte diese Messungen in regelmässigen Abständen bis heute weiter (<https://radioactivity.nsr.go.jp/en/>). Die Ergebnisse dokumentieren die radiologische Entwicklung über die Zeit, wobei die Aktivitäten der Radionuklide mit kürzeren Halbwertszeiten (Tage bis Wochen) rasch an Bedeutung verloren. Nach zehn Jahren dominiert ^{137}Cs die radiologische Lage in der Umgebung von Fukushima-Daiichi aufgrund seiner Halbwertszeit von rund 30 Jahren. Gemäss der Messkampagne von 2020 liegen in einem begrenzten Gebiet die Ortsdosisleistungen noch über 9,5 $\mu\text{Sv/h}$.

Veränderung der Dosisleistung (1 m über Boden) in einer 80 km Zone um das KKW Fukushima-Daiichi



Neben den Messungen aus der Luft wurde auch ein umfassendes Messprogramm am Boden durchgeführt. Dabei wurden zwischen dem 6. Juni und 8. Juli 2011 unter anderem in einem Raster von 2 x 2 Kilometern (bis 80 Kilometer beziehungsweise 10 x 10 Kilometern (ausserhalb von 80 Kilometern) systematisch mehrere Bodenproben pro Rasterzelle entnommen und gammaspektrometrisch gemessen (IAEA, 2015). Aufgrund der aufwendigen Messverfahren für die Strontium- und Plutonium-Isotope wurde nur eine Teilmenge der Proben auf diese Radionuklide untersucht, wobei jeweils die Proben mit den höchsten Aktivitäten von ^{137}Cs priorisiert wurden. Aufgrund der vergangenen Zeit seit den Freisetzungen und der kurzen Halbwertszeit von acht Tagen von ^{131}I konnte in den Proben kein ^{131}I mehr detektiert werden. Für ^{137}Cs

wurde ein Maximalwert von $15,5 \text{ MBq/m}^2$ bestimmt (entspricht dem rund 520-fachen des Richtwerts für Oberflächenkontamination gemäss schweizerischer Strahlenschutzverordnung StSV). Die Kontaminationen durch Strontium-Isotope lagen drei bis vier Grössenordnungen tiefer als jene durch ^{137}Cs (unter einem Richtwert für Oberflächenkontamination gemäss StSV). Plutonium-Isotope konnten ebenfalls in einigen Proben, auch weiter entfernt von Fukushima-Daiichi, nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen für die Plutonium-Isotope lagen nochmals drei bis vier Grössenordnungen tiefer als für die Strontium-Isotope und nahe beziehungsweise oft auch unter der Nachweisgrenze.



Darstellung 3: Zeitverlauf der Dosisleistung [$\mu\text{Sv/h}$] um die Unfallstelle.

(Quelle: https://radioactivity.nsr.go.jp/en/contents/15000/14712/24/2020_15th%20Airborne%20monitoring%20press_r2.pdf)

Neben dem Boden wurden und werden auch heute noch Luft, Gewässer, Trinkwasser, Flora und Fauna sowie Lebensmittel beprobt und auf Radionuklide untersucht. In den Messungen von März und April 2011 wurden im Trinkwasser der hauptbetroffenen Gebiete teilweise Iod-Aktivitäten über 100 Bq/kg gemessen und die Verwendung entsprechend eingeschränkt. Ab Mai 2011 lagen die Aktivitäten von Iod überall deutlich unter 100 Bq/kg (IAEA, 2015). Cäsium-Isotope und andere künstliche Radionuklide stellten im Trinkwasser kein radiologisches Problem dar.

Ausserhalb der Präfektur Fukushima wurden seit 2013 keine Cäsium-Radionuklide mehr in Wasserproben von Flüssen und Seen über dem Hintergrundlevel detektiert. In der Präfektur Fukushima werden noch Aktivitäten bis rund 5 Bq/l gemessen. Im Grundwasser wurden – mit Ausnahme von zwei Proben im Jahre 2011 – bis heute keine Cäsium-Radionuklide detektiert. Cäsium-Radionuklide wurden aber in Fluss-, See- und Meeressedimenten gefunden. Die höchsten Aktivitäten werden in Seessedimenten (bis rund 350 kBq/kg) festgestellt. In Meeressedimenten an der Küste liegen die Maximalwerte rund tausend Mal tiefer.

Die Strontium-Isotope sind wie die Cäsium-Isotope in Wasserproben und Grundwasserproben nicht mehr detektierbar. In Sedimenten von Flüssen und Seen sind sie jedoch messbar mit den höchsten Aktivitäten in Seen der Präfektur Fukushima (bis 17 Bq/kg im Jahr 2019). In den übrigen Gebieten liegen die Aktivitäten in den Seesedimenten unter 2 Bq/kg. In den Flusssedimenten liegen die Aktivitäten unter 1 Bq/kg. In den Meeressedimenten an der Küste konnten in den aktuellsten Messungen keine Strontium-Isotope mehr detektiert werden.

Weitere künstliche Radionuklide konnten in Wasser- und Grundwasserproben nicht nachgewiesen werden. Seit 2014 wurden auch in Sedimenten nur noch Cäsium- und Strontium-Isotope detektiert. Bis 2014 wurden in Sedimenten noch andere künstliche Radionuklide wie ^{110m}Ag und ^{125}Sb nachgewiesen.

Die Aktivitäten in Pflanzen und insbesondere Lebensmitteln wie Reis, welches im betroffenen Gebiet angebaut wird, wurden laufend und im Zuge der Dekontaminationsarbeiten zur Überprüfung ihrer Wirksamkeit überwacht. Zu Beginn wurden hohe Aktivitäten von ^{131}I in Gemüse, insbesondere Blattgemüse, gemessen (Maximalwert von 54 000 Bq/kg). Auch in Milch wurden Iod-Aktivitäten bis zu 5200 Bq/kg detektiert. Aufgrund der kurzen Halbwertszeit von ^{131}I lag bereits im Mai 2011 der Mittelwert der erhobenen Milchproben bei 0,5 Bq/kg. Im weiteren Verlauf standen die Cäsium-Isotope bei den Messungen im Zentrum. Während im März 2011 auch in Milchproben Cäsium-Aktivitäten über 50 Bq/kg detektiert wurden, lagen die Aktivitäten in den Folgemonaten jeweils bei allen Proben unter 50 Bq/kg. Während die Cäsium-Aktivitäten in Gemüse im Laufe der Zeit (ab April 2013) überall unter dem in Japan geltenden Grenzwert von 100 Bq/kg lagen, wurden in Wildpilzen wie im Nachgang zum Unfall in

Tschernobyl immer noch in zwei bis drei Prozent der Proben Aktivitäten über 100 Bq/kg gemessen. Die Untersuchungen von Rindfleisch zeigten ab Ende 2012 keine Cäsium-Aktivitäten über 100 Bq/kg. Bei Schweinefleisch wurden 2013 noch vereinzelt Werte über 100 Bq/kg festgestellt, bei Hühnerfleisch und Eiern lagen die Werte für alle Proben unter 100 Bq/kg (IAEA, 2015). In Meeresfischen wurden seit 2015 keine Aktivitäten über 100 Bq/kg mehr gemessen. In Süßwasserfischen wurden jedoch noch vereinzelt Aktivitäten über 100 Bq/kg festgestellt, wobei weniger als ein Prozent der Proben Aktivitäten über 100 Bq/kg aufwies. Im Jahr 2020 wurden in keinen Lebensmittelproben der Präfektur Fukushima Aktivitäten von Cäsium über 100 Bq/kg mehr gemessen (<https://www.new-fukushima.jp/product>). Strontium- und andere Isotope sind aufgrund der um mehrere Größenordnungen tieferen Kontaminationen im Verhältnis zu Cäsium radiologisch unbedeutend.

Dekontamination

In den kontaminierten Gebieten wurde anhand von Ortsdosisleistungsmessungen und Dosisprognosen für die Bevölkerung über Dekontaminationsmassnahmen entschieden (IAEA, 2015: The Fukushima Daiichi Accident. Technical Volume 5/5. Post-accident Recovery). Bei Gebäuden wurden Dächer, Regenrinnen und Beläge von Ablagerungen befreit, Dächer und Wände gewaschen, mit Hochdruck gereinigt oder mit Sand gestrahlt. Auf Schulgeländen wurde zusätzlich der Pflanzenbewuchs entfernt und die oberste Bodenschicht abgetragen. Die Strassen wurden mit Wasser-Hochdruck gereinigt, Ablagerungen aus den Strassengraben entfernt. In Gärten wurde gemäht und das organische Material wie Laub entfernt, die oberste Bodenschicht abgetragen, Bäume mit Wasser-Hochdruck gewaschen und Fruchtbäume geschnitten. Bei Landwirtschaftsland wurde die oberste Bodenschicht abgetragen und umgepflügt sowie teilweise der Bewuchs entfernt. Mittels Düngereinsatz wurde die Aufnahme von Cäsium durch die Pflanzen minimiert. In bewaldeten Arealen wurde das Laub entfernt, die unteren Äste entfernt oder das Gehölz zurückschnitten. Mit den Dekontaminationsmassnahmen konnten die Ortsdosisleistungen in den bewohnten Gebieten im Durchschnitt um den Faktor 1,5 bis 2 reduziert werden. Zum Teil wurden lokal auch Reduktionen bis um den Faktor 10 erreicht (etwa auf Spielplätzen). Die Dekontaminationsarbeiten konnten, abgesehen von einem Gebiet von rund 330 Quadratkilometern (<http://josen.env.go.jp/en/>), das noch länger für eine Rückkehr der Einwohner gesperrt bleiben wird, abgeschlossen werden. Die anfänglichen Beschränkungen, unter anderem beim Reisanbau, wurden bis auf das oben erwähnte Gebiet aufgehoben.

Dosisabschätzungen und die gesundheitlichen Folgen der ionisierenden Strahlung

Noch am Abend des 11. März 2011 wurde die Bevölkerung im Drei-Kilometer-Umkreis der Anlage Fukushima-Daiichi evakuiert, ab 5 Uhr des nächsten Morgens im Umkreis von zehn, am Abend des 12. März im Umkreis von 20 Kilometern. In den Folgemonaten wurden auch weitere Gebiete aufgrund der Strahlenbelastung evakuiert.

Abschätzung der akkumulierten Dosen

Die Bevölkerung grosser Gebiete war trotz der erwähnten Evakuierungen der ionisierenden Strahlung ausgesetzt. Ob über die Nahrung, beim Atmen oder über die Haut – die Strahlung gelangte in den Körper. Das United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) hat in seinen Berichten 2013 [1] und 2020 [2] verschiedene Expositionsszenarien betrachtet, um die akkumulierten Strahlendosen für die Bevölkerung zu ermitteln. Im jüngsten Bericht [2] wurden die Dosen aufgrund neuer verfügbarer Informationen aufdatiert. Dies beinhaltete neue Daten von Personenmessungen (persönliche Dosimeter, Ganzkörper- und Schilddrüsenmessungen), neue Informationen über die Konzentration von Radionukliden in der Luft während der Freisetzung und auf dem Boden, Informationen über die Nahrungsaufnahme und den Trinkwasserkonsum, die Beschäftigungsfaktoren, Standortfaktoren und Schutzmassnahmen, inklusive Evakuierungsszenarien.

Wird eine Person einem Strahlenfeld ausgesetzt, wirkt diese Strahlung auf den Körper, indem sie ihre Energie an den Körper abgibt: Die Person akkumuliert eine Dosis. Dosen werden in den Einheiten Gray oder Sievert angegeben. Die Energiedosis wird in Gray angegeben und entspricht der aufgenommenen Energie pro Kilogramm Körpergewebe. Die effektive Dosis in Sievert hingegen bezeichnet die Summe der aufgenommenen Energie pro Kilogramm Körpergewebe, multipliziert mit Wichtungsfaktoren, welche die biologische Wirkung der verschiedenen Strahlenarten sowie die unterschiedliche

Strahlensensibilität der einzelnen Organe und des Gewebes berücksichtigen.

Eine Region mit hoher Kontamination, in der auch die höchsten resultierenden Dosen zu erwarten waren, war die Präfektur Fukushima. Die höchsten durchschnittlichen Dosen wurden dort für Kleinkinder erhoben und lagen bei maximal 5,3 mSv. Für Erwachsene lag der entsprechende Wert bei etwa 3,8 mSv.

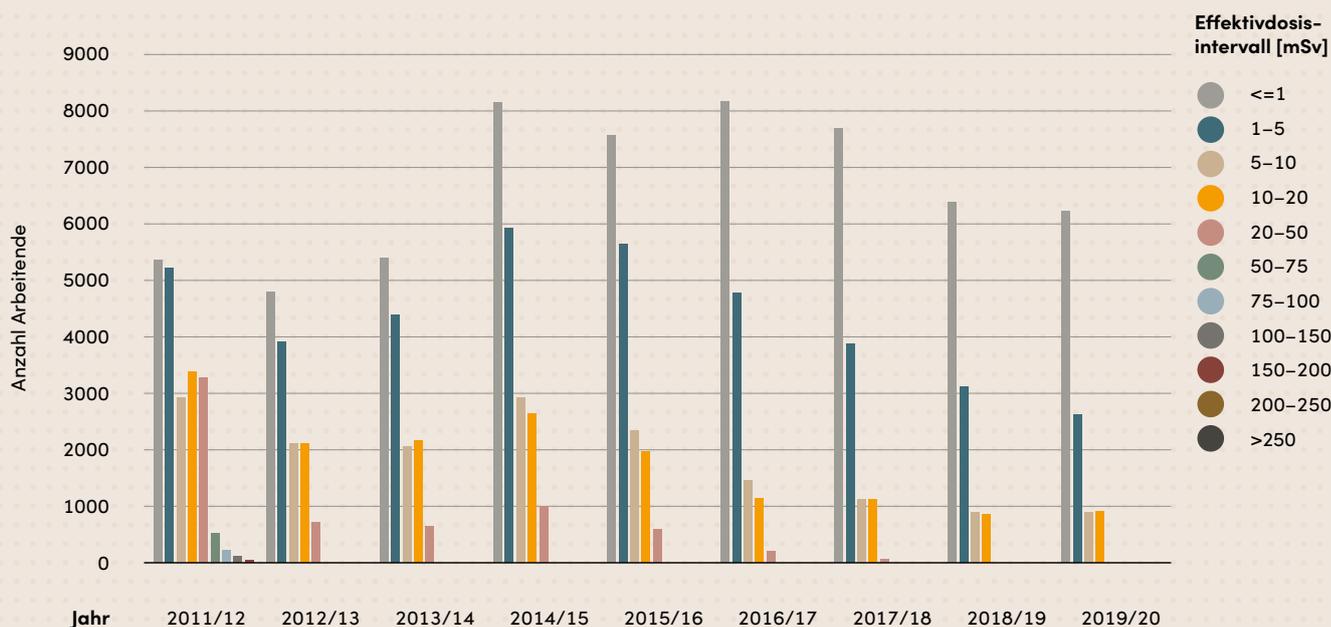
Zur Einordnung der Grösse dieser Werte: Die natürliche Radioaktivität in der Schweiz aus der kosmischen und terrestrischen Strahlung sowie jene verursacht durch die Radionuklide im menschlichen Körper ergeben eine mittlere Dosis von 1,1 mSv pro Jahr (pro Person). Die durchschnittliche Dosis für eine Person der Schweizer Bevölkerung aus allen Strahlenquellen beträgt 5,8 mSv pro Jahr.

Die höchste durchschnittliche Schilddrüsendosis in der Präfektur Fukushima betrug für Kleinkinder 21 mGy und für Erwachsene 11 mGy. Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt einen Überblick über die Dosen in verschiedenen Gebieten und ermöglicht einen Vergleich.

Die Beschäftigten auf dem Gelände des Kernkraftwerks müssten theoretisch die höchsten Dosen akkumuliert haben. In den ersten zwölf Monaten nach dem Unfall wurden 21135 Mitarbeitende überprüft und die durchschnittliche Dosis belief sich auf circa 13 mSv. 174 Mitarbeitende beziehungsweise 0,7 Prozent akkumulierten Dosen von mehr als 100 mSv, das Maximum lag bei 679 mSv, wobei in diesem Fall 590 mSv aus Inkorporation stammten.

Dosen →	Effektive Dosis [mSv]			Schilddrüsendosis [mGy]			
	Region ↓	Erwachsene	10-Jährige	1-Jährige	Erwachsene	10-Jährige	1-Jährige
	Präfektur Fukushima (nicht-evakuierte)	0,079–3,8	0,10–4,5	0,12–5,3	0,48–11	1,0–17	1,2–21
	Angrenzende Präfekturen	0,10–0,92	0,13–1,1	0,15–1,3	0,31–3,3	0,52–5,2	0,62–6,3
	Rest von Japan	0,004–0,36	0,005–0,43	0,005–0,51	0,034–0,48	0,073–0,63	0,087–0,74

Tabelle 2: Akkumulierte Durchschnittsdosen für das erste Jahr nach dem Unfall aus dem UNSCEAR-Bericht 2020. (Quelle: [2]).



Darstellung 4: Anzahl beruflich strahlenexponierte Arbeitende der Anlage Fukushima-Daiichi mit effektiven Dosen in jedem Kumulativdosisband. Die effektiven Dosen umfassen Beiträge von externer und interner Exposition. (Quelle: [2])

Die gesundheitlichen Folgen der ionisierenden Strahlung

Im Allgemeinen können die durch ionisierende Strahlung verursachten Erkrankungen in zwei Kategorien eingeteilt werden. In höheren Dosisbereichen werden akute Gewebeeffekte hervorgerufen. Die Auswirkungen dieser Effekte treten oberhalb einer bestimmten Schwelldosis auf und werden mit steigender Dosis immer ausgeprägter. Im kleinen Dosisbereich sind strahleninduzierte Veränderungen an der Erbsubstanz der Zellen möglich, die Mutationen verursachen und so auch zur Bildung von Krebs oder Leukämie führen können. Am empfindlichsten für beide Strahlenwirkungen sind Personen junger Altersklassen sowie Föten während einer Schwangerschaft.

Akute Strahleneffekte, die nach einer Akkumulation von hohen Dosen auftreten würden, können bei jedem betroffenen Individuum medizinisch genau diagnostiziert werden. Da in Fukushima mit wenigen Ausnahmen niedrige Dosen akkumuliert wurden, ist kein grösseres Ausmass an akuten strahleninduzierten gesundheitlichen Effekten zu erwarten. Dies gilt insbesondere für Gewebeeffekte. Eine merkbare Erhöhung der Anzahl an Spontanaborten, Fehlgeburten, Totgeburten, angeborenen Fehlbildungen oder kognitiven Beeinträchtigungen bei Kindern wurde denn auch nicht festgestellt. Auch weitere Auswirkungen wie die Strahlenkrankheit sind nicht aufgetreten.

Bei den möglichen Auswirkungen im Bereich der kleinen Dosen muss hingegen die Entscheidung, ob festgestellte Effekte wie Krebs strahleninduziert sind oder nicht, mithilfe von statistischen Ansätzen getroffen werden. Erschwerend kommt hinzu, dass alle bekannten Krebsarten sowohl spontan als auch strahleninduziert vorkommen. Bei den nach dem Unfall bestimmten Dosen waren nach dem aktuellen Kenntnisstand im Rahmen der Risikoabschätzungen so wenige Fälle zu erwarten, dass es schwierig ist, festzustellen, ob diese strahleninduziert sind oder ob sie innerhalb der Schwankungen der spontan entstandenen Fälle liegen [3].

Mit Ausnahme von Schilddrüsenkrebs wurde für die meisten Krebsarten nach dem Unfall kein Anstieg der Inzidenzraten erwartet. Aufgrund der hohen Inzidenzrate von Schilddrüsenkrebs bei Kindern nach dem Unfall in Tschernobyl wurde nach Fukushima anfänglich ebenfalls mit einer erhöhten Rate gerechnet. Da die Schilddrüsendosen in der Umgebung von Fukushima aber signifikant kleiner als diejenigen rund um Tschernobyl waren, wurde in Japan keine Erhöhung der Inzidenz an strahleninduzierten Schilddrüsentumoren festgestellt.

Personen unter 19 Jahren wurden nach dem Unfall intensiv auf Schilddrüsenkrebs untersucht. Es wurde eine grosse Anzahl an Schilddrüsenzysten und festen Knötchen diagnostiziert. Da aber in anderen Präfekturen, die von keinen signifikanten Radionuklidablagerungen betroffen waren, ähnliche, wenn nicht sogar leicht höhere, Raten von Zysten und Knötchen gefunden wurden, ist die erhöhte Rate, die in der Umgebung von Fukushima festgestellt wurde, dem intensiven Testen mit genaueren Methoden und nicht den Strahleneffekten zuzuschreiben. Mit Routinemethoden, wie sie vor dem Unfall in Japan eingesetzt wurden, wären diese Diagnosen mangels Genauigkeit nicht gestellt worden. Bei den diagnostizierten Fällen von Schilddrüsenkrebs konnte in den belasteten Regionen zudem keine Dosisabhängigkeit festgestellt werden: Bei höherer Belastung wurden nicht mehr und bei geringerer Belastung nicht weniger Fälle gefunden. Die genauen Gründe

für die Entstehung von Schilddrüsenkrebs, besonders bei Kindern, sind jedoch noch nicht genügend untersucht [2],[4].

Auch für das Werkpersonal sind Gewebereaktionen kaum zu erwarten. Allerdings wird in den UNSCEAR-Berichten [1],[2] hervorgehoben, dass die Möglichkeit für Schilddrüsenunterfunktion oder Augenlinsentrübung nicht ganz ausgeschlossen werden kann. Für letzteren Effekt fehlen aber die notwendigen Dosimetriedaten. Innerhalb der Gruppe der genannten 174 Arbeiterinnen und Arbeiter können zwei bis drei zusätzliche Fälle von Krebs auftreten, allerdings kann diese geringe zusätzliche Inzidenz innerhalb des spontanen Vorkommens nicht festgestellt werden. Dasselbe gilt für die Fälle von Schilddrüsenkrebs.

Analysen haben gezeigt, dass es nach dem Unglück in Fukushima keine statistisch relevanten erhöhten Raten an durch Strahlung verursachten Krebserkrankungen gibt. Dasselbe gilt für erkennbare vererbare Krankheiten. Des Weiteren deutet der Bericht von UNSCEAR [4] darauf hin, dass psychische Probleme beispielsweise aufgrund der Umsiedlungen einen größeren Einfluss auf die Gesundheit der betroffenen Bevölkerung hatten als Strahleneffekte.

Referenzen:

- [1] SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION UNSCEAR 2013 Report
- [2] SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION UNSCEAR 2020 Report
- [3] Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami, World Health Organization (WHO), 2013
- [4] Developments since the 2013 UNSCEAR report on the levels and effect of radiation exposure due to the nuclear accident following the great East-Japan earthquake and tsunami, A 2017 white paper to guide the Scientific Committee's future programme of work, UNSCEAR, 2017

STRAHLEN- SCHUTZ IN DEN KERN- ANLAGEN

Die Sektion Radiologischer Arbeitsschutz nimmt eine tragende Rolle in der Aufsicht vor Ort in den Kernanlagen ein. Die Sektion überprüft die Planung, Dokumentation, Vorbereitung und Durchführung von Strahlenschutz- und Überwachungsmaßnahmen. Weitere Schwerpunkte liegen in der Bewertung von Aspekten bezüglich Flucht- und Rettungswege, Sanität und Wasserchemie. In enger Zusammenarbeit mit der Suva nimmt sie auch Befunde zur konventionellen Arbeitssicherheit auf.

Vorwort der Leitung der Sektion Radiologischer Arbeitsschutz

Das Berichtsjahr stand im Zeichen der COVID-19-Pandemie. So lagen die getroffenen hygienischen Schutzmassnahmen im Fokus der Aufsichtstätigkeit der Sektion Radiologischer Arbeitsschutz. Die Massnahmen mussten mit strahlenschutztechnischen Vorgaben in Einklang gebracht werden. Gesamthaft führen die getroffenen hygienischen Schutzmassnahmen zu einer Stärkung des persönlichen Arbeits- und Strahlenschutzes; so senkt das konsequente Tragen von Handschuhen oder einer Schutzbrille als Berührschutz gegen die Infektion durch das neue Coronavirus auch das Risiko einer Kontamination durch radioaktive Partikel.

Des Weiteren stellten die internationalen Reisebeschränkungen eine Herausforderung für den Einsatz qualifizierten Strahlenschutzpersonals aus dem Ausland während der Revisionen dar. Dank einer umsichtigen Planung der Werksbetreiber konnten alle Arbeiten mit der erforderlichen Überwachung des Strahlenschutzes bewerkstelligt werden. Die verstärkte Rückbautätigkeit von Kernkraftwerken in Deutschland sorgt weiterhin für eine angespannte Marktlage bei der Akquise von qualifiziertem Fremdpersonal im Strahlenschutz. Vor diesem Hintergrund hat die Sektion Radiologischer Arbeitsschutz auch gezielte Inspektionen während der Jahresrevisionen durchgeführt. Bei den zu diesem Sachverhalt inspizierten Kernkraftwerken KKB, KKG und KKL war genügend qualifiziertes Strahlenschutzpersonal im Einsatz.



Giuseppe Testa

Der Rückbau des KKM ist im Berichtsjahr vorangetrieben worden, die Aspekte des Strahlenschutzes wurden vom ENSI eng begleitet. Die Freigabe eines überarbeiteten Strahlenschutzreglements und die Begutachtung von geplanten Materialbehandlungseinrichtungen standen dabei im Zentrum.

Der Rückbau des Forschungsreaktors an der Universität Basel wurde ebenfalls mit dem Fokus auf den operationellen Strahlenschutz beauftragt, wobei eine sehr erfolgreiche Umsetzung der Vorgaben festgestellt wurde. Eingesetzte Schutzmittel, wie eine Einhausung des Rückbauortes, eine Filteranlage oder eine Aktivitätsüberwachung, entsprachen dem aktuellen Stand der Technik. Die Strahlenbelastung des eingesetzten Personals kam praktisch nur durch das natürlich vorkommende Radon zustande. Die Exposition aus aktivierten Komponenten war vernachlässigbar.

Die neue Richtlinie ENSI-G12 zum anlageninternen Strahlenschutz befand sich bis Mitte Dezember 2020 in der öffentlichen Anhörung. Grundsätzlich werden die Anforderungen, die im Richtlinienentwurf dargelegt sind, anerkannt. Die Richtlinie soll im vierten Quartal 2021 in Kraft gesetzt werden.

Ein Highlight stellte das im Dezember vom ENSI virtuell durchgeführte zweite Strahlenschutzseminar dar. Das gewählte Thema «Luftkontaminationen in Kernanlagen» beziehungsweise die Ausbreitung von Aerosolen rückte im Berichtsjahr aufgrund der COVID-19-Pandemie stark in den Fokus der öffentlichen Wahrnehmung. Im Strahlenschutz gehören diese Themen sowie die damit einhergehenden Schutz- und Überwachungsmassnahmen zum Arbeitsalltag.

01 Grundlagen anlagen-interner Strahlenschutz

Allgemeines

In den Anlagen wird grundsätzlich das ganze Betriebsjahr hindurch auf einen modernen und situationsgerechten Strahlenschutz geachtet. Auch die von den Betreibern ergriffenen Massnahmen zum Schutz vor einer Coronavirus-Ansteckung konnten mit den Strahlenschutzanforderungen in Einklang gebracht werden. Hierbei hat sich die jahrzehntelange Erfahrung mit der Vermeidung von radiologischen Kontaminationen und der Eindämmung von Aerosolen ausgezahlt.

Um auf dem aktuellsten Stand von Wissenschaft und Technik zu bleiben, absolviert das Strahlenschutzpersonal der Kernanlagen regelmässig Fort- und Weiterbildungen. Die gesetzlichen Fristen zum Absolvieren von Fortbildungsveranstaltungen wurden im Berichtsjahr verlängert, da viele Angebote aufgrund der Pandemie verschoben oder abgesagt wurden oder aufgrund von Schutzbestimmungen nicht besucht werden konnten.

In diesem Zusammenhang ist die Fortbildungsveranstaltung des ENSI, das zweite Strahlenschutzseminar, am 3. Dezember 2020 zu erwähnen. Insgesamt 44 Teilnehmende verfolgten die Referate per Videokonferenz. Das gewählte Thema «Luftkontaminationen in Kernanlagen» beziehungsweise die Ausbreitung von Aerosolen war im Berichtsjahr aufgrund der COVID-19-Pandemie stark in den Fokus der öffentlichen Wahrnehmung gerückt. Im Strahlenschutz ist diese Thematik seit der Nutzung der Kernenergie von massgeblicher Bedeutung.

Auch das Bildungszentrum des PSI hat sein Weiterbildungsangebot virtuell weitergeführt. Damit wurde ein wichtiger Beitrag zum Aufbau des Nachwuchses im Strahlenschutz geleistet.



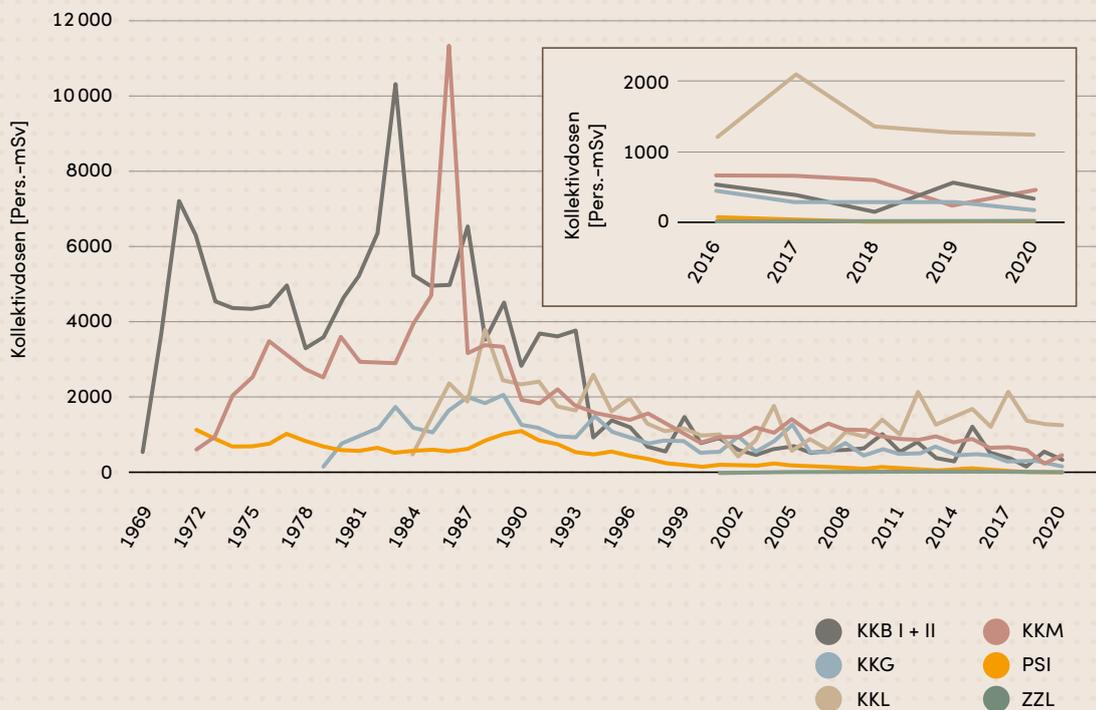
Bild 1: Inbetriebsetzung der Trockenstrahlanlage im KKM, mit der mittels abrasiver Methoden Komponenten aus dem Rückbau dekontaminiert werden sollen. Das Foto zeigt, wie im Caisson gearbeitet werden soll.

Trotz der Pandemiesituation haben die noch im Betrieb stehenden Kernkraftwerke jeweils eine Revision oder einen Brennelementwechsel im Jahr 2020 durchgeführt. Dabei wurden alle gesetzlich vorgeschriebenen Arbeiten erwartungsgemäss erledigt. Diese wurden pandemiebedingt in Umfang und Dauer angepasst. Gleichwohl wurde der Grossteil der Jahreskollektivdosen aller Werke während dieser Stillstände akkumuliert, wobei diese grundsätzlich

geringer als in den Vorjahren ausfiel. Das KKM absolvierte 2020 die ersten Etappen seiner Stilllegung. Die intensiven Ausserbetriebnahmearbeiten führten zu einem Anstieg der Kollektivdosis im Vergleich zum Vorjahr. Die weiteren Kernanlagen unterlagen ebenfalls den Beschränkungen zur Bekämpfung der Pandemie und hatten dementsprechend einen reduzierten Betriebsumfang, wo es möglich war.

Dosimetrie

Jahreskollektivdosen 1969 bis 2020



Darstellung 5: Entwicklung der Kollektivdosen (Pers.-mSv) in den Kernanlagen von 1969 bis 2020.

Grundlagen der Dosimetrie

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 getretene revidierte Strahlenschutzverordnung bildet die gesetzliche Grundlage zur Überwachung des beruflich und des nicht beruflich 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 Bundesamt für Gesundheit 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» ist festgelegt, dass für geplante Stillstände oder Arbeiten mit einer erwarteten Jobdosis von über 50 Pers.-mSv die ausgearbeiteten Planungen der Aufsichtsbehörde vorgängig vorgelegt werden müssen. Das ENSI prüft die Strahlenschutzplanungen und nimmt bei Bedarf mit den Betreibern Kontakt auf. Durch die Planungen und deren Kontrolle wird ein wichtiger Beitrag zur 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 der Betreiberin.

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

Dosimetrierung von Strahlenschutzpersonal

Das dosimetrierte Personal in den Kernanlagen wird in Eigenpersonal und Fremdpersonal eingeteilt. Ferner wird beim Personal zwischen «Worker» der Kategorie A oder B unterschieden. Eine Person in der Kategorie A darf nicht mehr als 20 mSv pro Kalenderjahr akkumulieren, in der Kategorie B liegt der entsprechende Richtwert laut Strahlenschutzverordnung bei 6 mSv.

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 «Ermittlung und Aufzeichnung der Dosen strahlenexponierter Personen» werden



Bild 2: Dosisleistungsmessgerät Automess 6150 AD 6/H und RadEye B20-ER (zusätzlich noch als Kontaminationsmessgerät einsetzbar) wie sie vom ENSI in der Aufsicht verwendet werden.

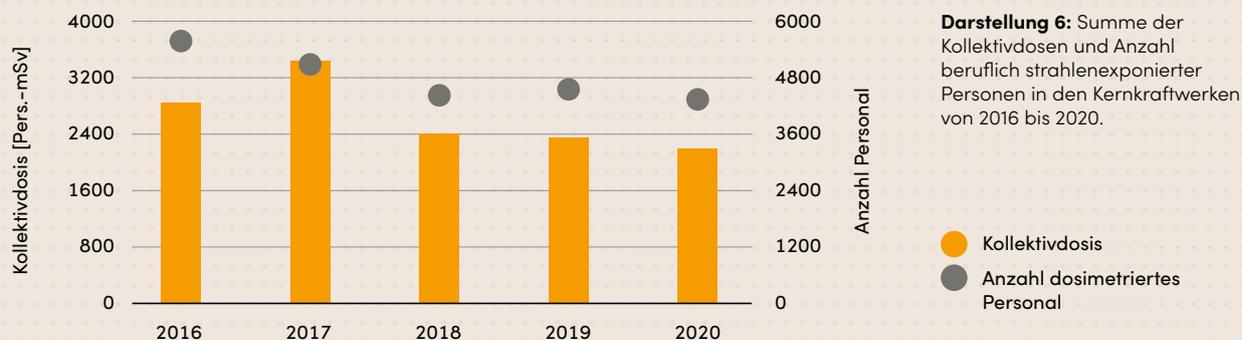
die akkumulierten Dosen dieser zwischen den Kernanlagen wechselnden Personen einerseits als Eigenpersonal-Dosen der einen Anlage und andererseits als Fremdpersonal-Dosen einer anderen Anlage gemeldet. Da in diesen Fällen beide Dosimetriestellen dieselben Dosen melden, führt dies zu einer doppelten Verbuchung. Anhand der individuellen Dosismeldungen werden solche Doppelverbuchungen vom ENSI für die Informationen in seinem Strahlenschutzbericht bereinigt. Dadurch und durch die erwähnten Rundungen können sich in den nachfolgenden Tabellen numerische Unterschiede ergeben.

Für das Jahr 2020 haben die fünf vom ENSI anerkannten Personendosimetriestellen (KKB, KKG, KKL, KKM und PSI) insgesamt 4341 beruflich strahlenexponierte Personen mit einer Kollektivdosis von 2207 Pers.-mSv gemeldet (Mehrfachbuchungen bereinigt). Diese Werte schliessen die Meldungen des IRA und der Suva

für das beruflich strahlenexponierte Personal der EPFL und der Universität Basel ein. Die Meldungen der Dosimetriestelle des PSI an das ENSI umfassen seit 2018 nur Dosen von Anlagen aus dem Aufsichtsbereich des ENSI. Die vom PSI für alle Anlagen der Schweiz zur Verfügung gestellten und ausgewerteten Neutronen-Dosimeter vom Typ PADC werden im Aufsichtsbereich des ENSI von den einzelnen Personendosimetriestellen der Kernanlagen abgegeben und die Resultate ebendort entsprechend verbucht.

In den Tabellen A1 bis A3 im Anhang 1 werden die detaillierten Dosimetriedaten nach Anzahl Personen und nach Kernanlagen aufgeschlüsselt.

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal aller KKW zusammen von 2016 bis 2020



Grundlagen für den Strahlenschutzbericht

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

Um die Dosis einer Person zu messen, können aktive und passive Personendosimeter verwendet werden.

Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) und Direct-Ion-Storage-Dosimeter (DIS) gehören zu den passiven Ausführungen. TLD werden zur Auswertung aufgeheizt. Dabei emittiert das TLD Licht, welches proportional zu der zuvor absorbierten Energie der Strahlung ist. In DIS-Dosimetern ionisiert die Strahlung ein Gas in einer kleinen Kammer und die entstehende elektrische Ladung wird gemessen.

Zu den aktiven Personendosimetern gehören die Elektronischen Personendosimeter (EPD), die vor Gebrauch aktiviert werden müssen. Sie haben den Vorteil, dass auf einem kleinen Display laufend die akkumulierte Dosis abgelesen werden kann. Zudem können Dosis- und Dosisleistungswarnschwellen eingestellt werden.

Damit am Ende des Dosimetriejahres eine Gesamtkollektivdosis (Summe aus Leistungs- und Revisionskollektivdosen) gebildet werden kann, müssen die EPD-Dosen aus physikalischen Gründen mithilfe eines Umrechnungsfaktors an die Werte der anerkannten Dosimeter angepasst werden.

Bei der Auswertung der Daten richtet sich das ENSI nach der «Empfehlung zur Rundung der Dosiswerte der anerkannten Personendosimetriestellen für die Meldung an die Kunden und an das Zentrale Dosisregister», die von der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz (KSR) im Jahr 2004 veröffentlicht wurde. Ab dem 1. Januar 2018 wurde diese Regelung zur Rundung von Dosiswerten in Art. 32 der Dosimetrieverordnung übernommen. Die Messwerte werden gemäss den international üblichen Rundungsregeln in Schritten von 0,1 mSv gerundet. Ferner werden im untersten Dosisbereich (kleiner als 0,1 mSv) Messwerte unterhalb von 0,075 mSv auf 0 abgerundet. Messwerte zwischen 0,075 und 0,1 mSv werden auf 0,1 mSv aufgerundet.

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 sowohl der effektiven Dosis, durch interne und externe Bestrahlung, als auch der Neutronendosis einer Population zusammengefasst.

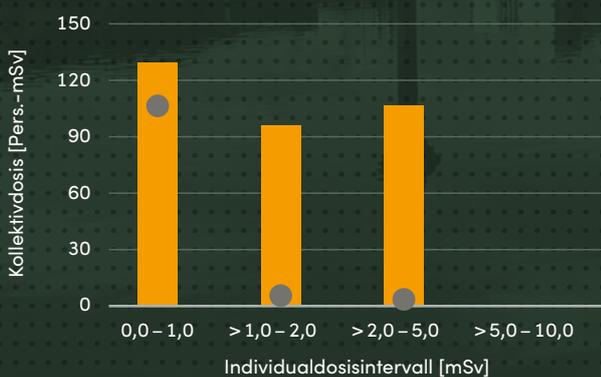
In den nachstehenden Kapiteln werden die Resultate der Auswertungen des ENSI dargestellt. Die Meldungen der Kollektivdosen erfolgen nach Vorgabe aus der Richtlinie ENSI-B09 «Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen».

02 Kernkraftwerke

2.1 Kernkraftwerk Beznau, Block 1 und 2 (KKB 1 und KKB 2)

Block 1	87,0	Block 2	92,3	Block 1	2885	Block 2	3077
	Betrieb am Netz [%]				Erzeugter Strom [GWh]		
Block 1	49	Block 2	26	Block 1	263	Block 2	70
	Dauer der Stillstände [d]				Kollektivdosis [Pers.-mSv]		
Block 1	37	Block 2	34	Block 1	226	Block 2	36
	Kollektivdosis im Leistungsbetrieb [Pers.-mSv]				Kollektivdosis während der Stillstände [Pers.-mSv]		
Block 1	5,0	Block 2	5,0	< 0,002 mSv			
	Höchste Individualdosis [mSv]			Errechnete Dosis für die Bevölkerung aufgrund von Emissionen			

Kollektivdosisverteilung und Anzahl dosimetriertes Personal im KKB in 2020



Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im KKB.

- Kollektivdosis
- Anzahl dosimetriertes Personal

Kollektivdosisverteilung



Verhältnis der Kollektivdosen Leistungsbetrieb gegenüber Stillstand.

- Stillstand
- Leistungsbetrieb

Zusammenfassung

Insgesamt verlief das Betriebsjahr 2020 im Strahlenschutz erfolgreich. Die Revisionsabstellung im Block 1 und der Brennstoffwechsel im Block 2 verliefen planmässig, auch wenn pandemiebedingt zusätzliche Schutzmassnahmen umzusetzen waren. Diese haben dazu geführt, dass die Arbeitsplanung angepasst werden musste. Die Leistungsbetriebsphasen der beiden Blöcke verliefen ebenfalls ohne radiologisch relevante Ereignisse. Die Inspektionen des ENSI zeigten, dass der KKB-Strahlenschutz seine Überwachungs- und Unterstützungsmassnahmen zielführend wahrgenommen hat.

Allgemein

Es wurden keine radiologisch relevanten Ereignisse im Berichtsjahr festgestellt. Das Betriebsjahr war für das KKB aus Sicht des Strahlenschutzes erfolgreich. Dennoch wurden die Arbeiten während des Leistungsbetriebs aufgrund der Pandemiesituation auf das Notwendige beschränkt. Die Kollektivdosen für das eingesetzte Personal waren vergleichbar mit den Vorjahren. Für den Leistungsbetrieb beträgt diese 37 Pers.-mSv für Block 1 und 34 Pers.-mSv für Block 2. Neben den geplanten Abstellungen wie Revision beziehungsweise Brennelementwechsel wurden beide Blöcke Ende 2020 knapp zwei Wochen für Reparaturarbeiten abgefahren.

Revisionsstillstand Block 1

Die Revisionsabstellung dauerte vom 17. April bis zum 22. Mai (insgesamt 36 Tage). Die wegen der Coronavirus-Schutzmassnahmen geprägten und deshalb punktuell reduzierten Revisionsarbeiten führten zu einer Kollektivdosis von 224 Pers.-mSv, welche im Vergleich mit der Plandosis von 244 Pers.-mSv um rund 8% tiefer lag. Die höchste Individualdosis für das Eigenpersonal betrug 3,8 mSv und für das Fremdpersonal 3,5 mSv.

Das KKB registrierte für die einzelnen Jobdosen im Vergleich mit den Dosisplanwerten Abweichungen. Diese wurden nachvollziehbar begründet. Die Kontamination in der Anlage war im Allgemeinen niedrig. Daher wurden für die Reinigung beziehungsweise Dekontamination weniger Stunden als geplant aufgewendet. Weiterhin zu erwähnen: der Einsatz von KKB-erfahrenem Personal für den Aufbau und die Demontage von Bleiabschirmungen. Im Vergleich zum Vorjahr konnten diese Arbeiten effizienter bewerkstelligt werden. Insgesamt wurden für die Abschirmungen fast 30 t Blei eingesetzt.

Um die ionisierende Gammastrahlung wirkungsvoll abzuschirmen, wird ein Material mit hoher Dichte verwendet. Häufig kommt deshalb Blei zum Einsatz, weil es gut formbar ist und deshalb zum Beispiel als Matten, Bleche oder Halbschalen temporär, aber auch als permanente Abschirmung eingesetzt werden kann. Andere geeignete Abschirmmaterialien für Gamma-Strahlung sind Beton, Stahl und Wasser.

Bezüglich Dosisleistungen an ausgewählten Komponenten in der Anlage wurden grundsätzlich keine steigenden Trends festgestellt. Es traten keine unerwarteten Luftkontaminationen auf. Zum Thema Oberflächenkontaminationen wurden, mit einer Ausnahme, ebenfalls keine unerwarteten Anstiege der Messwerte festgestellt. Die Ausnahme bezieht sich auf eine temporäre Kontamination von Oberflächen auf zwei Ebenen im Sicherheitsgebäude, die innerhalb von wenigen Stunden unter Aufsicht des KKB-Strahlenschutzes beseitigt und der Normalzustand wiederhergestellt wurde.

Es sind keine Inkorporationen und auch keine Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln zu entfernen waren, aufgetreten.

Das an ausgewählten Orten gemessene Verhältnis von Beta/Gamma zu Alpha wurde mittels drei Messungen bestimmt und lag zwischen 1365 zu 1 und 3526 zu 1.

Das KKB hat Versuche mit Abschirmwesten (rund 13 Kilogramm Gewicht; 28% Abschirmwirkung) sowie mit flexiblen und magnetischen Abschirmbändern durchgeführt, um die Individualdosen und die Ortsdosisleistung zu reduzieren. Damit wurden positive Erfahrungen gemacht. Daher kommt dieses Schutzmaterial auch weiterhin im KKB zum Einsatz.

Brennelementwechsel Block 2

Block 2 wurde am 4. August 2020 für den Brennelementwechsel abgestellt. Das Wiederanfahren ist am 17. August erfolgt. Während dieser 13 Tage wurde eine Kollektivdosis von 35 Pers.-mSv akkumuliert. Im Vergleich zum Planwert von circa 37 Pers.-mSv wurde also 6% weniger Dosis akkumuliert.

Die höchste Individualdosis betrug für das Eigenpersonal 1,5 mSv und für das Fremdpersonal 1,1 mSv.

Die in der Anlage an ausgewählten Orten gemessenen Ortsdosisleistungen waren im Vergleich zum Vorjahr, mit der Ausnahme derjenigen der Rohrleitung zwischen der Hauptkühlmittelpumpe und dem Reaktordruckbehälter (Closure-Legs), grundsätzlich stabil. An den Closure-Legs sind die Dosisleistungen seit dem Vorjahr um 6 beziehungsweise 7,6% gestiegen. Die Dosisleistung am Deckel des Reaktordruckbehälters sank um circa 10% auf 15,2 mSv/h.

Die Anlage war während des Stillstands radiologisch sauber. Es sind keine unerwartet erhöhten Luft- oder Oberflächenkontaminationen aufgetreten. Es gab auch keine Inkorporationen oder nicht mit einfachen Mitteln entfernbare Personenkontaminationen.

Das gemessene Verhältnis von Beta/Gamma zu Alpha wurde als 3981 zu 1 bestimmt.



Bild 3: Kunststoffahne als visuelles Mittel, um die gerichtete Luftströmung zwischen verschiedenen Anlagenbereichen zu überprüfen und anzuzeigen.



Bild 4: Temporär installierte Lüftungsanlage neben der Reaktorgrube im Sicherheitsgebäude.

Weitere Stillstände

Am 9. Dezember 2020 wurden die beiden Blöcke des KKB aufgrund der Feststellung einer Montageabweichung bei Schwingungsdämpfern von zwei Notstanddieseln abgefahren. Nach Abschluss der Reparaturarbeiten wurden die Turbogruppen am 22. Dezember wieder mit dem Netz synchronisiert. Das Ereignis hatte keine strahlenschutztechnische Relevanz.

Aufgrund des ungeplanten Stillstandes wurde eine Kollektivdosis von 3 Pers.-mSv in beiden Blöcken akkumuliert.

Dosimetrie

Während des Berichtsjahres kamen im KKB 1164 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz. Die Kollektivdosis während der Berichtsperiode betrug 333 Pers.-mSv und liegt damit deutlich unterhalb des in der Richtlinie ENSI-G15 festgelegten Strahlenschutzzieles für Kernanlagen von 1500 Pers.-mSv und stimmt mit dem Planwert von 347 Pers.-mSv überein. Die Aufteilung der Kollektivdosis zwischen Leistungsbetrieb und Revisionsstillstand stellt sich folgendermassen dar:

KKB	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
Revisionsabstellung	224
Brennelementwechsel	35
Leistungsbetrieb	71
Weitere Stillstände	3
Gesamte Jahreskollektivdosis	333

Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2020 betrug 5 mSv und liegt damit deutlich unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv.

Es wurden während der ganzen Berichtsperiode keine Personenkontaminationen, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, festgestellt. Im Jahr 2020 hat das KKB

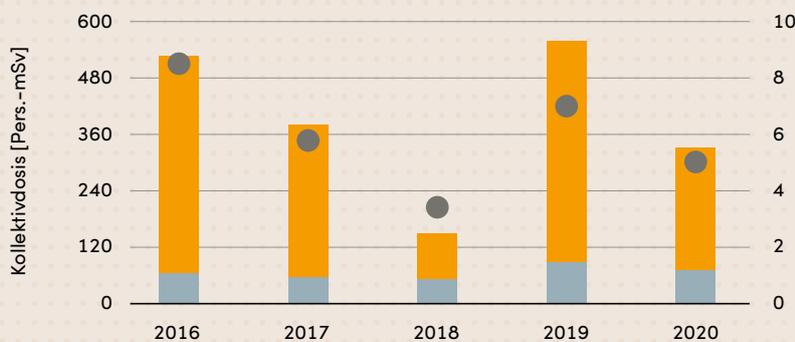
an 894 Personen (432 Eigen- und 462 Fremdpersonal) Triagemessungen mittels eines Thoraxmessgerätes durchgeführt und dabei keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle detektiert.

Folgende Anzahl an Dosiserhebungen wurden von der anerkannten Personendosimetriestelle des KKB durchgeführt:

Überwachung der äusseren Bestrahlung			Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörper*	Haut	Extremitäten*	Ganzkörperzähler	Schilddrüse
1254	1178	21	894	-

*Inkl. Dosimeter, welche am PSI ausgewertet wurden

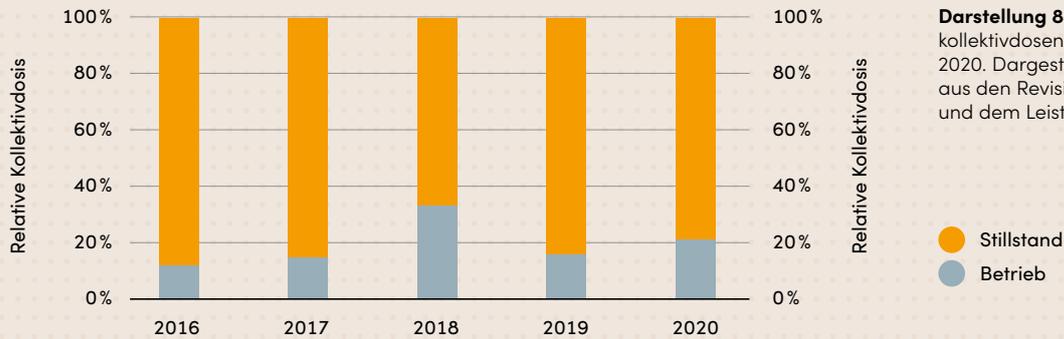
Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im KKB von 2016 bis 2020



Darstellung 7: Jahreskollektiv- (Pers.-mSv) und höchste Individualdosen (mSv) KKB von 2016 bis 2020. Dargestellt sind Daten aus den Revisionsstillständen, dem Leistungsbetrieb und der Verlauf der höchsten Individualdosen während den vergangenen Betriebsjahren.

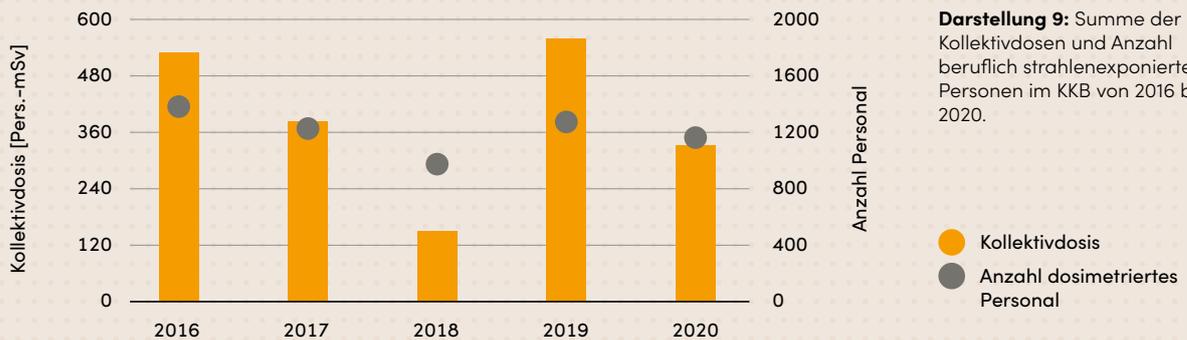
- Stillstand
- Höchste Individualdosis
- Betrieb

Kollektivdosisverteilung zwischen Betrieb und Stillstand des KKB von 2016 bis 2020



Darstellung 8: Relative Jahreskollektivdosen KKB von 2016 bis 2020. Dargestellt sind die Daten aus den Revisionsstillständen und dem Leistungsbetrieb.

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des KKB von 2016 bis 2020



Darstellung 9: Summe der Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im KKB von 2016 bis 2020.

Bewertung der Strahlenexposition

Aus Sicht des Strahlenschutzes verlief das Betriebsjahr 2020 ohne Ereignisse oder Vorfälle. Die Revisionsabstellung und der Brennelementwechsel wurden wie geplant, aber um gesetzlich nicht zwingend notwendige Tätigkeiten reduziert, durchgeführt und die entsprechenden Planwerte und Strahlenschutzvorgaben wurden eingehalten. Der stetige Anstieg der Dosisleistung an den Closure-Legs ist bekannt und wird beobachtet. Zum aktuellen Zeitpunkt liegt kein Handlungsbedarf vor.

Der ungeplante Stillstand im Dezember 2020 hatte nur einen geringen Einfluss auf die Kollektivdosis des Berichtsjahres.

Der Quotient aus der Dosis pro erzeugte elektrische Energie betrug für das Jahr 2020, über beide Blöcke des KKB betrachtet, 0,056 Pers.-mSv pro GWh_(e) und blieb weiterhin tief (Vorjahr: 0,094 Pers.-mSv/GWh_(e)).

Die Inspektionen des ENSI zum Thema Strahlenschutz zeigten, dass im KKB die Überwachung und die Unterstützung des Strahlenschutzes während Leistungsbetrieb und Abstellungen ordentlich und vorgabenkonform erfolgen.

Strahlenschutzinstrumentierung

Das ENSI überprüfte die Strahlenschutzinstrumentierung des KKB im Rahmen einer Inspektion. Anhand der eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Vor-Ort-Kontrollen überzeugte sich das ENSI stichprobenweise davon, dass die periodischen Prüfungen der Messgeräte durch das Kraftwerkspersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und die Messgeräte einwandfrei funktionierten. Auch hat das ENSI in einer weiteren Inspektion die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser überprüft. Der Weg von der Probenerhebung über die Messung, 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 Bundesamt für Gesundheit BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Iodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKB.
- Aufgrund von pandemiebedingten Verzögerungen werden die Ergebnisse der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie erst Mitte 2021 vorliegen.

2.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)

95,2

Betrieb am Netz [%]

18

Dauer der Stillstände [d]

49

Kollektivdosis im Leistungsbetrieb [Pers.-mSv]

3,7

Höchste Individualdosis [mSv]

8770

Erzeugter Strom [GWh]

162

Kollektivdosis [Pers.-mSv]

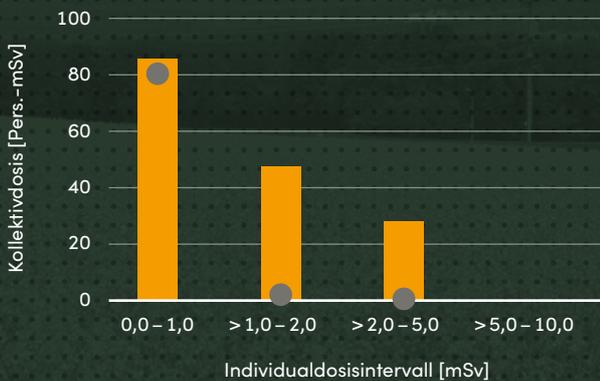
113

Kollektivdosis während der Stillstände [Pers.-mSv]

< 0,001 mSv

Errechnete Dosis für die Bevölkerung aufgrund von Emissionen

Kollektivdosisverteilung und Anzahl dosimetriertes Personal im KKG in 2020



Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im KKG.

● Kollektivdosis
● Anzahl dosimetriertes Personal

Kollektivdosisverteilung



Verhältnis der Kollektivdosen Leistungsbetrieb gegenüber Stillstand.

● Stillstand
● Leistungsbetrieb

Zusammenfassung

Im KKG wurde der Strahlenschutz im Betriebsjahr 2020 erfolgreich umgesetzt. Pandemiebedingt wurde die Jahresrevision 2020 verkürzt durchgeführt, was zu einer entsprechend geringen Kollektivdosis für den Wert der Jahresrevision selbst und für das ganze Betriebsjahr führte. Die durch das KKG ergriffenen Massnahmen im Strahlenschutz, sowohl für die Jahresrevision als auch für den Leistungsbetrieb, bewertet das ENSI als zielführend.

Allgemein

Im Berichtsjahr ereigneten sich im KKG keine strahlenschutzrelevanten Ereignisse oder Vorkommnisse. Aufgrund der COVID-19-Pandemie wurden fast ausschliesslich nur notwendige Arbeiten während des Leistungsbetriebs durchgeführt. Infolge des dadurch reduzierten Arbeitsvolumens und der kurzen Dauer der Jahresrevision wurde 2020 eine verhältnismässig tiefe Kollektivdosis akkumuliert.

Revisionsstillstand

Das KKG stellte die Anlage vom 6. bis zum 23. Juni 2020 für die Jahresrevision mit Brennelementwechsel für insgesamt 17 Tage ab. Aufgrund der Pandemie-Situation beschloss das KKG den Revisionsstillstand beziehungsweise die Jahresrevision mit reduziertem Arbeitsumfang durchzuführen. Dementsprechend fiel die

akkumulierte Kollektivdosis mit 113 Pers.-mSv (EPD-Wert korrigiert, Vorjahr: 195 Pers.-mSv) sehr gering aus und stellte für die Jahresrevision den tiefsten Wert der Betriebsgeschichte dar. Die aufgezeichnete Kollektivdosis für die Jahresrevision unterschritt den Planwert von 124 Pers.-mSv um circa 9 % und lag somit gut innerhalb des Toleranzbereichs von +/-20 %. Die höchste Individualdosis lag mit 2,2 mSv weit unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes. Die mittlere Dosis betrug im Revisionszeitraum 0,1 mSv pro Person. Gesamthaft wurden etwas mehr als 30 000 Arbeitsstunden in der kontrollierten Zone geleistet.

Die kontrollierte Zone in der Anlage war während der Jahresrevision in einem radiologisch und konventionell sauberen Zustand. Zudem konnte während des ganzen Stillstandes der niedrige Kontaminationsgrad beibehalten werden. Seit Beginn der Zinkdosierung von 2005 nahm die Dosisleistung an den Primärkreislaufkomponenten im Mittel um circa 73% ab. Die Dosisleistung im Innern des Reaktordruckbehälterdeckels nahm noch stärker ab und betrug 45 mSv/h (2005: 280 mSv/h). Das Verhältnis von Beta/Gamma zu Alpha blieb gegenüber dem Vorjahr in etwa konstant und betrug im Mittel ungefähr 800:1. Dies liess einen Beta-/Gamma-Strahler basierten Strahlenschutz zu. Im Berichtsjahr wurde erstmalig beim Anheben des Reaktordruckbehälterdeckels kein Anstieg der Aerosol-Luftkontamination festgestellt. Auch die Edelgaskonzentration war mit einem Maximalwert von 0,003 CA nach dem Abheben gering. Es wurden während des ganzen Revisionsstillstandes keine relevanten Iod- oder Alpha-Konzentrationen gemessen.

Durch das Einspeisen von Zink in das Reaktorwasser wird bewirkt, dass sich das Aktivierungsprodukt ^{60}Co nur geringfügig in die Oxidschicht der Stahloberflächen von Primärkreislaufkomponenten einlagert. Die Einlagerung von Zink in die Oxidschicht ist effektiver als bei Kobalt. Die Konzentration des unerwünschten Kobalts in der Schicht wird dadurch minimiert. Das sich im Reaktorwasser befindliche Kobalt wird mit der Reaktorwasserreinigung herausgefiltert. Es resultiert eine Dosisleistungsreduktion an den Komponenten des Primärkreislaufs. Für den Prozess wird abgereichertes Zink (reduzierter Gehalt an aktivierbarem ^{64}Zn) im Reaktorwasser verwendet.

Ferner wird in der aktuellen Forschung die Hypothese untersucht, dass durch die Einlagerung von Zink in die Oxidschichten der Komponenten die Wahrscheinlichkeit für Spannungsrisskorrosion reduziert wird.



Bild 5: Abschirmarbeiten zum Schutz von Strahlung von Komponenten mit hoher Dosisleistung.

Insgesamt wurden in der kontrollierten Zone 18,4 t Blei für Abschirmungszwecke verwendet. Zudem wurden zusätzliche Massnahmen getroffen, wie das gezielte Absaugen mittels Filtermobil oder die Verwendung eines Schutzhemdes beim Ziehen des Reaktordruckbehälterdeckels, um das Inkorporationsrisiko und die Strahlenexposition während der Arbeiten für das Personal zu reduzieren. Des Weiteren wurde beim Ziehen des Reaktordruckbehälterdeckels der Aufenthalt des Personals auf Personen beschränkt, welche für die Ausführung der Tätigkeit notwendig waren.

Für drei Arbeiten wurden detaillierte Dosis-schätzungen erstellt. Darunter waren keine Arbeiten mit einer geschätzten Dosis über 50 Pers.-mSv. Folgende für den Strahlenschutz relevante Arbeiten wurden durchgeführt:

- Öffnen und Entladen des Reaktordruckbehälters
- Brennelement-Servicearbeiten
- Kontrolle diverser Ventile
- Kontrolle und Austausch diverser Stossbremsen
- Zerstörungsfreie Prüfungen an diversen Rohrleitungen, Armaturen und Behältern
- Schweissnahtprüfungen am Druckhalter
- Reinigung, Inspektion und Schmierung der Reaktordruckbehältermutter
- Ausspülen und Beladen der Mischbettfilter
- Vorbereitung zum Verschliessen, Beladen und Verschliessen des Reaktordruckbehälters
- Reaktorgrubenreinigung
- Gerüstbau/Isolationen allgemein
- Allgemeine Dekontaminationsarbeiten
- Inneninspektionen von jeweils zwei Flutbehältern und der Druckspeichern
- Ersatz der Dichtung vom Dichtschutz BE-Becken/Reaktorgrube

In der Jahresrevision traten keine Personenkontaminationen auf, welche nicht mit einfachen Mitteln wieder entfernt werden konnten. Es kam auch zu keiner Inkorporation oberhalb der Triageschwelle.

Aufgrund der Optimierungsmassnahmen, welche vom KKG getroffen wurden, der vorgenommenen Planungs- und Vorbereitungsarbeiten sowie der Kontrolle und Begleitung der relevanten Arbeiten konnte die Jahresrevision ohne strahlenschutzrelevante Zwischenfälle absolviert werden.

Weitere Stillstände

Im Oktober des Berichtsjahres kam es aufgrund einer falschen Signalvorgabe bei einer Funktionsprüfung während einer Strangrevision zu einer Schliessung der Absperrklappen des Betriebskühlkreislaufs und dadurch zu einer Reaktorschnellabschaltung. Das Vorkommnis hatte strahlenschutztechnisch keine Bedeutung. Knapp zwei Monate später, im Dezember, kam es aufgrund einer fehlerhaften Unterbrechung des Zwischenkühlkreislaufs zu einer Turbinenschnellabschaltung. Auch dieses Vorkommnis hatte keine strahlenschutztechnische Relevanz. Die Dauer der beiden unbeabsichtigten Produktionsstillstände betrug jeweils nur wenige Stunden.

Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2020 betrug 3,7 mSv. Dies lag unter dem Vorjahreswert (5,3 mSv) und deutlich unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv.

Es wurden während der ganzen Berichtsperiode keine Kontaminationen, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, festgestellt. Im Jahr 2020 hat das KKG an 1016 Personen (444 Eigen- und 572 Fremdpersonal) Triagemessungen durchgeführt und dabei keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle detektiert.

Dosimetrie

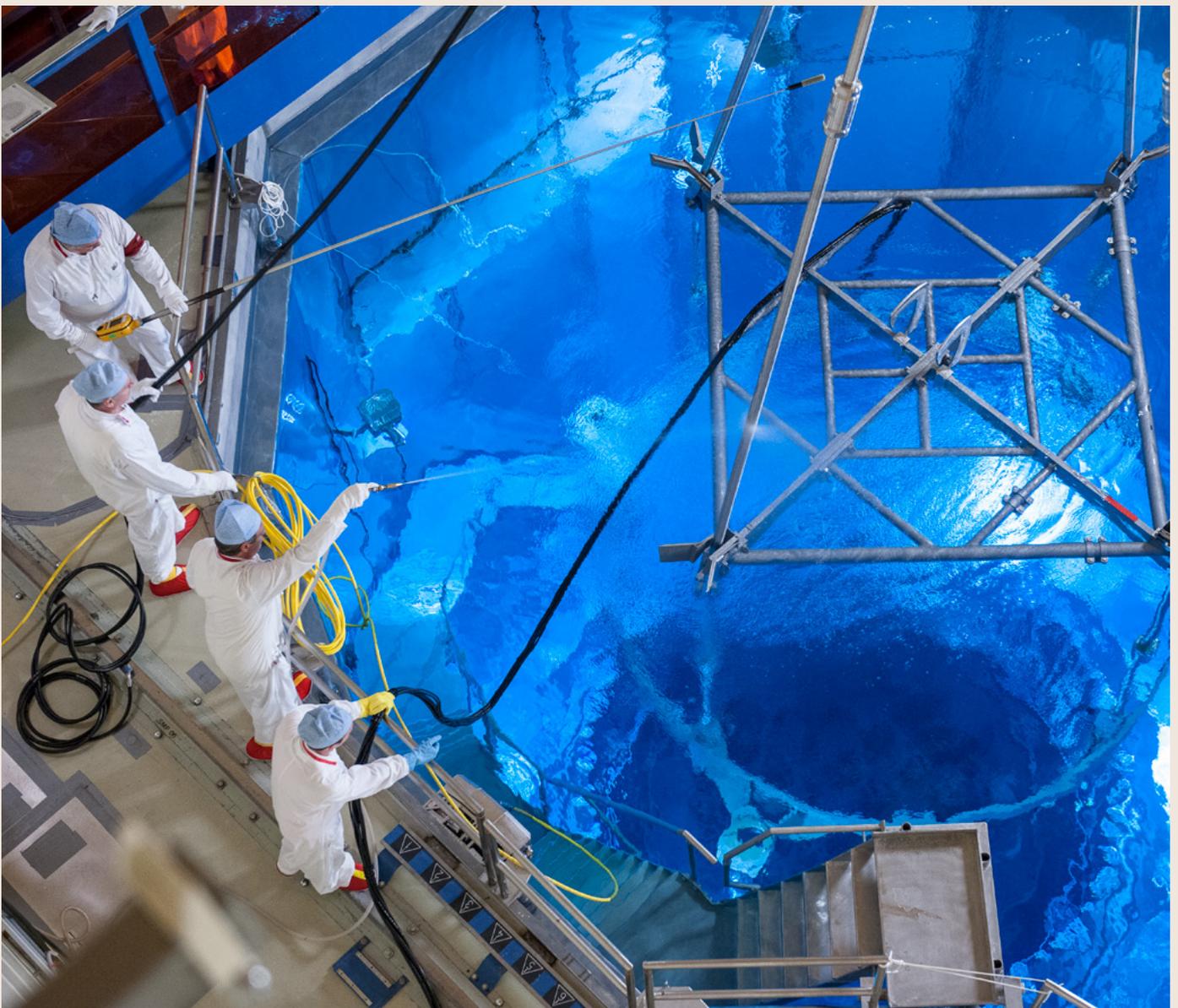
Während des Berichtsjahres kamen in der kontrollierten Zone oder bei Transporteinsätzen 1251 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz. Die Kollektivdosis während der Berichtsperiode betrug 162 Pers.-mSv und liegt damit deutlich unterhalb des in der Richtlinie ENSI-G15 festgelegten Strahlenschutzzieles für Kernanlagen von 1500 Pers.-mSv und ist mit dem Planwert von 198 Pers.-mSv konsistent. Die Aufteilung der Kollektivdosis zwischen Leistungsbetrieb und Revisionsstillstand stellte sich folgendermassen dar:

KKG	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
Revisionsstillstand	113
Leistungsbetrieb	49
Gesamte Jahreskollektivdosis	162

Folgende Anzahl an Dosierhebungen wurden von der anerkannten Personendosimetriestelle des KKG durchgeführt:

Überwachung der äusseren Bestrahlung			Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörper	Haut	Extremitäten	Ganzkörperzähler	Schilddrüse
1318	1318	13	1016	1016

Bild 6: Arbeiten am Reaktorbecken unter Aufsicht des Strahlenschutzes.



Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im KKG von 2016 bis 2020



Darstellung 10: Jahreskollektiv- (Pers.-mSv) und höchste Individualdosen (mSv) KKG von 2016 bis 2020. Dargestellt sind Daten aus den Revisionsstillständen, dem Leistungsbetrieb und der Verlauf der höchsten Individualdosen während den vergangenen Betriebsjahren.

- Stillstand
- Höchste Individualdosis
- Betrieb

Kollektivdosisverteilung zwischen Betrieb und Stillstand des KKG von 2016 bis 2020



Darstellung 11: Relative Jahreskollektivdosen KKG von 2016 bis 2020. Dargestellt sind die Daten aus den Revisionsstillständen und dem Leistungsbetrieb.

- Stillstand
- Betrieb

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des KKG von 2016 bis 2020



Darstellung 12: Summe der Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im KKG von 2016 bis 2020.

- Kollektivdosis
- Anzahl dosimetriertes Personal

Bewertung der Strahlenexposition

Die Kollektivdosis im KKG konnte nicht bloss aufgrund der Zinkeinspeisung in den letzten Jahren reduziert werden. Das KKG vollzieht einen nach Wissenschaft und Technik entsprechenden Strahlenschutz, indem es unter anderem Strahlenschutzplanungen erstellt und Optimierungsmassnahmen ein- und umsetzt.

Das Betriebsjahr 2020 zeichnete sich durch eine sehr tiefe Kollektivdosis aus, welche auch aufgrund der Pandemiesituation und dem damit verbundenen verminderten Arbeitsumfang zustande kam. Auch wurden keine dosisintensiven Arbeiten an Systemen wie den Dampf-erzeugern durchgeführt. Dadurch fielen die Individualdosen verhältnismässig tief aus.

Die beiden unbeabsichtigten Stillstände im Oktober und Dezember des Berichtsjahres hatten keinen Einfluss auf die Kollektivdosis.

Der Quotient aus der Dosis pro erzeugte elektrische Energie betrug im KKG 0,018 Pers.-mSv pro $\text{GWh}_{(e)}$ und blieb somit sehr tief (Vorjahr: 0,035 Pers.-mSv/ $\text{GWh}_{(e)}$).

Das ENSI konnte bei seinen Inspektionen feststellen, dass im KKG ein gesetzlich konformer und effizienter Strahlenschutz betrieben wird.

Strahlenschutzinstrumentierung

Das ENSI überprüfte im Rahmen einer Inspektion die Strahlenschutzinstrumentierung des KKG. Dabei 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 die Messgeräte einwandfrei

funktionierten. Die Anerkennung der Personendosimetriestelle wurde um weitere fünf Jahre verlängert. In diesem Zuge führte das ENSI eine Inspektion durch. Dabei wurden die Betriebsvorgaben, der technische Zustand der verwendeten Mess- und Auswertegeräte und die Organisation der Personendosimetriestelle überprüft und bis auf eine Verbesserung in Bezug auf die Frequenz der Stabilitätsüberprüfung der Dosimeter als konform mit den Anforderungen der Strahlenschutz- und Dosimetrieverordnungen beurteilt. Auch 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, 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 Bundesamt für Gesundheit BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Iodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKG.
- Aufgrund von pandemiebedingten Verzögerungen werden die Ergebnisse der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie erst Mitte 2021 vorliegen.

2.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)

88,0

Betrieb am Netz [%]

44

Dauer der Stillstände [d]

317

Kollektivdosis im Leistungsbetrieb [Pers.-mSv]

10,0

Höchste Individualdosis [mSv]

9489

Erzeugter Strom Brutto [GWh]

1255

Kollektivdosis [Pers.-mSv]

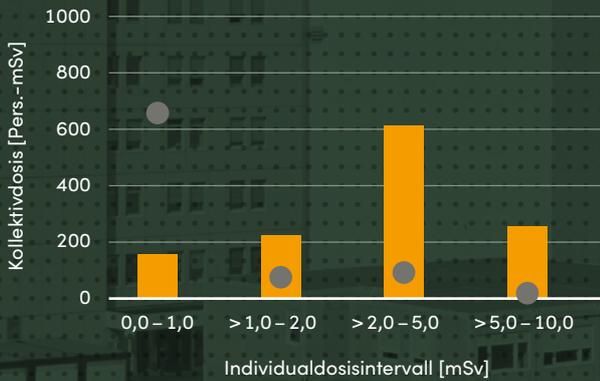
938

Kollektivdosis während der Stillstände [Pers.-mSv]

0,005 mSv

Errechnete Dosis für die Bevölkerung aufgrund von Emissionen

Kollektivdosisverteilung und Anzahl dosimetriertes Personal im KKL in 2020



Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im KKL.

- Kollektivdosis
- Anzahl dosimetriertes Personal

Kollektivdosisverteilung



Verhältnis der Kollektivdosen Leistungsbetrieb gegenüber Stillstand.

- Stillstand
- Leistungsbetrieb

Zusammenfassung

Im KKL wurde der Strahlenschutz im Betriebsjahr 2020 erfolgreich umgesetzt. Pandemiebedingt wurde die Jahreshauptrevision 2020 verkürzt durchgeführt, was zu einer entsprechend geringen Kollektivdosis führte. Die durch das KKL unternommenen Massnahmen im Strahlenschutz, sowohl für die Jahreshauptrevision als auch für den Leistungsbetrieb, bewertet das ENSI als zielführend.

Allgemein

Mit Blick auf die Strahlenexposition des eingesetzten Personals hat das KKL ein als positiv zu bewertendes Jahr hinter sich. Die tiefe Kollektivdosis für das Jahr 2020 von 1255 Pers.-mSv ist pandemiebedingt auf den reduzierten Arbeitsumfang während des Leistungsbetriebs und der Jahreshauptrevision zurückzuführen.

Revisionsstillstand

Die Jahreshauptrevision 2020 dauerte vom 29. Juni bis zum 12. August 2020 und damit 44 Tage. Sie war mit einer Kollektivdosis von 1046 Pers.-mSv (EPD-Wert korrigiert) geplant. Der Istwert betrug 938 Pers.-mSv (EPD-Wert korrigiert), was einer Abweichung von rund 10 % entspricht. Der Grund für die Unterschreitung liegt nach Angaben des KKL zum grossen Teil in der Umsetzung der Coronavirus-Schutzmassnahmen (weniger Personal und geringere Wartezeiten) sowie teilweise in der Umsetzung der Massnahmen des ALARA-Plans. Die maximale Revisionsdosis (EPD) für das Eigenpersonal lag bei 7,1 mSv (mechanische Arbeiten) und für das Fremdpersonal bei 8,0 mSv (Isolationsarbeiten).

Bei durchschnittlich 1374 Austritten pro Tag aus der kontrollierten Zone wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, die nicht mit herkömmlichen Mitteln leicht entfernt werden konnten. Bei zwei Personen war es notwendig, eine Hautdosis zu bestimmen. Die berechnete Hautdosis betrug 4,7 beziehungsweise 53 mSv, der Jahresgrenzwert für die Hautdosis von 500 mSv war damit deutlich unterschritten. Inkorporationen traten keine auf.

Während der Druckentlastung beim Abfahren war ein Anstieg der Aktivitätskonzentration von ^{60}Co auf maximal $1,0\text{E}+9 \text{ Bq/m}^3$ beobachtet worden, der Mittelwert für den Zyklus 36 lag bei $1,38\text{E}+7 \text{ Bq/m}^3$ (Zyklus 35 bei $1,78\text{E}+7 \text{ Bq/m}^3$). Die Aktivitätskonzentration von ^{131}I im Reaktorwasser stieg minimal auf $1,0\text{E}+6 \text{ Bq/m}^3$ an. Der Zyklusmittelwert für ^{131}I im Reaktorwasser lag bei $6,6\text{E}+5 \text{ Bq/m}^3$. Der Zyklus 36 konnte somit ohne Brennelementschaden beendet werden.

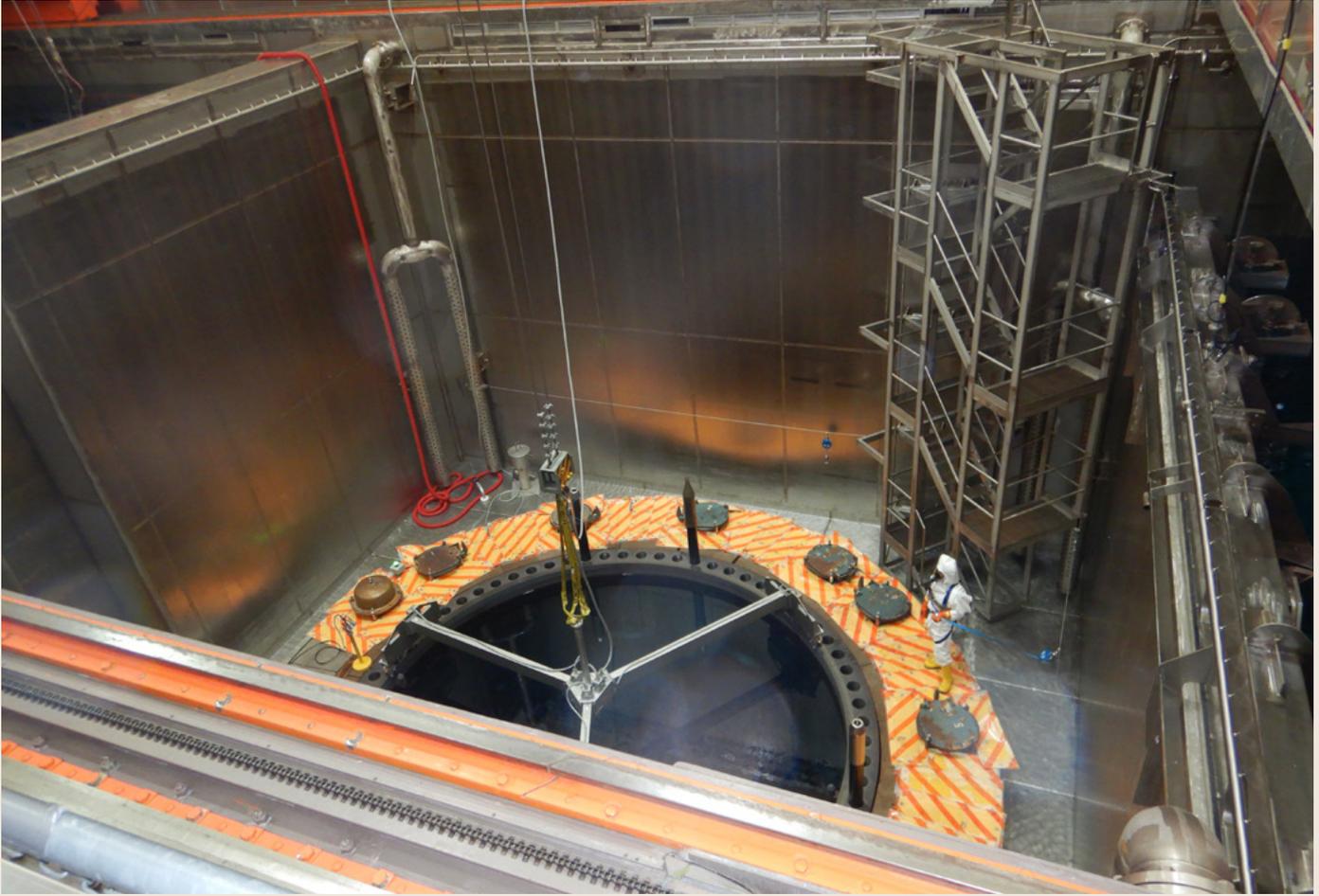


Bild 7: Schliessen des Reaktordruckbehälters unter Aufsicht eines Mitarbeiters im Tenue des Zonentyps IV.

Das Abfahren erfolgte mit der etablierten und bewährten Soft-Shutdown-Prozedur. Die Ortsdosisleistung an der Pumpe A des Nachwärmeabfuhrsystems lag bei 2 mSv/h und damit im Bereich der im Jahr 2018 gemessenen Werte sowie etwas oberhalb der Messergebnisse aus dem Jahr 2019. Die Ortsdosisleistung am Mantel des Wärmetauschers A des Nachwärmeabfuhrsystems betrug etwa 0,8 mSv/h und war etwas höher als der im Jahr 2019 bestimmte Wert von 0,5 mSv/h. An den Umwälzschleifen wurde eine mittlere Dosisleistung von 1,8 mSv/h festgestellt. Diese liegt im Rahmen der Messunsicherheit auf dem gleichen Level wie im Jahr 2019.

Im Drywell wurden die Ortsdosisleistungen an 16 repräsentativen Messpunkten bestimmt. Im unteren Bereich ist die gemittelte Ortsdosisleistung im Vergleich zum Vorjahr von 0,45 mSv/h auf 0,51 mSv/h angestiegen. Im oberen Bereich ist die Ortsdosisleistung mit 0,08 mSv/h praktisch gleichgeblieben.

Das Verhältnis von Beta-/Gamma-strahlenden Nukliden zu Alpha-strahlenden Nukliden, das mit Proben von Oberflächen, die in Kontakt mit dem Primärwasser stehen, bestimmt wird, lag beim Reaktordeckel bei 446:1 und bei den Isolationsventilen des Frischdampfsystems bei 814:1. Ein Brennstoffschaden kann damit ausgeschlossen werden. Die Luftkontamination durch Alpha-Nuklide wurde in diesen Bereichen zusätzlich mit Alpha-Aerosolmonitoren überwacht.

Radioaktive Nuklide senden bei ihrem Zerfall ionisierende Strahlung aus. Die häufigsten Strahlungsarten bestehen aus Alpha-, Beta- und Gamma-Teilchen. Bei der Alpha-Strahlung handelt es sich um den Kern eines Heliumatoms, bei der Beta-Strahlung um ein Elektron oder Positron und bei der Gamma-Strahlung um hochenergetische Lichtteilchen. Diese Strahlung kann zu Schäden im menschlichen Zellgewebe führen. Die Alpha-Strahlung ist dabei deutlich weniger durchdringend als die Beta- oder insbesondere die Gammastrahlung und kann leicht abgeschirmt werden. Wenn allerdings radioaktive Alphastrahler über die Atmung oder die Nahrung in den Körper gelangen, verursacht die Alpha-Strahlung bei gleicher im Gewebe deponierten Energie zwanzigmal höhere Strahlenschäden als Beta- und Gamma-Strahlung. Vor diesem Hintergrund wird in den Kernkraftwerken die Kontamination durch radioaktive Stoffe analysiert und insbesondere der Anteil der verschiedenen Strahlungsarten bestimmt. Die Schutzmassnahmen für das Personal werden entsprechend ausgelegt.

Für zwei Arbeiten wurden dem ENSI detaillierte Strahlenschutzplanungen gemäss der Richtlinie ENSI-B03 eingereicht, weil Kollektivdosen von über 50 Pers.-mSv zu erwarten waren. Eine Prüfung von Misch- und Anschlussnähten war mit 84,1 Pers.-mSv und die Arbeit zum Schliessen des Reaktordruckbehälters mit 45,2 Pers.-mSv geplant.

Grundsätzlich konnten die geplanten Kollektivdosen eingehalten werden, Abweichungen wurden vom KKL plausibel begründet.

Die Revisionsarbeiten wurden von rund 95 Strahlenschutzfunktionsträgerinnen und -trägern überwacht und begleitet, davon 17 Personen Eigen- und 78 Personen Fremdpersonal. Ausgewählte, aus Sicht des Strahlenschutzes anspruchsvolle, Arbeiten wurden durch erfahrenes Eigenpersonal des Strahlenschutzes

betreut. Für definierte Arbeiten und Arbeitsbereiche war das Strahlenschutzpersonal rund um die Uhr im Einsatz. Ferner wurde für die Jahreshauptrevision ein Pikettdienst für den Strahlenschutz eingerichtet.

Die radiologische Überwachung der Arbeitsplätze erfolgte durch regelmässige, aber auch situative Messungen und Kontrollen von Ortsdosisleistungen sowie von Luft- und Oberflächenkontaminationen. Ferner war auch die Aufrechterhaltung einer gerichteten Luftströmung und deren Kontrolle Teil des Schutzkonzepts.

Die radiologische Überwachung der kontrollierten Zonen erfolgte insbesondere durch Wischtests, Messungen von Aerosolen, Iod und Edelgasen in definierten Räumlichkeiten, ausserdem durch Laborauswertungen von Proben an ausgewählten geöffneten Systemen sowie die Auswertung von Abluftfiltern.

Das KKL hat folgende Erkenntnisse im Hinblick auf weitere dosisreduzierende Massnahmen identifiziert:

Der ^{60}Co -Quellterm ist nach wie vor hoch im Vergleich zu anderen Siedewasserreaktoren. Eine nachhaltige Verbesserung wird durch die Umsetzung des Projektes YUMOD (Nachrüstprojekt Austausch der Umwälzschleifen) erwartet sowie durch den Austausch von stellithaltigen Bauteilen in Systemen.

Eine wichtige Massnahme zur Reduktion der Strahlenexposition von Mitarbeitenden wird durch das Spülen diverser Leitungen erreicht. Das KKL verfolgt mittelfristig ein routinemässiges Spülprogramm. Dem Optimierungsgebot aus Art. 4 der Strahlenschutzverordnung wird damit Rechnung getragen.

Weitere Stillstände

Im Berichtsjahr hatte das KKL keine ungeplanten Stillstände.

Vorkommnisse

Im Berichtsjahr ereigneten sich im KKL zwei Vorkommnisse mit Bedeutung für den Strahlenschutz.

Aufgrund einer am 10. Januar 2020 entdeckten partikelförmigen Kontamination im Pumpenraum B des Reaktorwasserreinigungssystems musste der betroffene Bereich von Zonentyp III auf IV höhergestuft werden. Die für den Zonentyp III unzulässige Kontamination bestand länger als acht Stunden. Die Einstufung als Vorkommnis war die Folge. Die direkte Ursache für die aufgetretene Oberflächenkontamination im Bereich der Pumpe war eine bis zu diesem Zeitpunkt latente Kontaminationsquelle in der Auffangwanne unterhalb der Pumpe.

Ein zweites Vorkommnis trat am 9. September 2020 auf. Eine Gruppe von neun Personen betrat die kontrollierte Zone des Typs 0, ohne die dafür vorgeschriebenen Personendosimeter zu tragen. Für die Dauer des Aufenthaltes in der Zone 0 wurde eine Kollektivdosis von ca. 0,1 Pers.-mSv errechnet.

Beide Vorkommnisse werden auf der Stufe 0 (below scale) der internationalen Ereignisskala INES (IAEA, Vienna 2008) eingestuft.



Dosimetrie

Während des Berichtsjahres kamen in der kontrollierten Zone oder bei Transporteinsätzen 1675 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz. Die Kollektivdosis während der Berichtsperiode betrug 1255 Pers.-mSv und liegt damit unterhalb des in der Richtlinie ENSI-G15 festgelegten Strahlenschutzzieles für Kernanlagen von 1500 Pers.-mSv. Die Aufteilung der Kollektivdosis zwischen Leistungsbetrieb und Revisionsstillstand stellte sich folgendermassen dar:

KKL	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
Revisionsstillstand	938
Leistungsbetrieb	317
Gesamte Jahreskollektivdosis	1255

Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2020 betrug 10,0 mSv. Dieser Wert lag deutlich unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv und im Bereich des Vorjahreswertes (8,8 mSv).

Es wurden während der ganzen Berichtsperiode keine Personenkontaminationen, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, festgestellt. 2020 hat das KKL an 1524 Personen (418 Eigen- und 1106 Fremdpersonal) Triagemessungen durchgeführt und keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle detektiert.

Bild 8: Bleimattenabschirmung zum Schutz vor Strahlung von Komponenten mit hoher Dosisleistung.

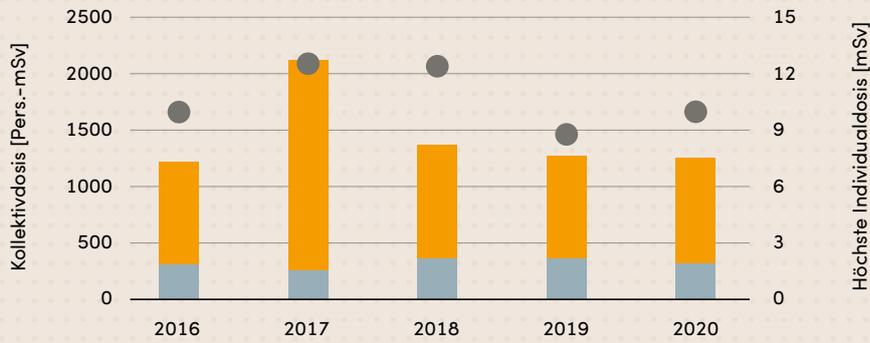
Folgende Dosierhebungen wurden von der anerkannten Personendosimetriestelle durchgeführt:

Überwachung der äusseren Bestrahlung			Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörper	Haut	Extremitäten	Ganzkörperzähler	Schilddrüse
1765	1765	35	1630	1630

Bild 9: Überprüfung der Dosisleistung durch die Aufsichtsbehörde.



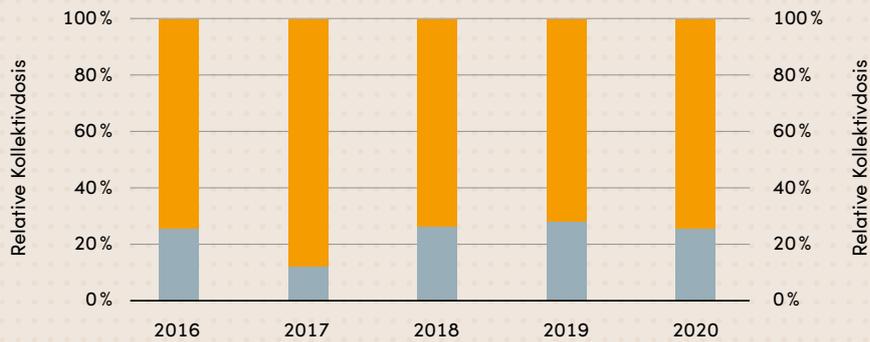
Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im KKL von 2016 bis 2020



Darstellung 13: Jahreskollektiv- (Pers.-mSv) und höchste Individualdosen (mSv) KKL von 2016 bis 2020. Dargestellt sind Daten aus den Revisionsstillständen, dem Leistungsbetrieb und der Verlauf der höchsten Individualdosen während den vergangenen Betriebsjahren.

- Stillstand
- Höchste Individualdosis
- Betrieb

Kollektivdosisverteilung zwischen Betrieb und Stillstand des KKL von 2016 bis 2020



Darstellung 14: Relative Jahreskollektivdosen KKL von 2016 bis 2020. Dargestellt sind die Daten aus den Revisionsstillständen und dem Leistungsbetrieb.

- Stillstand
- Betrieb

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des KKL von 2016 bis 2020



Darstellung 15: Summe der Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im KKL von 2016 bis 2020.

- Kollektivdosis
- Anzahl dosimetriertes Personal

Bewertung der Strahlenexposition

Insgesamt bewertet das ENSI den vom KKL umgesetzten Strahlenschutz als sicherheitsgerichtet, die Strahlenexposition des eingesetzten Personals wird optimiert. Im Rahmen der aufsichtlichen Tätigkeit stellte das ENSI fest, dass die gesetzlichen Anforderungen zum Strahlenschutz, mit Ausnahme der erwähnten Vorkommnisse, erfüllt wurden.

Die Kollektivdosis im KKL konnte auch dank der wasserchemischen Behandlung des Kühlmittels in den letzten Jahren optimiert werden. Das KKL vollzieht einen dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechenden Strahlenschutz, indem es unter anderem Strahlenschutzplanungen erstellt und Optimierungsmassnahmen ein- und umsetzt.

Das Betriebsjahr 2020 zeichnete sich durch eine für das KKL tiefe Kollektivdosis aus, die pandemiebedingt auf den reduzierten Arbeitsumfang während des Leistungsbetriebs und der Jahreshauptrevision zurückzuführen ist.

Der Quotient aus der Dosis pro erzeugte elektrische Energie betrug im KKL 0,132 Pers.-mSv pro GWh_(e) und blieb somit tief (Vorjahr: 0,138 Pers.-mSv/GWh_(e)).

Das ENSI konnte bei seinen Inspektionen feststellen, dass im KKL ein gesetzskonformer und effizienter Strahlenschutz betrieben wird.

Strahlenschutzinstrumentierung

Im Berichtsjahr hat das ENSI eine Inspektion zur Raumbefreiung durchgeführt. Dabei prüfte das ENSI die eingereichten Antragsunterlagen und führte stichprobenweise Kontrollmessungen durch. Die Ergebnisse der Kontrollmessungen stimmten mit den Resultaten der Betreiberin überein. Die gesetzlichen Vorgaben bezüglich der Raumbefreiung waren eingehalten. Im

Anschluss an die Inspektion gab das ENSI die Räume zur Auszonung frei. Im Zuge der Verlängerung der Anerkennung von der Personendosimetriestelle um weitere fünf Jahre führte das ENSI eine Inspektion durch. Dabei wurden die Betriebsvorgaben, der technische Zustand der verwendeten Mess- und Auswertegeräte und die Organisation der Personendosimetriestelle überprüft und als konform mit den Anforderungen der Strahlenschutz- und Dosimetrieverordnung beurteilt. In einer weiteren Inspektion hat das ENSI im KKL die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser überprüft. Der Weg von der Probenerhebung über die Messung, 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 Bundesamt für Gesundheit BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Iodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKL.
- Aufgrund von pandemiebedingten Verzögerungen werden die Ergebnisse der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie erst Mitte 2021 vorliegen.

2.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)

Betrieb am Netz [%]

dauerhaft

Dauer der Stillstände [d]

—

Kollektivdosis im Leistungsbetrieb [Pers.-mSv]

6,6

Höchste Individualdosis [mSv]

Erzeugter Strom [GWh]

458

Kollektivdosis [Pers.-mSv]

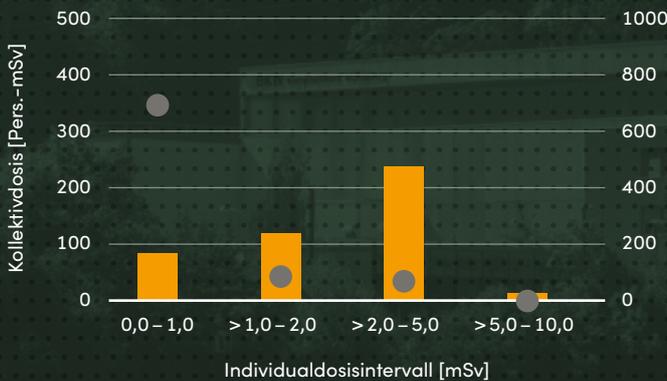
458

Kollektivdosis während der Stillstände [Pers.-mSv]

< 0,003 mSv

Errechnete Dosis für die Bevölkerung aufgrund von Emissionen

Kollektivdosisverteilung und Anzahl dosimetriertes Personal im KKM in 2020



Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im KKM.

- Kollektivdosis
- Anzahl dosimetriertes Personal

Kollektivdosisverteilung



Verhältnis der Kollektivdosen Leistungsbetrieb gegenüber Stillstand.

- Stillstand
- Leistungsbetrieb

Zusammenfassung

Für das KKM war das Jahr 2020 vom Übergang in die Stilllegung geprägt. Im Bereich Strahlenschutz konzentrierte sich die Aufsicht vor allem auf die Beurteilung von Grundlagendokumenten des Strahlenschutzes, die Bewertung von Messkonzepten und Messprozessen sowie die Freigabe von für den Rückbau erforderlichen Einrichtungen. Die akkumulierten Kollektiv- und Individualdosen lagen im Erwartungsbereich der Planung. Die gesetzlichen Anforderungen des Strahlenschutzes wurden erfüllt.

Allgemein

Nach dem endgültigen Einstellen des Leistungsbetriebs am 20. Dezember 2019 begann für das KKM mit der Etablierung des technischen Nachbetriebs eine neue Lebensphase. Dabei wurden die sicherheitstechnischen und organisatorischen Voraussetzungen für die endgültige Ausserbetriebnahme und die anschliessende Stilllegung des KKM geschaffen. Nach neun Monaten konnte das ENSI im September 2020 die Voraussetzungen für die endgültige Ausserbetriebnahme feststellen. Damit wurde die bisherige Betriebsbewilligung des KKM durch die Stilllegungsverfügung abgelöst und der eigentliche Rückbau (derzeit Stilllegungsphase 1) begann.

Aus Sicht des ENSI besteht eine grosse Herausforderung im Rückbau darin, die vielfältigen Arbeiten strahlenschutztechnisch zu überwachen. Das KKM trägt dabei die Verantwortung, das radiologische Risiko für die Arbeitnehmenden soweit möglich zu reduzieren und die geplante Strahlenexposition zu optimieren. Dabei müssen auch die Anforderungen des konventionellen Arbeitsschutzes berücksichtigt werden. Vor diesem Hintergrund kommt der betrieblichen Überwachung durch das Werk mittels qualifiziertem, beziehungsweise vom ENSI anerkanntem, Strahlenschutzpersonal eine wichtige Rolle zuteil. Die Marktlage für das Strahlenschutzpersonal ist nach wie vor angespannt. Die Aus- und Weiterbildung erfordert eine umsichtige Planung durch das KKM.



Bild 10: Demontagearbeiten im Kondensator.

Etablierung des technischen Nachbetriebs

Bei der Etablierung des technischen Nachbetriebs wurden die Voraussetzungen für die endgültige Ausserbetriebnahme der Anlage geschaffen. Dies betraf in organisatorischer Hinsicht unter anderem die Anpassung des Strahlenschutzreglements als freigabepflichtiges Betriebsdokument, weil die strahlenschutztechnische Erfassung von Rückbautätigkeiten während der Stilllegung von grosser Bedeutung sein wird.

Als vorbereitende Massnahmen in technischer Hinsicht wurden zunächst die Brennelemente in das Brennelementlagerbecken verbracht, wo sie mehrere Jahre abklingen, bevor sie ins Zwischenlager Würenlingen abtransportiert werden. Damit in der anschliessenden

Stilllegungsphase parallel dazu die Rückbauarbeiten am Reaktor beginnen können, musste das Kühl- und Reinigungssystem des Brennelementlagerbackens für einen weiterhin sicheren und unabhängigen Betrieb angepasst werden. Parallel wurde mit dem Ausbau der Steuerstabilitätsantriebe und den Vorbereitungen für die Installation der Hilfseinrichtungen für die Zerlegung der Komponenten im Reaktor begonnen. Zu den weiteren technischen Massnahmen zählte die Demontage nicht mehr benötigter Anlagenteile im Maschinenhaus. Ein Beispiel hierfür ist die Demontage und Zerlegung der Turbinensätze und Stromgeneratoren, um im Maschinenhaus Platz für die Materialbehandlungseinrichtungen zu schaffen, in denen später Materialien aus dem Rückbau weiter zerlegt und dekontaminiert werden.

Da die Mitarbeitenden bei diesen Arbeiten ionisierender Strahlung ausgesetzt sind, wurden diese Arbeiten strahlenschutztechnisch optimiert. Es wurden weitere, entsprechende Schutzmassnahmen geplant, deren Umsetzung eng begleitet wurde. Dafür wurden bereits in den Jahren zuvor während der Revisionsstillstände umfangreiche strahlenschutztechnische Messungen durchgeführt, um die Nuklidanteile und Dosisleistungen der verschiedenen Komponenten zu ermitteln. Wo möglich wurden Optimierungsmassnahmen, beispielsweise das vorgängige Spülen von Systemen, durchgeführt. Auch wurden manche Arbeiten zunächst an massstabsgetreuen Modellen geübt, um die Abläufe zu optimieren und die Zeit, in der die Mitarbeitenden der Strahlung ausgesetzt sind, zu minimieren. Wie auch in den anderen Kernanlagen tragen alle Personen in der kontrollierten Zone des KKM zur Erfassung der erhaltenen Dosis zusätzlich zum anerkannten, passiven Dosimeter ein elektronisches Personendosimeter mit Warnfunktion und Dosisanzeige.

Vorhaben, für die die strahlenschutztechnische Planung eine Kollektivdosis von mehr als 50 Pers.-mSv ergibt, sind meldepflichtig. Dies betraf während der Etablierung des technischen Nachbetriebs die Arbeiten am Kühl- und Reinigungssystem des Brennelementlagerbeckens und den Ausbau der Steuerstabantriebe. Erstere waren mit 63 Pers.-mSv geplant, wovon 8 Pers.-mSv effektiv akkumuliert wurden. Diese starke Reduktion im Vergleich zur Planung konnte in diesem Fall durch ein umfangreiches Spülen des Systems und den Einbezug von Optimierungen von Arbeitsabläufen in die Arbeitsvorbereitung erreicht werden. Speziell das Üben der dosisintensiven Arbeitsschritte für die Ertüchtigung von Rohrhalterungen an einem massstabsgetreuen Modell ist hierbei hervorzuheben.

Für den Ausbau der Steuerstabantriebe ergab sich eine Kollektivdosis von 58 Pers.-mSv bei geplanten 95 Pers.-mSv. Während die Planung des Ausbaus teilweise auf Erfahrungswerten aus Instandsetzungsarbeiten während Revisionsstillständen der Vorjahre beruhte, konnte die endgültige Demontage effizienter gestaltet werden.

Stilllegungsphase 1

Nachdem die Vorbereitungen getroffen waren, konnte das KKM im September 2020 endgültig ausser Betrieb genommen werden. In den letzten Monaten des Berichtsjahres konnten erste Tests an den Hilfseinrichtungen für die Zerlegung der Komponenten im Reaktor durchgeführt werden. Weiterhin wurde die Trockenstrahlanlage als erste Materialbehandlungseinrichtung im Maschinenhaus in Betrieb gesetzt, mit der mittels abrasiver Methoden Komponenten aus dem Rückbau dekontaminiert werden sollen. Die Ausserbetriebnahmen von obsolet gewordenen Systemen wurden fortgesetzt. Dabei werden Systeme, Strukturen und Komponenten nach einem eigens entwickelten Prozess irreversibel ausser Betrieb genommen und für die Demontage vorbereitet.

Im Hinblick auf meldepflichtige, dosisrelevante Arbeiten wurde dem ENSI die Strahlenschutzplanung für den Rückbau der Komponenten im Reaktor eingereicht. Hierfür sind gesamthaft über einen Zeitraum von circa eineinhalb Jahren 192 Pers.-mSv geplant. In diesem Zusammenhang hat das ENSI im Berichtsjahr festgestellt, dass der wichtige Prozess zur Erstellung von Strahlenschutzplanungen im KKM überarbeitet wurde. Wie diese Überarbeitung den Stand der Technik berücksichtigt, wird derzeit überprüft.

Vorkommnisse

Am 8. Dezember 2020 kam es zu einem Vorkommnis mit Bedeutung für den Strahlenschutz im KKM, das im Zusammenhang mit dem Kühl- und Reinigungskreislauf des Brennelementlagerbeckens stand. Aufgrund eines übergelaufenen Behälters wurde Kühlmittel freigesetzt und dies führte zu einer räumlich begrenzten Kontamination, die zeitnah beseitigt werden konnte. Dabei wurden keine Personen kontaminiert und es kam zu keiner Inkorporation. Das Vorkommnis wird auf der Stufe 0 (below scale) der internationalen Ereignisskala INES (IAEA, Vienna 2008) eingestuft.



Bild 11: Das Maschinenhaus des KKM Ende 2020. Zu sehen ist das Gerüst des Spezialkrans, mit dem die Statoren der Stromgeneratoren (einer davon ist im Vordergrund zu sehen) abtransportiert werden.

Dosimetrie

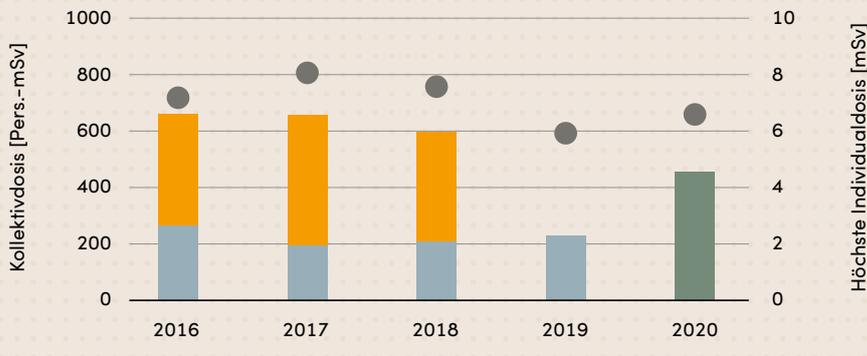
Während des Berichtsjahres kamen im KKM 850 beruflich strahlenexponierte Personen in der kontrollierten Zone oder bei Transporten zum Einsatz. Die Kollektivdosis während der Berichtsperiode betrug gesamthaft 458 Pers.-mSv und liegt damit deutlich unterhalb des in der Richtlinie ENSI-G15 festgelegten Strahlenschutzzielles für Kernanlagen von 1500 Pers.-mSv und relativ genau beim Planwert von 468 Pers.-mSv. Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2020 von 6,6 mSv liegt deutlich unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv.

Es wurden während der ganzen Berichtsperiode keine Personenkontaminationen festgestellt, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten (in den meisten Fällen reicht der Wechsel der eigens für die kontrollierte Zone vorgesehenen Kleidung). 2020 hat das KKM an 815 Personen (295 Eigen- und 520 Fremdpersonal) Triagemessungen durchgeführt. Das KKM hatte dabei keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle detektiert.

Folgende Anzahl an Dosiserhebungen wurden von der anerkannten Personendosimetriestelle des KKM durchgeführt:

Überwachung der äusseren Bestrahlung			Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörper	Haut	Extremitäten	Ganzkörperzähler	Schilddrüse
903	903	3	815	815

Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im KKM von 2016 bis 2020



Darstellung 16: Jahreskollektiv- (Pers.-mSv) und höchste Individu- (mSv) aldosens KKM von 2016 bis 2020. Dargestellt sind Daten aus den Revisionsstillständen, dem Leistungsbetrieb, der Stilllegung und der Verlauf der höchsten lan- dividualdosen während den ver- gangenen Betriebsjahren.

- Stillstand
- Höchste Individualdosis
- Betrieb
- Stilllegung

Kollektivdosisverteilung zwischen Betrieb und Stillstand bzw. Stilllegung des KKM von 2016 bis 2020



Darstellung 17: Relative Jahres- kollektivdosen KKM von 2016 bis 2020. Dargestellt sind die Daten aus den Revisionsstillständen dem Leistungsbetrieb und der Stilllegung.

- Stillstand
- Betrieb
- Stilllegung

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des KKM von 2016 bis 2020



Darstellung 18: Summe der Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im KKM von 2016 bis 2020.

- Kollektivdosis
- Anzahl dosimetriertes Personal

Bewertung der Strahlenexposition

Das ENSI konnte bei seinen Inspektionen feststellen, dass im KKM die gesetzlichen Anforderungen des Strahlenschutzes erfüllt wurden.

Strahlenschutzinstrumentierung

Im Berichtsjahr hat das ENSI Inspektionen und Fachgespräche zur Materialbefreiung durchgeführt. Dabei prüfte das ENSI die eingereichten Unterlagen und führte stichprobenweise Kontrollmessungen durch. Die Ergebnisse der Kontrollmessungen stimmten mit den Resultaten der Betreiberin überein. Die gesetzlichen Vorgaben bezüglich der Materialbefreiung wurden eingehalten. In einer weiteren Inspektion hat das ENSI im KKM die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser überprüft. Der Weg von der Probenerhebung über die Messung, 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

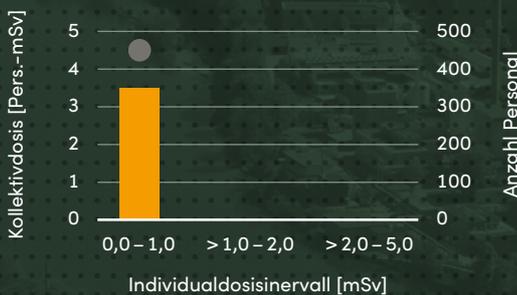
von Vergleichsmessungen, an denen nationale Labors beziehungsweise Messstellen teilnehmen, überprüft:

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem Bundesamt für Gesundheit BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Iodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKM.
- Aufgrund pandemiebedingter Verzögerungen werden die Ergebnisse der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie erst Mitte 2021 vorliegen.

03 Weitere Kernanlagen

Paul Scherrer Institut (PSI), Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) und Universität Basel

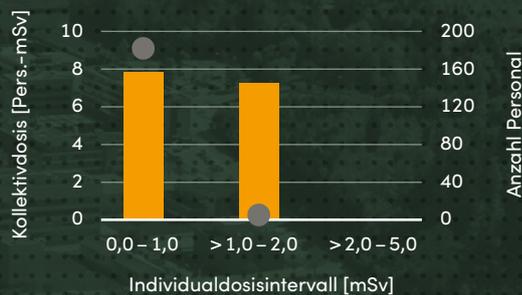
Kollektivdosisverteilung und Anzahl dosimetriertes Personal im PSI in 2020



- Kollektivdosis
- Anzahl dosimetriertes Personal

Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im PSI.

Kollektivdosisverteilung und Anzahl dosimetriertes Personal im ZZL in 2020



- Kollektivdosis
- Anzahl dosimetriertes Personal

Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im ZZL.

Zusammenfassung

PSI: Die Aktivitäten am PSI waren im Berichtsjahr durch die Pandemie geprägt. Dementsprechend wurden die planbaren Arbeiten vor Ort auf ein Minimum beschränkt. Die radiologischen Gegebenheiten der Anlagen im Aufsichtsbereich des ENSI waren allesamt als gut zu bewerten. Der Rückbau der ausgedienten Nuklearanlagen schritt auch im Berichtsjahr fort.

ZZL: Im ZZL wurden die Planungsziele für die Kollektivdosen unterschritten. Aufgrund des pandemiebedingten Wegfalls gewisser Arbeiten und Dosisoptimierungen fiel die Kollektivdosis geringer als ursprünglich geplant aus. Der praktizierte Strahlenschutz wird als zielführend bewertet.

EPFL: Der CROCUS Reaktor konnte das ganze Jahr über vorschriftsgemäss betrieben werden. Die Vorgaben an den Strahlenschutz wurden eingehalten.

Universität Basel: Im Berichtsjahr fielen durch Direktstrahlung keine relevanten Personendosen an. Es fanden Freimessungen der Gebäudestrukturen statt, die im Mai 2020 beendet wurden. Die Anlage ist kontaminationsfrei, aktivierte Strukturen blieben keine zurück. Die kontrollierte Zone wurde mit einem Schreiben des ENSI am 23. September 2020 aufgehoben. Ein Abschlussbericht über die Stilllegung wurde verfasst und zur Begutachtung durch das ENSI Ende des Jahres 2020 eingereicht.

3.1 Paul Scherrer Institut (PSI)

Allgemein

Trotz Pandemiesituation wurden am PSI die notwendigen, strahlenschutzrelevanten Arbeiten durchgeführt. Die erfasste Kollektivdosis im Aufsichtsbereich des ENSI ist vergleichbar mit den Vorjahren. Weder für das Hotlabor noch für andere Kernanlagen wurden strahlenschutzrelevante Vorkommnisse verzeichnet.

Unter anderem wurden im Berichtsjahr folgende strahlenschutzrelevante Arbeiten durchgeführt:

- Bei der ehemaligen Versuchsverbrennungsanlage wurde die kontaminierte und asbesthaltige Ausmauerung am Grobfilter ausgebaut und in Behältern einbetoniert. Das Stahlgehäuse des Grobfilters wurde vor dem Abbruch von Kontamination und Asbest befreit.
- In der Aktivlagerhalle C wurde der zweite Teil der Bodensanierung durchgeführt. Die Gesamtsanierung soll noch bis Ende September 2021 dauern.
- Drei Abfallcontainer wurden in der Anlage DIORIT vergossen und verdeckelt.
- Im Labor für Endlagersicherheit wurden verschiedene Produktkontrollen an aktiven Proben aus aktuellen Verfestigungskampagnen durchgeführt.
- Aus der Anlage PROTEUS wurden der Pufferbrennstoff und der Graphitreflektor ausgeschleust.
- Das Pilotprojekt zur Freimessung der Räume bei der Anlage SAPHIR wurde fortgesetzt und in der Reaktorhalle fand eine kontinuierliche Radonmessung statt.

Die Einrichtungen im Bereich Medizin und Forschung gehören zum Aufsichtsbereich des Bundesamtes für Gesundheit BAG.



Bild 12: Zwischenlagerung von Grafitblöcken aus dem Rückbau des PROTEUS am PSI.

Vorkommnisse

Im Berichtsjahr kam es bei der Strahlenschutzinstrumentierung zu zwei Vorkommnissen:

- Im Rahmen von Vorbereitungsarbeiten für eine Funktionsprüfung wurde am 9. Juni 2020 festgestellt, dass die Datenlieferung der Hochkamin-Fortluftüberwachung an das Datenverarbeitungssystem MEVIS infolge einer defekten Platine ausgefallen war. Nach dem Ersatz der Platine wurde die Fortluftüberwachung wieder erfolgreich in Betrieb genommen.
- Am 29. Juni 2020 bestand die Abluftüberwachung des Hotlabors die halbjährliche Funktionsprüfung nicht. Die Detektoren zeigten bei der Konstanzprüfung mit radioaktiven Prüfquellen die geforderten Sollwerte nicht an. Nach einer eingehenden Überprüfung der Anlage und einer Nachjustierung der Hochspannung des Iod-Detektors konnte die Störung behoben und die Anlage wieder in Betrieb genommen werden.

Da sowohl die Fortluft des Hochkamins als auch die Abluft jedes Stranges, die in den Hochkamin geleitet wird, radiologisch überwacht wird, war die Überwachung der Abgaben an die Umwelt bei beiden Vorkommnissen zu jedem Zeitpunkt gewährleistet. Beide Vorkommnisse werden auf der Stufe INES 0 (below scale) eingestuft.

Dosimetrie

In der Berichtsperiode kamen am PSI im Aufsichtsbereich des ENSI 446 beruflich strahlenexponierte Personen in den kontrollierten Zonen oder bei Aussenarbeiten zum Einsatz. Die Kollektivdosis während des gesamten Berichtszeitraumes betrug 4 Pers.-mSv.

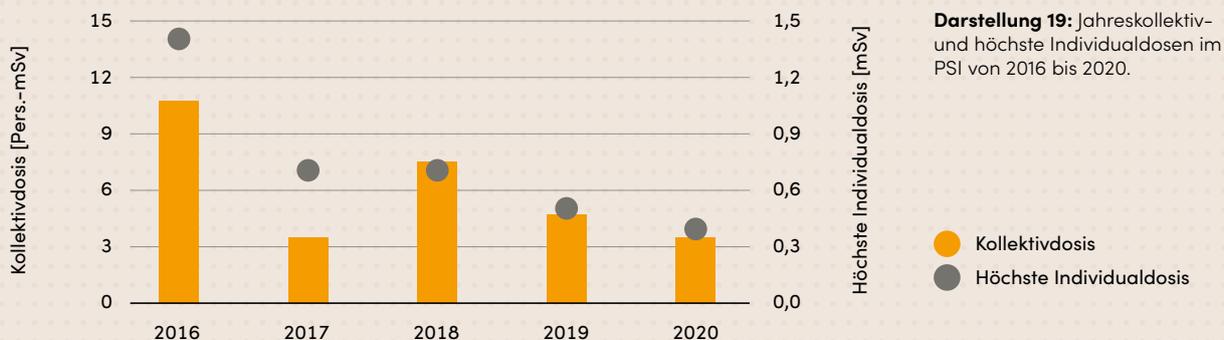
Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2020 betrug 0,4 mSv und lag damit deutlich unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv.

Während des ganzen Jahres traten keine Kontaminationen auf, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten. Während des Berichtszeitraumes hat das PSI an 137 Personen (132 Eigen- und 5 Fremdpersonal) Triagemessungen mittels eines Ganzkörperzählers durchgeführt, wobei keine Nachfolgedosis berechnet wurde. Dabei wurden keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle detektiert.

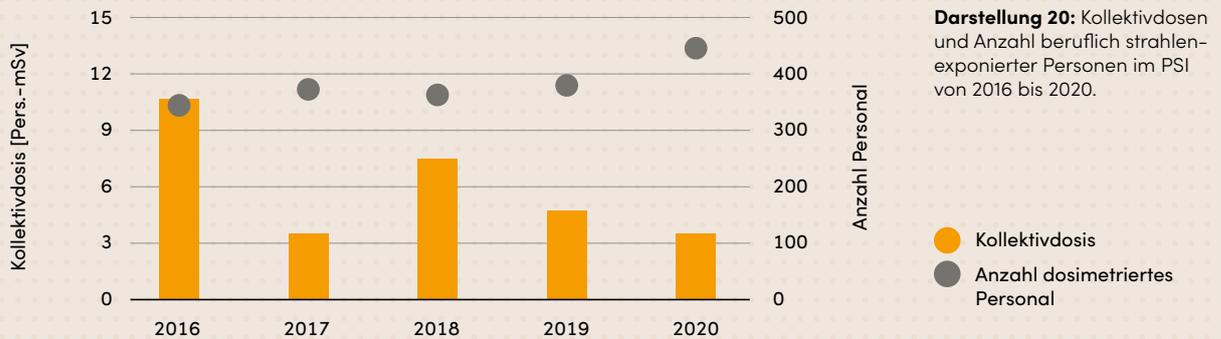
Folgende Anzahl an Dosiserhebungen wurden von der anerkannten Personendosimetriestelle des PSI durchgeführt:

Überwachung der äusseren Bestrahlung			Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörper	Haut	Extremitäten	Ganzkörperzähler	Schilddrüse
489	489	36	-	-

Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im PSI von 2016 bis 2020



Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des PSI von 2016 bis 2020



Bewertung der Strahlenexposition

Das PSI vollzog im Berichtsjahr einen den gesetzlichen Vorgaben und internen Vorschriften entsprechenden Strahlenschutz. Die Kollektivdosis lag etwas tiefer, aber vergleichbar mit Werten aus den Vorjahren. Das ENSI bestätigt unter anderem auf Grundlage von Inspektionen, dass im PSI ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz angewendet wird.

Strahlenschutzinstrumentierung

Im Berichtsjahr führte das ENSI eine Inspektion zur Abklinglagerung von radioaktiven Materialien durch. Diese Materialien erfüllen nach einer Abklinglagerung von 30 Jahren die Bedingungen für eine Befreiung oder eine Weiterverwertung gemäss Strahlenschutzgesetzgebung. Bei dieser Inspektion hat das ENSI Verbesserungsbedarf beim Entscheidungsverfahren zur Abklinglagerung, bei der Dokumentierung und Archivierung der Entscheidungsmessungen sowie bei der Lagerung der Materialien identifiziert. Bis Ende März 2021 muss das PSI ein Konzept mit einem Zeitplan für die Umsetzung der Verbesserungen beim ENSI einreichen. Im Rahmen der Verlängerung der Anerkennung der Personendosimetriestelle um weitere fünf Jahre führte das ENSI eine Inspektion durch. Dabei wurden die Betriebsvorgaben, der technische Zustand der verwendeten Mess- und Auswertegeräte und die Organisation der

Personendosimetriestelle überprüft und als konform mit den Anforderungen der Strahlenschutz- und Dosimetrieverordnung beurteilt. Auch hat das ENSI im PSI die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser überprüft. Der Weg von der Probenerhebung über die Messung, Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Quartals- 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 Bundesamt für Gesundheit BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Iodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des PSI.
- Aufgrund der pandemiebedingten Verzögerungen werden die Ergebnisse der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie erst Mitte 2021 vorliegen.

3.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)

Allgemein

Trotz Pandemiesituation wurden im ZZL die 27. Kampagne zur Abfallbehandlung durchgeführt. Dabei wurden 139 tiefenlagerfähige Fässer produziert, welche noch bis zu deren Endlagerung im ZZL zwischengelagert werden. Durch den Betrieb der Plasma-Verbrennungsanlage wurden auch 2020 wieder brennbare und schmelzbare radioaktive Abfälle endkonditioniert. Während dieser ungefähr elf Wochen dauernden Kampagne, die zwischen September und Dezember des Berichtsjahres stattgefunden hat, verarbeitete das ZZL 621 Fässer mit aktiven brenn- und schmelzbaren Abfällen, sowie 35 Fässer mit inaktiven Glasabfällen. Das Planziel der Kampagne betrug 550 Abfallfässer. Die Kampagne verlief erfolgreich und ohne strahlenschutzrelevante Vorkommnisse.

Während des erfolgten Berichtsjahres wurden die folgenden strahlenschutzrelevanten Arbeiten durchgeführt:

- Instandhaltung Gebäude V
- Service der Rauchgasreinigung und der internen Wasseraufbereitung
- Ofenausmauerungsarbeiten
- Arbeiten im Gebäude H und an Transport- und Lagerbehälter
- Allgemeine Arbeiten
- Arbeiten Beta-/Gamma-Box
- Einlagerung von Abfällen im Gebäude M, Fasstransport Gebäude E
- Funktionsprüfungen
- Fasshandhabung Gebäude S



Bild 13: Schwach- bis mittelaktive Abfallgebinde in der Lagerhalle.

Dosimetrie

In der Berichtsperiode kamen im ZZL 187 beruflich strahlenexponierte Personen in der kontrollierten Zone oder bei Aussenarbeiten zum Einsatz. Die Kollektivdosis während des gesamten Berichtszeitraumes betrug 15 Pers.-mSv und lag ungefähr 9% unterhalb des Planwertes von knapp 17 Pers.-mSv. Der Planwert wurde aufgrund von Erkenntnissen bei den Jobdosen im Rahmen von Fasshandhabungen, Ofenausmauerungsarbeiten und Behälterempfangen Ende des dritten Quartals 2020 von 19 Pers.-mSv auf den aktuellen Wert von 17 Pers.-mSv angepasst. Gründe 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 oder geplant. 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 Individualdosis im Kalenderjahr 2020 betrug 1,6 mSv und lag damit deutlich unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv.

Es wurden während des ganzen Jahres keine Personenkontaminationen, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, festgestellt. Während des Berichtszeitraumes hat das ZZL an 174 Personen (79 Eigen- und 95 Fremdpersonal) Triagemessungen mittels eines Thoraxmessgerätes durchgeführt. Dabei wurden keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle detektiert.

Folgende Anzahl an Dosiserhebungen wurden von der beauftragten, anerkannten Personendosimetriestelle des KKB für das ZZL durchgeführt:

Überwachung der äusseren Bestrahlung			Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörper	Haut	Extremitäten	Ganzkörperzähler	Schilddrüse
236	236	-	-	-

Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im ZZL von 2016 bis 2020



Darstellung 21: Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im ZZL von 2016 bis 2020.

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des ZZL von 2016 bis 2020



Darstellung 22: Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im ZZL von 2016 bis 2020.

Bewertung der Strahlenexposition

Die Tätigkeiten in den Anlagen des ZZL wurden unter Einhaltung der gesetzlichen und internen Strahlenschutzvorgaben durchgeführt. Die Kollektivdosis war 2020 vergleichbar mit jenen der Vorjahre. Dies ist unter anderem auf einen ähnlichen Arbeitsumfang zurückzuführen. Die Ergebnisse von ENSI-Inspektionen bestätigen, dass im ZZL ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz angewendet wird.

Strahlenschutzinstrumentierung

In einer 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, Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Quartals- 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 Bundesamt für Gesundheit BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosolfiltern und Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des ZZL.

Im Berichtsjahr hat das ENSI die Messsysteme zur radiologischen Raumüberwachung im Gebäude S für den Betrieb freigegeben.

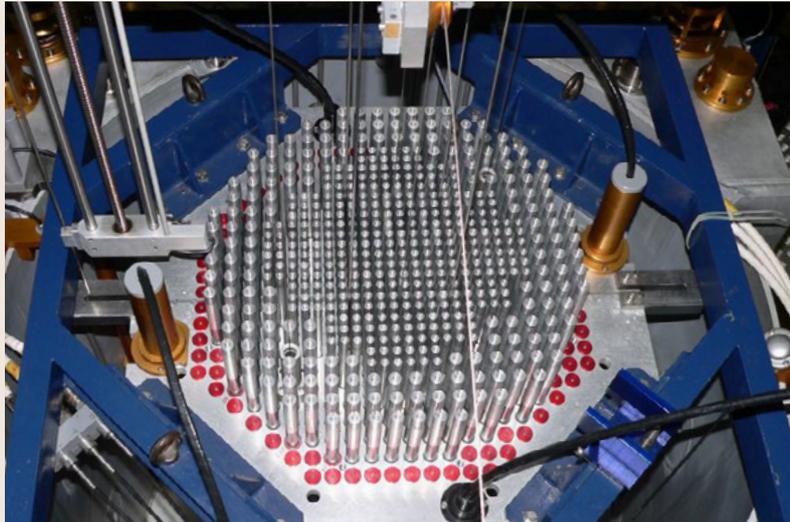


Bild 14: Der CROCUS-Reaktor.

3.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

Allgemein

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, welches dem Institut de Physique (IPHYS) angehört. Im Jahr 2020 stand der CROCUS-Reaktor Ingenieur- und Physikstudierenden der EPFL, Kursteilnehmenden der Reaktorschule des PSI und Studierenden des Masterstudiums in Nuclear Engineering der ETHZ/EPFL während 441 Stunden bei kleiner Leistung (bis 50 W) für Ausbildungs- und Forschungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 3210 Wh thermische Energie erzeugt. Im Vergleich zum Vorjahr bedeutet dies eine Reduktion der Betriebsdauer von 23% und einen Anstieg der erzeugten Energie von 101%.

Das ENSI inspizierte die Strahlenschutzmassnahmen bei der Beladung des Reaktors CROCUS mit Brennstoff und konnte konstatieren, dass die Massnahmen, sowohl in administrativer als auch in operationeller Hinsicht, den Vorgaben entsprachen und gut geplant waren.

Vorkommnisse

Im Berichtsjahr musste der Reaktor CROCUS aufgrund eines technischen Problems schnell abgeschaltet werden. Alle Überwachungsmaßnahmen funktionierten gemäss Vorgaben.

Dosimetrie

Die 13 beruflich strahlenexponierten Personen an der EPFL akkumulierten im Berichtsjahr eine Kollektivdosis von < 1 Pers.-mSv.

Bewertung der Strahlenexposition

Im Berichtsjahr 2020 wurden beim Personal wie in den Vorjahren vergleichbare Kollektivdosen gemessen. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend. Die Ergebnisse der ENSI-Inspektionen bestätigen, dass im LRS an der EPFL ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz angewendet wird.

3.4 Universität Basel

Allgemein

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.

Der Reaktor befand sich bis Juni 2019 im Nachbetrieb und seitdem im Rückbau. Die Rückbauarbeiten wurden im Dezember 2019 abgeschlossen und die Anlage stand für die Freimessung der Räume bereit.

Insgesamt wurden im Jahr 2019 etwa 3,4 t Material freigemessen und der konventionellen Entsorgung zugeführt. 2,9 t Material wurden als radioaktiver Abfall dem PSI zur Entsorgung übergeben.

Im Berichtsjahr fanden Freimessungen der Gebäudestrukturen statt, die im Mai 2020 beendet wurden. Die Anlage war kontaminationsfrei, aktivierte Strukturen blieben keine zurück. Die kontrollierte Zone wurde mit einem Schreiben des ENSI am 23. September 2020 aufgehoben. Ein Abschlussbericht über die Stilllegung wurde verfasst und zur Begutachtung durch das ENSI Ende des Jahres 2020 eingereicht.

Dosimetrie

Die Kollektivdosis aufgrund von Direktstrahlung belief sich auf weniger als 1 Pers.-mSv für acht Mitarbeitende, die maximale Individualdosis lag bei 0,003 mSv. Die durch Radon akkumulierte Kollektivdosis betrug etwas über 4 Pers.-mSv, die maximale Individualdosis 2 mSv.

Bewertung der Strahlenexposition

Die Ergebnisse von ENSI-Inspektionen bestätigten, dass die Anforderungen an den Strahlenschutz erfüllt wurden.

Nach dem Rückbau des Reaktors im Jahr 2019 und den daran anschliessenden radiologischen Messungen an den verbleibenden Gebäudestrukturen reichte die Universität Basel im Berichtsjahr einen Antrag um Aufhebung der kontrollierten Zone ein. Im Rahmen einer Inspektion prüfte das ENSI die Angaben in den Unterlagen und führte stichprobenweise Kontrollmessungen durch. Die Ergebnisse der Kontrollmessungen stimmten mit den Resultaten der Betreiberin überein. Die gesetzlichen Vorgaben zur konventionellen Verwendung der Räumlichkeiten waren eingehalten. Somit stimmte das ENSI der Aufhebung der kontrollierten Zone zu. Daraufhin reichte die Universität Basel ein Gesuch um Entlassung des Forschungsreaktors aus der Kernenergiegesetzgebung beim Bundesamt für Energie ein. Das ENSI wird im Jahr 2021 dazu ein Gutachten erstellen.

UMGEBUNGS- ÜBERWACHUNG UND SCHUTZ DER BEVÖLKERUNG:

EMISSIONEN UND IMMISSIONEN

Die Sektion Strahlenmessung befasst sich im Rahmen der Aufsicht über die Kernanlagen mit den Messmitteln und -verfahren zum Schutz des Personals und der Umgebung, mit der Beurteilung und Kontrolle der Abgaben radioaktiver Stoffe sowie deren Auswirkungen auf die Umwelt und mit der Freimessung von Materialien und Räumen aus Kontrollbereichen zur konventionellen Nutzung oder Entsorgung. Zur Erfüllung dieser Aufgaben betreibt die Sektion das Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) und eine akkreditierte Prüfstelle, die Messungen an Umwelt- und Materialproben, an Fortluft- und Abwasserproben sowie Messungen in Kernanlagen und deren Umgebung durchführt.

Vorwort der Leitung der Sektion Strahlenmessung

Neben den Routineaufgaben der Sektion sind für das Jahr 2020 folgende Highlights hervorzuheben:

Im Jahre 2015 wurde der Forschungsreaktor der Universität Basel endgültig ausser Betrieb genommen und seine Stilllegung angeordnet. Nach dem Erlass der Stilllegungsverfügung im Februar 2019 wurde der Forschungsreaktor rückgebaut. Im Anschluss daran wurden die Gebäudestrukturen freigemessen und im Juli 2020 die Aufhebung der kontrollierten Zone beantragt. Die Sektion hat das Freimessverfahren und die dokumentierten Messergebnisse beurteilt und eigene Kontrollmessungen durchgeführt. Im September 2020 hat sie der Aufhebung der kontrollierten Zone zugestimmt.

Im Berichtsjahr bearbeitete die Sektion Meldungen zur Befreiung von Materialien, die aus der kontrollierten Zone zur konventionellen Entsorgung entnommen wurden, in einer selten da gewesenen Dimension von 2414 t. Der grösste Teil davon, circa 2220 t, entfiel auf das sich in der Stilllegung befindende KKM.

Die Sektion betreibt das Messnetz zur Überwachung der Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke MADUK. Das im Jahr 2018 lancierte Projekt zum Ersatz der 57 Messstationen in der Umgebung der Kernkraftwerke durch autarke, erdbebenfeste Messstationen, die über Mobilfunk oder Satellit die Messdaten an die

Zentrale liefern können, ist nun in der Endphase. Rund 40 Messstationen wurden im Berichtsjahr erneuert, die restlichen sollen bis zum Herbst 2021 folgen.

Die Sektion betreibt ein akkreditiertes Messlabor, in dem sie unter anderem Kontrollmessungen an Abwasser-, Luftfilter- und Umweltproben durchführt. Im Mai wurde das Messlabor für weitere fünf Jahre ohne Auflagen akkreditiert. Im Rahmen dieser Reakkreditierung wurde auch der Geltungsbereich der Akkreditierung im Hinblick auf die Stilllegung von Kernkraftwerken für die Freimessung von Materialien und Räumen mittels In-Situ-Gammaskopmetrie ergänzt.

Die Kernkraftwerke und das PSI betreiben eigene Personendosimetriestellen. Die Anerkennung dieser Dosimetriestellen muss alle fünf Jahre erneuert werden. Die Sektion hat in den letzten beiden Jahren nach Prüfung der eingereichten Unterlagen und der Durchführung von Inspektionen diese Anerkennungen teilweise mit Auflagen für weitere fünf Jahre erteilt.

Im November 2020 fand die IAEA-Konferenz «International Conference on Radiation Safety» pandemiebedingt virtuell statt. Aufgrund aktueller Erfahrungen war die Sektion zusammen mit der Sektion Radiologischer Arbeitsschutz mit einem Vortrag über die Möglichkeiten, die Konzepte des Strahlenschutzes einer breiten Öffentlichkeit verständlich nahe zu bringen, vertreten.



Joachim Löhle

04 Grundlagen Emissions- und Immissionsüberwachung

Radioaktive Stoffe geringer Aktivität dürfen gemäss Art. 112 der Strahlenschutzverordnung über die Abluft an die Atmosphäre beziehungsweise über das Abwasser an Oberflächengewässer abgegeben werden. Die Bewilligungsbehörde legt dabei für jede Abgabestelle die maximal zulässigen Abgabemengen und Aktivitätskonzentrationen fest. Zusätzlich legt die Aufsichtsbehörde in sogenannten anlagenspezifischen Abgabereglementen die Kontrollmassnahmen zur Überwachung der Emissionen und der Immissionen (Umgebungsüberwachungsprogramm) fest. In der Schweiz ist die Kontrolle der Abgaben Sache der Betreiber von Kernanlagen und hat im Einvernehmen mit der Aufsichtsbehörde zu erfolgen. Die Aufsichtsbehörde hat wiederum die Aufgabe, sich davon zu überzeugen, dass die Kontrolle der Abgaben durch die Betreiber einwandfrei geschieht und die Abgabevorschriften eingehalten werden. Die Aufsichtsbehörde führt zu diesem Zweck eigene Messungen und Inspektionen durch. Mit Inspektionen an den Messsystemen zur Überwachung der Fortluft und des Abwassers prüft das ENSI stichprobenartig ihre korrekte Messfunktion. Mit Vergleichsmessungen von Proben aus dem Abwasser- und Abluftsystem kontrolliert das ENSI die bilanzierenden Messungen der Betreiber. Die Berichterstattung und Buchführung der radioaktiven Abgaben wird durch das ENSI mit jährlichen Bilanzierungsinspektionen überprüft. Das Zusammenspiel von eigenen Messungen, den oben beschriebenen Inspektionen und freigabepflichtigen Arbeiten an den Messsystemen zur Überwachung von Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt ermöglicht eine zuverlässige Kontrolle der Emissionsüberwachung des Betreibers.

Die Überwachung der Direktstrahlung und der Radioaktivität in der Umgebung der Kernanlagen ist neben der Abgabelimitierung und der Berechnung der Dosis aus den erfolgten Emissionen eine weitere wichtige Kontrollmassnahme zum Schutz der Bevölkerung. Die Immissionsmessungen des Betreibers und der Behörden erfolgen gemäss dem Umgebungsüberwachungsprogramm (Art. 193 der Strahlenschutzverordnung), das Teil des oben erwähnten anlagenspezifischen Abgabereglements ist. Dieses Programm wird jährlich vom Bundesamt für Gesundheit BAG und vom ENSI überprüft. Im Umgebungsüberwachungsprogramm sind die zu überwachenden Umgebungsparameter, Probeentnahmeorte, Messhäufigkeiten, Verfahren zur Probenerhebung und Messungen sowie die zu erreichenden Messempfindlichkeiten festgelegt. Beteiligt sind, neben dem ENSI und den Kernanlagen, das BAG, die Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Eawag), das Institut Universitaire de Radiophysique (IRA) in Lausanne, die Universität Bern und kantonale Labors. Zusätzlich führt die Nationale Alarmzentrale NAZ im Auftrag des ENSI aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der Kernanlagen durch. Die Ergebnisse der Messungen, die das ENSI selbst durchführt oder in Auftrag gibt, sind in diesem Bericht dargestellt. Im Jahresbericht «Umweltradioaktivität und Strahldosen in der Schweiz» des BAG werden sämtliche Ergebnisse der Umweltüberwachung sowohl für die Umgebung der Kernanlagen als auch für die gesamte Schweiz veröffentlicht.

05 Emissionen aus den Kernanlagen

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser und der Abluft lagen im Jahr 2020 für die Kernkraftwerke KKB 1 und KKB 2, KKG, KKL und KKM sowie für das PSI und das am gleichen Standort gelegene ZZL deutlich unterhalb der Jahres- und Kurzzeit-Abgabelimiten. Die aus den tatsächlichen Abgaben und der Direktstrahlung aus der jeweiligen Anlage errechnete Strahlenexposition lag, selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren, für Erwachsene, zehnjährige Kinder und Kleinkinder weit unterhalb des für Standorte von Kernanlagen festgelegten quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr.

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser der schweizerischen Kernkraftwerke sind in der Darstellung 23 und im Anhang in der Darstellung A1 für die letzten fünf Jahre zusammen mit den entsprechenden Jahreslimiten ersichtlich. Eine Aufschlüsselung der Abgaben der Kernkraftwerke nach Monat für die limitierten radioaktiven Abgaben ist in Darstellung A2 im Anhang aufgezeigt. Tabelle A4 zeigt die in den Kernkraftwerken und im ZZL gemessenen Abgabewerte sowie die unter

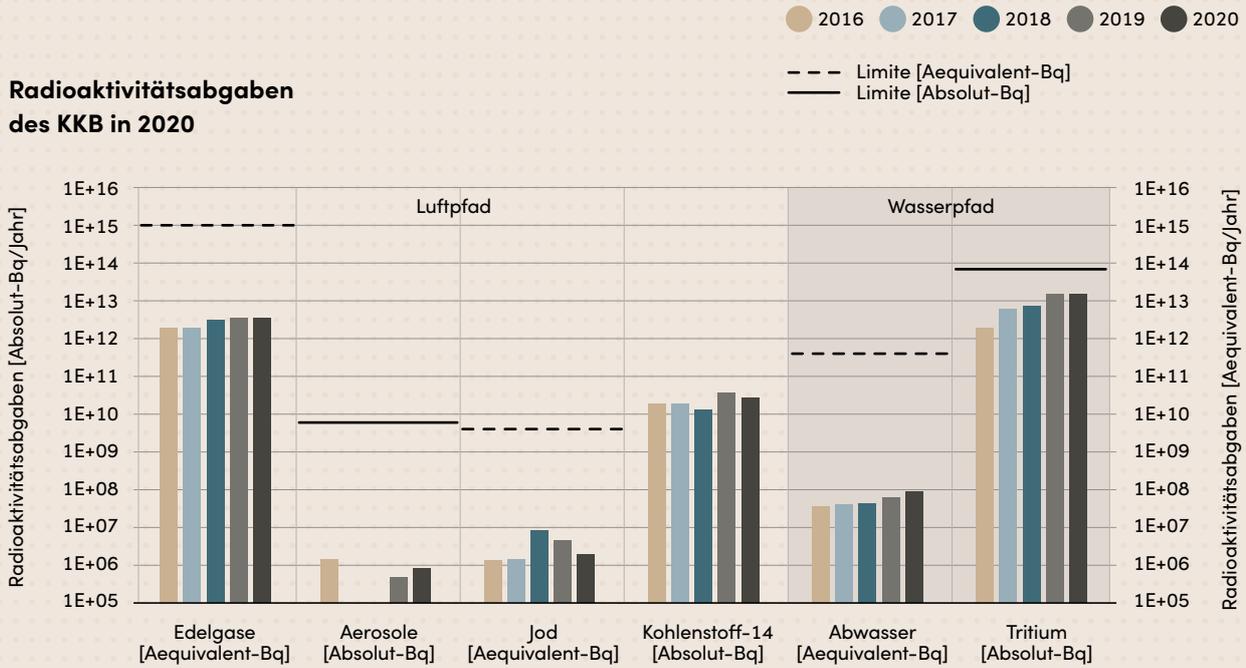
ungünstigen Annahmen gemäss Richtlinie ENSI-G14 errechneten Personendosen für Erwachsene, zehnjährige Kinder und Kleinkinder in der Umgebung der betreffenden Anlage im Jahr 2020. Die Abgaben des PSI und die daraus in gleicher Weise berechneten Dosiswerte sind in Tabelle A5 zusammengestellt. Eine nuklidspezifische Aufschlüsselung der Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser ist in Tabelle A6, mit der Abluft in den Tabellen A7 und A8 gegeben (alle Tabellen im Anhang). Darstellung 24 zeigt für die vier schweizerischen Kernkraftwerke den Verlauf der in der Umgebung berechneten Dosen für die meistbetroffenen Personen (nur Erwachsene) über die letzten 24 Jahre.

Zur Überprüfung der Messverfahren der Kernanlagen hat das ENSI an 196 Proben eigene gammaspektrometrische Messungen durchgeführt (inklusive 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

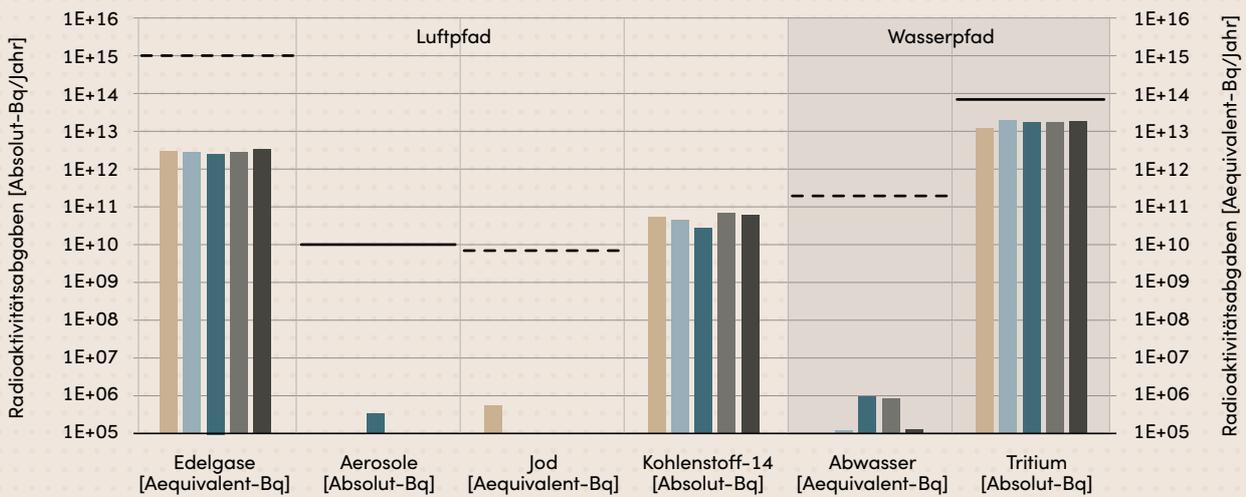


Bild 15: Mitarbeiter des ENSI bei einer Befreiungsmessung.

**Radioaktivitätsabgaben
des KKB in 2020**



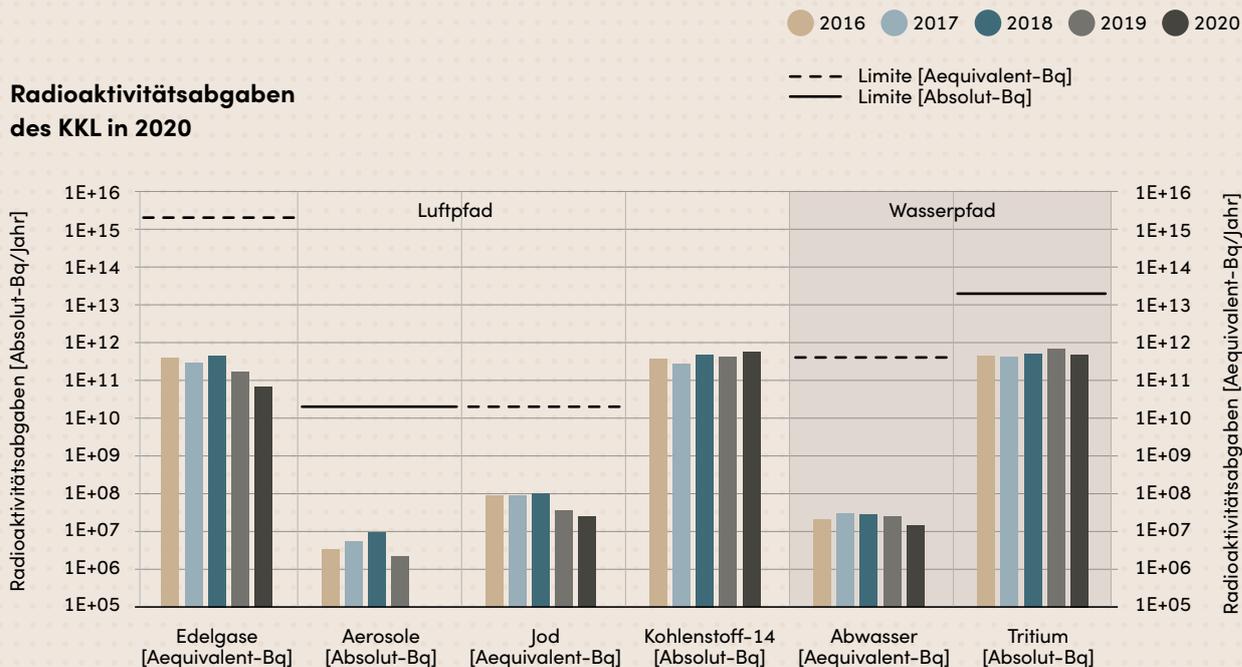
**Radioaktivitätsabgaben
des KKG in 2020**



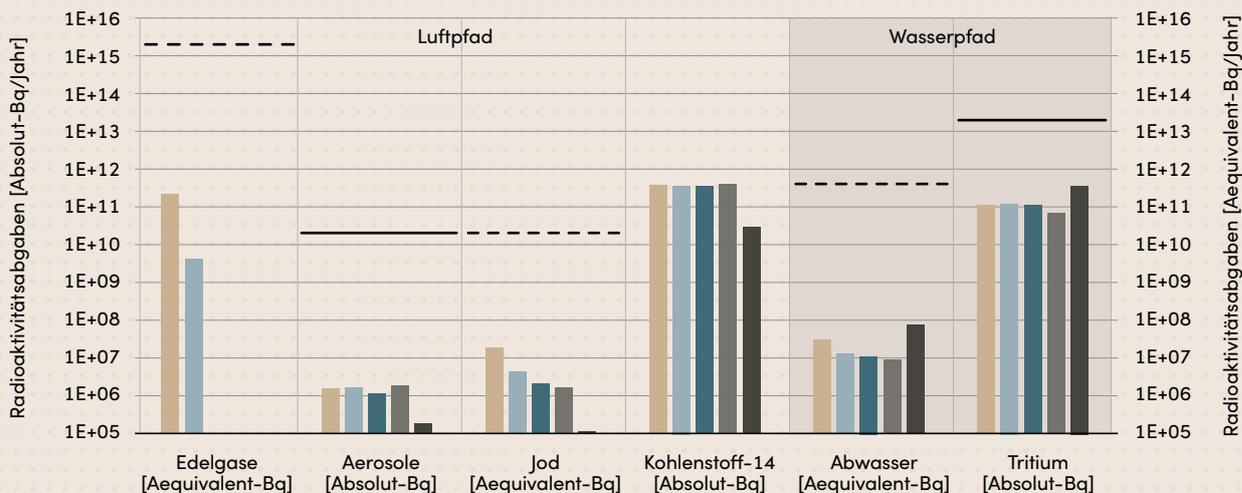
radioaktiven Abgaben aus den Werken (vgl. Darstellung A2 im Anhang) ist bei den flüssigen Abgaben beim KKG die jährlich jeweils vor dem Revisionsstillstand durchgeführte Verwerfungskaktion für tritiumhaltiges Wasser bei den Abgaben erkennbar. Solche Abgaben sind bei den Druckwasserreaktoren systembedingt erforderlich, um den operationellen Strahlenschutz während der Revision zu optimieren. Im Gegensatz zum KKB erfolgen die Tritiumabgaben im KKG über das ganze Jahr verteilt.

Alle Schweizer Kernkraftwerke haben auch 2020 die ¹⁴C-Aktivität (Kohlenstoff-14 - Aktivität) in der Abluft gemessen. Der Dosisbeitrag von ¹⁴C wurde aus den Messwerten ermittelt. Die ¹⁴C-Abgaben aus den schweizerischen Kernkraftwerken im Normalbetrieb ergeben mittels Ingestion von Nahrungsmitteln den grössten Dosisbeitrag in der Umgebung der Anlagen.

**Radioaktivitätsabgaben
des KKL in 2020**



**Radioaktivitätsabgaben
des KKM in 2020**



Darstellung 23: Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre und mit dem Abwasser in den letzten fünf Jahren (2016 bis 2020) 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.

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 weniger als 0,002, beim KKG weniger als 0,001, beim KKM weniger als 0,003 und beim KKL etwa 0,005 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung betragen somit im Jahr 2020 nur einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwerts. Das PSI ist aufgrund der Bewilligung für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung verpflichtet, sowohl für die einzelnen Anlagen als auch für die Gesamtanlage des PSI, die aus den Abgaben resultierende Dosis in der Umgebung zu berechnen. Beim PSI errechnet das ENSI eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von weniger als 0,007 mSv. Beinahe die gesamte Dosis ergibt sich beim PSI durch die Abgabe von kurzlebigen radioaktiven Gasen 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

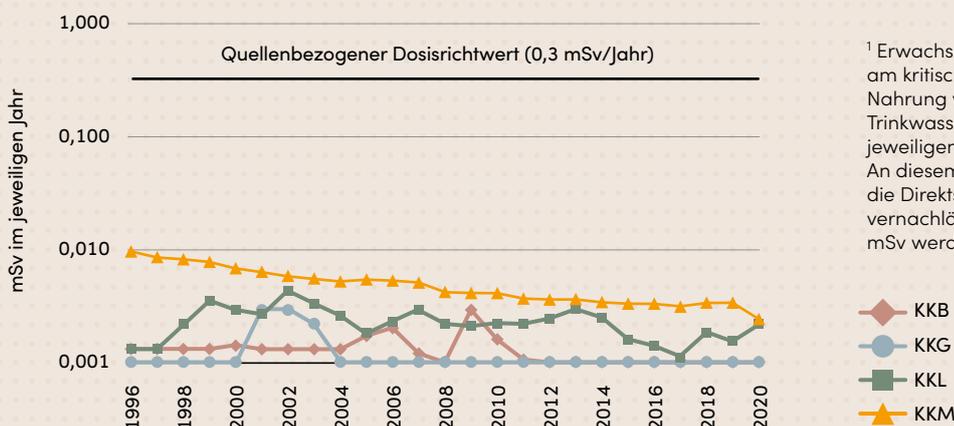
gemeinsamen Standort des PSI und des ZZL liegt. Für das ZZL beträgt der Anteil 0,05 mSv pro Jahr.

Die für das Jahr 2020 bilanzierten Abgaben des ZZL sind in den Tabellen A6 bis A8 (im Anhang) zusammengestellt. Die aufgrund der Abgaben unter ungünstigen Annahmen berechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Umgebungsbevölkerung lag unterhalb von 0,001 mSv.

Die komplette Datensammlung und ihre graphische Auswertung sind im Anhang 2 abgebildet.

Für radioaktive Edelgase und Abwasser aus Kernkraftwerken sind die Emissionen bezogen auf sogenannte Äquivalentabgaben begrenzt. Dies bedeutet, dass neben der eigentlichen Abgabemenge aus dem Werk auch die radiologische Gefährlichkeit, das heisst die Radiotoxizität der abgegebenen Stoffe, berücksichtigt wird. Diese Normierung der Abgaben auf die Gefährlichkeit führt dazu, dass von einem Stoff, welcher zehnmals radiotoxischer ist als ein anderer, auch zehnmals weniger an die Umgebung abgegeben werden darf. Für Aerosolabgaben über die Abluft ist eine Limitierung über Äquivalentabgaben nicht sinnvoll, da die zur Dosis beitragenden Pfade dafür zu komplex sind.

Berechnete Dosen für die meistbetroffene Person (Erwachsener) in der Umgebung der KKW



Darstellung 24: Berechnete Dosen für die meistbetroffenen Personen¹ (Erwachsene) in der Umgebung der schweizerischen Kernkraftwerke.

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.

06 Immissionen in der Umgebung der Kernanlagen

6.1 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen

Die Ortsdosis, respektive die Ortsdosisleistung durch externe Strahlung, wird bei den Kernanlagen und beim PSI mit dem MADUK-Messnetz (siehe Kapitel 6.2) und mit passiven Dosimetern (Thermolumineszenz-Dosimeter, kurz TLD, und Environmental Direct Ion Storage-Dosimeter, kurz EDIS) in der Umgebung sowie am Arealzaun überwacht. Zusätzlich führt das ENSI vierteljährlich 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) des Siedewasserreaktors im KKL 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. Rückbauarbeiten, wie sie im KKM stattfinden, führen in der Regel zu temporären Erhöhungen der Ortsdosis am Zaun.



Bild 16: Messung am Zaun des KKL.

Beim KKB und KKG wurde am Zaun weder mittels TLD resp. EDIS noch bei den vierteljährlichen Messungen des ENSI eine signifikante Erhöhung der Ortsdosis über dem natürlichen Untergrund festgestellt. Am Zaun des KKL wurden bei den vierteljährlichen vom ENSI durchgeführten Messungen während des Leistungsbetriebes Ortsdosisleistungen zwischen 0,06 $\mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und 0,16 $\mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes am meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von etwa 0,02 mSv pro Woche. Die

vom KKL quartalsweise ausgewerteten EDIS am Zaun ergeben nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes eine maximale, auf eine Woche gemittelte Dosiserhöhung von etwa 0,02 mSv. Am Zaun des KKM wurden bei den vierteljährlich vom ENSI durchgeführten Messungen Dosisleistungen zwischen 0,08 $\mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und 0,32 $\mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Auf eine Woche hochgerechnet würde basierend auf dem maximalen Momentanwert am meist exponierten Ort eine Dosiserhöhung von etwa 0,04 mSv resultieren. Im Falle des KKM wird bei einer solchen Hochrechnung die Ortsdosis stark überschätzt, da die maximalen Ortsdosisleistungen am Zaun in der Regel aufgrund der Rückbauarbeiten zeitlich begrenzt sind. In diesem Falle wurde der hohe Wert während einer Transportbereitstellung von radioaktiven Abfällen gemessen. Die vom KKM quartalsweise ausgewerteten TLD am Zaun ergeben nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes eine maximale, auf eine Woche gemittelte Dosiserhöhung von etwa 0,007 mSv. Am Zaun des PSI wurden bei vierteljährlichen vom ENSI durchgeführten Messungen Ortsdosisleistungen zwischen 0,06 $\mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und 0,11 $\mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes am meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von circa 0,008 mSv pro Woche. Die vom PSI quartalsweise ausgewerteten TLD am Zaun ergeben nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes eine maximale, auf eine Woche gemittelte Dosiserhöhung von etwa 0,004 mSv. Beim 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 Abs. 2 der Strahlenschutzverordnung anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerksareals von 0,02 mSv pro Woche für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 0,1 mSv pro Woche für andere Bereiche.

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

6.2.1 Übersicht

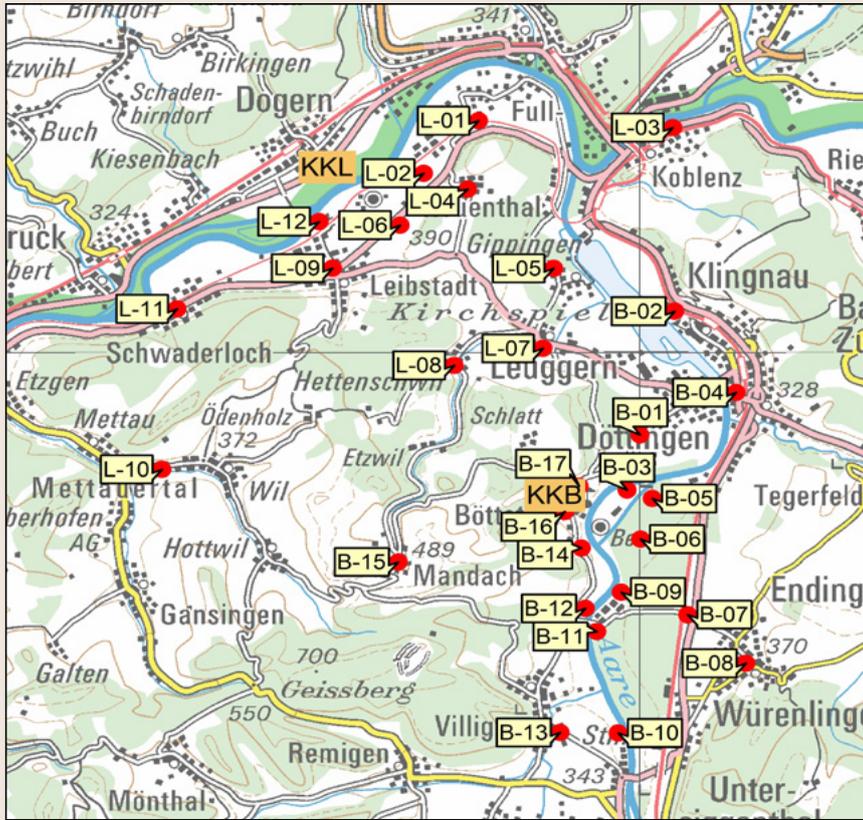
Das MADUK-System (**M**essnetz zur **a**utomatischen **D**osisleistungsüberwachung in der **U**mgangung der **K**ernkraftwerke), inklusive der Einrichtungen zur Übernahme von **A**nlageparametern (ANPA) und Kaminemissionswerten aus den Kernkraftwerken, wurde im Laufe des Jahres 1993 aufgebaut und ab 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 das MADUK-System die Notfallorganisation bei der Bestimmung des betroffenen Gebietes und bei der Einschätzung der möglichen Massnahmen. Zudem trägt das MADUK-System mit einem schnellen Datenaustausch zur erfolgreichen Zusammenarbeit mit den involvierten Behörden bei.

Das MADUK-Netz zur Messung der Dosisleistungen besteht aus insgesamt 57 Immissionsmessstationen in der Umgebung der vier Kernkraftwerke. Die Messsonden des MADUK-Systems komplettieren und ergänzen das gesamtschweizerische Messnetz zur Radioaktivitätsüberwachung, das mit dem NADAM-Netz auf weitere 76 Messstationen zählen kann. Die Geiger-Müller-Zählrohre in den Sonden ermitteln die Gamma-Dosisleistung im Messbereich von 10 nSv/h (Niederdosiszählrohre) bis 10 Sv/h (Hochdosiszählrohr). Die MADUK-Zentrale des ENSI verarbeitet und archiviert die Daten, sorgt im Bedarfsfall für eine sofortige Alarmierung

der ENSI-Notfallorganisation und sichert die Daten langfristig. Zudem erfolgt ein permanenter Datenaustausch mit externen und internen Partnern: mit der Nationalen Alarmzentrale NAZ, der Kernreaktorfernüberwachung Baden-Württemberg in Deutschland sowie den Systemen ADAM und JRODOS/LASAT im ENSI. Die Darstellung 25 zeigt die Standorte der Messsonden in der Umgebung der Kernkraftwerke.

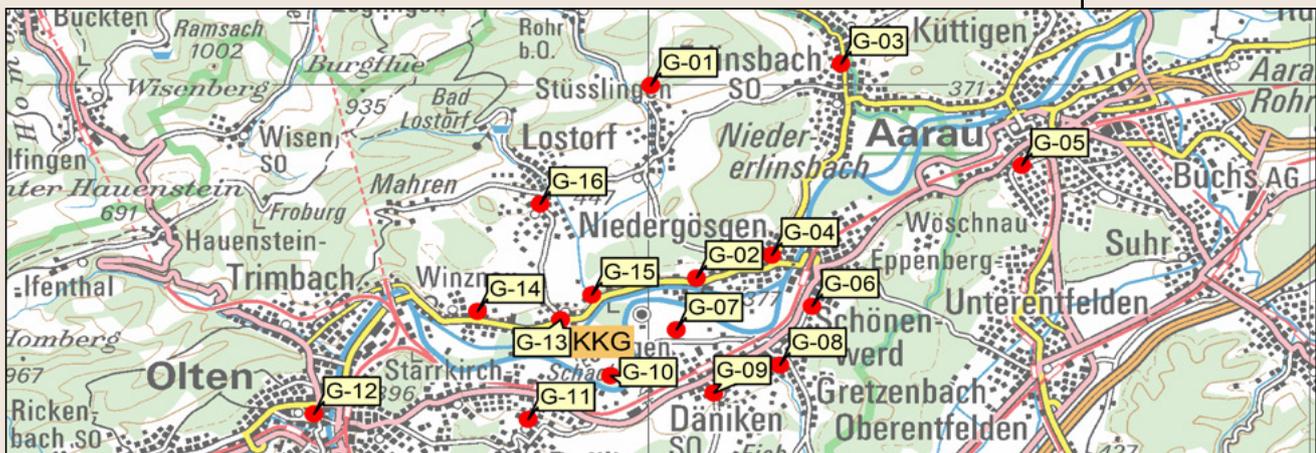
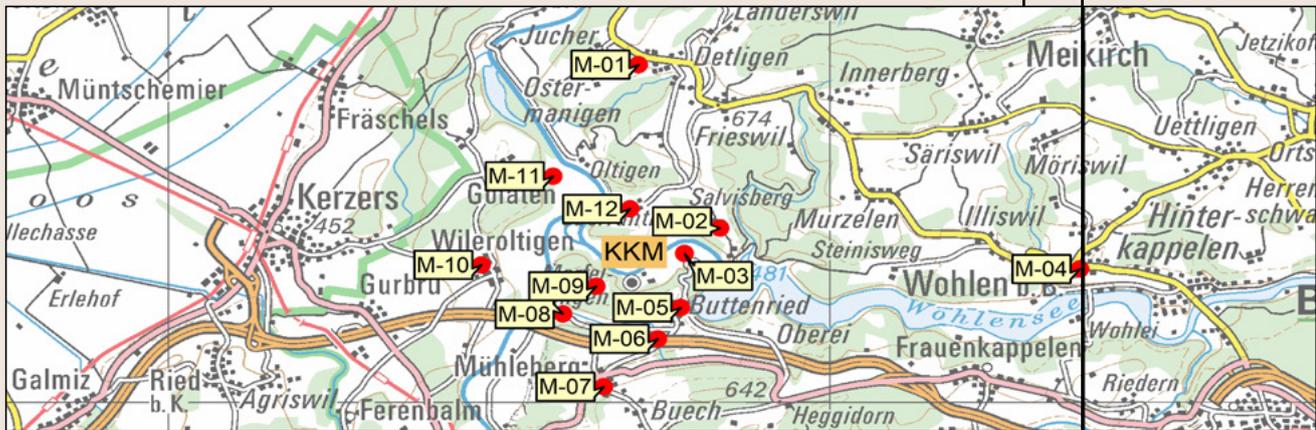
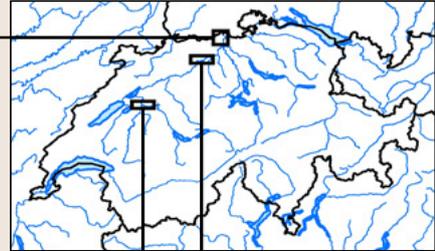


Bild 17: MADUK-Messsonde in der Nähe des KKL.



**MADUK
Sondenstandorte**

Darstellung 25: Die vier Messringe des MADUK-Netzes. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.



Die Daten des MADUK-Netzes können mittels einer speziellen Software auf bestimmten Windows-Arbeitsplatzrechnern im ENSI und in den Kernkraftwerken visualisiert werden. Auf der Internetseite www.ensi.ch/de/messwerte-radioaktivitat/ sind alle seit 1994 archivierten Tages-, Stunden- und Zehn-Minuten-Mittelwerte der MADUK-Stationen abrufbar.

6.2.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung

Im Jahr 2020 wurden rund 40 Messstationen auf den neuen Sondentyp (Bild 18) umgerüstet. Dieser ist mit Solarpanels und zusätzlichen Akkus ausgerüstet und damit unabhängig von einer externen Stromversorgung. An Standorten mit starker Beschattung stösst die Autarkie in den Wintermonaten mit viel Nebel oder Bewölkung an seine Grenzen. An diesen Standorten konnte die bisher genutzte, noch vorhandene Infrastruktur (Kabel, Spannungskonverter) für den Betrieb mit externer Stromversorgung genutzt werden.

Die Messdaten werden primär über das Mobilfunknetz an die Zentrale gesendet. Scheitert die Übertragung via Mobilfunk mehrfach, werden die Daten über das Iridium-Satellitensystem an die Zentrale übermittelt. Diese Funktion kann auch gesteuert von der Zentrale getestet werden. Die bisherigen Tests verliefen erfolgreich.

Der Umbau erfolgte mit sehr kurzen Betriebsunterbrüchen von meistens deutlich weniger als einer halben Stunde. Da die neue Messsonde auf denselben Sondenfuss montiert werden kann, musste nur die Sonde ausgewechselt und der neue Datenpfad für diese Messstation in der Zentrale aktiviert werden. Die Aktivierung des neuen Datenpfads konnte grösstenteils automatisiert werden.

Der Umbau der restlichen Stationen auf den neuen Sondentyp ist für 2021 vorgesehen. Das entsprechende Material wurde vollständig Ende 2020 geliefert.

Für die Bestimmung der Ortsdosisleistung existieren verschiedene Messtechniken. Bei den MADUK-Messsonden kommen Geiger-Müller-Zählrohre zum Einsatz. Bei dieser Technik löst jedes einfallende Gamma-Quant ein Signal aus, das gezählt wird. Die Ortsdosisleistung wird über einen Kalibrationsfaktor direkt aus der Zählrate bestimmt. Die Technik ist einfach und robust. Sie weist einen geringen Energieverbrauch aus und benötigt zur Auswertung wenig Rechenleistung. Aus diesen Gründen wurde bei der Beschaffung der neuen MADUK-Messsonden im Hinblick auf die Autarkie der Messstationen diese Technik gammaspektrometrischen Sonden vorgezogen. Letztere bieten zwar die Möglichkeit Radionuklide zu identifizieren, sind aufgrund der komplexeren Messtechnik aber auch empfindlicher auf Umgebungsbedingungen.



Bild 18: Neuer Sondentyp GammaTracer XL2 der Firma Bertin GmbH.

6.2.3 Systemverfügbarkeit und Störungen

Die Systemverfügbarkeit ist beim MADUK-Netz 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 sehr hohe Verfügbarkeit. Konfigurationsänderungen im Zusammenhang mit dem Übergang in die Stilllegungsphase 1 des KKM führten zu einem Unterbruch von zwei Stunden. Beim KKG wurden zwei Unterbrüche, die länger als eine Stunde dauerten, registriert. Die Gesamtdauer betrug 2,3 Stunden.

Die Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die Störungen mit permanentem Datenverlust an den MADUK-Messstationen.

Station	Störungsdauer [h]	Permanenter Datenverlust [h]	Ursache
M-08	203,5	203,5	Defekte Messsonde
G-07	3,2	3,2	Blockierter Datenlogger
G-16	31,2	7,8	Ausfall Kommunikation
L-02	31,2	4,7	Ausfall Kommunikation
L-04	14,4	14,4	Blockierter Datenlogger
G-05	5,3	5,3	Blockierter Datenlogger
G-12	88,8	88,8	Defekte Messsonde
L-01	7,2	7,2	Blockierter Datenlogger
G-10	28,8	28,8	Blockierter Datenlogger
M-08	2,0	2,0	Blockierter Datenlogger
G-11	35,0	35,0	Defekte Messsonde
B-12	3,4	3,4	Ausfall 4G-Modem in Messsonde
L-04	1,0	1,0	Defekte Messsonde
G-12	22,7	22,7	Blockierter Prozess in Messsonde

Tabelle 3: Auflistung der Störungen bei den MADUK-Messstationen mit permanentem Datenverlust.

Die einzelnen Messtationen arbeiteten auch im Jahr 2020 grösstenteils zuverlässig. Bei der Station M-08 führte eine defekte Messsonde über den Jahreswechsel 2019/2020 zu einem Ausfall der Messungen während 203,5 Stunden. Der Ersatz der Sonde erfolgte erst am 9. Januar 2020 – die Kontaktaufnahme mit dem Standortbesitzer hatte sich als schwierig herausgestellt.

2020 waren wiederum diverse Kommunikationsunterbrüche zu den Messstationen zu verzeichnen. Die meisten Unterbrüche waren von kurzer Dauer (weniger als vier Stunden). Die Ursachen konnten nicht immer festgestellt werden. Ein grösserer Unterbruch betraf im Januar gleichzeitig zwölf Messstationen aus verschiedenen Messringen während rund 30 Stunden. Ursache war der Ausfall eines Gateways und dessen Redundanz beim Kommunikationsprovider. Bis auf wenige in der Tabelle 3 aufgeführte Ausnahmen konnten die Messdaten nach Ausfall der Kommunikation nachträglich archiviert werden.

Im Berichtsjahr lag die gemäss Managementhandbuch des ENSI bestimmte Systemverfügbarkeit bei 99,9% (Verfügbarkeit der ANPA- und EMI-Daten eingerechnet). Die Verfügbarkeit der Dosisleistungsdaten aller MADUK-Stationen im Archiv betrug 99,91%.

6.2.4 Qualitätssicherung

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

Gemäss Art. 2 der Verordnung des EJPD über Messmittel für ionisierende Strahlung (StMmV), welche sich derzeit in Revision befindet, werden die MADUK-Sonden vor dem ersten Einsatz geeicht. Die Eichung hat eine dreijährige Gültigkeit. Aufgrund der Umrüstung der Messstationen auf einen neuen Sondentyp und der aktuellen Überarbeitung der StMmV wurde im Jahr

2020 auf die Durchführung der Funktionsprüfung vor Ort verzichtet. Durch die permanente Messung und die laufende automatische Prüfung der Messdaten kann trotzdem eine sehr hohe Datenqualität sichergestellt werden.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme werden üblicherweise Messungen mittels In-Situ-Gammaspektrometrie bei den Messstationen durchgeführt. Diese Messungen konnten im Berichtsjahr wegen eines Defekts des Messgeräts sowie der damit verbundenen lang dauernden Reparatur nicht durchgeführt werden.

6.2.5 Messergebnisse

Im Jahr 2020 wurden insgesamt 13 Verletzungen des Nettodosisleistungsschwellenwertes von 50 nSv/h und eine Überschreitung des Ortsdosisleistungsschwellenwertes von 1000 nSv/h registriert (Tabelle 4). Zehn Verletzungen waren aufgrund von gleichzeitig registriertem Niederschlag und/oder dem für Radonfolgeprodukte typischen Abklingverhalten auf Washout von natürlichen Radionukliden zurückzuführen.

Die erhöhte Nettodosisleitung vom 28. September 2020 um 08:00 Uhr bei der Station B-11 wurde durch eine Edelgasabgabe aus der Anlage SINQ im PSI-West über die zentrale Fortluftanlage verursacht, welche das PSI für diesen Zeitpunkt meldete.

An derselben Station wurden am 10. Oktober um 22:40 Uhr und am 14. Oktober 2020 um 03:10 Uhr erneut Überschreitungen des Nettodosisleistungsschwellenwertes von 50 nSv/h und am 14. Oktober 2020 um 03:10 Uhr auch eine Überschreitung des Ortsdosisleistungsschwellenwertes von 1000 nSv/h festgestellt. Die Überschreitung des Ortsdosisleistungsschwellenwertes führte zu einer unmittelbaren automatischen Alarmierung der Notfallorganisation des ENSI: Die detaillierten Abklärungen zeigten einen Defekt des Hochdosiszählrohres der Messsonde. Das Hochdosiszählrohr wies kurzzeitig eine erhöhte Zählrate auf, während das empfindlichere Niederdosiszählrohr über denselben Zeitraum praktisch konstante Werte lieferte (Darstellung 26). Die Messsonde an der

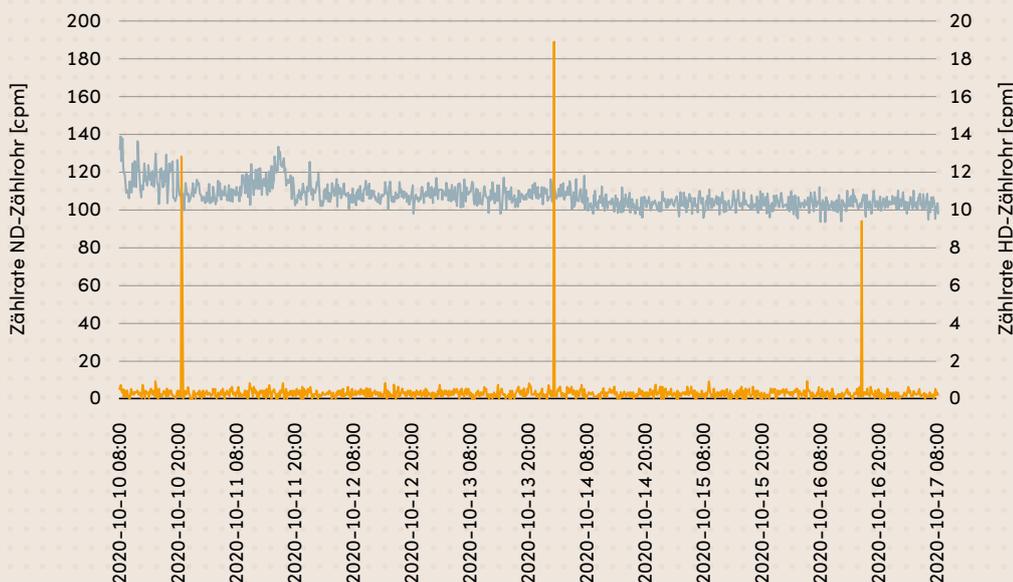
Messstation B-11 wurde am 14. Oktober 2020 um 10:00 Uhr ersetzt. Die Messsonde zeigte auch später (zum Beispiel am 16. Oktober 2020, siehe Darstellung 26) im Gebäude des ENSI dasselbe Muster in den Zählraten.

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

Datum	Station	Dauer [h]	Max. NDL [nSv/h]	Max. ODL [nSv/h]
22.07.2020 20:10	M-04	0,5	61	193
02.08.2020 14:50	M-01	0,2	55	182
02.08.2020 14:50	M-04	0,5	56	174
03.08.2020 16:00	G-05	0,2	52	161
14.08.2020 13:40	G-10	0,2	60	189
16.08.2020 17:40	G-05	0,2	52	151
16.08.2020 18:30	G-06	0,2	57	212
20.09.2020 22:00	M-12	0,2	62	300
20.09.2020 22:20	M-08	0,5	63	315
28.09.2020 08:00	B-11	0,2	59	161
10.10.2020 22:40	B-11	0,2	159	251
14.10.2020 03:10	B-11	0,2	1'311	1'408
06.12.2020 13:20	L-02	0,2	50	151

Tabelle 4: Auflistung der Nettodosisleistungsschwellwertüberschreitungen im Jahr 2020.

Niederdosis- und Hochdosiszählrohrdaten der Messsonde SN2218



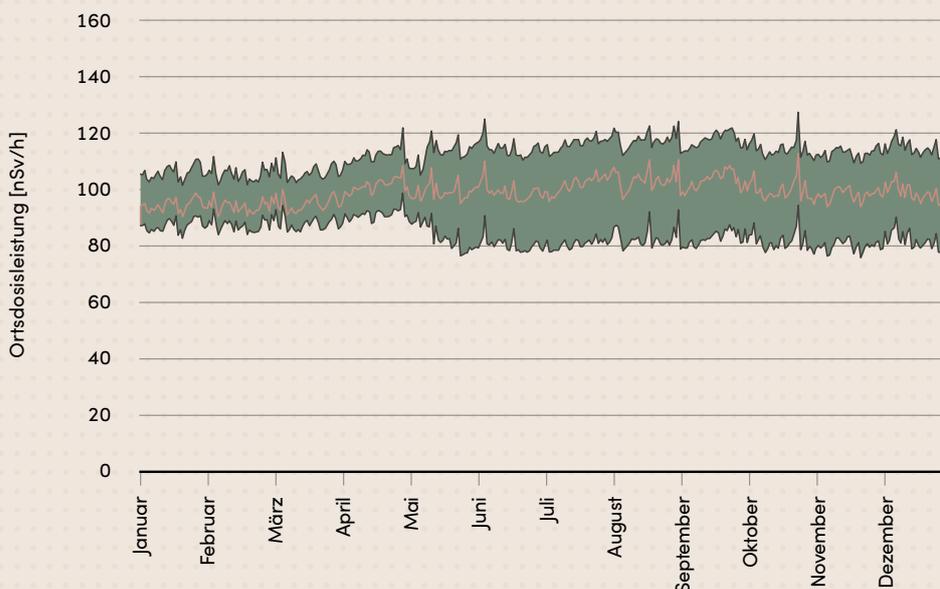
Darstellung 26: Verlauf der Zählraten des Niederdosiszählrohrs (ND) und des Hochdosiszählrohrs (HD) der Messsonde SN2218, welche bis zum 14. Oktober 2020 um 10:00 Uhr bei der Station B-11 im Einsatz war und sich anschließend im Gebäude des ENSI befand.

- Niederdosiszählrohr (ND)
- Hochdosiszählrohr (HD)

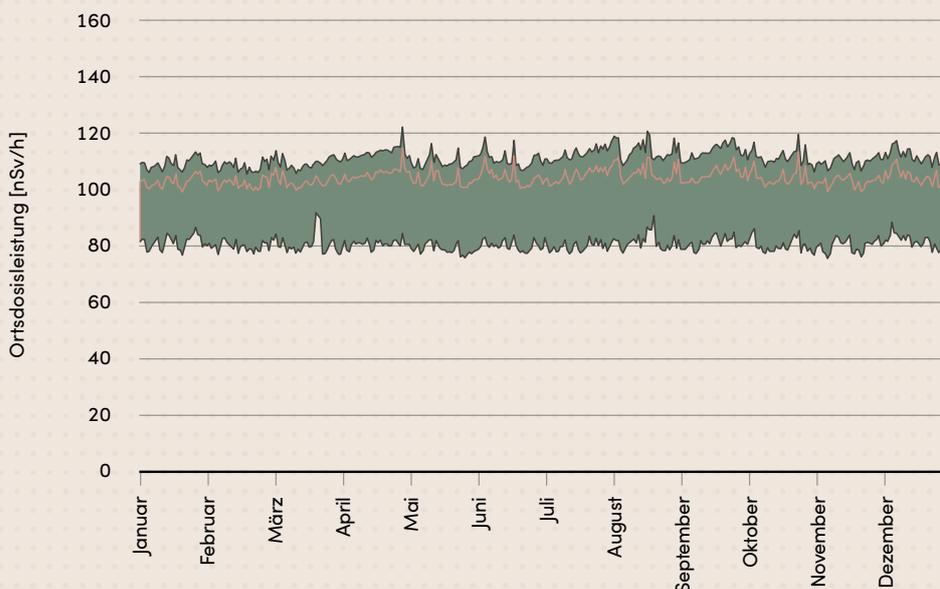
Die Darstellungen 27 und 28 zeigen die Maxima, die Minima und die Medianwerte der Tagesmittelwerte der jeweiligen Messringe im Berichtsjahr in den Umgebungen der Kernkraftwerke. Bei den Messringen KKB und KKL ist der Einfluss der Umrüstung auf den neuen

Sondentyp ersichtlich. Die Unterschiede in der Bandbreite der Messwerte lassen sich durch die etwas unterschiedliche Charakteristik der neuen Messsonden erklären.

Maxima, Minima und Medianwerte des MADUK Messrings KKB für 2020

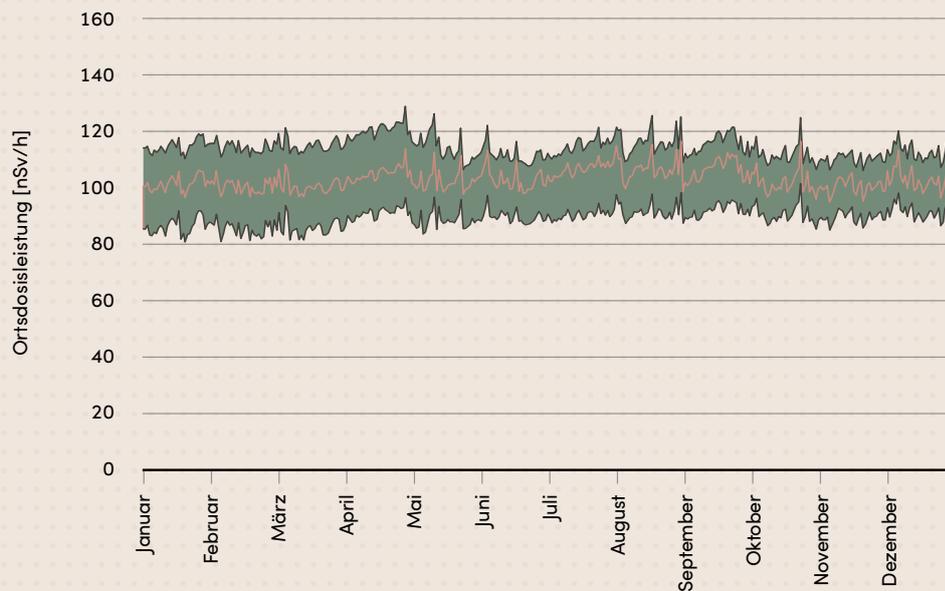


Maxima, Minima und Medianwerte des MADUK Messrings KKG für 2020

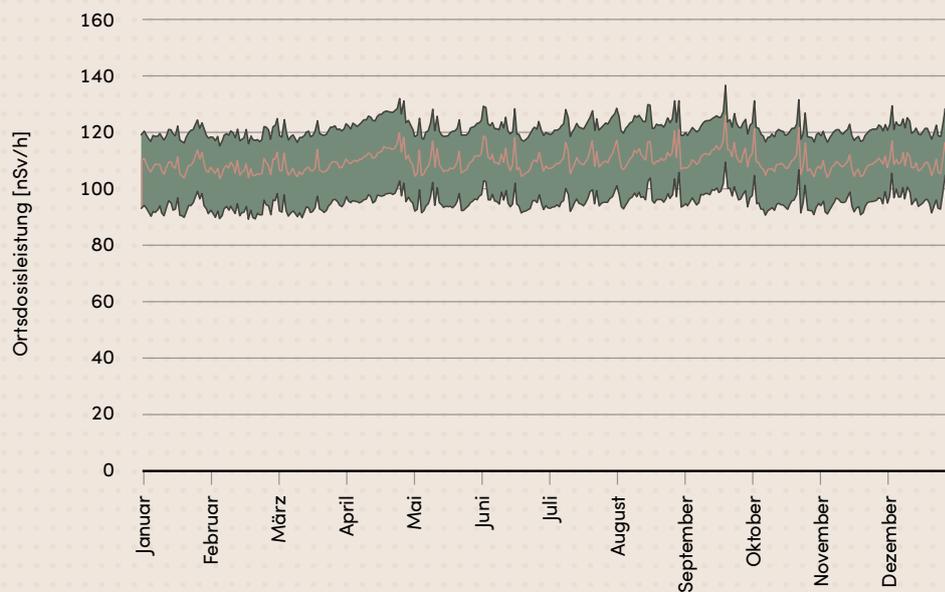


Darstellung 27:
Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKB und KKG im Jahr 2020.

Maxima, Minima und Medianwerte des MADUK Messrings KKL für 2020



Maxima, Minima und Medianwerte des MADUK Messrings KKM für 2020



Darstellung 28:
Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKL und KKM im Jahr 2020.

6.3 In-situ-gammaspektrometrische Messungen in der Umgebung der Kernanlagen

Gemäss den Abgabereglementen werden im Zweijahresrhythmus an den Standorten der MADUK-Stationen in-situ-gammaspektrometrische Messungen durchgeführt. Im Jahr 2020 erfolgten aufgrund eines Defektes beim mobilen Spektrometriesystem keine Messungen an den MADUK-Standorten. Die Ortsdosisleistungswerte aus Kapitel 6.2 zeigen aber auch keine nennenswerten Veränderungen bei den Messwerten an den MADUK-Standorten. Im Jahr 2021 werden die turnusgemässen Messungen in den Messringen KKB und KKM fortgesetzt.

6.4 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 (KKM), Schönenwerd (KKG), Böttstein (KKB) und Pratteln (KKL) wurden keine künstlichen Radionuklide festgestellt.

In einzelnen Sedimentproben bei Hagneck, Klingnau und Pratteln wurden Spuren von ^{54}Mn und bei Hagneck und Klingnau auch ^{60}Co detektiert. Der maximale Wert für ^{54}Mn lag bei Hagneck bei 6 Bq/kg, für ^{60}Co bei 3 Bq/kg (Befreiungsgrenze LL = 100 Bq/kg). An der Messstelle Klingnau lagen die Werte für ^{54}Mn unter 1 Bq/kg und für ^{60}Co unter 2 Bq/kg. In den Sedimentproben von Pratteln waren die gemessenen Aktivitäten für ^{54}Mn unter 1 Bq/kg. In einer einzelnen Sedimentprobe von Klingnau wurde zudem ^{131}I mit einer Aktivität von rund 14 Bq/kg

detektiert, weniger als ein Hundertstel der Befreiungsgrenze 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 atmosphärischen Kernwaffentests des letzten Jahrhunderts und dem Tschernobyl-Ereignis. Der maximale Wert für ^{137}Cs im Wasser betrug $0,2 \text{ Bq/m}^3$ (Immissionsgrenzwert $36'000 \text{ Bq/m}^3$) und im Sediment rund 10 Bq/kg (Befreiungsgrenze LL = 100 Bq/kg).

In den Proben der Wasserpflanzen wurde bei Muttenz und Eppenberg-Wöschnau ^{137}Cs mit Aktivitäten von 4 beziehungsweise 2 Bq/kg gemessen. In den Wasserpflanzen von Döttlingen wurde im ähnlichen Zeitraum wie bei den Sedimenten ^{131}I von rund 18 Bq/kg detektiert. In Fischen wurden keine Aktivitäten von künstlichen Radionukliden über der Nachweisgrenze festgestellt.

Detaillierte Resultate zu allen Messungen des Probenahme- und Messprogramms können dem Jahresbericht 2020 des Bundesamt für Gesundheit BAG über «Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz» entnommen oder auf der Webseite www.radenviro.ch gefunden werden.

6.5 «Ergänzungsprogramm – Nullpegelmessung Rückbau Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) 2017–2019»

Vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs des KKM am 20. Dezember 2019 hat das ENSI in Absprache mit dem Bundesamt für Gesundheit BAG das bestehende Programm zur Überwachung der Umweltradioaktivität in der Umgebung der Anlage für den Zeitraum von 2017 bis 2019 angepasst und erweitert. Eine detaillierte Beschreibung des Ergänzungsprogramms mit einer Bewertung der Messergebnisse ist im Bericht «Ergänzungsprogramm – Nullpegelmessung Rückbau Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) 2017–2019» zu finden. Dieser Bericht wurde im April 2021 gemeinsam vom BAG und ENSI veröffentlicht. Die Messergebnisse zeigten, dass die Böden rund um das KKM durch künstliche Radionuklide kaum belastet sind. Auch wurden mit Ausnahme einer unkontrollierten Abgabe von radioaktiven Aerosolen in die Atmosphäre im Jahr 1986 keine Hinweise auf Immissionen von Aktiniden oder Spaltprodukten gefunden, welche auf den Betrieb des KKM zurückzuführen sind. Die Resultate des erweiterten Umgebungsüberwachungsprogramms geben zusammen mit den Ergebnissen des routinemässig durchgeführten Umgebungsüberwachungsprogramms des BAG einen sehr guten Überblick über den radiologischen Zustand der Umgebung des KKM vor der Aufnahme der Stilllegungsarbeiten. Somit können sie im Sinne der Beweissicherung bei Verdacht auf allfällige Abgaben radioaktiver Stoffe oberhalb der Abgabelimiten während der Stilllegungsarbeiten als Referenz herangezogen werden.



Bild 19: In-situ-gammaspektrometrische Messung aus dem Ergänzungsprogramm 2017–2019 beim KKM.

6.6 Aeroradiometrische Messungen

6.6.1 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, Störfälle in Kernkraftwerken, Abstürze von Satelliten mit Nuklearreaktoren und «Dirty Bombs» im Vordergrund. Die jährlichen Messprogramme werden durch die Fachgruppe Aeroradiometrie zusammengestellt, die sich aus Mitgliedern der beteiligten Stellen zusammensetzt. Der Einsatz erfolgt unter der Regie der Nationalen Alarmzentrale NAZ.

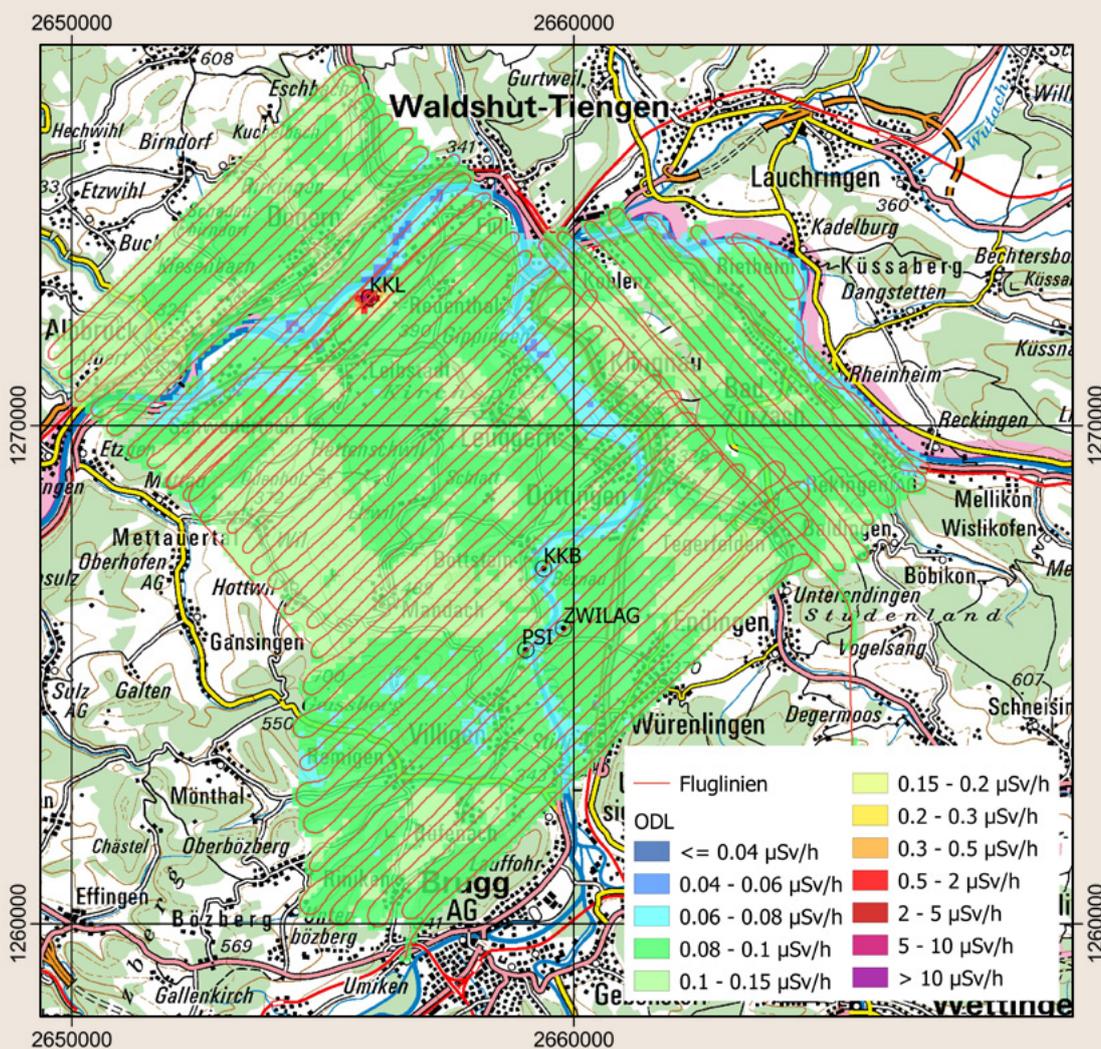
Mit den Messflügen 2018 erfolgte die Ablösung der alten Messsysteme durch ein Messsystem der Firma Mirion, welches durch die RUAG in den Super-Puma-Helikopter der Schweizer Luftwaffe integriert wurde. Das neue Messsystem wurde in den vorgehenden Messübungen eingehend getestet und die Ergebnisse mit denen des alten Systems verifiziert. Es stehen vier Messsysteme für die Aufgaben der NAZ sowie des Kompetenzzentrums ABC-KAMIR der Armee zur Verfügung. Wartung und Unterhalt erfolgten durch die Lieferanten.

Im Jahre 2010 (Bucher et al., 2010) wurde mithilfe der Auswertung der Langzeitdaten die Nachweisgrenze der Messmethode ermittelt: 0,02 $\mu\text{Sv/h}$ werden in 95 von 100 Fällen erkannt (Vertrauensbereich 95%). Dies entspricht ungefähr 20% der natürlichen externen Strahlung.

6.6.2 Messungen und Messresultate 2020

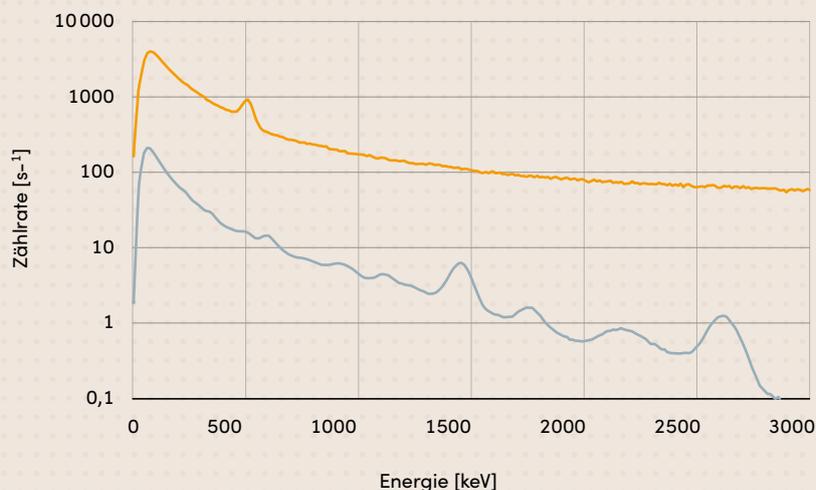
Während der Messflüge im Zeitraum vom 15. bis 19. Juni 2020 wurde turnusgemäss die Umgebung von KKB und KKL sowie der Einrichtungen des PSI und des ZZL aeroradiometrisch gemessen. Dabei wurden auch die anlagennahen Gebiete vom KKL auf deutscher Seite gemäss Absprache in der Deutsch-Schweizerischen Kommission (DSK) gemessen. Im Rahmen der Messübung wurden zudem die Messungen innerhalb der Zone 2 von KKB und KKL komplettiert. Die detaillierten Ergebnisse werden in einem PSI-Bericht im Verlauf des Jahres 2021 publiziert.

Die Messresultate im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZZL zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. Im Bereich des KKB, des PSI und der ZZL sind keine besonderen Werte bei der Ortsdosisleistung (Darstellung 29) zu erkennen. Das KKB mit seinem Druckwasserreaktor sowie PSI und ZZL konnten aeroradiometrisch weder aufgrund der Ortsdosisleistung (Darstellung 29) noch aufgrund des MMGC-Verhältnisses erkannt werden. Das MMGC-Verhältnis steht für den Quotienten der Zählraten im Energiebereich von 400 bis 1400 keV und 1400 bis 3000 keV. Da die meisten Spaltprodukte Gamma-Linien im Energiebereich unterhalb von 1400 keV aufweisen, stellt das MMGC-Verhältnis ein empfindliches Instrument zur Lokalisierung künstlicher Radionuklide dar.



Darstellung 29: Ortsdosisleistung (ODL) 2020 im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZZL. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.

Gemittelte Gamma-Spektren



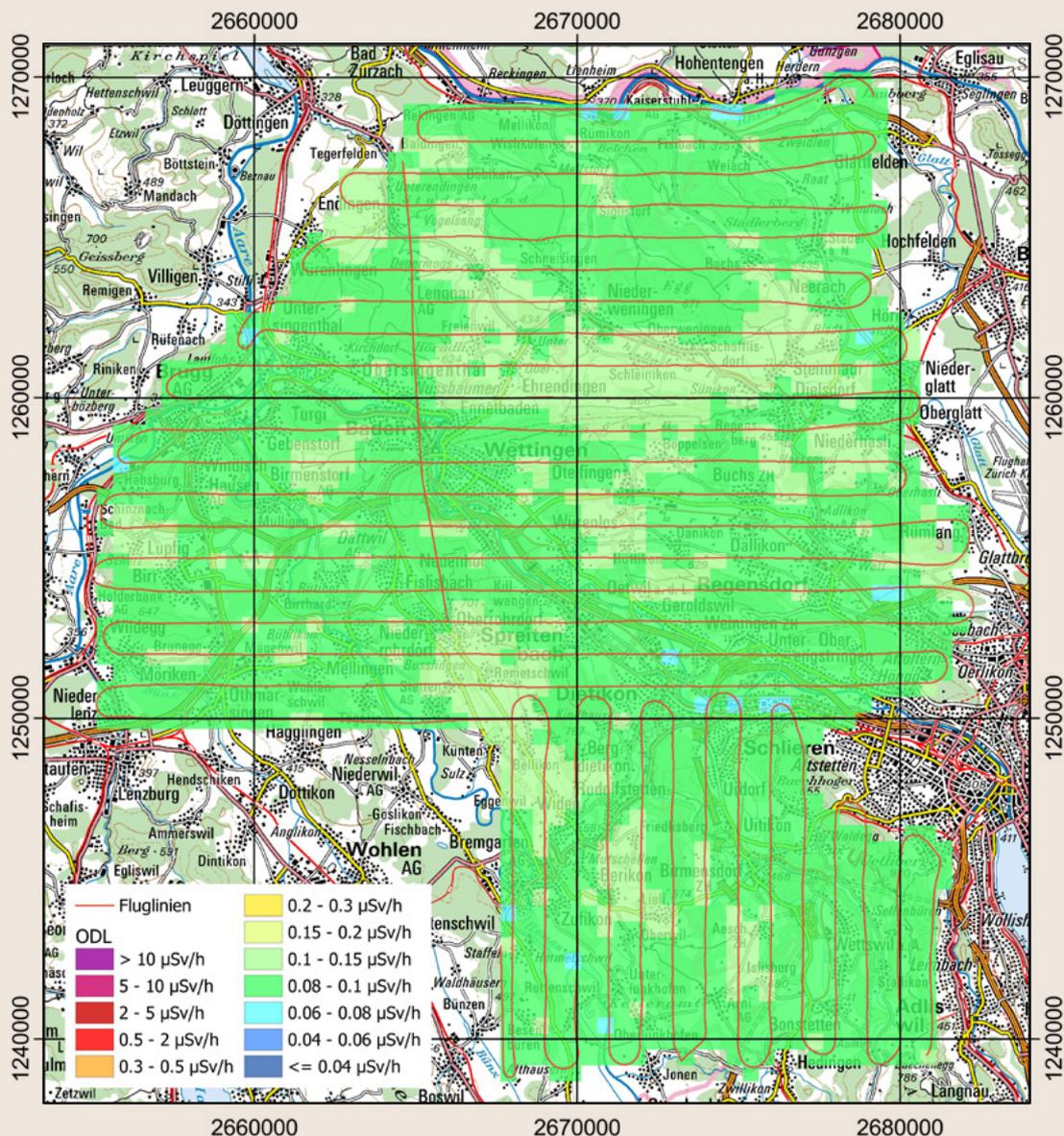
Darstellung 30: Gemittelte Spektren unmittelbar über dem KKL und über einem Gebiet ausserhalb des Betriebsareals (Untergrund).

● Untergrund
● KKL

Im Gegensatz zum KKB können am Standort des KKL in der Ortsdosisleistungskarte (Darstellung 29) erhöhte Messwerte erkannt werden. Diese sind beim KKL mit seinem Siedewasserreaktor 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. Im Spektrum (Darstellung 30) macht sich die hochenergetische Strahlung des ^{16}N durch gestreute Strahlung im ganzen Spektrum bemerkbar. Aufgrund der hohen Energie der Strahlung kommt es auch zu Paarbildung und in der Folge zu Annihilationsstrahlung, die sich im Spektrum bei 511 keV als Spitze manifestiert.

Ausserhalb der Betriebsareale von KKB, KKL, PSI und ZZL sind keine erhöhten Werte erkennbar. Unterschiede sind auf Einflüsse der Topographie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen.

Im Messgebiet der Notfallschutzzone 2 von KKB/KKL liegen die Messwerte im erwarteten Bereich. Unterschiede sind auf Einflüsse der Topographie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen. (Darstellung 31).



Darstellung 31: Ortsdosisleistung (ODL) im Messgebiet der Notfallschutzzone 2 von KKB/KKL. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.

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.

NOTFALL- SCHUTZ

Die Sektion Störfallauswirkungen und Notfallschutz befasst sich mit Störfallszenarien in Kernanlagen und beurteilt deren radiologische Auswirkungen für das Personal und die Umgebung. Sie berät und unterstützt die Behörden des Bundes und der Kantone bei der Planung und Realisierung von Notfallschutzmassnahmen und ist federführend bei der Aufsicht über die Notfallbereitschaft der Kernanlagenbetreiber. Sie sorgt für die Einsatzbereitschaft der ENSI-eigenen Notfallorganisation, insbesondere ist sie für den Betrieb, den Unterhalt und die Entwicklung des Prognosemodells JRODOS, mit dem die radiologischen Auswirkungen im Falle von unfallbedingten atmosphärischen Freisetzungen von radioaktiven Stoffen bestimmt werden, zuständig. Speziell sorgt die Sektion für die jährliche Aktualisierung der Notfallschutzpläne.

Vorwort der Leitung der Sektion Störfallauswirkungen und Notfallschutz

Die Sektion Störfallauswirkungen und Notfallschutz befasst sich mit den radiologischen Auswirkungen von Auslegungsstörfällen auf die Umgebung und dem Notfallschutz in Kernanlagen. Sie berät und unterstützt die Behörden des Bundes und der Kantone bei der Planung und Realisierung von Notfallschutzmassnahmen. Sie sorgt für die Einsatzbereitschaft der ENSI-Notfallorganisation. Die COVID-19-Pandemie wirkte sich auch auf die Tätigkeiten im Notfallschutz aus: Die Umsetzung der Coronavirus-Schutzmassnahmen erforderte neue und flexible Ansätze zur Sicherstellung der Aufsicht über die Notfallbereitschaft der Betreiber von Kernanlagen. Die Betreiber von Kernanlagen wurden aufgefordert darzulegen, wie die Notfallbereitschaft unter den vorherrschenden Bedingungen sichergestellt wird. Trotz der sich durch die Coronavirus-Schutzmassnahmen ergebenden Herausforderungen für die Aufsicht konnte sich das ENSI davon überzeugen, dass die Notfallbereitschaft der Betreiber von Kernanlagen auch im Jahr 2020 auf einem hohen Niveau gewährleistet war. Die COVID-19-Situation stellte auch für die Durchführung von Wiederholungsschulungen der Mitglieder der ENSI-eigenen Notfallorganisation eine Herausforderung dar.



Ronald Rusch

Das Jahr 2020 zeichnete sich durch deutliche Fortschritte bei für die Notfallorganisation des ENSI wichtigen Vorhaben aus: Einerseits wurde mit der Operationalisierung der Pilotoberfläche für die digitale Unterstützung der Arbeitsabläufe in der Notfallorganisation des ENSI ein bedeutender Meilenstein erreicht. Andererseits kam das Projekt, in dem nach einem neuen Ausweichstandort für die Notfallorganisation gesucht wurde, so weit voran, dass die Operationalisierung des Ausweichstandorts im frühen Herbst des Jahres 2021 vollzogen werden kann.

Wie bereits im Jahr 2019 im Rahmen der Working Group on Emergencies der HERCA (Heads of Radiation Protection Competent Authorities) in Bezug auf eine sinnvolle Umsetzung des sogenannten HERCA-WENRA-Ansatzes bei einem grenzüberschreitenden Notfall erfolgt, brachte sich das ENSI auch im Berichtsjahr in internationalen Fachgremien ein. Die Teilnahme an Fachveranstaltungen der Internationalen Atomenergie-Organisation in Wien (IAEO) zur Aktualisierung von Grundlagen für den Notfallschutz und die Arbeiten zur Revision des Feinkonzepts für den Daten- und Informationsaustausch zwischen Deutschland und der Schweiz im Rahmen der Arbeitsgruppe Notfallschutz der Deutsch-Schweizerischen Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen bildeten im Jahr 2020 Schwerpunkte der internationalen Tätigkeiten.

07 Grundlagen Notfallschutz

Gesetzgebung

Die für den Notfallschutz Schweiz massgeblichen Gesetze (Stand Januar 2021) sind das Kernenergiegesetz (KEG), das Bundesgesetz über den Bevölkerungsschutz und den Zivilschutz (BZG) sowie das Strahlenschutzgesetz (StSG).

Die den Notfallschutz bestimmenden Grundlagen auf Stufe Verordnung des Bundes wurden vom Bundesrat erlassen und definieren Aufgaben, Pflichten, Verantwortlichkeiten und Zusammenarbeit mit den in einem Notfall involvierten Stellen (die Kernenergieverordnung (KEV), die Notfallschutzverordnung (NFSV), die Verordnung über den Bundesstab Bevölkerungsschutz (VBSTB), die Bevölkerungsschutzverordnung (BevSV) und die Strahlenschutzverordnung (StSV)).

Im Jahr 2020 wurden einige relevante gesetzgebende und -ausführende Dokumente revidiert. Ausschlaggebend war das neue Bevölkerungsschutz- und Zivilschutzgesetz (BZG), welches im Dezember 2019 vom Parlament verabschiedet wurde. Als direkte Folge wurden verschiedene Verordnungen des Bundes revidiert beziehungsweise zusammengefasst. Die Inhalte der Verordnung über die Nationale Alarmzentrale (VNAZ) und die Verordnung über die Alarmierung und das Sicherheitsfunknetz der Schweiz (VWAS) wurden in die neu erstellte Verordnung über den Bevölkerungsschutz (BevSV) aufgenommen. Die VWAS und die VNAZ wurden daraufhin ausser Kraft gesetzt. Die BevSV regelt seit Januar 2021 die Zusammenarbeit und die Koordination im Bevölkerungsschutz in der Schweiz. Zusätzlich wurde das Dosis-Massnahmenkonzept aktualisiert und von der VBSTB in die BevSV verschoben.

Dosis-Massnahmenkonzept

Das Dosis-Massnahmenkonzept bildet im Notfallschutz die Grundlage für die Anordnung von Sofortmassnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei einem Ereignis mit erhöhter Radioaktivität. Massnahmen sind zwingend anzuordnen, wenn erwartet wird, dass die Referenzwerte gemäss der Strahlenschutzverordnung – 100 mSv im ersten Jahr – überschritten werden. Die Schweiz und Deutschland teilen sich die Notfallschutzzone um das KKL und KKB. Um grenzübergreifend gleiche Massnahmen anordnen zu können, ist eine Angleichung der Schwellenwerte zielführend. Sofortmassnahmen sind damit in der Schweiz nicht mehr bei einer zu erwartenden Dosis von 1 mSv anzuordnen, sondern erst bei 10 mSv. Ab 1 mSv werden neu Verhaltensempfehlungen ausgesprochen und keine Sofortmassnahmen für die Bevölkerung angeordnet. Zusätzlich wurde die Integration von zwei Tagen auf sieben Tage verlängert. Konkret heisst das, dass bei gleicher Dosisleistung (mSv/h) durch die längere Integrationszeit früher Sofortmassnahmen angeordnet werden können als vorher. Die damit einhergehenden Anpassungen sollen Absprachen im grenznahen Raum mit Deutschland vereinfachen.

Die Sofortmassnahmen bleiben unverändert. Auf Grundlage der Erkenntnisse aus dem Nuklearunfall in Fukushima-Daiichi und dem danach erarbeiteten Ansatz der HERCA-WENRA (vgl. Strahlenschutzbericht 2019) wurden für die Anordnung von Sofortmassnahmen jedoch zusätzliche Entscheidungskriterien aufgenommen. Auf diese wird zurückgegriffen, wenn die Informationslage nicht ausreichend ist und nicht erwartet werden darf, dass sich dies in nützlicher Frist ändert. Der internationale Konsens

Tabelle 5: Dosis-
Massnahmenkonzept
seit 1. Januar 2021.

Sofortmassnahmen	Dosis	Dosisschwelle	Integrationszeit
Geschützter Aufenthalt (im Haus, Keller oder Schutzraum)	$E_{\text{Ext} + \text{Inh}}$	10 mSv	7 Tage
Einnahme von Jodtabletten	$H_{\text{Sch, Inh, Jod}}$	50 mSv	7 Tage
Vorsorgliche Evakuierung oder geschützter Aufenthalt	$E_{\text{Ext} + \text{Inh}}$	100 mSv	7 Tage

Dosis: Als Dosis gilt in allen Fällen die Dosis, die durch Exposition oder Inkorporation im Freien innerhalb von 7 Tagen nach dem Ereignis ohne die in Betracht gezogene Schutzmassnahme zu erwarten ist.

Integrationszeit: Angenommene Dauer der gefährdenden Freisetzung. Dauert diese länger als 7 Tage, so gilt die effektive Freisetzungsdauer als Integrationszeit.

mSv: Millisievert

$E_{\text{Ext} + \text{Inh}}$: Effektive Dosis aus externer Bestrahlung und Inhalation im Freien.

$H_{\text{Sch, Inh, Jod}}$: Schilddrüsendosis aus der Inhalation von radioaktivem Jod im Freien.

sieht vor, dass in diesem Fall von einer Fachbehörde (im Fall der Schweiz das ENSI) beurteilt werden soll, ob eine Kernschmelze vorliegt oder absehbar ist und ob Barrierefunktionen intakt sind oder nicht (Integrität des Sicherheitsgebäudes). Die neue Regelung ermöglicht es der NAZ bei längerfristig unzureichender Informationslage und basierend auf der Einschätzung des ENSI Sofortmassnahmen anzuordnen, ohne dass zuvor durch Ausbreitungsrechnungen die Überschreitung von Dosisschwellen prognostiziert wurde.

Regelwerk

Als Aufsichtsbehörde und gestützt auf in Verordnungen formulierte Aufträge erlässt das ENSI Richtlinien. Richtlinien sind Vollzugshilfen, die rechtliche Anforderungen konkretisieren und eine einheitliche Vollzugspraxis erleichtern. Die vom ENSI erlassenen Richtlinien konkretisieren zudem den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. Für den Notfallschutz unmittelbar relevant sind die Richtlinien ENSI-B03 «Meldungen der Kernanlagen», ENSI-B11 «Notfallübungen», ENSI-B12 «Notfallschutz in Kernanlagen», ENSI-A08 «Quelltermanalyse: Umfang, Methodik und Randbedingungen».

Die Richtlinie ENSI-B11 «Notfallübungen» enthielt als Anhang bisher auch den Übungsplan, welcher für jede Kernanlage den im laufenden Jahr durchzuführenden Übungstyp ausweist. Dieser Anhang wies den Übungsplan bis zum Ende des Jahres 2021 aus, weshalb das ENSI im Jahr 2020 einen neuen Übungsplan für das Jahr 2021 und die Folgejahre in Form einer Aktennotiz erstellte und den bisherigen Anhang aus der Richtlinie entfernte. Beginnend ab dem Jahr 2021 wird die Richtlinie ENSI-B11 grundlegend überarbeitet.

Stand von Wissenschaft und Technik

Als Basis für seine Ausbreitungs- und Dosisberechnungen (siehe Kap. 8.2) nutzt das ENSI seit jeher Wettervorhersagen der MeteoSchweiz. Dabei kommen typischerweise die dreistündlich aktualisierten 24-Stunden-Vorhersagen aus dem Wettervorhersagemodell COSMO zum Einsatz, die hinsichtlich räumlicher und zeitlicher Auflösung im internationalen Vergleich ihresgleichen suchen: Beim Modell COSMO-1 beträgt die horizontale räumliche Auflösung ca. 1 km und die zeitliche Auflösung 10 Minuten. Die MeteoSchweiz arbeitet kontinuierlich daran, die Vorhersagegüte weiter zu verbessern und die eingesetzten Modelle nach Stand von Wissenschaft und Technik weiter zu entwickeln. In diesem Zusammenhang erfolgt seit 2019 im Rahmen des Vertrags zwischen MeteoSchweiz, BABS und ENSI der Ausbau der Messmittel, die zur detaillierten Erfassung der Wettersituation im Mittelland eingesetzt werden, sowie die Erweiterung der Eingabegrößen-Datenbasis des Vorhersagemodells. Dabei werden die bisher eingesetzten, RADAR-basierten sog. Windprofiler um Doppler-LIDAR-Geräte ergänzt, welche die planetarische Grenzschicht im Höhenbereich ab Boden bis ca. 2'000 m besser aufzulösen vermögen. Ergänzend dazu erfolgt neu die Berücksichtigung der bislang zur Verifizierung genutzten Radiometerdaten als weitere Eingabegrößen für das Modell COSMO. Durch die Verwendung dieser zusätzlichen und teils höher aufgelösten Messdaten als Eingabegrößen im Vorhersagemodell kann die Präzision der Prognose erneut gesteigert werden.

Parallel zu diesen Verbesserungen hat die MeteoSchweiz ihr Vorhersagemodell COSMO im Berichtsjahr von der bislang deterministischen Vorhersage (COSMO-1) auf eine probabilistische Vorhersage (COSMO-1E) umgestellt. Dabei wird nicht nur eine einzelne Simulation zur Prognose der Wetterentwicklung in den

kommenden Stunden durchgeführt, sondern es werden mehrere parallele Simulationen mit leicht variierenden Anfangsbedingungen gerechnet. Die Kombination der Ergebnisse dieser sog. «Ensemble»-Simulation ermöglicht einen verbesserten Überblick über die möglichen Wetterentwicklungen und das Eintreten gewisser meteorologischer Konditionen an einem bestimmten Ort kann mit einer Wahrscheinlichkeit verknüpft werden.

Aus der Perspektive des Notfallschutzes, in dessen Kontext das ENSI die Wettervorhersagen der MeteoSchweiz nutzt, ist die Verwendung von mit Wahrscheinlichkeiten behafteten Prognosen als Basis zur Durchführung von Ausbreitungs- und Dosisberechnungen mit massiv erhöhtem Aufwand verbunden und bedarf aus Sicht des ENSI vertiefter Diskussionen unter den Notfallschutzpartnern betreffend den Mehrwert für den Notfallschutz und der Interpretation von Wahrscheinlichkeiten. Zur Schaffung einer Datenbasis und zur Gewinnung erster Erfahrungen im Umgang mit probabilistischen Vorhersagen arbeitet die MeteoSchweiz gegenwärtig am Ausbau ihres eigenen Ausbreitungsmodells FLEXPART, um damit auf der Basis des probabilistischen Wettervorhersagemodells COSMO Ensemble-Ausbreitungsberechnungen durchzuführen. Es wird sich zeigen, ob solche Ensemble-Ausbreitungsberechnungen gewinnbringend zum Schutz der Bevölkerung eingesetzt werden können und ob der damit verbundene deutlich höhere Rechenaufwand verhältnismässig ist. Die Empfehlung (und Anordnung) von Schutzmassnahmen hat nicht mit Wahrscheinlichkeiten behaftet zu erfolgen, sondern muss eine klare Handlungsempfehlung darstellen.

7.1 Notfallschutz in der Schweiz

Der Notfallschutz in der Schweiz ist auf Stufe des Bundes organisiert. Das Ziel des Notfallschutzes ist es, die betroffene Bevölkerung und ihre Lebensgrundlage zu schützen, die betroffene Bevölkerung zu betreuen und zu versorgen und generell die Auswirkungen eines Ereignisses zu begrenzen. Bei regional beschränkten Katastrophen und Notfällen bewältigen die Kantone nach Möglichkeit die Krise selbständig. Der Notfallschutz orientiert sich an den regelmässig aktualisierten Berichten zur nationalen Risikoanalyse. Mögliche Krisen und Notlagen in der Schweiz werden darin einer Risikobewertung unterzogen und entsprechend der Auswirkungen und Ereignishäufigkeit eingeteilt. Dies stellt ein wichtiges Instrument für das integrale Risikomanagement der Schweiz dar und soll helfen, die kontinuierliche Verbesserung des Notfallschutzes voranzutreiben. Für den Fall einer aus einer Kernanlage unfallbedingten Freisetzung von radioaktiven Stoffen in einem für die Bevölkerung gefährdendem Umfang gibt es gesetzliche Grundlagen und Konzepte, die die Zusammenarbeit der involvierten Stellen und deren Aufgaben und Pflichten regeln.

Die für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernanlagen beteiligten Notfallschutzpartner sind:

- Betreiber von Kernanlagen
- ENSI
- Weitere Bundesstellen (unter anderem Bundesstab Bevölkerungsschutz, BAG, BABS, NAZ, MeteoSchweiz, Gruppe Verteidigung)
- Kantone
- Regionen und Gemeinden

Das BABS ist federführend für die Unterstützung und Koordination der Notfallschutzpartner bei der Planung und Vorbereitung, der Koordination von Notfallschutzmassnahmen (bis zur Evakuierung von Notfallschutzzonen) und der Durchführung von Gesamtnotfallübungen, die alle zwei Jahre durchgeführt werden.

Der Notfallschutz unterscheidet Planung und Vorbereitung (Emergency Preparedness) vom Ereignisfall (Emergency Response). Die Planung und Vorbereitung stellt sicher, dass sämtliche Notfallschutzpartner jederzeit über eine ausgebildete und regelmässig beübte Notfallorganisation verfügen und die Abläufe im Ereignisfall von allen Notfallschutzpartnern richtig angewendet werden können. Die Notfallbereitschaft der Kernanlagen wird vom ENSI beaufsichtigt (vgl. Kapitel 9) und Vorgaben aus Gesetz und Verordnungen in Richtlinien konkretisiert. Der Bundesstab Bevölkerungsschutz ist verantwortlich für die Vorsorgeplanung zur Sicherstellung der Einsatzbereitschaft und überprüft diese regelmässig durch Übungen.

Das Verhindern eines Notfalls als Folge eines Störfalls, das Abwenden einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen beziehungsweise die Minimierung der freigesetzten Stoffe, ist Aufgabe der Betreiber der Kernanlagen. Das ENSI orientiert im Falle eines Ereignisses unverzüglich die NAZ und liefert in Form von Prognosen zum Unfallverlauf und möglichen Freisetzung einen wichtigen Beitrag zur fundierten Entscheidungsfindung betreffend die Notfallschutzmassnahmen für die Bevölkerung. Die Notfallschutzmassnahmen werden vom Bundesstab Bevölkerungsschutz beim Bundesrat beantragt und deren Umsetzung vom Bundesrat beschlossen. Sind die zuständigen Stellen des Bundes in einem Ereignisfall noch nicht einsatzbereit, trifft die NAZ gestützt auf das Dosis-Massnahmenkonzept und basierend auf den Prognosen des ENSI sowie den verfügbaren Informationen im Austausch mit den Notfallschutzpartnern Sofortmassnahmen zum Schutz der Bevölkerung. Wichtig für den Notfallschutz ist ein kontinuierlicher und stufengerechter Austausch von Informationen aller Notfallschutzpartner entsprechend den abgestimmten Abläufen.

Zur Wahrnehmung seiner Aufgaben im Notfallschutz ist das ENSI in unterschiedlichsten nationalen und internationalen Fachgremien ständig direkt vertreten oder in beratender Funktion tätig. Es leistet dort einen wichtigen Fachbeitrag im Zusammenhang mit dem radiologischen Notfallschutz. Im nationalen Umfeld ist das ENSI im Bundesstab Bevölkerungsschutz (BSTB) sowie in den Eidgenössischen Kommissionen für Strahlenschutz (KSR) und für ABC-Schutz (Kom-ABC) vertreten. Im Jahr 2020 wirkte das ENSI mit Fachbeiträgen bei der Überarbeitung der Auslegeordnung des ABC-Schutzes Schweiz mit. Der ENSI-Direktor ist zudem Mitglied in der Steuerungsgruppe ABC-Koordination Schweiz.

Das ENSI unterstützt die Notfallschutzpartner dabei, die Notfallabläufe, insbesondere diejenigen der Kernanlagen und des ENSI, besser zu verstehen und Fachbegriffe so zu erklären, dass auch Notfallschutzpartner, deren Hauptaugenmerk nicht auf der Bewältigung eines Unfalls in einer Kernanlage liegt, Entscheidungsgrundlagen einfacher verstehen und nachvollziehen können. Zu diesem Zweck bietet das ENSI den von einem Unfall potentiell betroffenen Kantonen an, die Einsatzelemente zu schulen.

Das Jahr 2020 war durch Massnahmen zur Verhinderung der Verbreitung des neuen Coronavirus geprägt. Diese hatten auch Auswirkungen auf die Überprüfung der Notfallbereitschaft in den Kernanlagen (vgl. Kapitel 9). Jährlich durchzuführende Übungen mussten von den Betreibern so angepasst werden, dass sie auch unter Einhaltung der Coronavirus-Schutzmassnahmen durchführbar waren und vom ENSI beaufsichtigt werden konnten. Als Folge legten die Kernanlagen ihren Fokus auf die Notfallstabsarbeit in geeigneten Räumlichkeiten und unterliessen Grossaufgebote von übrigen Einsetzelementen zu Übungszwecken. Auch für die Notfallorganisation des ENSI, welche regelmässig bei Notfallübungen von Kernanlagen mitübt, wurden Anpassungen vorgenommen. Die Einhaltung der Coronavirus-Schutzmassnahmen konnte so auch für einen unterstellten Notfall in Übungen nachgewiesen werden. Das Funktionieren von Einsetzelementen in ihrer Mindestbesetzung war dabei ebenfalls eine positive Erkenntnis für das ENSI.

Das ENSI war 2020 am Eidgenössischen Ausbildungszentrum Schwarzenburg im Rahmen des Zusatzkurses «Sachkundige Strahlenschutz in Notfallorganisationen», welcher sich an Angehörige des Zivilschutzes und Führungsorgane der Kantone richtet, an drei Veranstaltungen als Ausbilder per Videokonferenz vertreten.

Trotz einschränkender Coronavirus-Schutzmassnahmen war es dem ENSI möglich, die Aufsicht der Kernanlagen zu gewährleisten und die Ausbildung der eigenen Notfallorganisation sowie die der Notfallschutzpartner weiterzuführen.

7.2 Notfallschutz international

International wirkt das ENSI bei verschiedenen Gremien mit, die sich mit der Weiterentwicklung des radiologischen Notfallschutzes befassen:

Deutsch-Schweizerische Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen (DSK)

Die DSK basiert auf einem bilateralen Abkommen zwischen Deutschland und der Schweiz aus dem Jahr 1983 und hat zum Ziel, dass sich die Vertragsparteien regelmässig gegenseitig über grenznahe kerntechnische Einrichtungen unterrichten. Im Jahr 2020 wurde die DSK-Sitzung der Arbeitsgruppe Notfallschutz aufgrund der COVID-19-Pandemie nicht durchgeführt; es wurden stattdessen schriftliche Berichte über die jeweiligen Tätigkeiten verfasst. Im Zuge der Umstellung der Übermittlungsverfahren von Meldungen fand im Dezember 2020 zusätzlich ein virtuelles Abstimmungsgespräch statt. Ferner wurde durch das ENSI ein Entwurf zur Fortschreibung des Feinkonzepts hinsichtlich des Daten- und Informationsaustauschs zwischen Deutschland und der Schweiz ausgearbeitet und den Mitgliedern der Arbeitsgruppe Notfallschutz zur Kommentierung zugestellt.

Commissione Italo-Svizzera (CIS) und Commission Franco-Suisse (CFS)

Im Rahmen der CIS haben das italienische Inspektorat für nukleare Sicherheit und Strahlenschutz ISIN und das ENSI im Jahr 2019 eine Vereinbarung zur Zusammenarbeit auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit erneuert. Das jährliche Treffen der CIS wurde per Videokonferenz abgehalten. Themen waren dabei unter anderem der Strahlen- und Notfallschutz sowie die Entsorgung radioaktiver Abfälle.

Die CFS beruht auf dem im Jahr 1989 geschlossenen Abkommen zwischen Frankreich und der Schweiz über den Informationsaustausch bei Zwischenfällen oder Unfällen, die radiologische Auswirkungen haben können. Pandemiebedingt ist die jährlich stattfindende Sitzung der CFS im Jahr 2020 nicht durchgeführt worden.

Fachverband für Strahlenschutz e. V.

Der Fachverband ist eine Plattform für Strahlenschutzfachleute aus Deutschland und der Schweiz. Ein zentrales Instrument für den ständigen Erfahrungs- und Informationsaustausch sind die gegenwärtig 13 Arbeitskreise, in denen sich Fachexperten zum jeweiligen Fachgebiet austauschen. Der Arbeitskreis Notfallschutz des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V. hat sich im Oktober 2020 ebenfalls zu einer virtuellen Sitzung zusammengefunden, nachdem das für das Frühjahr geplante Treffen abgesagt werden musste. Das Schwerpunktthema dieser Sitzung war der Umgang mit der Pandemiesituation mit Blick auf die Aufrechterhaltung der Einsatzbereitschaft der Notfallschutzorganisationen.

IAEA EPRéSC

Im Jahr 2015 wurde von der IAEA das Emergency Preparedness and Response Standards Committee (EPRéSC) etabliert. Das EPRéSC muss für neu erstellten beziehungsweise revidierten Safety Standards oder Safety Guides der IAEA die Bereiche Emergency Preparedness and Response bewerten und den Änderungen oder Revisionen zustimmen.

Im Jahr 2020 wurden die Versammlungen des EPRéSC aufgrund der international geltenden Reisebeschränkungen virtuell durchgeführt. Folgende Themen wurden behandelt:

- Die Revision der Richtlinie (Guidelines) für Kriterien in einem nuklearen Notfall (Notfallklassierung und Action Levels)
- Notfallaspekte in Safety Standards und Guidelines im Bereich Anreicherungsanlagen, Transporte, Forschungsanlagen und -reaktoren
- Leitlinie zu Emergency Preparedness and Response unter Pandemiebedingungen
- Kommunikation in einem nuklearen Notfall
- Aktualisierung der Methoden zur Entwicklung von Vorkehrungen zur Bekämpfung eines nuklearen Notfalls

- Entwicklung einer Leitlinie für den Einsatz von Personal in einem nuklearen Notfall (Emergency Workers)

Das ENSI nahm zudem am einwöchigen virtuellen Technical Meeting zur Aktualisierung des Safety Guide GS-G-2.1 «Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency» teil.

Die Schwerpunkte des EPRESC für die kommenden Jahre liegen auf der Aktualisierung der notfallbezogenen Safety Guides und der davon abgeleiteten Leitlinien und Zusatzdokumente.

HERCA Working Group on Emergencies (WGE)

International ergeben sich immer noch Unterschiede bei den Kriterien, bei deren Erreichen in einem nuklearen oder radiologischen Notfall Schutzmassnahmen anzuordnen sind. Die Dosis-schwellen sind z.T. unterschiedlich und die Integrationszeit für die Ermittlung der Dosis variiert ebenfalls. Unterschiede ergeben sich auch durch die Schutzwirkung der vorhandenen Infrastruktur. So ist in der Schweiz durch die robuste Bauweise der Häuser der geschützte Aufenthalt deutlich wirksamer als zum Beispiel in den USA mit der leichteren Bauweise. Auch die in der Schweiz für alle Einwohner gesetzlich vorgesehene Schutzräume, mit deutlich höherer Schutzwirkung, sind nicht in allen Ländern vorgesehen. Gleichfalls können beispielsweise unterschiedliche Bevölkerungsdichten, das Auslösen von Schutzmassnahmen 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 protection Competent Authorities (HERCA), der zusammen mit der Western European Nuclear Regulators Association (WENRA) entwickelt wurde. Die nationale Umsetzung des HERCA-WENRA Ansatzes wurde durch die Working Group on Emergencies (WGE), einer Arbeitsgruppe der HERCA, begleitet.

Die COVID-19-Pandemie hatte auch auf die WGE der HERCA im Jahr 2020 Einfluss. Die üblichen zwei Sitzungen pro Jahr wurden reduziert auf eine virtuelle Sitzung. Erschwerend kam hinzu, dass viele Mitglieder der WGE in ihrem eigenen Land Mitglieder des Krisenstabs sind und die akute Problematik der sich ausbreitenden Pandemie Vorrang hatte. Dennoch schritt die Arbeit der WGE auch 2020 weiter voran.

Das ENSI überarbeitete die Vorlage für das Self-Assessment der HERCA-Länder zur Ermittlung des Umsetzungsstandes des HERCA-WENRA Ansatzes (HWA). Durch ein vom ENSI massgeblich geprägtes Zusatzdokument, welches den HWA konkretisiert, präzisiert und erläutert, ergaben sich bei der Eigenbewertung der Länder einige Änderungen. Die Rückmeldungen wurden vom ENSI gesammelt und zusammengeführt. Die Staaten bewerteten sich durchaus kritisch. Handlungsbedarf besteht aus Sicht des ENSI insbesondere bei der Abstimmung von grenzüberschreitenden Notfallschutzmassnahmen und der Implementierung des Ansatzes, dass ein Nachbarland in der frühen Phase eines Unfalls die Notfallschutzmassnahmen des Unfallslandes übernimmt. Die Besprechung der Situationen von Ländern mit Kernanlagen in Grenznähe wird für die WGE der nächste Schritt sein. Je nach Ergebnis wird dies weiteres Handlungspotential für sämtliche Mitglieder aufdecken.

Auch die WGE sieht eine Pandemielage als Herausforderung. Die Herausforderung besteht nicht in einer potentiell eingeschränkten technischen Sicherheit einer Kernanlage, sondern ganz generell in der Verfügbarkeit von Schlüsselpersonen im nationalen Notfallschutz.

Working Party on Nuclear Emergency Matters (WPNEM)

Die WPNEM ist eine Arbeitsgruppe der Nuclear Energy Agency (NEA), einer Institution innerhalb der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD). Die Mission der WPNEM besteht darin, die nuklearen Notfallmanagementsysteme in den Mitgliedstaaten zu verbessern und ihr Wissen und ihre Erfahrungen auf breiter Basis auszutauschen.



Von Anfang an lag der Schwerpunkt der von der WPNEM durchgeführten Arbeiten der NEA auf die Verbesserung der Wirksamkeit der internationalen Vorbereitung und Reaktion auf nukleare Notfälle. Ein Teil des Arbeitsprogramms konzentriert sich auf die Erforschung und Entwicklung neuer Konzepte und künftiger Verfahren zur Verbesserung der nationalen und internationalen Bereitschaft und des Reaktionsmanagements. Ein wesentlicher Aspekt dieser Bemühungen ist die Vorbereitung, Durchführung und Bewertung internationaler nuklearer Notfallübungen (INEX), die von der WPNEM organisiert werden.

Wie andere Arbeitsgruppen und Organisationen waren auch die Tätigkeiten der WPNEM im Jahr 2020 von der COVID-19-Pandemie betroffen.

Die Sitzungen fanden virtuell statt und der Austausch mit den Mitgliedern fand nicht in üblichem Umfang statt. Die behandelten Themen waren unter anderem der Vergleich und das bessere Verständnis von Dosisprognosen, nicht radiologische Aspekte des Bevölkerungsschutzes bei nuklearen Notfällen sowie die psychische Gesundheit und psychosoziale Unterstützung in nuklearen Notfällen. Für die Zukunft wurde die strategische Ausrichtung der WPNEM besprochen. Eine Umfrage unter den Mitgliedern der Arbeitsgruppe zeigt, dass Tätigkeiten in folgenden Bereichen weiterverfolgt beziehungsweise intensiver nachgegangen werden sollen:

- Praktische Anwendung der Optimierung im Notfallschutz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Rahmenbedingungen
- Multidisziplinärer und ganzheitlicher Ansatz bei der Risikobeurteilung
- Sicherstellung des allgemeinen Verständnisses radiologischer und anderer Risiken durch die Bevölkerung hin zu einer risikoinformierten Gesellschaft

08 Notfallschutz im ENSI

8.1 Aufgaben des ENSI

Notfallschutz ist eine Verbundaufgabe. Die Ziele des Notfallschutzes gemäss der Notfallschutzverordnung sind

- die betroffene Bevölkerung und ihre Lebensgrundlagen zu schützen,
- die betroffene Bevölkerung zeitlich begrenzt zu betreuen und mit dem Nötigsten zu versorgen und
- die Auswirkungen eines Ereignisses zu begrenzen.

Den im nuklearen Notfallschutz involvierten Partnern werden dazu verschiedene Aufgaben zugewiesen, die in den jeweiligen Kompetenzbereich fallen und in ihrer Gesamtheit zur Erreichung der genannten Ziele führen sollen. Die Zuweisung von Aufgaben erfolgt anhand von Verordnungen, die für die adressierten Stellen die jeweils erforderliche Handlungsgrundlage bilden. Bei diesen Handlungsgrundlagen ist zwischen jenen, aus denen ein direkter Auftrag an eine Organisation oder Einrichtung ergeht und solchen, in denen die Organisation oder Einrichtung in einer Funktion erwähnt wird, zu unterscheiden.

Ein wesentliches Vorgabedokument für direkt zugewiesene Aufgaben ist die Notfallschutzverordnung. Sie regelt den Notfallschutz bei Ereignissen in schweizerischen Kernanlagen, bei denen eine erhebliche Freisetzung von Radioaktivität nicht ausgeschlossen werden kann.

Als Aufsichtsbehörde über die nukleare Sicherheit und Sicherung in der Schweiz obliegen dem ENSI diverse Aufgaben rund um den nuklearen Notfallschutz. Diese Aufgaben lassen sich nach Aufgaben in der Vorbereitung sowie Aufgaben im Ereignisfall unterteilen. Die Aufgaben des ENSI in der Planung und Vorbereitung sind unter anderem in Art. 8 der Notfallschutzverordnung verankert:

- Es betreibt einen eigenen Pikettdienst und stellt eine eigene interne Notfallorganisation sicher.
- Es betreibt ein Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK).
- Es berät und unterstützt die Kantone bei der Planung und Vorbereitung ihrer Aufgaben.
- Es überwacht die vom Betreiber der Kernanlagen zu treffenden Massnahmen; insbesondere überprüft es die Einsatzbereitschaft der Notfallorganisation der Kernanlagen mit Notfallübungen.
- Es regelt die Anforderungen an die Bestimmung der Quellterme in einer Richtlinie.
- Es regelt unter Einbezug der relevanten Notfallschutzstellen die Anforderungen an die Durchführung von Notfallübungen in einer Richtlinie.

Die Aufgaben des ENSI im Ereignisfall sind in Art. 9 der Notfallschutzverordnung dargelegt:

- Es sorgt für eine rasche Orientierung der Nationalen Alarmzentrale NAZ.
- Es beurteilt die Zweckmässigkeit der vom Betreiber der Kernanlagen getroffenen Massnahmen und überprüft deren Umsetzung.

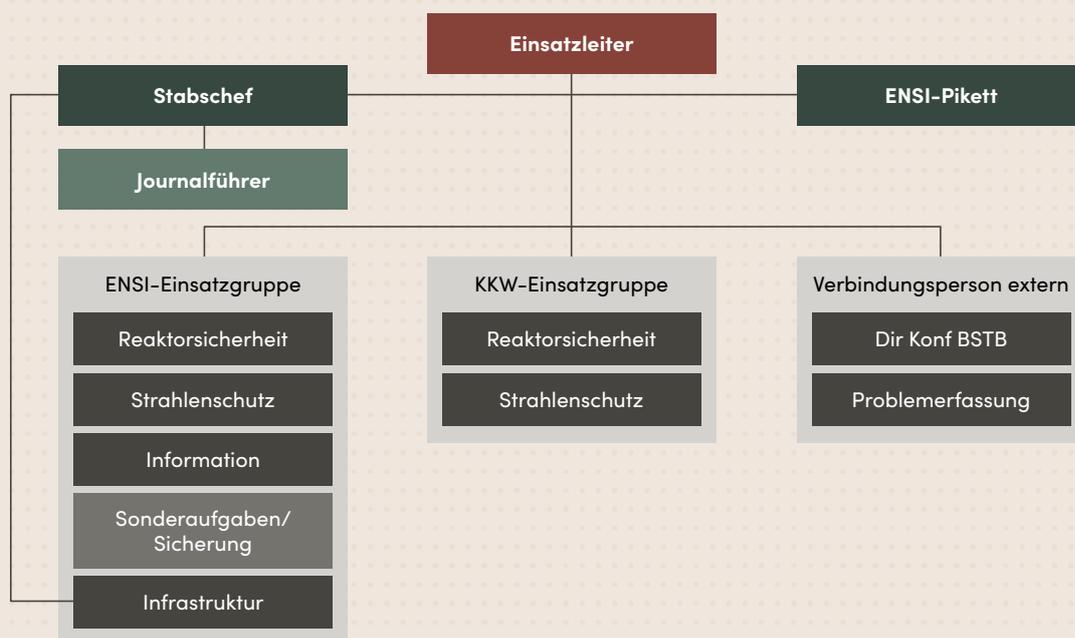
8.2 Die ENSI-Notfallorganisation

- Es erstellt Prognosen betreffend die Entwicklung des Störfalles in der Anlage, die mögliche Ausbreitung der Radioaktivität in der Umgebung und deren Konsequenzen.
- Es beurteilt die Zweckmässigkeit der von den Kernkraftwerken getroffenen Massnahmen betreffend Schutz von Personal und Umgebung.
- Es berät das Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS und den Bundesstab Bevölkerungsschutz (BSTB) bei der Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung.
- Es stuft das Ereignis auf der internationalen Störfall-Bewertungsskala INES der IAEA ein.

Als Aufsichtsbehörde ist das ENSI gemäss Kernenergieverordnung und Strahlenschutzverordnung verpflichtet, die Öffentlichkeit und Behörden, die mit dem Vollzug einer Folgeaufgabe betraut sind, über Ereignisse und Befunde rechtzeitig zu informieren. Zudem meldet das ENSI der IAEA die Einstufung eines Störfalles nach der internationalen Bewertungsskala für nukleare Ereignisse (INES) ab der Stufe 2.

In Erfüllung der Aufgabe, einen Pikettdienst zu betreiben und eine eigene interne Notfallorganisation (ENSI-NFO) sicherzustellen, hat sich das ENSI entsprechend organisiert. Der Notfallkoordinator aus dem Fachbereich Strahlenschutz ist damit betraut, sämtliche Vorgänge im Zusammenhang mit der ENSI-NFO zu koordinieren und zu organisieren. Dabei wird er durch weitere Mitarbeitende des ENSI nach Bedarf unterstützt.

Grundsätzlich sind alle festangestellten Mitarbeitenden des ENSI in der ENSI-NFO eingeteilt. Sie übernehmen die ihnen zugewiesenen Aufgaben und Funktionen. Die Einteilung basiert auf dem jeweiligen Erfahrungsgrad der Mitarbeitenden und der im ENSI wahrgenommenen Funktion im Tagesgeschäft. Um ein ereignisangepasstes Aufgebot sicherstellen zu können, besteht die ENSI-NFO zunächst aus einer Aufbauorganisation. Die nach einem Aufgebot eingerückten Mitarbeitenden bilden die Einsatzorganisation, welche in Einsatzgruppen gegliedert ist. Eine Übersicht über die grundsätzliche Gliederung der Einsatzorganisation gibt Darstellung 32. Die Einsatzorganisation kann bei Bedarf angepasst werden.



Darstellung 32:
Gliederung der
Einsatzorganisation.

Die Aufbauorganisation der ENSI-NFO besteht aus einem diensthabenden Pikettingenieur, dem Kernteam A, dem Kernteam B und dem Unterstützungsteam. Das Kernteam A umfasst alle Einsatzleiter, alle Pikettingenieure und die Sektion Kommunikation des ENSI und unterstützt den diensthabenden Pikettingenieur bei Ereignissen. Im Kernteam B sind diejenigen Mitarbeitenden eingeteilt, welche die Kernkompetenzen der ENSI-NFO in Notlagen sicherstellen. Etwa die Hälfte der Belegschaft gehört einem der beiden Kernteams an. Das restliche Personal ist im Unterstützungsteam eingeteilt, das bei Bedarf aufgeboden wird. Durch eine gestaffelte Alarmierung wird sichergestellt, dass mit einem genügend grossen, fachkompetenten und ereignisangepassten Aufgebot die Handlungsfähigkeit der Einsatzorganisation in weniger als einer Stunde erreicht wird. Das Aufgebot der Kernteams erfolgt via Telepage und wird durch den diensthabenden Pikettingenieur ausgelöst. Die Mitglieder des Unterstützungsteams werden telefonisch aufgeboden.

Um die Erreichbarkeit der ENSI-NFO rund um die Uhr sicherstellen zu können, betreibt das ENSI einen Pikettdienst, der von ausgebildeten und langjährigen Mitarbeitenden wahrgenommen wird. Der diensthabende Pikettingenieur ist die zentrale Anlaufstelle des ENSI für alle Ereignisse in den schweizerischen Kernanlagen. Bei eingehenden Meldungen entscheidet er anhand festgelegter Kriterien, ob ein Aufgebot der ENSI-NFO notwendig ist. Das ENSI verfügt aktuell über 13 aktive Pikettdienstleistende.

Zur Wahrnehmung ihrer Aufgaben steht der ENSI-NFO am Standort des ENSI in Brugg eine eigene Infrastruktur zur Verfügung. Für den Fall, dass der Standort Brugg nicht für einen Einsatz der ENSI-NFO genutzt werden kann, betreibt das ENSI auch einen Ausweichstandort. Zu dieser Infrastruktur gehören auch spezielle Werkzeuge, die die Auftragserfüllung der ENSI-NFO unterstützen und nachfolgend kurz vorgestellt werden.

a. Kommunikationseinrichtungen

Das ENSI nutzt zur Kommunikation mit den Notfallschutzpartnern bei Ereignissen in den schweizerischen Kernanlagen grundsätzlich die üblichen Kommunikationskanäle Telefon, Mobilfunk und E-Mail. Zusätzlich werden die Notfallschutzpartner über die Elektronische Lagedarstellung der NAZ mit Informationen zum Ereignis bedient. Für den Fall, dass die Kommunikationskanäle nicht mehr verfügbar sind, wird ein spezielles Netz betrieben, welches eine gegenseitige Kommunikation der Notfallschutzpartner Kernkraftwerke, NAZ und ENSI via Fax und Sprachverbindung ermöglicht. Zusätzlich ist das ENSI mit Endgeräten des Sicherheitsfunknetzes Schweiz POLYCOM ausgerüstet und verfügt über Satellitentelefone. Der diensthabende Pikettingenieur ist während seines Dienstes ständig über POLYCOM erreichbar.

b. ADAM

Die Software ADAM (**A**ccident **D**iagnosics, **A**nalysis and **M**anagement) erfasst, visualisiert und interpretiert die vom Kernkraftwerk zum ENSI ständig übermittelten und definierten Anlageparameter. Der diensthabende Pikettingenieur wird im Ereignisfall bei der ersten raschen Beurteilung des Anlagezustandes im betroffenen Kernkraftwerk unterstützt. Auf Basis einer einfachen Logik interpretiert ADAM den momentanen Anlagenzustand und leitet daraus ab, ob das Kernkraftwerk sich in einem sicheren, respektive unsicheren Zustand befindet.

c. MADUK

Das Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) gestattet die permanente Erfassung, Überprüfung und Speicherung von Dosisleistungsdaten aus den 57 Immissionsmessgeräten in der Umgebung der Kernkraftwerke (siehe auch Kapitel 6.2 dieses Berichts).

d. **JRODOS: Atmosphärisches Ausbreitungs- und Dosisberechnungsmodell**

Das Java-based Realtime Online Decision Support System (JRODOS) dient der Einsatzgruppe Strahlenschutz zur Simulation der atmosphärischen Ausbreitung radioaktiver Stoffe (sogeannter Quellterm) im Ereignisfall und zur

Berechnung der sich daraus potentiell ergebenden Dosen für die Bevölkerung mit dem Ziel, zuhanden der Notfallschutzpartner eine Empfehlung bezüglich Schutzmassnahmen abzugeben.

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), in der Verordnung über den Bundesstab Bevölkerungsschutz (VBSTB) und in der Bevölkerungsschutzverordnung (BevSV) 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 anlagenbezogener Daten und Ausbreitungsrechnungen in der Umgebung abgeschätzt. Diese Modellrechnungen dienen insbesondere dazu, das potentiell gefährdete Gebiet abzugrenzen, die notwendigen Schutzmassnahmen festzulegen und den Einsatz der Messorganisation nach erfolgter Freisetzung von radioaktiven Stoffen zu planen.

Atmosphärische Ausbreitung und Dosisberechnung

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. Die Vereinigung dieser Fachkompetenzen unter einem Dach stellt eine Voraussetzung für das rasche Erfassen und

Einschätzen von sich ändernden Randbedingungen am Standort der Kernanlage und die Ausarbeitung von Empfehlungen zum Schutz der Bevölkerung dar.

Als Plattform für die Verarbeitung von Meteorologischen Daten, die Berechnung von Windfeldern sowie die Ermittlung der Konsequenzen einer Freisetzung von luftgetragenen radioaktiven Stoffen und deren Visualisierung wird seit 2016 beim ENSI das Programm JRODOS eingesetzt.

Das 2016 beim ENSI eingeführte JRODOS (Java-based Realtime Online DecisiOn Support System) ist ein vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) entwickeltes modulares Entscheidungshilfesystem für den anlagen-externen 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 (**L**Ag-range-**S**imulation von **A**erosol-**T**ransport) verwendet. Dieser Programmcode berechnet die Ausbreitung von Spurenstoffen in der Atmosphäre, indem für eine Gruppe repräsentativer Stoffteilchen der Transport und die turbulente Diffusion durch einen Zufallsprozess auf dem Computer simuliert wird (Lagrange-Simulation). LASAT beruht auf einem Forschungsmodell, das 1980 entwickelt und in verschiedenen Forschungsvorhaben erprobt wurde. Seit 1990 ist es allgemein als Softwarepaket verfügbar und wird bei Landesbehörden, TÜVs und anderen Gutachtern in Deutschland sowie der Industrie eingesetzt. LASAT bietet ein breites Anwendungsspektrum: Unter den Anwendungsbereichen befinden sich beispielsweise die 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 MeteoSchweiz routinemässig eingesetzten Modell COSMO-1E. Dieses liefert Prognosen in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung bis zu 24 Stunden im Voraus. 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.

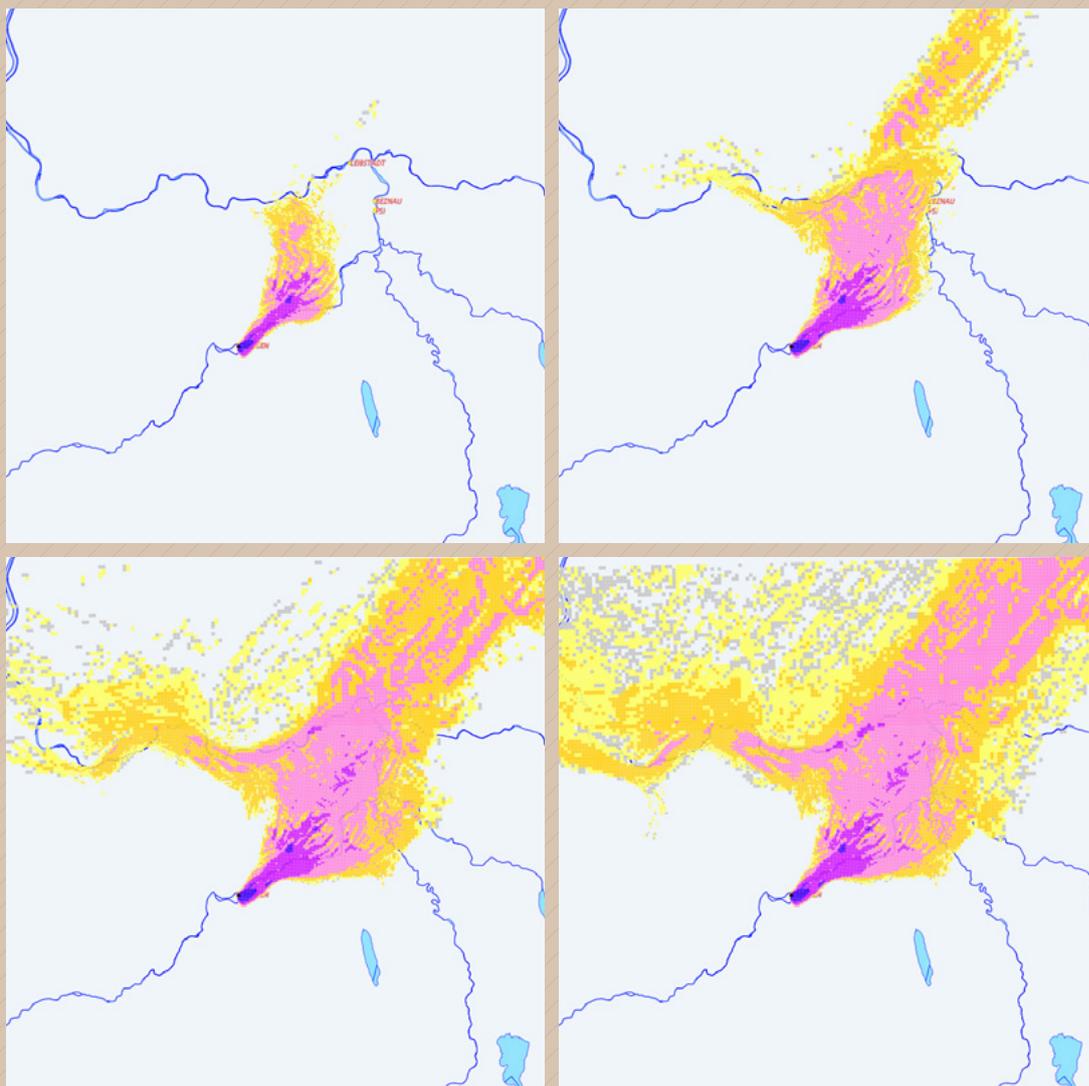
Neben dem Windfeld ist die Auflösung der Geländeform (Orographie) eine wesentliche Einflussgrösse. Die kleinräumige Landschaftsstruktur der Schweiz und des süddeutschen Raumes stellt daran erhöhte Anforderungen, weshalb JRODOS das Höhenmodell DHM25 des Bundesamts für Landestopographie swisstopo verwendet.

Eine wesentliche Neuerung stellt auch die Erweiterung des Rechengebiets auf 500×500 Quadratkilometer dar, wobei für den Nahbereich um eine Kernanlage die orographische Auflösung von 250 Metern 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.

Beispiel einer JRODOS-/COSMO-Simulation

Nachfolgend wird beispielhaft eine JRODOS-/COSMO-Simulation für den Standort des KKG dargestellt. Die Darstellung stammt aus einer Simulation für den Test des

Datenaustausches und zeigt die berechnete integrierte Aktivitätskonzentration in Bodennähe als Funktion der Zeit für verschiedene ausgewählte, nicht repräsentative Zeitpunkte einer realen Wetterlage.



Darstellung 33: Beispiel einer JRODOS-/COSMO-Simulation für das KKG.

Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 27. Oktober 2020 um 18:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhen 10 und 50 Meter über Boden, Dauer der Freisetzung zehn Stunden.

Ausbreitungssituation am 27. Oktober 2020 um 20:00 Uhr (links oben), 21:30 Uhr (rechts oben), 23:30 Uhr (links unten) und am 28. Oktober 2020 um 4:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

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

Hintergrund: Grössere Gewässer.

Aktueller Stand

Das Ausbreitungsmodell JRODOS ist für alle Kernanlagen operationell. Es ist in die Notfallorganisation des ENSI eingebunden und technisch mit den anderen Notfallwerkzeugen 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.

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

e. NFO-Pilotoberfläche

Die NFO-Pilotoberfläche ist eine Software, die die Arbeitsabläufe in den Einsatzgruppen Reaktorsicherheit und Strahlenschutz digital unterstützt. Sie gewährleistet einen kontinuierlichen Situationsüberblick und eine laufende Situationsbeurteilung. Dabei integriert sie auch Daten, welche über die Systeme JRODOS und MADUK bereitgestellt werden, zum Beispiel Ausbreitungsrechnungen. Mit ihrer Hilfe werden Dokumente zu Händen der Notfallschutzpartner erzeugt, welche in der Elektronischen Lagedarstellung bereitgestellt werden.

Im Zuge der kontinuierlichen Verbesserung hält die Digitalisierung auch in der Notfallorganisation (NFO) des ENSI Einzug. Erste Schritte dahingehend erfolgten bereits in der Vergangenheit durch die Einführung von digitalen Werkzeugen wie der MADUK-Oberfläche oder JRODOS deren Mehrwert deutlich erkennbar ist. Diese Entwicklung wurde mit der Erweiterung der Produktpalette aus JRODOS z.Hd. der Notfallschutzpartner (siehe auch Strahlenschutzbericht 2019) fortgeführt: Zur Vereinfachung der Arbeitsabläufe und teil-automatisierten Erstellung der Produkte aus JRODOS wurde in 2019 eine digitale Arbeitsoberfläche, die sog. «Pilotoberfläche», implementiert und an der Gesamtnotfallübung 2019 testweise genutzt. Ausgehend von den Erfahrungen dieses ersten Einsatzes erfolgte im Berichtsjahr eine Überarbeitung und Verbesserung der Oberfläche im Rahmen des Projekts DANFO («Digitalisierung der Arbeitsweise in der NFO»). Dies beinhaltete die Erweiterung der Pilotoberfläche auf alle Schweizerischen Kernanlagen und die Verbesserung der Ergonomie. In dieser überarbeiteten Fassung wurde die Pilotoberfläche schliesslich per Ende 2020 in der Notfallorganisation des ENSI operationalisiert.

Die bislang erhaltenen Rückmeldungen zur neusten Fassung der Pilotoberfläche, sowohl von den Notfallschutzpartnern als auch von den Operateuren fielen sehr positiv aus und bestärken die Bestrebungen zur schrittweisen Digitalisierung der Arbeitsweise der Notfallorganisation, die in den kommenden Jahren im Rahmen des Projekts DANFO fortgeführt werden.

Die Pilotoberfläche ermöglicht den beiden Einsatzgruppen Strahlenschutz und Reaktorsicherheit der Notfallorganisation einen Grossteil ihrer wiederkehrenden Arbeiten digital auszuführen und zu dokumentieren; sie ersetzt damit grösstenteils die in diesen beiden Einsatzgruppen bislang verwendeten Papierformulare. Seitens der Einsatzgruppe Reaktorsicherheit

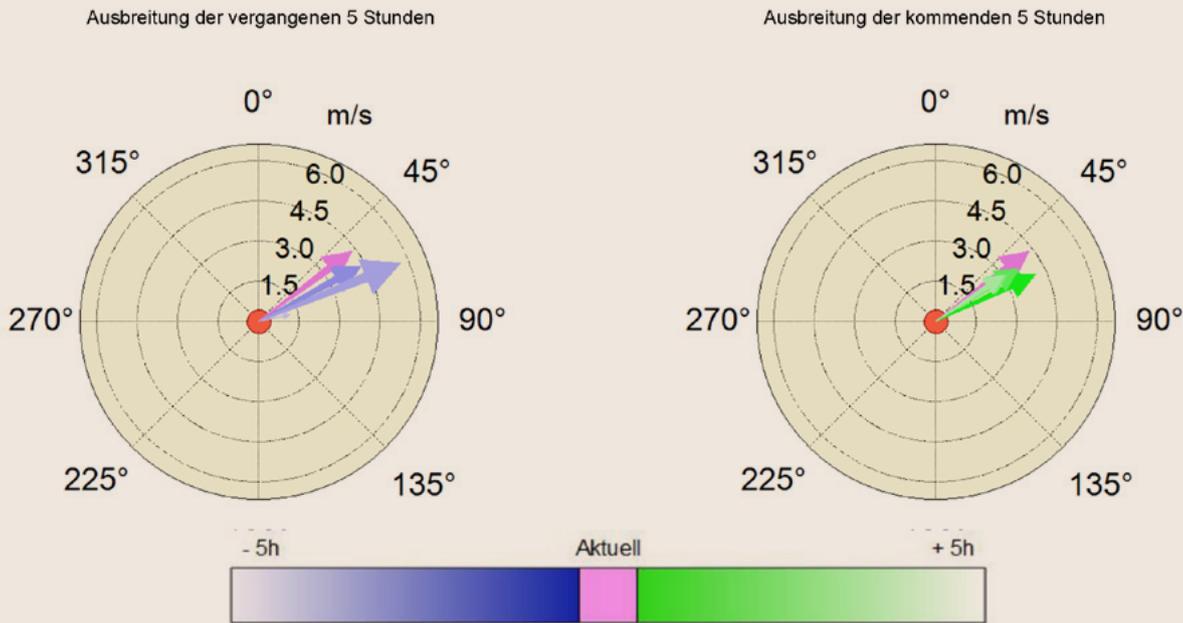
fokussiert die Benutzeroberfläche auf eine anlagenspezifische Liste der für die Sicherheit der Kernanlage und die Störfallbeherrschung zentralen Systeme und Komponenten. Ausgehend von der Beurteilung der Verfügbarkeit dieser Systeme und Komponenten erfolgt die Einfärbung einer stark vereinfachten schematischen Anlagengrafik unter Verwendung einer Ampeldarstellung (vgl. Darstellung 34). Da für ihr Verständnis keine vertieften Fachkenntnisse notwendig sind, bietet diese Anlagengrafik den Notfallschutzpartnern einen vereinfachten, leicht verständlichen Überblick über die Situation vor Ort.

Thema	Aktueller Status	Technische Begründung, Kommentar
Reaktivität	Unterkritikalität (ANPA Nr. 1)	Falls abgeschaltet Zeitpunkt der Abschaltung
Bor-einspeisung	Boniertes Wasser zur Einspeisung (Tank/BOTA)	
Boniertes Wasser zur Reirkulation (im Sumpf)	(ANPA Nr. 10)	
Reaktorkern		
Nachwärmeabfuhr		
Stromversorgung		

Darstellung 34: Liste der Systeme und Komponenten, deren Statusbeurteilung zur automatischen Einfärbung der Anlagengrafik führt.

Seitens der Einsatzgruppe Strahlenschutz bietet die Pilotoberfläche zusätzlich zur teilautomatisierten Erstellung der Produkte aus JRODOS eine grafische Darstellung der Entwicklung der Wettersituation am Standort der Kernanlage (vgl. Darstellung 35), welche analog zu einer Windrose den Notfallschutzpartnern die Ausbreitungsrichtung als weiteres Produkt zur Verfügung stellt.

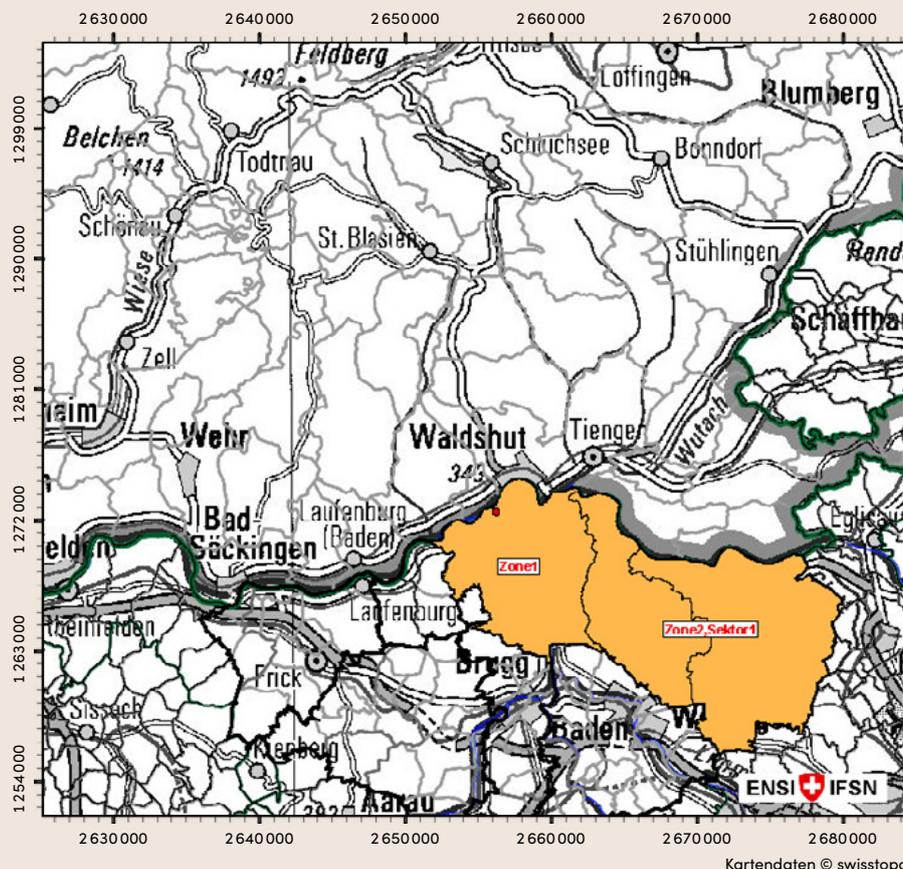
Darstellung 35:
Beispiel einer Ausbreitungssituation mit den vergangenen (links) und zukünftigen (rechts) fünf Stunden als Ausbreitungsrosetten.



Auf der Basis der neusten Routineberechnungen von JRODOS kann das Produkt «Potentiell betroffenes Gebiet» in wenigen Schritten erstellt und den Notfallschutzpartnern zur Verfügung gestellt werden (vgl. Darstellung 36). Dieses Produkt illustriert auf der Basis der aktuellen Wettervorhersagen jene Notfallschutzzonen und -sektoren, die von einer potentiellen Freisetzung innerhalb der kommenden zwölf Stunden von der radioaktiven Wolke betroffen sein könnten.



Darstellung 36:
Beispiel einer Grafik für das Produkt «Potentiell betroffenes Gebiet».



Darstellung 37:
Grafische Darstellung der Empfehlung des ENSI entsprechend den Dosis-schwellen nach DMK. Beispiel aus der Gesamtnotfallübung 2019.

Ferner kann über die Oberfläche eine grafische Darstellung der vom ENSI gegebenenfalls empfohlenen Schutzmassnahmen erstellt werden, bei welcher die Notfallschutz-zonen und -sektoren sowie die Gemeinden ausserhalb der Notfallschutz-zonen entsprechend der darin empfohlenen Schutzmassnahme eingefärbt werden (vgl. Darstellung 37). Dieses Produkt visualisiert die bislang ausschliesslich tabellenförmige Empfehlung in einer leicht verständlichen Form.

Die Pilotoberfläche enthält zusätzlich zu den obengenannten Möglichkeiten der beiden Einsatzgruppen Reaktorsicherheit und Strahlenschutz einen stets aktuell gehaltenen Statusbalken (vgl. Darstellung 38), der unter anderem eine Übersichtsdarstellung in Ampelform zu den radiologischen Schutzzielen, zum MADUK-Schwellwertalarm, zur Windgeschwindigkeit am Standort und zur Notfallklasse besitzt. Dies gibt den Nutzerinnen und Nutzern jederzeit einen Überblick über den aktuellen Stand der wesentlichen Kenngrössen.

Darstellung 38: Statusbalken der Pilotoberfläche mit zentralen Beurteilungsgrößen, die automatisch aktuell gehalten werden. Beispiel aus einem Systemtest.



f. Ausweichstandort

Die Notfallorganisation verrichtet ihre Arbeit in geschützten Notfallräumlichkeiten (GENORA) am Standort Brugg, welche jederzeit zur Verfügung stehen. Seit 2014 betreibt das ENSI zudem in der geschützten Anlage der NAZ in Zürich einen Ausweichstandort für seine Notfallorganisation, der im Falle einer (bestehenden oder absehbaren) Nichtverfügbarkeit der GENORA genutzt würde. An denselben Standorten nutzt das ENSI zudem Räumlichkeiten für die Unterbringung seiner Rechenzentren. Da sich mit dem Umzug der NAZ nach Bern 2019 auch die Frage nach der längerfristigen Verfügbarkeit der bei der NAZ in Zürich bezogenen Räume stellte, wurde vom ENSI die Planung des Ersatzes des Ausweichstandortes vorangetrieben.

Das zu diesem Zweck ins Leben gerufene Projekt beinhaltet sowohl Suche und Evaluation möglicher Alternativen als auch die Realisierung und Operationalisierung eines neuen Ausweichstandorts. In einem ersten Schritt wurden sowohl die Möglichkeit eines gemeinsamen Ausweichstandorts für die NFO und Büroinformatik als auch die Möglichkeit von zwei separaten Standorten geprüft. Es zeigte sich, dass aufgrund der engen Verflechtung zwischen den IT-Mitteln der Büroautomation und jenen der NFO nur ein wiederum gemeinsamer Ausweichstandort im angestrebten Realisierungszeitraum sinnvoll ist. Zudem benötigen einige NFO-Applikationen eine Hardware, die nur als Teil einer Rechenzentrums-Infrastruktur verfügbar ist, was im Falle von zwei separaten

Standorten den Aufbau eines NFO-Rechenzentrums erfordern würde. Die Umsetzung von zwei separaten Ausweichstandorten für NFO und Büroinformatik würde daher trotz höherem Aufwand keinen klaren Mehrwert bringen und wurde somit als unverhältnismässig beurteilt.

Auf Basis der vom Projektteam vorgelegten Marktanalyse und der Liste möglicher Lösungen entschied sich das ENSI für einen kommerziellen Anbieter, da die gesuchte Dienstleistung, im Vergleich zu einer bundesnahen oder kantonalen Lösung, zum Kerngeschäft des Anbieters gehört. Weitere Aspekte, die für einen kommerziellen Anbieter sprachen, waren der klar definierte und garantierte Leistungsumfang sowie die damit verbundene Planungssicherheit für das ENSI. Auf die gegen Ende 2020 mit dem neuen Dienstleister geschlossene Vereinbarung folgt nun die Realisierung und Operationalisierung des neuen Ausweichstandorts, der nach aktueller Planung ab frühem Herbst 2021 verfügbar sein wird. Das ENSI ist überzeugt, mit diesem Vorgehen und der Wahl des Anbieters nicht nur einen zeitnah realisierbaren, sondern insbesondere einen kostengünstigen und zukunftsgerichteten Ausweichstandort in Betrieb nehmen zu können, der die Verfügbarkeit der ENSI-NFO und ihrer Produkte zugunsten des Notfallschutzes auf nationaler Ebene gewährleistet.

Notfallschutz Inspektionen

Im Rahmen der Aufsicht führt das ENSI auch im Fachgebiet Notfallschutz regelmässig wiederkehrende Inspektionen durch. So werden die Notfallkommunikationsmittel der Kernkraftwerke jährlich nach den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B12 überprüft. Gemäss Notfallschutzverordnung haben die Betreiber von Kernanlagen geeignete Notfallkommunikationsmittel für die Kommunikation mit

- a. dem ENSI,
- b. der NAZ und
- c. den von den Kantonen, auf deren Gebiet sich Gemeinden beziehungsweise Gemeindeteile der Zone 1 befinden, bezeichneten Stellen

zu beschaffen und zu installieren. Geeignete Kommunikationsmittel des Werkes zu externen Stellen sind bei einem Notfall eine wichtige Voraussetzung für die Alarmierung der Notfallpartner, zur Bewältigung von Stör- und Notfallsituationen sowie zur Vorbereitung und Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung. Die Inspektion soll zeigen, dass dokumentierte Einrichtungen für die Alarmierung externer

Stellen vorhanden sind, dass Vorgaben für periodische Funktionsprüfungen existieren und Nachweise über deren Durchführungen vorliegen. Zusätzlich soll durch stichprobenweise Funktionskontrollen von Kommunikationseinrichtungen deren ordnungsgemässe Funktion verifiziert werden.

Als weiterer wichtiger Baustein der Aufsichtstätigkeit im Bereich Notfallschutz werden die gemäss Richtlinie ENSI-B11 durchzuführenden Notfallübungen der Kernanlagen durch das ENSI inspiziert. Mit der Inspektion von Notfallübungen der Kernanlagenbetreiber verfolgt das ENSI grundsätzlich das Ziel der Überprüfung, ob die für die Notfallbereitschaft auf hohem Niveau festgelegten Erfolgskriterien in der Übung erreicht, Abweichungen davon erkannt und Optimierungsmöglichkeiten festgestellt werden. Auf Basis dieser Inspektionen bewertet und beurteilt das ENSI die Notfallorganisation der entsprechenden Anlage. Je nach Übungstyp wird das ENSI durch weitere Behörden und/oder Organisationen unterstützt, die in Tabelle 6 ausgewiesen werden.

Tabelle 6: An Notfallübungen beteiligte Organisationen

Übungstyp	Behörde/Organisation
Werksnotfallübung mit Schwerpunkt Polizeieinsatz	Zuständige Kantonspolizei
Werksnotfallübung/Institutsnotfallübung mit Schwerpunkt Feuerwehreinsatz	Zuständiges kantonales Feuerwehrinspektorat
Institutsnotfallübungen	Bundesamt für Gesundheit BAG, Abteilung Strahlenschutz

In Ergänzung zu den Inspektionen der Notfallübungen werden ebenfalls basierend auf der Richtlinie ENSI-B11 Alarmierungsnotfallübungen durchgeführt. Dabei handelt es sich um Aufgebotsstests, welche der Überprüfung der Verfügbarkeit des Notfallstabes gemäss dem entsprechenden Notfallreglement dienen. Die Aufgebotsstests werden vom ENSI durch das Auslösen eines Übungsalarms als unangemeldete Inspektion durchgeführt.

Weitere Inspektionen hinsichtlich der Notfallbereitschaft betreffen die Notfallräumlichkeiten und das externe Lager Reitnau. Diese Inspektionen werden alle drei bis fünf Jahre durchgeführt und dienen der Überprüfung der Einsatzbereitschaft.

Im Jahr 2020 konnten alle Kernanlagen mit Ausnahme des PSI und der EPFL ihre geplanten Notfallübungen durchführen, obschon Anpassungen im Zusammenhang mit der COVID-19-Pandemie und der damit einhergehenden Einschränkungen vorgenommen wurden. Trotz dieser Anpassungen konnten die Anlagen zeigen, dass sie jeweils über eine zur

Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation verfügen. Die Anlagen PSI und EPFL haben ihre Notfallübungen aufgrund der COVID-19-Pandemie mit Zustimmung des ENSI auf das Jahr 2021 verschoben.

Die Inspektionen betreffend die externen Notfallkommunikationsmittel wurden im Jahr 2020 wie geplant durchgeführt. Bei allen Inspektionen konnte die uneingeschränkte Verfügbarkeit der überprüften Mittel festgestellt werden. Ferner wurde in den Kernkraftwerken und ZZL durch die Auslösung der unangemeldeten Aufgebotsstests ausnahmslos die Verfügbarkeit des Werks-Notfallstabes innerhalb der zeitlichen Vorgaben gemäss Richtlinie ENSI-B11 bestätigt.

Für das Jahr 2021 ist zudem vorgesehen, die Einsatzbereitschaft des Externen Lagers und der Externen Notfallzentren der Kernkraftwerke zu inspizieren. Bei den Externen Notfallzentren handelt es sich um zusätzliche Räumlichkeiten ausserhalb des Anlagenareals, die dem Schutz des Personals dienen. Die Anforderungen sind in der Richtlinie ENSI-B12 beschrieben.

Bild 20: Notstromtest im Lager Reitnau.



ANHANG 1 – DOSIMETRIE- DATEN

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	470	593	1063	499	708	1207	375	938	1313	244	447	691	1573	2108	3681
> 1,0 - 2,0	31	33	64	16	17	33	41	109	150	37	47	84	124	191	315
> 2,0 - 5,0	15	22	37	9	2	11	59	118	177	29	44	73	116	188	304
> 5,0 - 10,0							7	28	35	1	1	2	9	32	41
Total Personen	516	648	1164	524	727	1251	482	1193	1675	311	539	850	1822	2519	4341
Mittel pro Person [mSv]	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,7	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,6	0,5

Tabelle A1: Anzahl beruflich strahlenexponiertes Personal in Kernkraftwerken aufgeschlüsselt nach Dosisbereich.

* 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.

Dosisbereich [mSv]	PSI			Hochschulen ¹	Total Forschung	ZZL			Total KKW*	Total Kernanlagen und Forschung
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP	EP+FP	
0,0 - 1,0	306	140	446	20	466	76	106	182	3681	4202
> 1,0 - 2,0						5		5	315	320
> 2,0 - 5,0				1	1				304	306
> 5,0 - 10,0									41	41
Total Personen	306	140	446	21	467	81	106	187	4341	4869
Mittel pro Person [mSv]	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,1	0,5	0,5

Tabelle A2: Anzahl beruflich strahlenexponiertes Personal in weiteren Kern- und Forschungsanlagen aufgeschlüsselt nach Dosisbereich.

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

¹ Hochschulen: EPF Lausanne und Universität Basel

Anlage	Haut			Extremitäten*		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigenpersonal	Fremdpersonal	Total	Eigenpersonal	Fremdpersonal	Total
KKB	516	648	1164	13	8	21
KKG	552	766	1318	7	6	13
KKL	482	1193	1675	6	29	35
KKM	70	106	176	2	0	2
PSI ¹	303	140	443	34	2	36
ZZL	81	105	186	0	0	0
Summe	2004	2958	4962	62	45	107

Tabelle A3: Verteilung der Anzahl Personen des Eigen- und Fremdpersonals von Haut- und Extremitätendosen [mSv] - KKB, PSI¹ und ZZL.

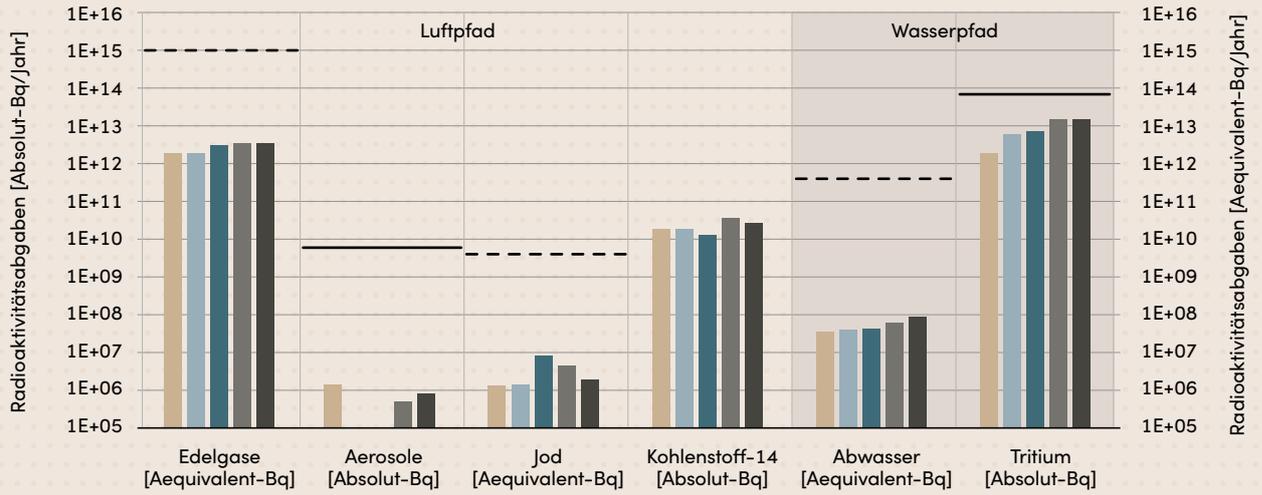
¹ Aufsichtsbereich des BAG mit einbezogen

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

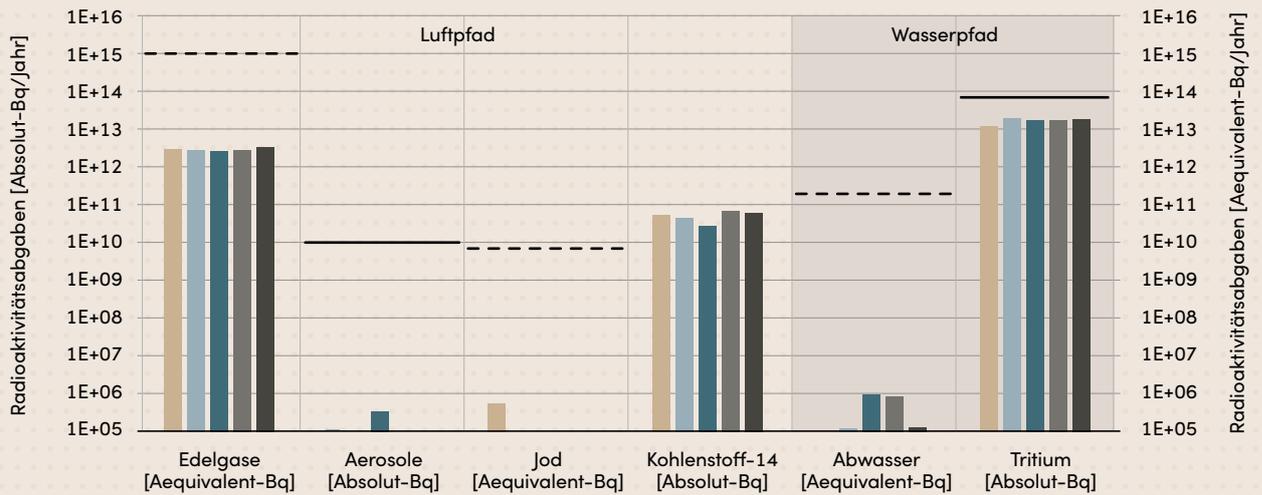
**ANHANG 2 –
EMISSIONS-
DATEN AUS
DEN KERN -
ANLAGEN**



**Radioaktivitätsabgaben
des KKB in 2020**

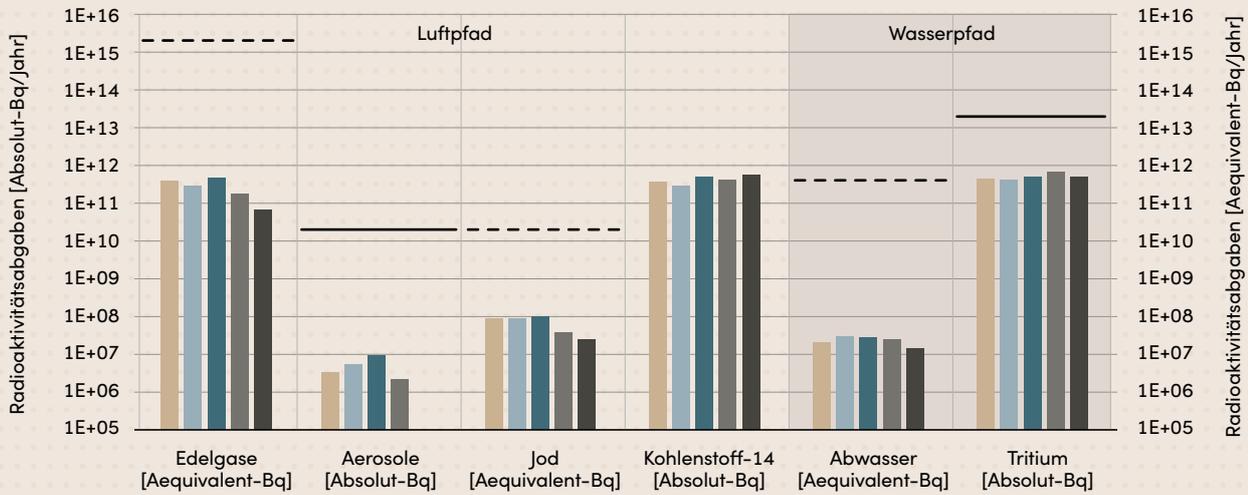


**Radioaktivitätsabgaben
des KKG in 2020**

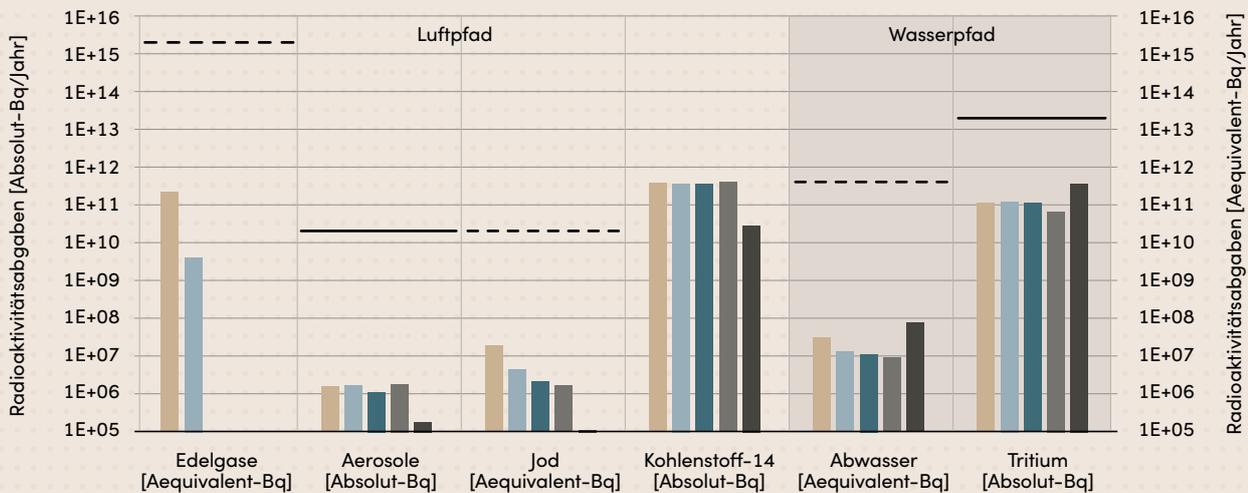




Radioaktivitätsabgaben des KKL in 2020



Radioaktivitätsabgaben des KKM in 2020

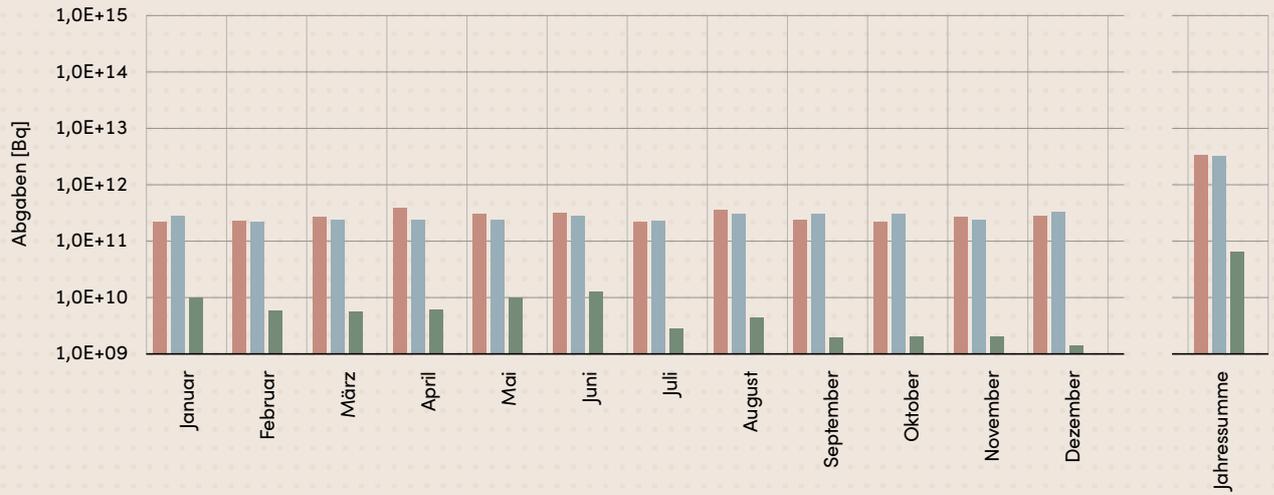


Darstellung A1: Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre und mit dem Abwasser in den letzten fünf Jahren (2016 bis 2020) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten.

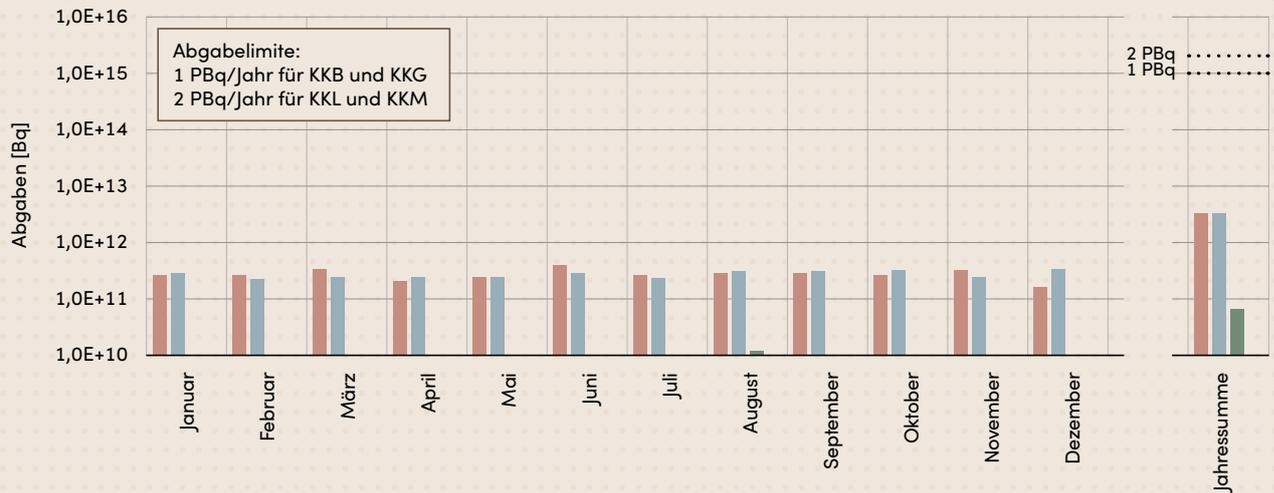
Angegeben ist für die jeweilige Nuklidgruppe und den Abgabepfad die Jahressumme der bei den einzelnen bilanzierenden Messungen durch die Kernkraftwerke ausgewiesenen Aktivitätsabgaben. Die Edelgasbilanzierung im KKB und im KKG basiert auf Beta-Totalmessungen. Für die Umrechnung in die für den Vergleich 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.

Monatliche Edelgasabgaben mit der Abluft aus den Kernkraftwerken und Jahressumme 2020

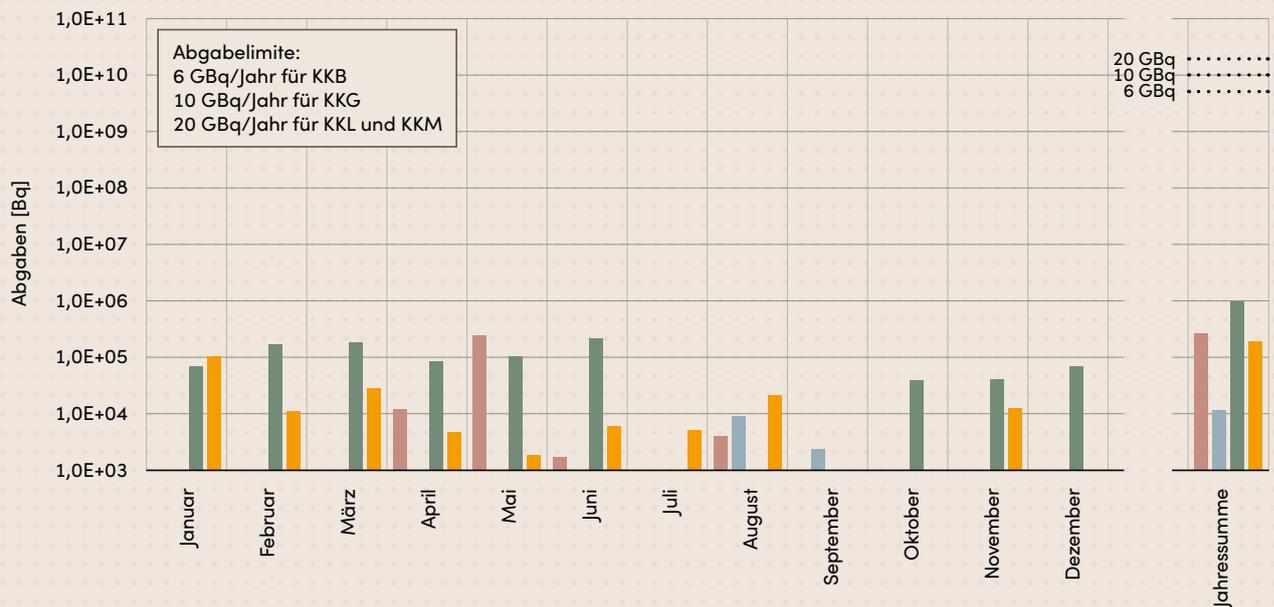
● KKB ● KKG ● KKL ● KKM



Monatliche Äquivalent-Edelgasabgaben mit der Abluft aus den Kernkraftwerken und Jahressumme 2020

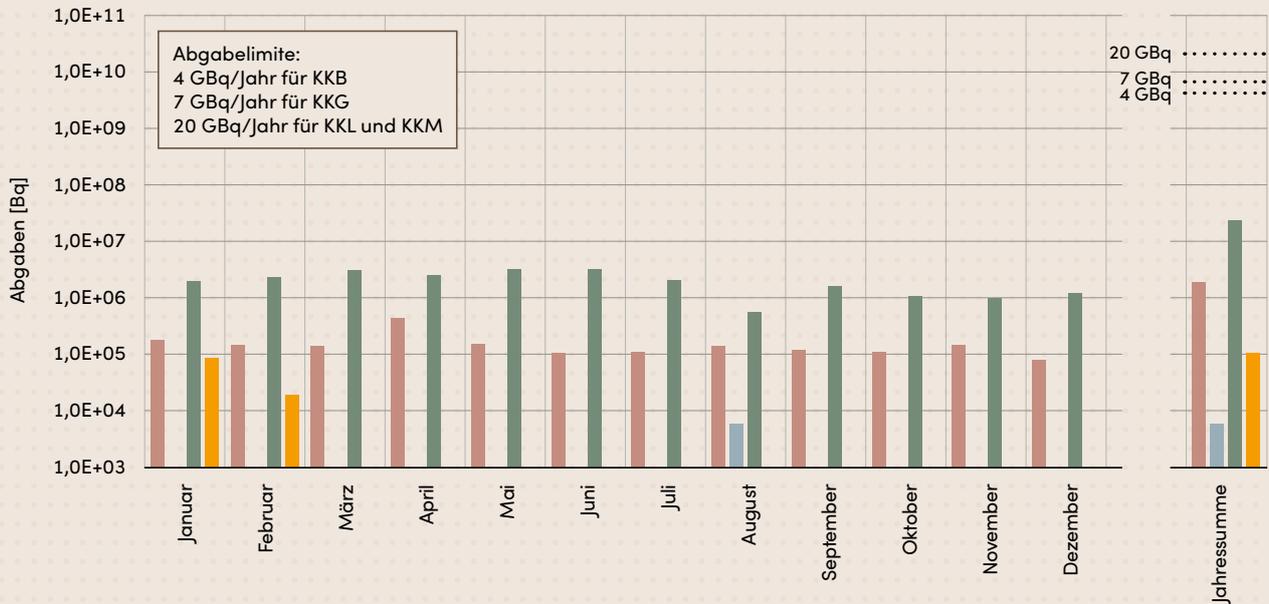


Monatliche Aerosolabgaben mit der Abluft aus den Kernkraftwerken und Jahressumme 2020

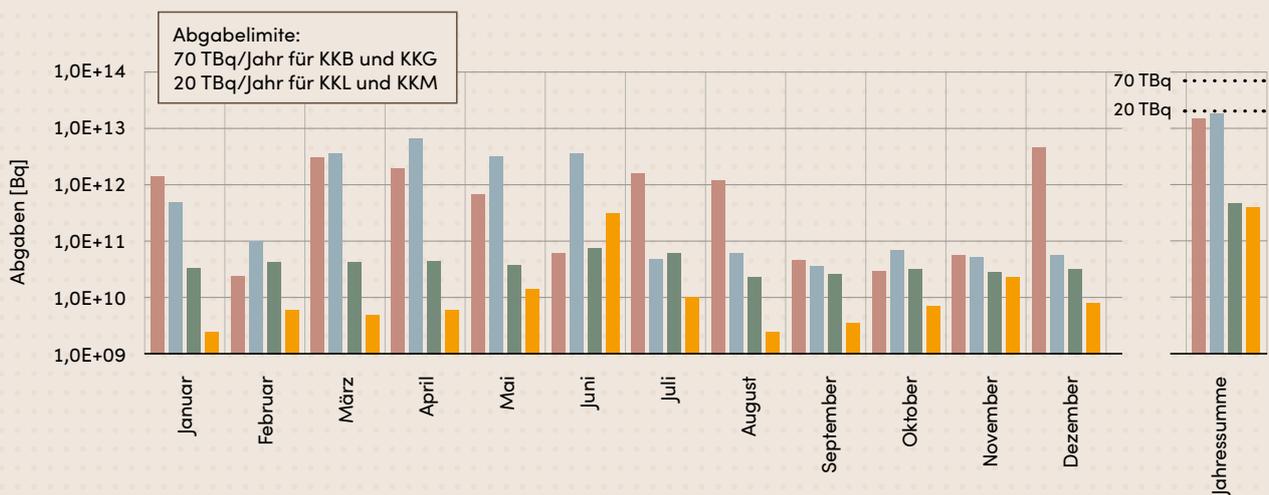


● KKB ● KKG ● KKL ● KKM

Monatliche Abgaben von ¹³¹I mit der Abluft aus den Kernkraftwerken und Jahressumme 2020

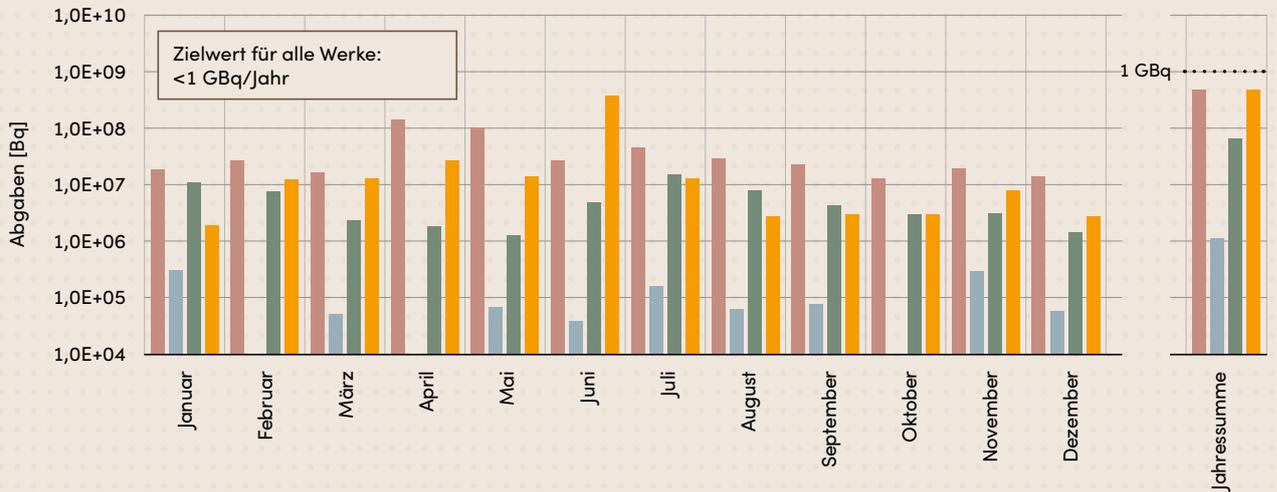


Monatliche Abgaben von Tritium mit dem Abwasser aus den Kernkraftwerken und Jahressumme 2020

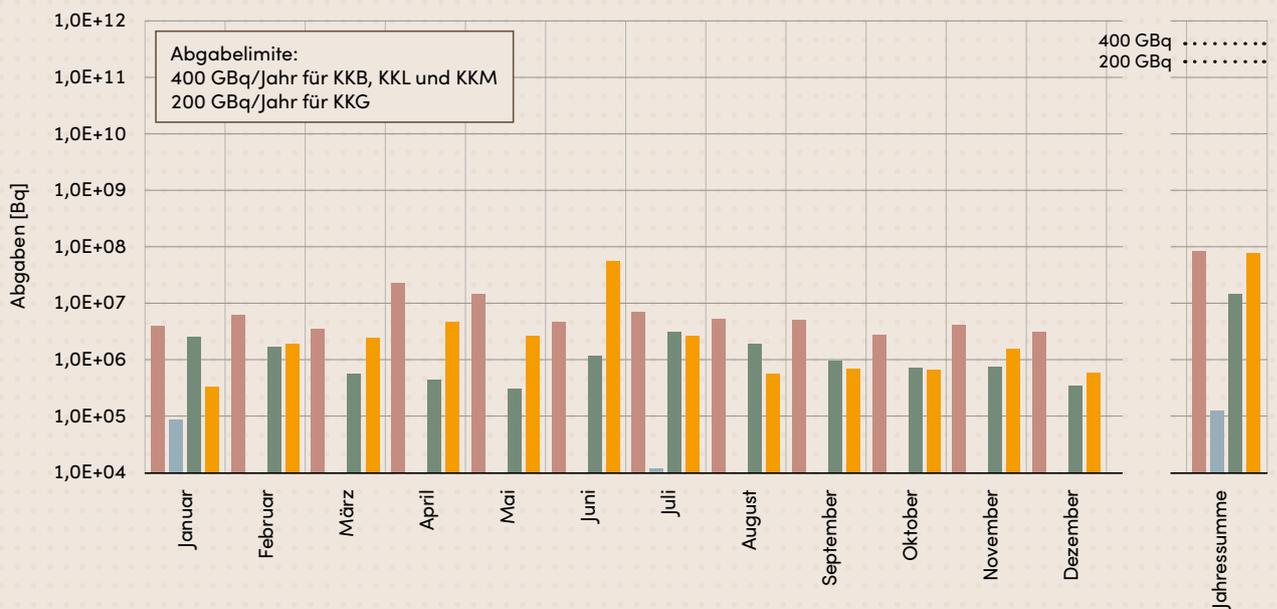


● KKB ● KKG ● KKL ● KKM

Monatliche Abgaben der übrigen Nuklide mit dem Abwasser aus den Kernkraftwerken und Jahressumme 2020



Monatliche Äquivalentabgaben der übrigen Nuklide mit dem Abwasser aus den Kernkraftwerken und Jahressumme 2020



Darstellung A2: Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre und das Abwasser im Jahr 2020 aufgeschlüsselt nach einzelnen Monaten.

Ort	Medium	Art der Abgaben ¹	Bilanzierte Abgaben ²				Berechnete Jahresdosis ³		
			Abgaben	Äquivalent-abgaben ^{1,2}	Limiten ⁴		Erw. mSv/Jahr	10j Kind mSv/Jahr	1j Kind mSv/Jahr
			Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Prozent der Limite			
KKB1 + KKB2	Abwasser 4020 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	4,7·10 ⁸	8,7·10 ⁷	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,5·10 ¹³		7·10 ¹³	21%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	3,3·10 ¹²	3,3·10 ¹²	1·10 ¹⁵	0,3%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	7,8·10 ⁵		6·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	1,9·10 ⁶	1,9·10 ⁶	4·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	2,6·10 ¹⁰				<0,001	<0,001	0,0012
Dosis total						<0,001	<0,001	0,0014	
KKG	Abwasser 6834 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,2·10 ⁶	1,1·10 ⁵	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,8·10 ¹³		7·10 ¹³	26%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	<3,2·10 ¹²	<3,3·10 ¹²	1·10 ¹⁵	<0,4%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,1·10 ⁴		1·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	6,0·10 ³	6,0·10 ³	7·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	5,8·10 ¹⁰				<0,001	<0,001	<0,001
Dosis total						<0,001	<0,001	<0,001	
KKL	Abwasser 12 308 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	6,3·10 ⁷	1,4·10 ⁷	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	4,8·10 ¹¹		2·10 ¹³	2,4%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	6,7·10 ¹⁰	6,6·10 ¹⁰	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,7·10 ⁴		2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	2,4·10 ⁷	2,4·10 ⁷	2·10 ¹⁰	0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	5,8·10 ¹¹				0,0022	0,0029	0,0049
Dosis total						0,0022	0,0029	0,0049	
KKM ⁵	Abwasser 4990 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	4,7·10 ⁸	7,3·10 ⁷	2,8·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
			3,1·10 ⁶	1,2·10 ¹⁰	<0,1%				
		Tritium	4,0·10 ¹¹	3,6·10 ¹¹	1,4·10 ¹³	2,6%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	-	-	1,4·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
			-	-	1,2·10 ¹²	<0,1%			
		Aerosole	1,8·10 ⁵		2·10 ¹⁰	<0,1%	0,0023	0,0023	0,0022
Iod: ¹³¹ I		1,1·10 ⁵	1,1·10 ⁵	2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001	
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	2,8·10 ¹⁰				<0,001	<0,001	<0,001		
Dosis total						0,0024	0,0024	0,0024	
ZZL	Abwasser 359 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	2,4·10 ⁸	6,6·10 ⁷	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	9,2·10 ⁹				<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	β-/γ-Aerosole	3,2·10 ⁵		1·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		α-Aerosole	1,1·10 ⁴		3·10 ⁷	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	7,3·10 ⁸		1·10 ¹²	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
Tritium	6,2·10 ⁹		1·10 ¹⁴	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001		
Dosis total						<0,001	<0,001	<0,001	

Tabelle A4: Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2020 für die Kernkraftwerke und das ZZL und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung.

	PSI Ost				
	Hochkamin	Saphir, Proteus	Forschungslabor	Betriebs Gebäude radioaktive Abfälle	Bundeszwichen- lager
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]					
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	-	-	-
Tritium	-	-	-	-	-
Abgaben über die Abluft^{1,2} [Bq/a]					
Edelgase und andere Gase	-	-	-	-	-
β-/γ-Aerosole, ohne Iod	-	-	-	-	1,9·10 ⁴
α-Aerosole	-	-	-	-	-
Iod: Summe aller Isotope	1,3·10 ⁶	-	-	-	-
Tritium als HTO	2,9·10 ⁹	-	-	8,2·10 ⁹	5,6·10 ⁹
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	-	-	-	8,8·10 ⁷	6,7·10 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 1080 m ³	Abluft	Äquivalent- abgaben
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]						
Nuklidgemisch ohne Tritium				6,0·10 ⁷		6,3·10 ⁶
Tritium				1,2·10 ¹⁰		
Abgaben über die Abluft^{1,2} [Bq/a]						
Edelgase und andere Gase	1,7·10 ¹⁴	2,2·10 ¹⁰	-		1,7·10 ¹⁴	7,0·10 ¹⁴
β-/γ-Aerosole, ohne Iod	1,9·10 ¹⁰	5,6·10 ⁶	1,3·10 ⁴		1,9·10 ¹⁰	-
α-Aerosole	-	-	-		-	-
Iod: Summe aller Isotope	7,2·10 ⁷	-	-		7,3·10 ⁷	4,4·10 ⁷
Tritium als HTO	1,8·10 ¹²	-	-		1,8·10 ¹²	-
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	-	-	-		9,5·10 ⁷	-
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:						
Erwachsene	0,0064	<0,00015	<0,00015	<0,00015		0,0064
Kind 10 Jahre	0,0064	<0,00015	<0,00015	<0,00015		0,0064
Kleinkinder	0,0064	<0,00015	<0,00015	<0,00015		0,0064
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert ⁴	4,3%	<0,1%	<0,1%	<0,1%		4,3%

Tabelle A5: Zusammenstellung der Abgaben des PSI im Jahr 2020 und der daraus berechneten Dosen für Einzelpersonen der Bevölkerung

Nuklid	Abgaben [Bq im Jahr]						
	β-/γ-Strahler	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
³ H		1,5·10 ¹³	1,8·10 ¹³	4,8·10 ¹¹	4,0·10 ¹¹	1,2·10 ¹⁰	9,2·10 ⁹
²² Na						1,3·10 ⁵	2,6·10 ⁶
²⁴ Na		3,3·10 ⁶					
³⁵ S						2,3·10 ⁷	
⁵¹ Cr		3,2·10 ⁵					
⁵⁴ Mn		1,3·10 ⁷		3,0·10 ⁶	1,4·10 ⁸	5,7·10 ⁴	6,2·10 ⁵
⁵⁷ Co						5,4·10 ³	
⁵⁸ Co		1,7·10 ⁷		9,5·10 ⁵	1,4·10 ⁷		1,4·10 ⁴
⁶⁰ Co		9,9·10 ⁷		5,9·10 ⁷	2,7·10 ⁸	4,9·10 ⁵	1,6·10 ⁷
⁶⁵ Zn		8,6·10 ⁴			4,0·10 ⁷		
⁶⁷ Ga						8,7·10 ⁴	
⁸⁹ Sr		7,0·10 ⁵			7,4·10 ⁶		
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y		1,0·10 ⁶			3,6·10 ⁵	1,9·10 ⁶	5,1·10 ⁵
⁹⁵ Nb		5,1·10 ⁴					
^{99m} Tc		5,9·10 ⁶	2,6·10 ⁵				
¹⁰³ Ru		4,7·10 ⁵					
^{110m} Ag		8,0·10 ⁶					
¹¹¹ In						4,7·10 ⁴	
¹²² Sb		1,4·10 ⁷					
¹²⁴ Sb		1,2·10 ⁸			1,4·10 ⁵		1,6·10 ⁵
¹²⁵ Sb		3,4·10 ⁷			6,1·10 ⁵		2,4·10 ⁶
^{123m} Te		2,2·10 ⁷	5,9·10 ⁵				
^{129m} Te		1,8·10 ⁷					
¹³² Te		2,7·10 ⁷					
¹³¹ I		5,0·10 ⁶					
¹³³ I		1,8·10 ⁵					
¹³⁴ Cs		1,6·10 ⁶				1,2·10 ⁴	1,4·10 ⁶
¹³⁷ Cs		7,2·10 ⁷			1,3·10 ⁶	9,7·10 ⁶	2,2·10 ⁸
¹⁴⁰ Ba		4,4·10 ⁵					
¹⁴⁰ La		4,6·10 ⁵					
¹⁴¹ Ce		5,7·10 ⁴					
¹⁴⁴ Ce		1,7·10 ⁵	2,5·10 ⁵				
¹⁵⁵ Tb						4,7·10 ⁴	
¹⁵⁶ Tb						4,0·10 ³	
¹⁶¹ Tb						2,3·10 ⁶	
¹⁶⁹ Yb						6,6·10 ³	
¹⁷² Lu						4,2·10 ⁴	
¹⁷³ Lu						5,4·10 ⁴	
¹⁷⁷ Lu						2,2·10 ⁷	
²⁰⁷ Bi						1,7·10 ⁴	
²³⁹ Np		2,0·10 ⁶					
α-Strahler	*	5,5·10 ⁴	2,6·10 ⁵	2,8·10 ⁴			*
^{234/238} U						1,4·10 ⁴	
^{239/240} Pu		1,8·10 ⁴					
²³⁸ Pu/ ²⁴¹ Am		8,8·10 ⁴					2,7·10 ³
²³⁹ Np							
²⁴² Cm		1,1·10 ⁴					
^{243/244} Cm		1,2·10 ⁵					

* Angabe umfasst für das KKB und ZZL das 4. Quartal 2019 bis und mit dem 3. Quartal 2020.

Tabelle A6: Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2020: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.

Nuklid β-/γ-Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
Gase, Edelgase						
Tritium	$7,4 \cdot 10^{11}$	$6,0 \cdot 10^{11}$	$4,9 \cdot 10^{11}$	$2,4 \cdot 10^{10}$	$1,8 \cdot 10^{12}$	$6,2 \cdot 10^9$
^{14}C (CO ₂)	$2,6 \cdot 10^{10}$	$5,8 \cdot 10^{10}$	$5,8 \cdot 10^{11}$	$2,8 \cdot 10^{10}$	$9,5 \cdot 10^7$	$7,3 \cdot 10^8$
^{11}C					$2,5 \cdot 10^{13}$	
^{13}N					$2,6 \cdot 10^{13}$	
^{15}O					$1,1 \cdot 10^{14}$	
^{18}F					$7,9 \cdot 10^{11}$	
^{24}Ne						
^{41}Ar			$2,0 \cdot 10^9$		$3,7 \cdot 10^{12}$	
^{85}Kr						
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	$1,2 \cdot 10^{11}$					
^{88}Kr	$2,0 \cdot 10^{11}$					
^{133}Xe	$1,6 \cdot 10^{12}$		$1,7 \cdot 10^{10}$			
^{135}Xe	$1,4 \cdot 10^{12}$		$3,4 \cdot 10^{10}$			
$^{135\text{m}}\text{Xe}$			$1,4 \cdot 10^{10}$			
EG-Aequiv.						
EG: β-total		$<3,2 \cdot 10^{12}$				
Andere						
Iod						
^{123}I					$8,2 \cdot 10^6$	
^{124}I					$6,0 \cdot 10^5$	
^{125}I					$6,3 \cdot 10^7$	
^{126}I					$6,0 \cdot 10^5$	
^{131}I	$1,9 \cdot 10^6$	$6,0 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^5$		
^{133}I	$9,5 \cdot 10^6$					

Tabelle A7: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Edelgase und Iod 2020: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.

Nuklid β-/γ-Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
⁷ Be					6,1·10 ⁵	
²⁴ Na					3,4·10 ⁸	
³⁹ Cl					1,4·10 ⁶	
⁵⁴ Mn				3,3·10 ⁴		
⁵⁷ Co		2,3·10 ³				
⁶⁰ Co	4,0·10 ³	8,8·10 ³		1,3·10 ⁵	1,1·10 ⁵	9,5·10 ³
⁷⁵ Se					4,0·10 ⁴	
⁷⁷ Br					5,7·10 ⁶	
^{80m} Br					3,8·10 ⁶	
⁸² Br					4,8·10 ⁸	
⁸⁹ Sr			1,4·10 ⁵			
⁹⁰ Sr						
¹⁰³ Ru	2,0·10 ⁵					
¹⁰⁶ Ru	5,8·10 ⁴					
¹²¹ Te					1,6·10 ⁵	
¹³⁷ Cs				1,7·10 ⁴		1,4·10 ⁴
¹⁴⁰ La			1,7·10 ⁴			
¹⁴¹ Ce						
¹⁴⁴ Ce						
¹⁷³ Lu					1,3·10 ⁵	
¹⁸¹ Re					4,6·10 ⁷	
¹⁸² Re					6,2·10 ⁸	
^{182m} Re					9,9·10 ⁶	
¹⁸³ Re					7,3·10 ⁶	
¹⁸² Os					1,8·10 ⁸	
¹⁸³ Os					1,9·10 ⁸	
^{183m} Os					5,6·10 ⁷	
¹⁸⁵ Os					1,3·10 ⁷	
¹⁸⁵ W					1,3·10 ⁸	
¹⁹¹ Os	5,2·10 ⁵					
¹⁹¹ Pt					9,1·10 ⁶	
¹⁹² Au					2,1·10 ⁸	
¹⁹³ Au					1,5·10 ⁸	
¹⁹⁴ Au					4,3·10 ⁶	
¹⁹² Hg					2,9·10 ⁹	
^{193m} Hg					1,2·10 ⁸	
¹⁹⁴ Hg					4,3·10 ⁶	
¹⁹⁵ Hg					1,3·10 ¹⁰	
^{195m} Hg					1,0·10 ⁸	
^{197m} Hg					1,1·10 ⁸	
²⁰³ Hg					6,8·10 ⁶	
Nicht spezifizierte						2,9·10 ⁵
α-Aerosole		4,4·10 ⁴	4,1·10 ³	1,0·10 ⁴		1,1·10 ⁴

Tabelle A8: Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Aerosole 2020: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.

Endnoten zu den Tabellen A4 bis A8

- ¹ Bei der **Art der Abgaben** beziehungsweise den Bilanzierten Abgaben ist Folgendes zu präzisieren:

Abwasser: Die Summe der Abwasserabgaben ist in der Spalte «Abgaben» angegeben. Für den Vergleich mit den Abgabelimiten werden die Werte mit einem Referenz-Immissionsgrenzwert für Gewässer ($IG_{Gw,ref}$ -Wert) von 10 Bq/l umgerechnet und als sogenannte Äquivalentabgaben angegeben:

$$Q_{Aeq} = \sum_i Q_i \frac{IG_{Gw,ref}}{IG_{Gw,i}}$$

Edelgase und Gase: Die Summe der Edelgas- bzw. Gasabgaben ist in der Spalte «Abgaben» angegeben. Für den Vergleich mit den Abgabelimiten werden die Werte mit einem Referenz-Immissionsgrenzwert für Luft ($IG_{Lf,ref}$ -Wert) von 2000 Bq/m³ umgerechnet und als sogenannte Äquivalentabgaben angegeben:

$$Q_{Aeq} = \sum_i Q_i \frac{IG_{Lf,ref}}{IG_{Lf,i}}$$

Iod: Bei den Kernkraftwerken ist die Abgabe von ¹³¹I limitiert; somit ist bei den bilanzierten Abgaben nur dieses Iod-Isotop angegeben. Beim PSI ist die Abgabe für die einzelnen Abgabestellen und die Gesamtanlage als Summe der Aktivität der gemessenen Iod-Nuklide angegeben. Für die Gesamtabgabe des PSI wird ein ¹³¹Iod-Äquivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben.

Für die Berechnung der Jahresdosis werden sowohl für die Kernkraftwerke als auch für das PSI immer sämtliche verfügbaren Iod-Messungen verwendet.

- 2 Abgaben kleiner als 1000 Bq werden in den Tabellen nicht aufgeführt.
- 3 Die **Jahresdosis** wird für fiktive Personen konservativ abgeschätzt, indem angenommen wird, dass sie 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 werden nicht angegeben.
- 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 ZZL unter 0,05 mSv pro Jahr bleibt. Für das PSI sind die Abgaben gemäss der Bewilligung Abgabe radioaktiver Stoffe 6/2018 direkt über den quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0,15 mSv pro Jahr limitiert.
- 5 **KKM:** Bis zum 14. September 2020 war im KKM das Abgabereglement ENSI 11/2288 Rev. 1 gültig. Ab dem 15. September 2020 ist das Abgabereglement ENSI 11/2288 Rev. 2 gültig. Für die Abgabelimiten gilt die Pro rata temporis-Regel, das heisst die Abgabelimiten werden mit dem zeitlichen Anteil der Gültigkeit der Abgabereglemente verrechnet.

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.

Herausgeber

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI

CH-5201 Brugg

Telefon +41 (0)56 460 84 00

info@ensi.ch

www.ensi.ch



ENSI-AN-11075
ISSN 1661-2914

ENSI, CH-5201 Brugg, Industriestrasse 19, Telefon +41 (0)56 460 84 00, www.ensi.ch