

STRAHLENSCHUTZ- BERICHT 2023

über den Schutz von Mensch
und Umwelt in und um
die Schweizer Kernanlagen



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Strahlenschutzbericht 2023

**über den Schutz von Mensch und Umwelt
in und um die Schweizer Kernanlagen**

Rapport sur la radioprotection 2023

**sur la protection de l'homme et de
l'environnement à l'intérieur et aux alentours
des installations nucléaires suisses**

Rapporto di radioprotezione 2023

**sulla protezione dell'uomo e dell'ambiente negli
impianti nucleari svizzeri e nelle loro vicinanze**

Radiological Protection Report 2023

**on the protection of man and the environment
in and around Swiss nuclear installations**

Inhalt

Vorwort	4	Strahlenschutz in den Kernanlagen	18
<hr/>			
Préface	4	1. Grundlagen anlageninterner Strahlenschutz	20
Prefazione	6	1.1 Allgemeines	20
Foreword	6	1.2 Grundlagen der Dosimetrie	21
		1.3 Dosimetrierung von Personal	22
		1.4 Ausbildung im Strahlenschutz	23
		1.5 Grundlagen für den Strahlenschutzbericht	24
		2. Kernkraftwerke	26
		2.1 Kernkraftwerk Beznau, Block 1 und 2	26
		2.2 Kernkraftwerk Gösgen	36
		2.3 Kernkraftwerk Leibstadt	44
		2.4 Kernkraftwerk Mühleberg	52
		3. Weitere Kernanlagen	58
		3.1 Paul Scherrer Institut	59
		3.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen	65
		3.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne	67
Aeroradiometrie in der Schweiz	8		
<hr/>			

Umgebungsüberwachung und Schutz der Bevölkerung: Emissionen und Immissionen 68

4. Grundlagen Emissions- und Immissionsüberwachung 70

5. Emissionen aus den Kernanlagen 72

6. Immissionen in der Umgebung der Kernanlagen 76

6.1 Ortsdosis und Ortsdosis-
leistung in der Umgebung
der Kernanlagen 76

6.2 Messnetz zur automatischen
Dosisleistungsüberwachung
in der Umgebung der KKW
(MADUK) 77

6.3 In-situ-gammaspektro-
metrische Messungen in der
Umgebung der Kernanlagen 80

6.4 Immissionsmessungen
im Wasserpfad 82

6.5 Aeroradiometrische
Messungen und Mess-
resultate 2023 82

Anhang 1 – Dosimetriedaten 104

Anhang 2 – Emissionsdaten aus den Kernanlagen 106

Notfallschutz 86

7. Grundlagen Notfallschutz 88

7.1 Notfallschutz in der Schweiz 90

7.2 Notfallschutz international 91

8. Notfallschutz im ENSI 94

8.1 Aufgaben des ENSI 94

8.2 Die ENSI-Notfallorganisation 94

9. Notfallschutz-Inspektionen 102

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser

Bei der Überwachung der Emissionen der Schweizer Kernanlagen führt das ENSI ein Programm mit Kontrollen, Inspektionen und Messungen durch. Im Jahr 2023 hielten alle schweizerischen Kernanlagen die Limiten für die Abgabe radioaktiver Stoffe an die Umwelt mit grossen Margen ein. Aus dem Betrieb der Kernanlagen resultierten im Jahresmittel mögliche Dosen für die Bevölkerung, die kleiner als 0,01 Millisievert sind (unter «Übrige» in der nachfolgenden Grafik subsumiert dargestellt). Das ENSI bestätigt ebenfalls, dass im Berichtsjahr alle gesetzlichen Anforderungen an die Strahlenexposition des Kernanlagen-Personals eingehalten wurden.

Die Daten der **MADUK**-Sonden, welche die Umweltradioaktivität in der Umgebung der Kernkraftwerke messen sowie die monatlichen **Emissionen** der Kernkraftwerke sind auf der Website des ENSI einsehbar.

Im Jahr 2023 führte das ENSI zahlreiche Inspektionen in Kernanlagen durch, um deren ordnungsgemässen Betrieb aus Sicht des Strahlenschutzes und der Notfallbereitschaft zu überprüfen. Bei Instandhaltungsarbeiten mit signifikanten Dosen für das Personal, bei den geplanten Jahresrevisionen der Kernkraftwerke und zum Brennelementwechsel sind ENSI-Inspektoren regelmässig anwesend, um sich zu vergewissern, dass die Arbeiten nach den Regeln der Technik und unter Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften durchgeführt werden.

Bei den Kernanlagen im Rückbau sind insbesondere die Aufsichtstätigkeiten betreffend die Etablierung von Prozessen und Pfaden für die Entsorgung und den operationellen Strahlenschutz bei dosisintensiven Arbeiten hervorzuheben. Nach Abschluss des Abtransports der Brennelemente in das zentrale Zwischenlager der Zwiilag in Würenlingen bestätigte das ENSI im September 2023 aufgrund der bereits erteilten Freigaben den Beginn der Stilllegungsphase 2 für das Kernkraftwerk Mühleberg.

Préface

Chères lectrices, chers lecteurs

Pour la surveillance des émissions des installations nucléaires suisses, l'IFSN exécute un programme de contrôles, d'inspections et de mesures. En 2023, toutes les installations nucléaires suisses ont respecté, avec des marges importantes, les limites de rejet de substances radioactives dans l'environnement. L'exploitation des installations nucléaires a généré en moyenne annuelle une dose potentielle pour la population inférieure à 0,01 millisievert (incluse sous «Autres» dans le graphique ci-dessous). L'IFSN confirme également que toutes les exigences légales relatives à l'exposition aux radiations du personnel des installations nucléaires ont été respectées au cours de l'année sous revue.

Les données des sondes **MADUK**, qui mesurent la radioactivité environnementale dans les alentours des centrales nucléaires, ainsi que les **émissions** mensuelles des centrales nucléaires, sont publiées sur le site Internet de l'IFSN.

En 2023, l'IFSN a effectué des nombreuses inspections dans les installations nucléaires afin de vérifier la radioprotection sur place et la préparation aux situations d'urgence. Lors de travaux impliquant des doses significatives pour le personnel, lors des révisions annuelles planifiées et lors du renouvellement du combustible, des inspecteurs de l'IFSN sont régulièrement présents afin de s'assurer que les travaux sont effectués selon les règles de la technique et dans le respect des prescriptions légales.

En ce qui concerne les installations nucléaires en cours de démantèlement, il faut souligner surtout les activités de surveillance concernant l'établissement de processus et de voies pour l'élimination des déchets, ainsi que la radioprotection opérationnelle lors de travaux à fortes doses. Après l'achèvement du transport des éléments combustibles vers le centre de stockage intermédiaire Zwiilag à Würenlingen, l'IFSN a confirmé en septembre 2023, sur la base des permis déjà accordés, le début de la phase 2 de désaffectation pour la centrale nucléaire de Mühleberg.



Rosa Sardella

Im Berichtsjahr entwickelte das ENSI die digitale Arbeitsoberfläche für die eigene Notfallorganisation weiter. An der Gesamtnotfallübung des Jahres 2024 wird die neue Oberfläche einsatzbereit sein und so die zeitliche und fachkompetente Beratung der Notfallschutzpartner unterstützen.

Neben der laufenden Aufsicht konzentrierte sich das ENSI im Jahr 2023 auf Entwicklungen im Regelwerk sowie auf die Umsetzung des Verbesserungspotentials, welches die Internationale Atomenergie-Agentur IAEA bei der internationalen Überprüfungsmission in der Schweiz im Jahr 2021 identifizierte. In diesem Zusammenhang möchte ich die Erarbeitung von Anforderungen an die Dosisbegrenzung und an den Zutritt in die kontrollierte Zone für beruflich strahlenexponierte Personen im Alter zwischen 16 und 18 Jahren sowie an die Informationspflicht gegenüber schwangere oder stillenden Frauen speziell erwähnen. Sie wurden mit dem Bundesamt für Gesundheit und Suva abgestimmt und stehen nun im Einklang mit dem Regelwerk der IAEA. Per Ende des Berichtsjahres leitete das ENSI die externe Anhörung des entsprechenden Entwurfs der Richtlinie ENSI-B09 in die Wege, welche die diesbezüglichen Anforderungen beinhaltet. Auch in der externen Anhörung befindet sich zudem die Neuauflage der Richtlinie ENSI-G14 für die Berechnung der Dosen in der Umgebung aufgrund von tatsächlichen oder postulierten Abgaben aus einer Kernanlage. Die Neuauflage erlaubt uns, die ENSI-G14 auf den aktuellen Stand der Technik zu bringen.

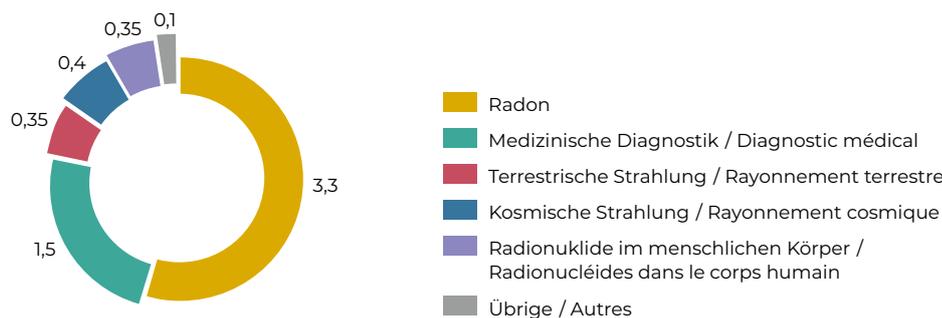
Diese und weitere Themen sind im Strahlenschutzbericht 2023 zu finden, ich wünsche Ihnen eine angenehme Lektüre!

En 2023 l'IFSN a poursuivi le développement de l'interface de travail numérique pour sa propre organisation d'urgence. La nouvelle interface sera opérationnelle lors de l'exercice général d'urgence de 2024, ce qui permettra de soutenir les partenaires dans la protection d'urgence en leur assurant un conseil rapide et compétent.

Parallèlement à la surveillance courante, l'IFSN a travaillé sur la réglementation, ainsi que sur la mise en œuvre du potentiel d'amélioration identifié en 2021 par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) lors de sa mission internationale d'examen en Suisse. En particulier j'aimerais mentionner l'élaboration d'exigences relatives à la limitation des doses et à l'accès à la zone contrôlée pour les personnes professionnellement exposées aux radiations âgées de 16 à 18 ans, ainsi que les obligations en lien avec l'information obligatoire des femmes enceintes ou allaitantes. Ces exigences, élaboré en collaboration avec l'Office fédéral de la santé publique et la Suva, figurent dans le projet de la directive ENSI-B09 tel qu'il a été envoyé en consultation publique et correspondent désormais aux normes de l'AIEA. La nouvelle version de la directive ENSI-G14 pour le calcul de doses dans l'environnement sur la base des rejets réels ou postulés d'une installation nucléaire se trouve également en consultation publique. Ainsi, la directive ENSI-G14 sera à jour avec l'état actuel de la technique.

Ces sujets et bien d'autres encore sont abordés dans le Rapport sur la radioprotection 2023. Je vous souhaite une agréable lecture !

Mittlere Jahresdosis / Dose annuelle moyenne [mSv]



Prefazione

Cari lettori e care lettrici

Nell'ambito del monitoraggio delle emissioni dagli impianti nucleari svizzeri l'IFSN conduce un programma continuo di controlli, ispezioni e misurazioni, concludendo che nel 2023 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 conferma che tutte le prescrizioni legali per l'esposizione alle radiazioni del personale negli impianti nucleari sono state rispettate.

I dati delle sonde **MADUK**, che misurano la radioattività ambientale all'intorno delle centrali nucleari, sono pubblicati sul sito internet dell'IFSN così come mensilmente le **emissioni** delle stesse centrali.

Nel 2023 sono state condotte numerose ispezioni sulle installazioni nucleari per accertarsi del loro corretto funzionamento dal punto di vista della radioprotezione e preparazione alle emergenze. Durante i lavori di manutenzione con dosi rilevanti per il personale, e specialmente in corrispondenza degli arresti programmati delle centrali per il rinnovo del combustibile, la presenza degli ispettori dell'IFSN è assidua per potersi assicurare che le operazioni vengano condotte secondo le regole dell'arte nel rispetto delle esigenze di legge.

Per ciò che concerne gli impianti nucleari in smantellamento sono da menzionare soprattutto le attività dell'IFSN legate al concretizzare i processi e percorsi di smaltimento per materiali radioattivi e alla radioprotezione negli impianti in relazione a attività con dosi significative. Conclusosi il trasporto verso il deposito intermedio centrale Zwiilag a Würenlingen degli ultimi elementi di combustibile, l'IFSN ha potuto confermare, dopo aver rilasciato le autorizzazioni necessarie, che la centrale nucleare di Mühleberg a settembre 2023 è entrata nella fase 2 dello smantellamento.

Foreword

Dear Readers,

In monitoring emissions from Swiss nuclear installations, ENSI implements a program of checks, inspections, and measurements. In 2023, all nuclear installations in Switzerland adhered to the limits for the release of radioactive substances into the environment by quite considerable margins. The operation of nuclear installations results in possible annual average doses for the population that are less than 0,01 mSv (included in "Others" in the graphic below). ENSI also confirms that all legal requirements regarding the radiation exposure of personnel in nuclear installations were met in the year under review.

Data from the **MADUK** probes, which measure environmental radioactivity in the vicinity of nuclear power plants, and the monthly **emissions** from the nuclear power plants are available to the public on the ENSI website.

ENSI carried out numerous inspections in nuclear installations during 2023 to ensure their correct operation from the point of view of radiation protection and emergency preparedness. ENSI inspectors are regularly present for maintenance work involving significant doses for personnel and for planned nuclear power plant outages and refuellings, thereby ensuring that the work is carried out in accordance with best practice and in compliance with legal requirements.

In the case of nuclear installations undergoing dismantling, this particularly concerns regulatory activities relating to the establishment of processes and pathways for radioactive waste disposal and operational radiation protection during high-dose work. Following the completion of the transport of the fuel elements to the Zwiilag Central Interim Storage Facility in Würenlingen, ENSI confirmed the start of decommissioning phase 2 for the Mühleberg nuclear power plant in September 2023 based on the permits already granted.

During the reporting year, ENSI further developed the digital work interface for its own internal emer-



Rosa Sardella

Con l'obiettivo di fornire una puntuale e autorevole consulenza ai partner nell'ambito della protezione della popolazione l'IFSN ha conseguito buoni risultati nello sviluppo di una piattaforma digitale per la propria organizzazione di emergenza, che potrà quindi divenire operativa in vista della prossima esercitazione di emergenza generale nel 2024.

Al di là della sorveglianza in continua l'IFSN si è concentrato nel corso del 2023 sulla regolamentazione di sicurezza e sulla ricerca di soluzioni per i miglioramenti identificati durante la missione di verifica condotta in Svizzera nel 2021 dall'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (AIEA). In questo ambito desidero evidenziare la formulazione di specifiche per i limiti di dose e per le modalità di accesso alle zone radiologicamente controllate per persone esposte professionalmente alle radiazioni di età compresa fra i 16 e 18 anni, e anche per l'obbligo di informare dettagliatamente donne incinte o che allattano sui rischi dovuti alle radiazioni. Tali specifiche, migliorate assieme all'Ufficio federale della sanità pubblica e alla Suva, compaiono nel draft della direttiva ENSI-B09 così come inviato in consultazione pubblica e corrispondono ora alle norme della IAEA. Anche in fase di consultazione pubblica si trova il draft della nuova direttiva ENSI-G14 relativa al calcolo delle dosi per la popolazione dovute a rilasci reali o postulati dagli impianti nucleari. Ciò ci permette di adeguare questa importante serie di specifiche dell'IFSN al più moderno stato dell'arte sul tema.

Questi e altri temi potrete trovare nel presente Rapporto di radioprotezione 2023, buona lettura!

gency response organisation. The new interface will be ready for use for the general emergency exercise in 2024, thus supporting emergency preparedness partners with timely and expert advice.

In 2023, in addition to its ongoing oversight duties, ENSI focused on developments in the regulatory framework and addressed the potential areas for improvement that were identified by the International Atomic Energy Agency (IAEA) during the international review mission in Switzerland in 2021. In this context, I would like to mention the development of requirements in respect of dose limitation and access to controlled areas by occupationally exposed persons aged between 16 and 18 and concerning the obligation to inform pregnant or breastfeeding women. They have been agreed with the Federal Office of Public Health and Suva and are now compliant with the IAEA regulatory framework. At the end of the reporting year, ENSI initiated the public consultation on the corresponding draft of the Guideline ENSI-B09, which contains the requirements described. In the meanwhile, public consultation has also started for the revision of Guideline ENSI-G14 for the calculation of doses in the environment based on actual or postulated releases from a nuclear installation. The new edition means we can bring ENSI-G14 up to date to the latest state of the art on the subject.

These and other topics are included in the Radiological Protection Report 2023. Enjoy your reading!

Dose media annuale / Average annual dose [mSv]



Aeroradiometrie in der Schweiz

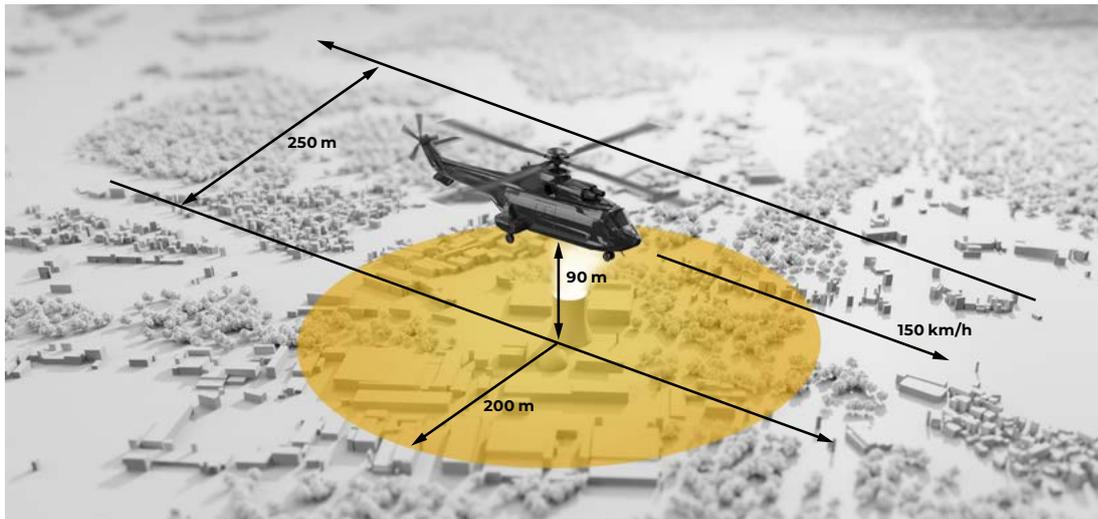
Mit der Aeroradiometrie werden gammaspektrometrische Messungen aus der Luft bezeichnet, mit denen Rückschlüsse auf die Radioaktivitätsverteilung am Boden möglich sind. Die Methodik stammt aus der geophysikalischen Exploration und wurde für die Bedürfnisse im Strahlen- und Notfallschutz weiterentwickelt. Das Messsystem besteht üblicherweise aus einem grossvolumigen Natriumiodid-Detektor, einem Spektrometer, GPS-Empfänger, Höhenradar, Luftdruck- und Lufttemperaturfühler und Datenerfassungs- und Datenverarbeitungseinheit. Jede Sekunde wird ein Energiespektrum der Gammastrahlung zusammen mit Position, Höhe über Grund, Temperatur und Druck aufgezeichnet. In der Schweiz wird die Aeroradiometrie als Messmittel für den Notfallschutz und die Armee mit einem Armeehelikopter eingesetzt. Das Bedienpersonal kann die Messungen an mehreren Bildschirmen mit Informationen zu den Flugparametern und den Messergebnissen mitverfolgen (Bild 1).

Bei den routinemässigen Messungen in der Umgebung der Kernanlagen werden die Gebiete in parallelen Messlinien im Abstand von 250 m, bei einer Flughöhe von 90 m (300 Fuss) und einer Geschwindigkeit von 150 km/h gemessen (Darstellung 1). Rund 75% des gemessenen Signals stammt bei diesen Flugparametern von einer Fläche mit dem Radius von ca. 200 m.

In der Schweiz startete die Geschichte der Aeroradiometrie mit einem Projekt zur geologischen Kartierung des Zentralmassivs im Auftrag der Schweizerischen Geophysikalischen Kommission. Im Rahmen einer Doktorarbeit am Institut für Geophysik der ETH Zürich in der Forschungsgruppe von Prof. L. Rybach wurde das Projekt 1985 initiiert und ein kommerzielles Messsystem beschafft. Innerhalb des Projektes wurden die Kalibration, die Messmethodik und die Auswertungsmethodik entwickelt und die aeroradiometrischen Messungen mit kommerziellen Helikopterfirmen in den Jahren 1986 bis 1989 durchgeführt.



Bild 1:
Bedienkonsole
des schweizerischen
Aeroradiometrie-
systems. 1) Bildschirme
der Benutzer-
rechner; 2) gemein-
samer Bild-
schirm mit
Spiegelung ins
Cockpit; 3) Bedienleiste
mit Schaltern
für Strom-
versorgung,
Beleuchtung
und Kommu-
nikation sowie
Schnittstellen
für den Daten-
transfer. Foto:
Butterweck
et al., 2024



**Darstellung 1:
Flugparameter
bei der Aero-
radiometrie.**

Im Nachgang zum Kernkraftwerkunfall in Tschernobyl wurde die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), das heutige ENSI, auf die Aeroradiometrie als Messsystem aufmerksam, da Prof. L. Rybach Mitglied der damaligen Eidgenössischen Kommission für die Sicherheit der Kernanlagen (KSA) war. Die HSK beauftragte das Institut für Geophysik in der Folge für fünf Jahre mit jährlichen Messflügen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen. Die ersten Messflüge erfolgten 1989. Neben den vier Kernkraftwerken (KKW) Beznau (KKB), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) und Mühleberg (KKM) wurden auch die Einrichtungen des Paul Scherrer Instituts (PSI), des Bundeszwischenlagers (BZL) und der Zwischenlager Würenlingen AG (ZWILAG) überflogen. Im Rahmen dieser jährlichen Messflüge wurden auch Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Bundesamtes für Gesundheit BAG und der Nationalen Alarmzentrale (NAZ) am Messgerät und in der Auswertung ausgebildet, um das Messsystem im Ereignisfall in der Schweiz einsetzen zu können. 1992 wurde die Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR) als Arbeitsgruppe der Kommission für ABC-Schutz gegründet. Diese Fachgruppe übernahm in der Folge die Koordination zwischen den involvierten Stellen, die Planung der jährlichen Messflüge, die Sicherstellung der Ausbildung und die Berichterstattung über die Ergebnisse der Messflüge.

In den Jahren 1992 und 1993 wurde das Messsystem im Auftrag der HSK komplett erneuert und die Flugwegaufzeichnung von Flugwegkamera

auf GPS umgestellt. 1994 wurde das Messsystem offiziell in die Einsatzorganisation Radioaktivität des Bundes integriert. Die NAZ übernahm das Messsystem und den Einsatz des Messsystems sowie die Organisation der jährlichen Messübungen, die auch der Ausbildung des Bedienpersonals und der Piloten dienen. Das Messsystem wurde in den Super-Puma-Helikopter der Schweizer Luftwaffe integriert und die Messflüge erfolgten in der Folge ausschliesslich mit der Armee. Ab 1994 überflog die Armee die Umgebungen der Schweizer Kernanlagen im Zweijahresrhythmus. Neben den Kernanlagen überflogen sie weitere radiologisch interessante Gebiete, übten die Suche nach radioaktiven Quellen und führten kombinierte Einsätze mit Einsatzkräften der Kantone durch.

Ab 1997 wurde die Aeroradiometrie im Rahmen einer weiteren Doktorarbeit am Institut für Geophysik der ETH Zürich weiterentwickelt. Dabei wurde eine Software zur Online-Auswertung und Kartierung implementiert und während den Messflügen erfolgreich getestet. Zudem verbesserte die Doktorarbeit die Positionierung mittels Differential-GPS und führte geographische Informationssysteme (GIS) zur Analyse und Darstellung der Messdaten ein. Mit der neu implementierten Software liess sich auch die Flugvorbereitung mit dem Erzeugen der Messlinien optimieren.

Ab dem Jahr 2001 übernahm das PSI den Unterhalt und den Support des Messsystems und die wissenschaftliche Berichterstattung über die

Messflüge. Das PSI erneuerte in den Jahren 2003 bis 2005 die elektronischen Komponenten des Messsystems und integrierte die Online-Auswertungs- und Kartierungssoftware ins Messsystem. Entsprechend konnte das Bedienpersonal in der Folge bereits während des Fluges die Ergebnisse der Messungen verfolgen. Dies erleichterte insbesondere die Suche nach radioaktiven Quellen.

Nach mehreren Jahren der Evaluation, Integration in den Helikopter und Vergleichsmessungen mit dem bisherigen Messsystem wurden 2018 neue kommerzielle Messsysteme operationalisiert. Die Armee beschaffte insgesamt vier Systeme, wobei je zwei für die zivilen (NAZ) und militärischen (Kompetenzzentrum ABC-KAMIR der Schweizer Armee) Aufgaben vorgesehen sind. Wartung und Support der Systeme werden in Zusammenarbeit mit den Lieferanten sichergestellt. Darin enthalten ist auch die Mess- und Auswertesoftware für den Einsatz. Davon unabhängig pflegt das PSI eine Software für die wissenschaftliche Auswertung und die Weiterentwicklungen in der Datenauswertung.

Messergebnisse in der Umgebung der Kernanlagen seit 1989

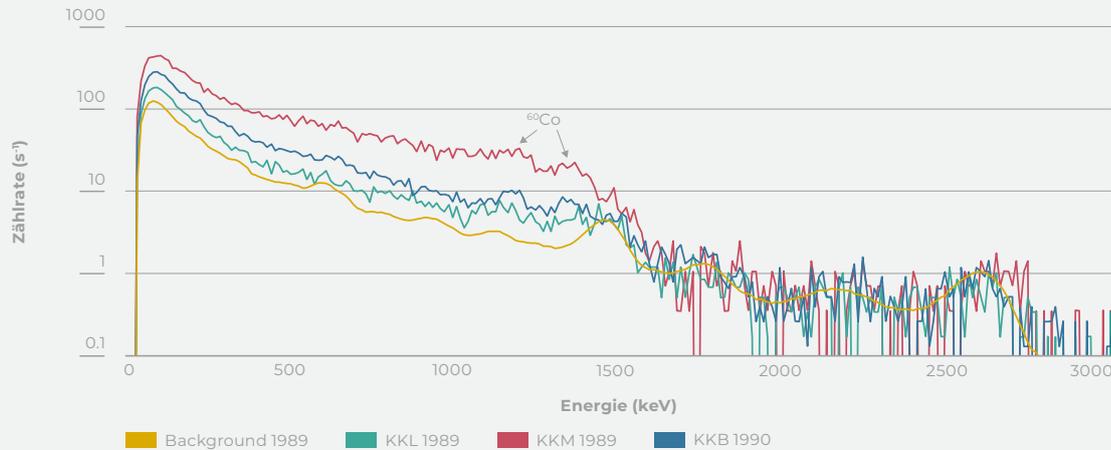
Inzwischen liegen in der Umgebung der Kernanlagen Messungen über mehr als 30 Jahre vor, deren Ergebnisse in jährlichen Berichten publiziert wurden. Zu Beginn verfasste die Forschungsgruppe Geothermie und Radiometrie des Instituts für Geophysik die Berichte, ab 2001 die Abteilung Strahlenschutz des PSI. Alle Berichte stehen auf der Webseite der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR) unter <https://far.ensi.ch> zur Verfügung.

Die ersten Messflüge in der Umgebung der KKW fanden jeweils während der Jahresrevision statt. Entsprechend wurde bei den Siedewasserreaktoren des KKL und KKM keine Strahlung des Aktivierungsprodukts ^{16}N registriert. Dieses gelangt bei den Siedewasserreaktoren mit dem Frischdampf ins Maschinenhaus, das im Verhältnis zum Reaktorgebäude nach oben weniger abgeschirmt ist. In den ersten Jahren konnte mit Ausnahme des KKG bei jedem KKW eine Direktstrahlung gemessen werden. Dabei handelte es sich jeweils um das Radionuklid ^{60}Co (Darstellung 2), ein Aktivierungsprodukt im Stahl. Ab 1994 konnte auch

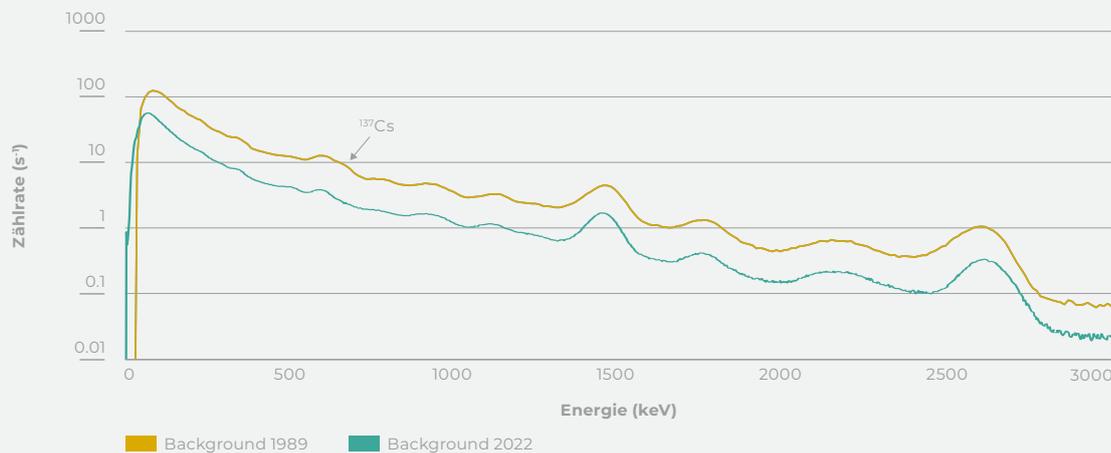
beim KKB keine Direktstrahlung der Anlage mehr nachgewiesen werden, mit Ausnahme des Jahres 2004. Während der Jahresrevision von Block 1 wurde in jenem Jahr ^{58}Co anhand der Gammalinie bei 810 Kiloelektronenvolt (keV) detektiert. In den Jahren, in denen die Siedewasserreaktoren des KKL und KKM bei den jährlichen Messflügen in Betrieb waren, konnte die Strahlung des Aktivierungsprodukts ^{16}N detektiert werden. Ausserhalb der Anlagen konnten keine Auswirkungen aus den bewilligten, betrieblichen Abgaben festgestellt werden. In den Messungen der ersten Jahre lässt sich aber insbesondere in der Region KKB, KKL, PSI und ZWILAG ein schwaches Signal von ^{137}Cs aus dem Tschernobyl-Fallout aus dem Jahre 1986 erkennen (Darstellung 3, kleiner Buckel bei 662 keV). Dieses Signal wurde über die Jahre aufgrund des radioaktiven Zerfalls und der Migration in tiefere Schichten des Bodens schwächer und ist heute nicht mehr zu erkennen (Darstellung 3).

Mit der Einstellung des Betriebs des KKM Ende 2019 und dem darauffolgenden noch laufenden Rückbau hat sich die Situation bei den Messergebnissen um dessen Standort verändert. Dominierte mit Ausnahme der Revisionsstillstände im Betrieb die ^{16}N -Strahlung, waren nun im Rückbau Signale aufgrund von zwischengelagerten Komponenten dominant. Primär wird das Aktivierungsprodukt ^{60}Co identifiziert, welches vor allem in Komponenten des Primärkreislaufs auftritt.

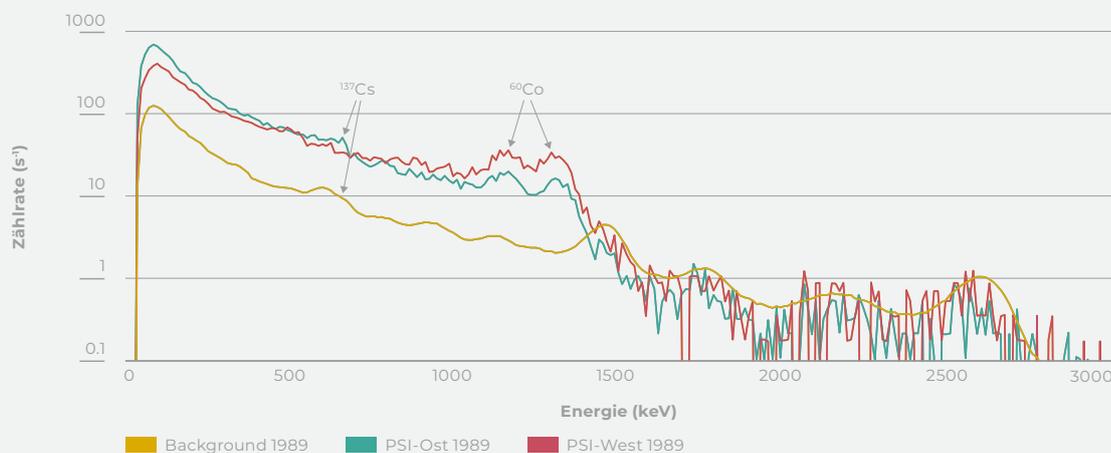
Auf dem Areal des PSI-West wie auch des PSI-Ost konnte 1989 ^{60}Co detektiert werden (Darstellung 4). Das gemittelte Spektrum über dem Areal des PSI-Ost zeigt auch ein Signal der Gammalinie von ^{137}Cs (Darstellung 4). Die Signale waren auf gelagerte Abfälle zurückzuführen, beim PSI-West auf Abfälle im Komponentenlager der Beschleunigeranlagen, beim PSI-Ost auf Abfälle beim BZL. Über die Jahre reduzierten sich die Signale über den Arealen des PSI-West und des PSI-Ost beziehungsweise veränderten sich abhängig vom betrieblichen Zustand insbesondere der Beschleunigeranlage beim PSI-West. Während über dem PSI-Ost und dem BZL in den letzten Messflügen kein Signal der Abfälle mehr erkannt werden konnte, waren beim PSI-West je nach Betriebszustand Signale aus der Fortluft, aus der Direktstrahlung des Beschleunigers oder Signale von



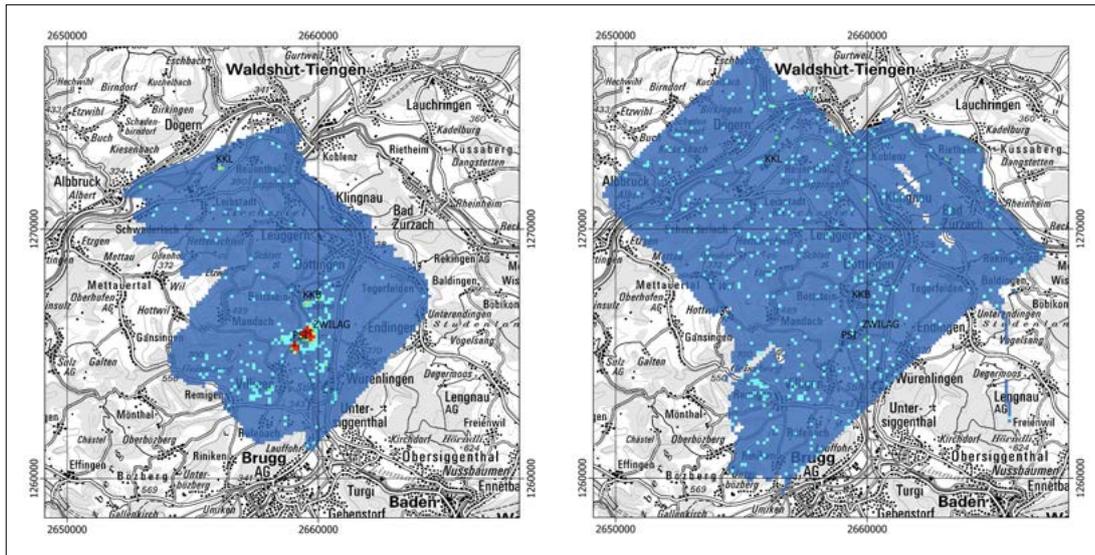
Darstellung 2: Gemittelte Spektren im Bereich der Anlagen von KKB, KKL und KKM bei den Messungen 1989 im Vergleich zum gemittelten Spektrum ausserhalb der Kernanlagen im Messgebiet KKB, KKL, PSI und ZWILAG (Background beziehungsweise Untergrund).



Darstellung 3: Gemittelte Spektren des Backgrounds ausserhalb der Kernanlagen von 1989 und 2022 im Vergleich. Der Background beziehungsweise Untergrund 2022 scheint tiefer zu sein, da das Messsystem seit 2018 das Spektrum in 1024 statt 256 Kanälen aufzeichnet und somit die Zählrate pro Kanal rund viermal kleiner ist.



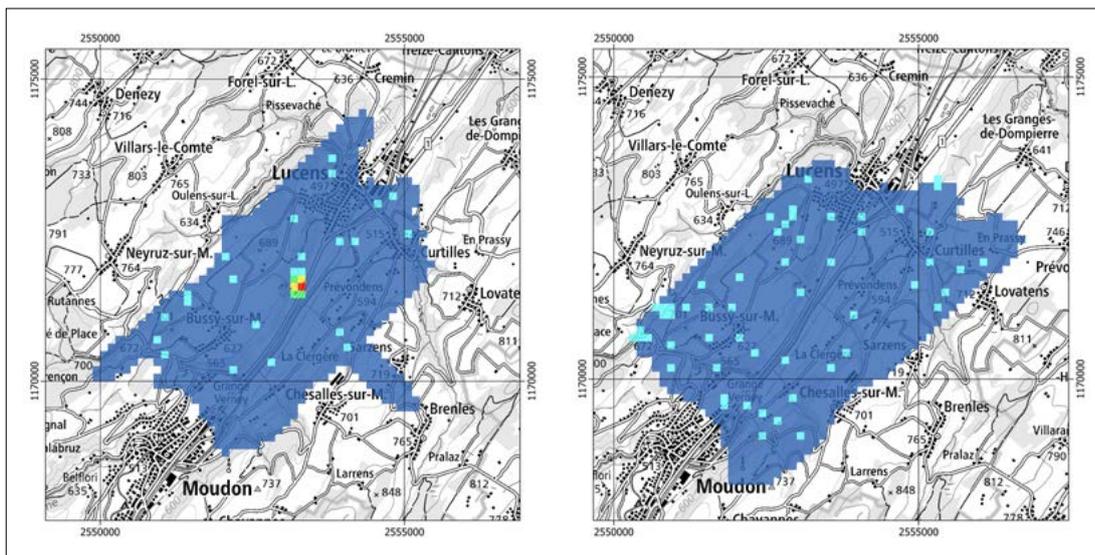
Darstellung 4: Gemittelte Spektren im Bereich der Anlagen des PSI-West und PSI-Ost aus den Messungen 1989 im Vergleich zum gemittelten Spektrum ausserhalb der Anlagenareale im Messgebiet KKB, KKL, PSI und ZWILAG (Background beziehungsweise Untergrund).



Darstellung 5:
Vergleich des
MMGC-Ratio
im Messgebiet
KKB/KKL/PSI/
ZWILAG für
die Jahre 1989
(links) und
2020 (rechts).

MMGC Ratio

- ≤ 5
- 5–6
- 6–7
- 7–8
- 8–9
- 9–15
- 15–50
- 50–100
- > 100



Darstellung 6:
Vergleich des
MMGC-Ratio
im Messgebiet
Lucens in den
Jahren 1999
(links) und
2004 (rechts).

MMGC Ratio

- ≤ 5
- 5–6
- 6–7
- 7–8
- 8–9
- 9–15
- 15–50
- 50–100
- > 100

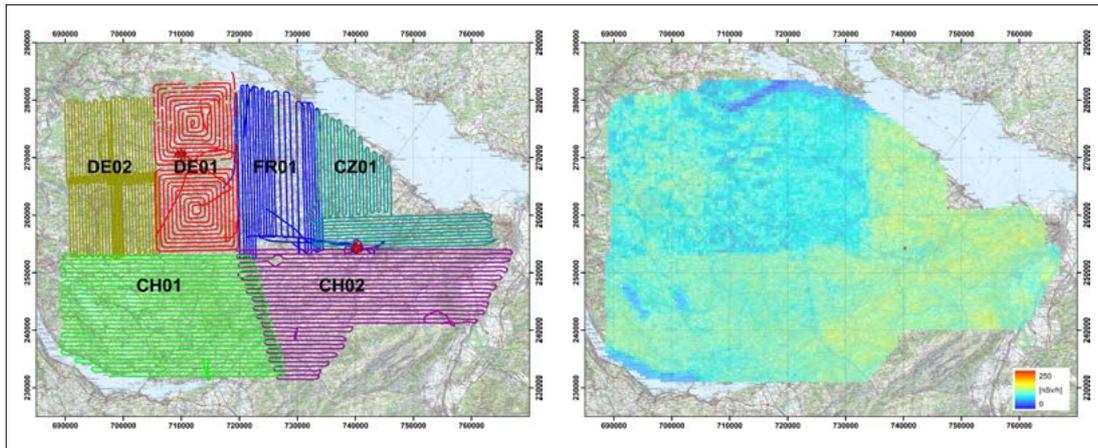
aktivierten Komponenten bei Wartungsarbeiten zu erkennen. Im Bereich der ZWILAG wurden durch die Aeroradiometrie über all die Jahre keine Signale aufgrund der zwischengelagerten radioaktiven Abfälle registriert.

Die Darstellung 5 zeigt das Verhältnis der Zählraten im Energiebereich 400–1400 keV zu den Zählraten im Energiebereich 1400–3000 keV (Man Made Gross Count Ratio, MMGC-Ratio) im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG für die Jahre 1989 und 2020. Dieses Verhältnis ist ein empfindlicher Indikator für künstliche Radionuklide, da ein Grossteil der künstlichen Radionuklide nur Gammalinien im tieferen Energiebereich aufweisen. Im Jahr 1989 sind deutlich erhöhte Werte bei KKB, KKL

und PSI zu sehen. Im Jahr 2020 sind diese nicht vorhanden.

In der Darstellung 5 ist bei den Messungen von 2020 zu sehen, dass beim KKL auch Messungen auf deutschem Staatsgebiet stattfanden. Dies erfolgt nach Absprache in der Deutsch-Schweizerischen Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen (DSK) seit den Messflügen 2018 regelmässig im Zweijahresrhythmus.

In den Jahren 1999, 2000 und 2004 wurde auch die Umgebung des ehemaligen Versuchsreaktors Lucens aeroradiometrisch vermessen. Bei den Messflügen in den Jahren 1999 und 2000 waren auf dem Areal zwischengelagerte Abfälle in den



Darstellung 7: Fluglinien der verschiedenen Messteams (links) bei der internationalen Messübung 2017 und zusammengeführte Ergebnisse für die Ortsdosisleistung in der Ostschweiz. Mit roten Sternen im linken Bild die Positionen der ausgelegten radioaktiven Quellen markiert, die innerhalb eines Tages gefunden werden sollten. **Darstellung:** Butterweck et al., 2018

Messergebnissen erkennbar. Im Herbst 2003 wurden die Abfälle ins ZWILAG transportiert und das Areal anschliessend freigegeben. Bei den aeroradiometrischen Messungen im Jahr 2004 konnten keine künstlichen Radionuklide mehr nachgewiesen werden (Darstellung 6).

Internationales

Aufgrund der wahrscheinlich grenzüberschreitenden Auswirkungen bei einem nuklearen Ereignis wurde bereits kurz nach der Integration der Aeroradiometrie in die Einsatzorganisation Radioaktivität des Bundes die internationale Zusammenarbeit gesucht. Bereits 1995 wurde im Kanton Jura eine Vergleichsmessung mit den französischen Kollegen der Commission de l'Energie Atomique (CEA) durchgeführt. 1997 folgten Vergleichsmessungen mit den österreichischen Kollegen der Geologischen Bundesanstalt und im Jahr 1999 mit den deutschen Kollegen des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS). Ab 1997 erfolgte auch eine Mitarbeit in den EU-Projekten ECEAGS (European Coordination of Environmental Airborne Gamma Spectrometry) und ECCOMAGS (European Calibration and Coordination of Mobile and Airborne Gamma Spectrometry), wobei letztere unter anderem eine grosse internationale Vergleichsübung 2002 in Schottland beinhaltete. In den Projekten ging es darum, den Austausch unter den bestehenden Messteams zu koordinieren sowie die Kalibration und Vergleichbarkeit der Messergebnisse der verschiedenen Messteams zu verbessern. In den darauffolgenden Jahren etablierten sich regelmässige Messübungen der Schweiz mit den französischen, deutschen und tschechi-

schen Partnerorganisationen. Die Nachbarländer Österreich und Italien betreiben keine vergleichbaren Messsysteme in Einsatzorganisationen. In den Jahren 2007 und 2017 wurden die internationalen Messübungen in der Schweiz durchgeführt. Dabei wurde in einem Teil der Übung ein grösseres Gebiet durch die verschiedenen Messteams gemessen und die Ergebnisse in einer gemeinsamen Ergebniskarte zusammengeführt. Im Jahr 2007 wurde ein Gebiet im Dreiländereck bei Basel und 2017 praktisch die ganze Ostschweiz östlich von Zürich vermessen (Darstellung 7).

Bei der Messübung 2017 hatten die Messteams die Aufgabe, radioaktive Quellen mit bekannter Aktivität zu finden. Die Messteams mussten gemeinsam die Messstrategie festlegen, um das ganze Messgebiet in einem Tag zu erfassen und die Quellen mit grösster Wahrscheinlichkeit zu finden. Eine Quelle lokalisierten die Teams bereits während des Fluges, die andere Quelle, die nicht in den Ergebnissen für die Ortsdosisleistung (Darstellung 7, rechtes Bild) sichtbar war, entdeckten sie in der Detailauswertung nach den Messflügen. Die Übung verdeutlichte das Potential der Aeroradiometrie, im Ereignisfall in kurzer Zeit ein grosses Gebiet praktisch flächendeckend messen zu können. Dies zeigte auch der Einsatz der Aeroradiometrie beim Reaktorunfall in Fukushima, bei dem zuerst amerikanische Messteams flächendeckende Messungen durchführten, welche später jährlich durch japanische Messteams wiederholt wurden (<https://radioactivity.nra.go.jp/en/>).

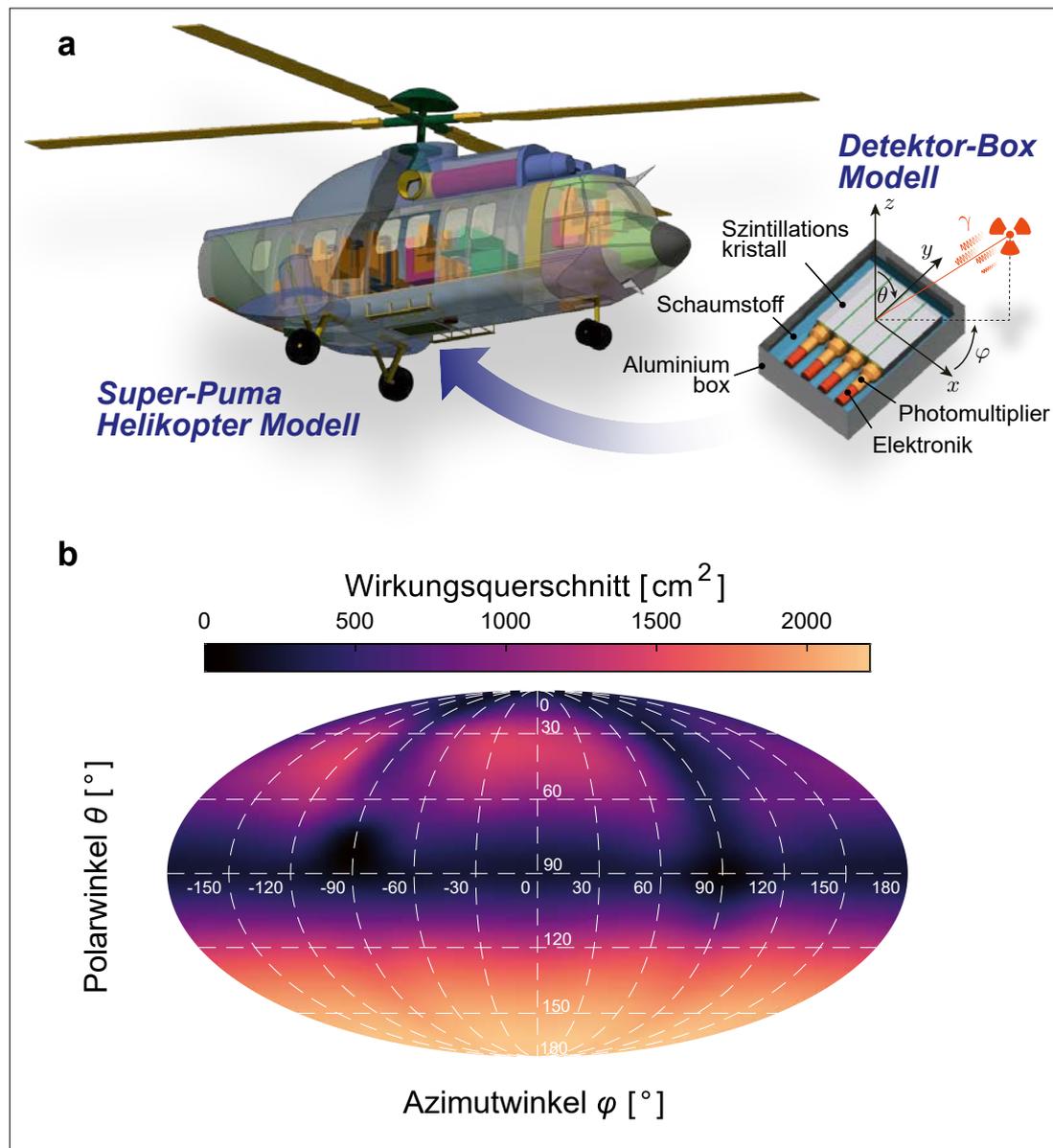
Aktuelle Forschungsarbeit

Autor: David Breitenmoser, Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, PSI

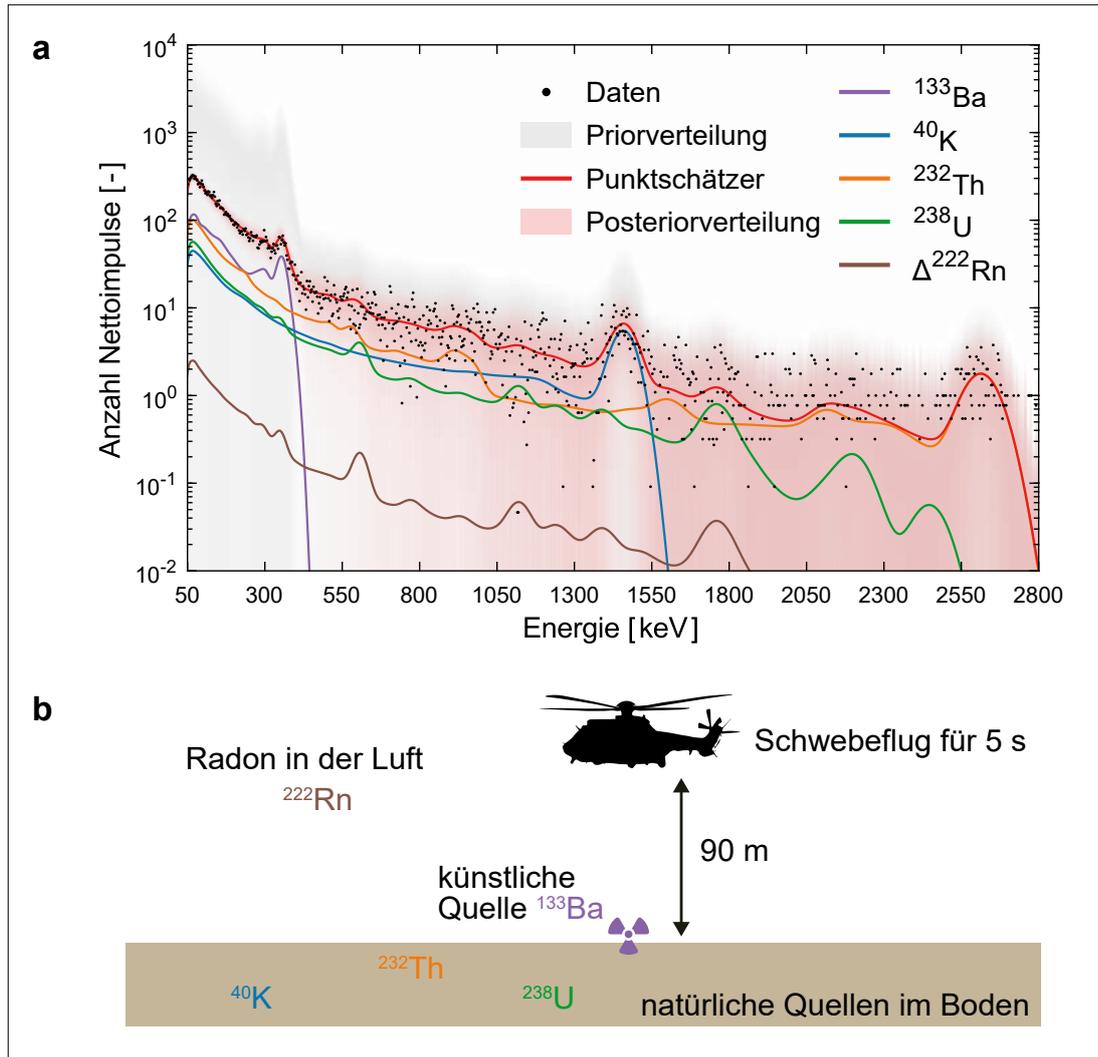
Aeroradiometrie ist eine etablierte Messmethode zur raschen Identifikation und Quantifikation von Gammastrahlungsquellen über grosse Gebiete mithilfe eines in einem Helikopter eingebauten Gammastrahlungsspektrometers. Dieses Detektorsystem muss vor einem Messflug jeweils kalibriert werden, damit von der Messung auf die einzelnen Quellen und deren Stärken geschlossen werden kann. Die zur Verfügung stehenden experimentellen Kalibriermethoden sind bezüglich Anzahl und Art der Gammastrahlungsquel-

len sehr beschränkt, sodass derzeit nur eine kleine Auswahl an Quellen tatsächlich kalibriert werden kann. Es gibt deshalb ein Interesse daran, die Kalibrierung weiterzuentwickeln und so eine grössere Bandbreite an Radionukliden mit dem Aeroradiometriesystem in der Schweiz identifizieren und quantifizieren zu können. Grund für dieses Interesse ist unter anderem die gestiegene Gefahr eines Kernwaffeneinsatzes im Ausland.

An dieser Stelle setzt eine Forschungsarbeit am PSI an, in deren Rahmen eine neue Kalibriermethodik entwickelt werden soll, um damit die Identifizierung und Quantifizierung aller künstlichen und natürlichen Gammastrahlungsquellen mit dem



Darstellung 8: Übersicht über das entwickelte numerische Modell. (a) 3D-Ansicht des Super-Puma Helikoptermodells zusammen mit dem Modell der Detektorbox und dem dazugehörigen Koordinatensystem (Azimutwinkel φ und Polarwinkel θ). (b) Berechneter Wirkungsquerschnitt des Detektorsystems für eine Photonenenergie von 662 keV als Funktion des Azimut- und Polarwinkels. Darstellung: Breitenmoser, PSI



Darstellung 9: Validierung der neuentwickelten Methodologie. (a) Rekonstruktion der gemessenen Daten mithilfe der berechneten Messsignale für die einzelnen Quellen. (b) Detektor-Quellen-Konfiguration für die in Darstellung (a) verwendete Analyse der Messdaten. Darstellung: Breitenmoser, PSI

Schweizer Aeroradiometriesystem zu ermöglichen. Zu diesem Zweck wurde ein komplexes numerisches Modell des Detektors und Helikopters erstellt, mit dessen Hilfe die Kalibrierung jeglicher Gammastrahlungsquellen durchgeführt werden kann (vgl. Darstellung 8a) (D. Breitenmoser et al., 2023), (D. Breitenmoser et al., November 2022). Die neue Kalibriermethodik wurde mit umfangreichen Labor- und Feldmessungen validiert (D. Breitenmoser et al., Juni 2022). Die Modellauswertung hat gezeigt, dass der Helikopter einen signifikanten Einfluss auf das Messsignal ausübt, insbesondere für Strahlung, die seitlich oder schräg oben auf den Helikopter trifft (vgl. Darstellung 8b). Die Berücksichtigung dieses Effekts ist insbesondere bei Flügen in gebirgigem Gelände oder für luftgetragene Radionuklide (beispielsweise Radon) relevant. Basierend auf der neuentwickelten

Kalibriermethodik wurden ebenfalls neuartige Algorithmen entwickelt, um vom gemessenen Detektorsignal auf die Quellenstärke rückschliessen zu können. Feldmessungen haben gezeigt, dass mithilfe dieser neuen Methoden nun auch schwache künstliche Quellen zuverlässig identifiziert und quantifiziert werden können.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die neuentwickelte simulationsgestützte Methodologie eine signifikante Verbesserung gegenüber den derzeit verwendeten empirischen Kalibriermethoden darstellt. So gibt es in der Kalibrierung keine Einschränkungen mehr, was die Art oder Form der Gammastrahlungsquelle betrifft. Dies ermöglicht nicht nur die Identifizierung und Quantifizierung von mit dem Schweizer Aeroradiometriesystem bisher nicht quantitativ nach-

weisbaren künstlichen Gammastrahlungsquellen, sondern erlaubt zum ersten Mal auch die direkte Berechnung der Störeinflüsse durch kosmische Strahlung und luftgetragene Radionuklide wie Radon und seine Tochterisotope.

Weitere Entwicklungen und Ausblick

In den letzten Jahren wurden Drohnen als Ergänzung zur Aeroradiometrie bei kleinräumigen Messungen erfolgreich getestet (Butterweck et al., 2024). Die Vorteile liegen bei einer tieferen Flughöhe und damit einer höheren Empfindlichkeit und einer höheren räumlichen Auflösung. Nachteilig wirkt sich aber die beschränkte Nutzlast und damit die mögliche Grösse der eingesetzten Detektoren auf die Empfindlichkeit aus. Für grössere Gebiete eignen sich Drohnen aufgrund der eher kurzen Flugzeiten und der regulatorischen Einschränkungen betreffs Flugsicherheit heute nicht.

Die Aeroradiometrie in der Schweiz ist etabliert und im internationalen Vergleich auf sehr gutem Niveau betreffs Einsatzorganisation, Abläufen, Messtechnik und Ergebnissen. Der Hauptfokus liegt in der Zukunft auf der Umsetzung der Ergebnisse aus der oben beschriebenen Forschungsarbeit in den operationellen Einsatz, dem Erhalt der Einsatzfähigkeit und dem Wissenserhalt.

Literatur

Butterweck, G., Bucher, B., Gryc, L., Debayle, C., Strobl, C., Maillard, S., Thomas, M., Helbig, A., Krol, I., Chuzel, S., Couvez, C., Ohera, M., Rybach, L., Poretti, C., Hofstetter-Boillat, B., Mayer, S., Scharading, G.: International Intercomparison Exercise of Airborne GammaSpectrometric Systems of the Czech Republic, France, Germany and Switzerland in the Framework of the Swiss Exercise ARM17. PSI-Report No. 18-04, ISSN 1019-0643, Paul Scherrer Institut, Villigen, Switzerland, 2018. DOI <https://doi.org/10.55402/psi:34959>.

D. Breitenmoser, F. Cerutti, G. Butterweck, M. M. Kasprzak, und S. Mayer, "Emulator-based Bayesian inference on non-proportional scintillation models by compton-edge probing", *Nat. Commun.*, Bd. 4, 7790, Nov. 2023, DOI <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42574-y>.

D. Breitenmoser, G. Butterweck, M. M. Kasprzak, und S. Mayer, "Numerical Derivation of High-Resolution Detector Response Matrices for Airborne Gamma-Ray Spectrometry Systems", in 2022 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC), Nov. 2022, S. 1–4. DOI <https://doi.org/10.1109/NSS/MIC44845.2022.10399024>.

D. Breitenmoser, G. Butterweck, M. M. Kasprzak, E. G. Yukihara, und S. Mayer, "Experimental and Simulated Spectral Gamma-Ray Response of a NaI(Tl) Scintillation Detector used in Airborne Gamma-Ray Spectrometry", *Adv. Geosci.*, Bd. 57, S. 89–107, Juni 2022, DOI <https://doi.org/10.5194/ad-geo-57-89-2022>.

Butterweck, G., Stabilini, A., Bucher, B., Breitenmoser, D., Rybach, L., Poretti, C., Maillard, S., Hess, A., Hauenstein, F., Gendotti, U., Kasprzak, M., Scharading, G., Mayer, S.: Aeroradiometric Measurements in the Framework of the Swiss Exercise ARM23. PSI Bericht Nr. 24-2, Paul Scherrer Institut, Villigen, Switzerland, 2024. DOI <https://doi.org/10.55402/psi:60054>.





Strahlenschutz in den Kernanlagen

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 ENSI ist verpflichtet, während den unterschiedlichen Betriebsphasen einer Kernanlage Inspektionen durchzuführen. Die Sektion Radiologischer Arbeitsschutz überprüft dabei die Planung, Vorbereitung und Durchführung von Strahlenschutz- und Überwachungsmaßnahmen, die Dosisabschätzung, die radiologischen Auswirkungen inkl. Kollektiv- und Individualdosen, Personenkontaminationen sowie Inkorporationen.

Dieses breite Spektrum an Themen beaufsichtigte die Sektion Radiologischer Arbeitsschutz im Jahr 2023 bei seiner Inspektionstätigkeit federführend mittels 37 Inspektionen. Dabei traf die Sektion in den meisten Fällen einen Zustand an, der den gesetzlichen Vorgaben entsprach. Für die festgestellten Nichtkonformitäten wurden Forderungen zu deren Behebung gestellt beziehungsweise Massnahmen angeordnet.

Ein Highlight im Berichtsjahr stellten die Aufsichtsgespräche in allen Kernkraftwerken (KKW) dar. Gegenstand dieser Gespräche war unter anderem die Überprüfung der auslegungsgemässen Ausführungen, Überwachungen und Installationen der Notstands- beziehungsweise Notstromdieselanlagen in allen Schweizer KKW im Leistungsbetrieb (Beznau – KKB, Gösgen – KKG und Leibstadt – KKL) ergänzt durch eine vor Ort Begehung. Zwar haben diese Installationen keine unmittelbare radiologische Bedeutung, aber ein Chemiker der Sektion inspizierte die Sicherstellung der Qualität von Schmierölen, Kraftstoffen und des Kühlwassers. Wir konnten uns davon überzeugen, dass alle stromproduzierenden Schweizer KKW mit ihren Prozessen und Qualitätssicherungsmaßnahmen die hohen Anforderungen an die eingesetzten Medien sicherstellen.

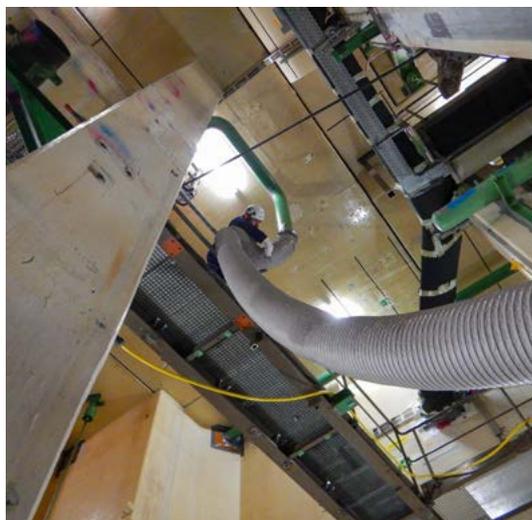
Am Puls gefühlt: Das ENSI beaufsichtigt die Entwicklung der Individual- und Kollektivdosen des Personals in allen KKW engmaschig. Der Umfang der Arbeiten in den kontrollierten Zonen während des Leistungsbetriebs und vor allem während den Jahresrevisionen bestimmt die Dosen. Die Strahlung aus dem Aktivierungsprodukt ^{60}Co ist hierbei ein wesentlicher Faktor für die Strahlenexposition. Die vergangenen brennstoffschaf-

denfreie Jahre tragen dazu bei, dass die Aktivität der Spaltprodukte im Primärkühlmittel im Mittel stetig abnimmt, was sich günstig auf die Strahlenexposition des Personals auswirkt. In den KKW mit Druckwasserreaktoren (KKB und KKG) sind die Dosen in den vergangenen Jahren tendenziell gesunken und liegen auf einem tiefen Niveau. Im KKG hat die Einspeisung von Zink in das Primärkühlmittel dazu beigetragen, den Einbau von ^{60}Co in die Oxidschichten der Komponenten im Primärkreislauf zu minimieren. Im KKW mit Siedewasserreaktor (KKL) sind die Dosen in den vergangenen Jahren angestiegen. Sie sind auch im internationalen Vergleich relativ hoch. Dies liegt zum einen an den umfangreichen Umbaumaassnahmen, beispielsweise dem Austausch der Umwälzschleifen im Jahr 2021, aber auch am hohen Eintrag von Kobalt in den Primärkreislauf. Das KKL hat inzwischen Massnahmen ergriffen, die den Eintrag von Kobalt verringert haben. Das ENSI begleitet den weiteren Fortschritt intensiv.

Insgesamt zeigt die Erfahrung in der Aufsicht, dass der radiologischen Situation in allen Kernanlagen, sei es für die Strahlenexposition des Personals oder betreffend die Kontamination vor Ort, eine angemessene Aufmerksamkeit geschenkt wird. Insbesondere die Wischtests anlässlich der Inspektionen wiesen stets zonentypkonforme Kontaminationswerte auf. Die Inspektionen zeigten, dass die erforderlichen Schutzmassnahmen im Berichtsjahr konsequent ergriffen wurden.



Giuseppe Testa



**Bild 2:
ENSI-Inspektor
nimmt einen
Wischtest
an einem
Abluftstrang
im KKM.**

1. Grundlagen anlagen-interner Strahlenschutz

1.1 Allgemeines

Im Jahr 2023 haben die Betreiber der Kernanlagen in allen Betriebsphasen einen gesetzeskonformen und pragmatischen Strahlenschutz betrieben. In den KKW haben sich die brennstoffschadenfreien Betriebszyklen der vergangenen Jahre zusätzlich positiv auf die bereits gute radiologische Situation in den Anlagen ausgewirkt.

Das in den Kernanlagen eingesetzte Strahlenschutzpersonal verfügte über die notwendige fachspezifische Anerkennung und absolvierte die von der Strahlenschutz-Ausbildungsverordnung geforderte Fortbildung. Die vom ENSI durchgeführten Kontrollen vor Ort deckten diesbezüglich keine Nichtkonformitäten auf.

Fortbildungen sind für den Erhalt der Fachkunde unerlässlich und gewährleisten, dass das Know-how auf dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik gehalten wird. Hierzu leistete das ENSI einen Beitrag und führte ein Strahlenschutzseminar zum Thema «Ausbildung im Strahlenschutz» durch. Teilgenommen haben insgesamt 39 Strahlenschutzexpertinnen und -experten der Schweizer Kernanlagen, der Suva, der IHK Nord-schwarzwald sowie des ENSI. Weitere fachspezifische Aus- und Fortbildungslehrgänge wurden vom Bildungszentrum des Paul Scherrer Instituts (PSI) und von der Gruppe schweizerischer Kernkraftwerksleiter (GSKL) abgehalten.

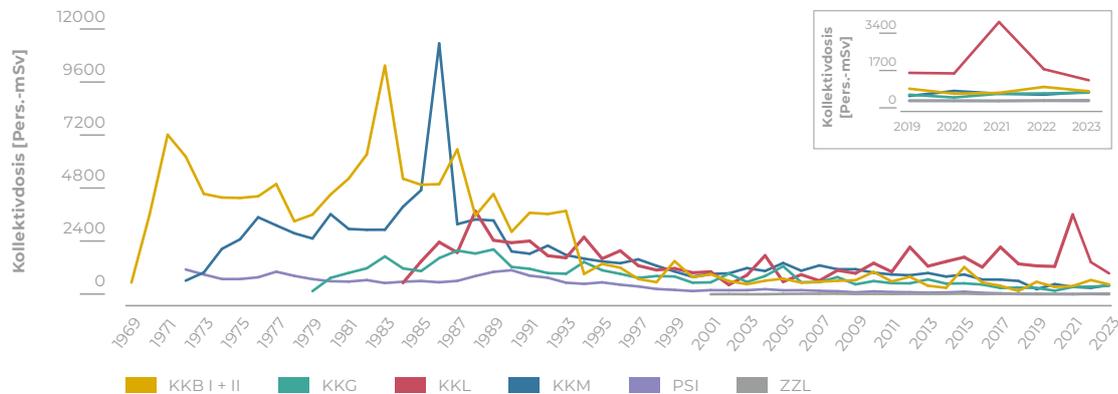
Im Berichtsjahr forderte das ENSI alle Kernanlagen auf, Konzepte zur Überwachung von Radon an Arbeitsplätzen zu erstellen. Im Anschluss an das Erstellen der Konzepte werden mehrmonatige Messungen zur Bestimmung der Radonsituation durchgeführt. Die Resultate werden für Ende 2024 erwartet. Bisherige erste stichprobenartige Ergebnisse zeigten auf, dass Radon in den Schweizer Kernanlagen grundsätzlich kein Problem darstellt. Orte mit punktuell erhöhten Radonwer-

ten, beispielsweise bei Grundwasserfassungen, sind nur beschränkt zugänglich. Implementierte Strahlenschutzmassnahmen stellen die Überwachung des beruflich strahlenexponierten Personalsicher und begrenzen die Strahlenexposition auf ein Minimum.

Der Rückbau des Kernkraftwerks Mühleberg (KKM) schritt auch im Berichtsjahr voran. Mit dem Abtransport der letzten Brennelemente vom Areal des KKM im September 2023 konnte der Übergang in die sogenannte Stilllegungsphase 2 vollzogen werden. Mit dem Fortschritt der Rückbauarbeiten steigen auch die Anforderungen an den Strahlenschutz, da mit dem Wechsel in die Stilllegungsphase 2 der Rückbau von grossen, stark aktivierten und kontaminierten Systemen, Strukturen und Komponenten, wie beispielsweise dem Reaktordruckbehälter, beginnt bzw. fortgeführt wird. Weitere Stilllegungsprojekte von Kernanlagen des PSI weisen ebenfalls deutliche Fortschritte auf.



Bild 3:
Transport
im Korblift
zum Cavity-
Boden im KKB
Block 1.

Jahreskollektivdosen 1969 bis 2023**Darstellung 10: Entwicklung der Kollektivdosen (Pers.-mSv) in den Kernanlagen von 1969 bis 2023.**

Insgesamt stellt das ENSI fest, dass die Betreiber der Kernanlagen ihre Verantwortung wahrnehmen, die Individual- und Kollektivdosen des Personals tief zu halten und weiter zu senken. So wird der Einsatz von moderner, ferngesteuerter Technik bei der Überwachung im Strahlenschutz oder bei zerstörungsfreien Prüfungen (ZfP) von Systemen und Komponenten ausgebaut. Aufgrund einer intensiveren Alterungsüberwachung, dies auch weil die technische Entwicklung bei ZfP-Verfahren neue und bessere Analysen erlaubt, hebt die vermehrte Anwendung von solchen Verfahren den dosisreduzierenden Effekt der Optimierungsbemühungen teilweise wieder auf. Der Grund dafür ist, dass die ZfP-Systeme an die zu untersuchenden Komponenten gebracht werden müssen, was wiederum, wenn auch zeitlich begrenzt, den Einsatz von Menschen im Strahlenfeld erfordert.

1.2 Grundlagen der Dosimetrie

Als zuständige Aufsichtsbehörde hat das ENSI zu prüfen, ob die Kernanlagen bei der Strahlenexposition des Personals die gesetzlichen Limiten sowie die regulatorischen Richtwerte einhalten. Die 2018 in Kraft getretene revidierte Strahlenschutzverordnung bildet die gesetzliche Grundlage zur Überwachung des beruflich und des nichtberuflich strahlenexponierten Personals in der Schweiz. Die Richtlinie ENSI-B09 «Ermittlung und Aufzeichnung der Dosen strahlenexponierter Personen» regelt technische Details über die Form und den Umgang mit den zu meldenden Individualdosen und arbeitsspezifischen Kollektiv-

dosen. Aufgabe des ENSI ist, die Dosimetriemeldungen aus den einzelnen Anlagen zu prüfen und auszuwerten. Bei Abweichungen von den Vorgaben der Strahlenschutzverordnung wird beim zentralen Dosisregister des Bundesamtes für Gesundheit BAG die Korrektur der beanstandeten Dosimetriemeldung veranlasst.

Die Strahlenschutzverordnung schreibt vor, dass die maximale Exposition jeder beruflich strahlenexponierten Person 20 Millisievert (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 Personen-Millisievert (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.

Zur Ermittlung der Dosen und zum Nachweis der Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben betreibt jedes KKW und das PSI eine vom ENSI anerkannte Personendosimetriestelle, die persönliche Dosimeter für das Eigen- und Fremdpersonal zur Verfügung stellt und auswertet sowie die akkumulierten Dosen registriert. Für das Zentrale Zwischenlager (ZZL) der Zwiilag Zwischenlager Würenlingen AG übernimmt die Personendosimetriestelle des KKB diese Aufgaben. Das Insti-

tut de radiophysique (IRA) wertet die an der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) verwendeten Dosimeter aus. Die Dosimetriestelle des PSI stellt Neutronendosimeter für alle Anlagen zur Verfügung und wertet sie aus.

1.3 Dosimetrierung von Personal

Das dosimetrierte Personal in den Kernanlagen wird in Eigen- und Fremdpersonal eingeteilt. Ferner wird das Personal auch in «Worker» der Kategorie A oder B eingeteilt. 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.

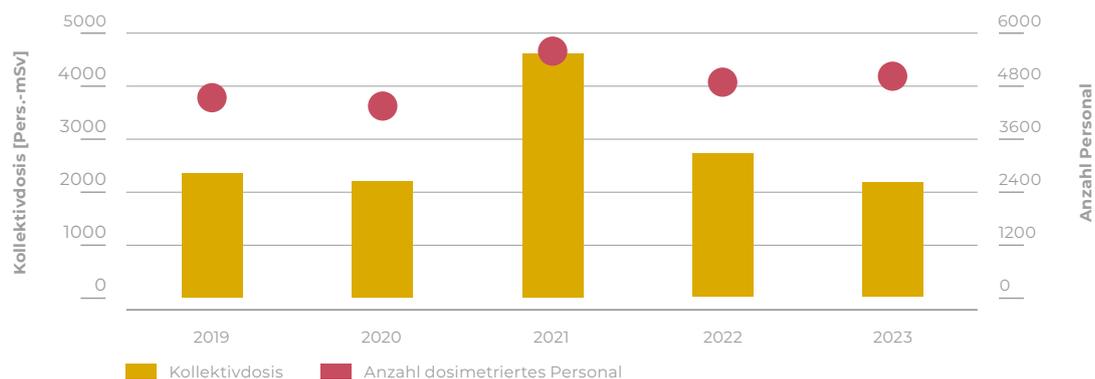
Es kommt vor, dass Eigenpersonal aus dem Überwachungsbereich einer Personendosimetriestelle vorübergehend in den Überwachungsbereich einer anderen Personendosimetriestelle wechselt und dort als Fremdpersonal geführt wird. Durch die Regelungen in der Richtlinie ENSI-B09 «Ermittlung und Aufzeichnung der Dosen strahlenexponierter Personen» melden die Betreiber die akkumulierten Dosen dieser zwischen den Kernanlagen wechselnden Personen einerseits als Eigenpersonal-Dosen der einen Anlage und andererseits als Fremdpersonal-Dosen einer anderen Anlage. 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 Informatio-

nen in seinem Strahlenschutzbericht bereinigt. Dadurch und durch die in Kapitel 1.5 erwähnten Rundungen können sich bei den Statistiken in den nachfolgenden Tabellen für den Strahlenschutz nicht-relevante numerische Unterschiede zu den Rohdaten der Personendosimetriestellen ergeben.

Für das Jahr 2023 haben die fünf vom ENSI anerkannten Personendosimetriestellen (KKB, KKG, KKL, KKM und PSI) insgesamt 5728 beruflich strahlenexponierte Personen mit einer Kollektivdosis von 2224 Pers.-mSv gemeldet (Mehrfachbuchungen bereinigt). 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 des Typs 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 der KKW von 2019 bis 2023



Darstellung 11: Summe der Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen in den KKW von 2019 bis 2023.

1.4 Ausbildung im Strahlenschutz

Das ENSI übt gestützt auf die Strahlenschutz-Ausbildungsverordnung die Aufsicht über die Ausbildung im Strahlenschutz aus. Hierzu zählt unter anderem die Anerkennung von Kursen für das Strahlenschutzpersonal, welches in den Kernanlagen eingesetzt wird.

Zur Übernahme von Strahlenschutzaufgaben innerhalb der kontrollierten Zone in den Kernanlagen benötigt das eingesetzte Personal fach- und arbeitsspezifische Aus- und Fortbildungen. Die gesetzlichen Vorgaben regeln dabei gezielt die Einsatzgebiete und die sogenannten «erlaubten Tätigkeiten» für das Strahlenschutz-Personal in den drei Kategorien Strahlenschutz-Sachverständige (Berufsgruppe K1), Strahlenschutztechnikerinnen und -techniker (Berufsgruppe K2) und Strahlenschutzfachkräfte (Berufsgruppe K3). Für die Anerkennung der Ausbildung wird die Teilnahme an einem vom ENSI anerkannten Ausbildungskurs von mehreren Wochen Dauer sowie ausreichende praktische Erfahrungen im Strahlenschutz vorausgesetzt.

Zusatzausbildung der GSKL für IHK-Fachkräfte für den Einsatz in schweizerischen Kernanlagen

Während den Jahresrevisionen sind in einem KKW zum Schutz des Personals deutlich mehr Strahlenschutzfachleute erforderlich als während des regulären Leistungsbetriebs. Um diesen temporär erhöhten Bedarf an fachkundigem Personal zu decken, findet vorwiegend mit Deutschland ein länderübergreifender Austausch von Fachpersonal statt. Dabei ist es unerlässlich, länder-spezifische Unterschiede, vor allem bezüglich der Vorgaben der Strahlenschutzgesetzgebung, gezielt zu schulen. Strahlenschutzfachkräfte der deutschen Industrie- und Handelskammer (IHK) verfügen aufgrund ihrer zertifizierten Ausbildung, die sowohl einen theoretischen als auch einen praktischen Anteil beinhaltet, bereits über einen Grossteil der Anforderungen an die Anerkennung als Strahlenschutzfachkraft nach der schweizerischen Strahlenschutz-Ausbildungsverordnung.

Nach erfolgreichem Abschluss der schriftlichen Prüfung im Rahmen der anerkannten, schweizerischen Zusatzausbildung können IHK-Strahlenschutzfachkräfte als Schweizer Strahlenschutzfachkräfte mit eingeschränktem Einsatzbereich tätig sein. Der Einsatzbereich dieser Strahlenschutzfachkräfte ist auf die Kernanlagen beschränkt; Tätigkeiten an Beschleunigeranlagen sowie an Röntgenanlagen sind nicht erlaubt.

Eine von der GSKL eigens zu diesem Zweck entwickelte und vom ENSI im Jahr 2021 als Schulungskurs anerkannte Zusatzausbildung fand im April 2023 am KKL statt. 13 Personen haben diesen Kurs im Berichtsjahr erfolgreich abgeschlossen und wurden anschliessend neu für Aufgaben als Strahlenschutzfachkraft in schweizerischen Kernanlagen anerkannt.

Aus- und Fortbildungen im Strahlenschutz am Bildungszentrum des PSI

Das PSI bietet verschiedene vom ENSI anerkannte Ausbildungs- und Fortbildungskurse für Strahlenschutz-Sachverständige, für Strahlenschutztechnikerinnen und -techniker sowie für Strahlenschutzfachkräfte an.

Im Berichtsjahr 2023 wurde ein Kurs zur Ausbildung von IHK-Fachkräften im Strahlenschutz mit eingeschränktem Einsatzbereich anerkannt (Kursnummer K333). Der Kurs hat eine Kursdauer von drei Tagen und setzt eine abgeschlossene anerkannte Ausbildung einer deutschen IHK zur Strahlenschutzfachkraft voraus. Zusätzlich wurde ein entsprechender Aufbaukurs (Kursnummer K334) anerkannt, der gemeinsam mit dem Kurs K333 einen uneingeschränkten Einsatz als Strahlenschutzfachkraft im Aufsichtsbereich des ENSI ermöglicht. Die Anerkennung dieser beiden Kurse ist zehn Jahre gültig.

Die Ausbildungskurse für Strahlenschutz-Sachverständige (Kursnummer K310) sowie für Strahlenschutztechnikerinnen und -techniker (Kursnummer K312) fanden im ersten Quartal 2023 statt. Am Ausbildungskurs K310 nahmen 14 Personen und am Ausbildungskurs K312 vier Personen teil. Im vierten Quartal 2023 fand der Ausbildungskurs zur Strahlenschutzfachkraft (Kursnummer K314) statt, dessen Prüfung von neun Personen erfolg-

reich abgeschlossen wurde. Die Praktika zum Erhalt des Diploms standen zum Ende des Berichtsjahres noch aus.

Im März, Juli und Oktober 2023 fanden am Bildungszentrum des PSI insgesamt drei Fortbildungskurse für Strahlenschutzpersonal in Kernanlagen der Berufsgruppen K1, K2, und K3 (Kursnummer K311) statt. Sie wurden von 22 Personen aus schweizerischen KKW, sechs Personen vom PSI und neun Personen von schweizerischen und deutschen Dienstleistungsunternehmen besucht.

Insgesamt hielt das Bildungszentrum des PSI im Berichtsjahr sieben Aus- und Fortbildungskurse für die schweizerischen Kernanlagen ab, an denen insgesamt 73 Personen teilnahmen. An neun Kursen mit Bezug zu Transporten radioaktiver Gefahrgüter nahmen insgesamt 56 Personen teil.

1.5 Grundlagen für den Strahlenschutzbericht

Die KKW verwenden für die Planung und die Darstellung der Jobdosimetrie der während der Revisionen anfallenden Kollektivdosen APD-Werte (APD = aktive Personendosimeter). In der Praxis werden als aktive Personendosimeter elektronische Personendosimeter (EPD) verwendet. Um die geplanten Revisionskollektivdosen mit den tatsächlich akkumulierten Revisionskollektivdosen vergleichen zu können und die Ergebnisse nachvollziehbar zu bewerten, werden im Strahlenschutzbericht deshalb im Text nur korrigierte APD-Werte beziehungsweise korrigierte EPD-Werte angegeben. Die Revisionskollektivdosen können nicht mit den anerkannten Dosimetern (üblicherweise Thermolumineszenz-Dosimeter und Direct-Ion-Storage-Dosimeter) gemessen werden, weil die Revisionsperiode nicht mit der Auswertungsperiode der anerkannten Dosimeter von einem Monat übereinstimmt. Zudem kann eine nachvollziehbare und korrekte Jobdosimetrie, also die Erfassung und Zuordnung arbeits- und ortsspezifischer Strahlendosen, dank deren Programmierbarkeit nur mit aktiven Dosimetern erfolgen. Damit am Ende des Dosimetriejahres eine Gesamtkollektivdosis (Summe aus Leistungsbetriebs- und Revisionskollektivdosen) gebildet

werden kann, müssen die APD-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 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 Messwerte unterhalb von 0,075 mSv auf 0 mSv abgerundet und Messwerte zwischen 0,075 und 0,1 mSv werden auf 0,1 mSv aufgerundet.

Bei der Bereinigung der Rohdaten können einzelne nicht dosisrelevante numerische Abweichungen zwischen den Auswertungen der Personendosimetriestellen und dem ENSI entstehen. Auch berücksichtigt das ENSI ermittelte Neutronendosen bei der Bestimmung der Ganzkörperdosen. Dabei liegt die Nachweisgrenze von Neutronendosimetern bei 0,5 mSv.

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

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.

Mithilfe von elektronischen Funkdosimetern (auch Teledosimeter genannt) kann die radiologische Umgebung sowie der Verlauf der Individualdosen des Personals vor Ort in Echtzeit von einem Bereich aus überwacht werden, in welchem die Ortsdosisleistung niedrig ist. Ein Funkdosimeter wird von Fachkräften zusätzlich zum obligatorischen, elektronischen Personendosimeter und zum ebenfalls obligatorischen, anerkannten und persönlichen Dosimeter getragen. Ziel einer Funkdosimetrie ist unter anderem die Optimierung der Strahlenexposition des Personals. In den Funkdosimetern können auch Alarmwerte hinterlegt werden.

Das überwachende Strahlenschutzpersonal kann anhand der Angaben über Dosisleistungen und der akkumulierten Dosis, die auf dem zentralen Überwachungsgerät angezeigt wird, bei Bedarf rasch eingreifen und die Arbeitsverhältnisse und auch die Aufenthaltszeit optimieren. An ein Überwachungsgerät können üblicherweise fünf bis zehn Funkdosimeter angeschlossen werden. Dank einem oder mehreren Repeatern, die Strahlenschutz-Fachkräfte in der Anlage an geeigneten Orten montieren, kann die Reichweite der Funkdosimeter erhöht werden. Dies betrifft beispielsweise Räume und Bereiche in Kernanlagen, in denen sich massive Betonwände befinden, die als Abschirmung dienen, oder grosse Komponenten aus Stahl.



Bild 4: Personen, die bei ihrer Arbeit in Kernanlagen als strahlenexponiert gelten, müssen zwei verschiedene Dosis-Messgeräte tragen: Links im Bild ein passives Dosimeter, rechts ein aktives Dosimeter.

2. Kernkraftwerke

2.1 Kernkraftwerk Beznau, Block 1 und 2

Betrieb am Netz [%]

92,0 87,8

Erzeugter Strom [GWh]

3063 2921

Dauer der Stillstände [d]

16 39

Kollektivdosis [Pers.-mSv]

92 351

Kollektivdosis im Leistungsbetrieb [Pers.-mSv]

35 33

Kollektivdosis während der Stillstände [Pers.-mSv]

57 318

Höchste Individualdosis [mSv]

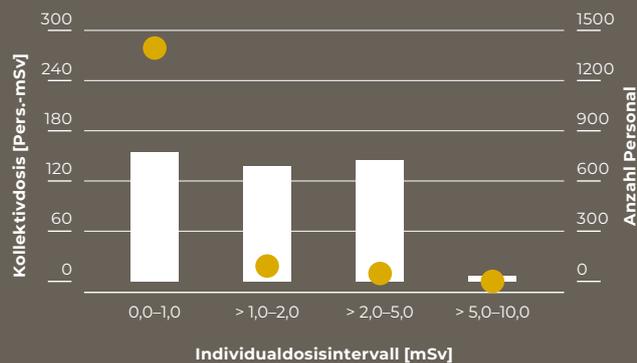
6,4 6,4

Errechnete Dosis für die Bevölkerung aufgrund von Emissionen [mSv/Jahr]

< 0,001

■ Block 1 ■ Block 2

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal im KKB



Verhältnis der Kollektivdosen Leistungsbetrieb gegenüber Stillstand



■ Kollektivdosis ■ Anzahl dosimetriertes Personal

■ Leistungsbetrieb ■ Stillstand

Zusammenfassung

Das Betriebsjahr 2023 des KKB verlief im Strahlenschutz insgesamt erfolgreich. Die Arbeiten während des Brennelementwechsels in Block 1 und während der Revisionsabstellung in Block 2 konnten planmässig erledigt werden. Die Leistungsbetriebsphasen der beiden Blöcke verliefen grundsätzlich ohne grössere radiologische Ereignisse. Die durch das KKB geplanten und ergriffenen Massnahmen im Strahlenschutz, sowohl für die Stillstände als auch für den Leistungsbetrieb, haben sich als wirkungsvoll erwiesen.

Betriebsgeschehen

Das KKB hat mit einer Verfügbarkeit des Blocks 1 von 92,0% und des Blocks 2 von 87,8% ein erfolgreiches Betriebsjahr absolviert. Ausserhalb der Revision wurden keine grösseren strahlenschutzrelevanten Arbeiten durchgeführt. Der Bestand des Strahlenschutzpersonals hat sich 2023 nicht verändert und beträgt weiterhin 26 Personen.

Der radiologische Anlagenzustand ist nach wie vor gut. Während des Leistungsbetriebs stellte das KKB in beiden Blöcken in den Zonentypen 0 bis III keine Luftkontaminationen über einem Richtwert fest. Die gemessenen abwischbaren Oberflächenkontaminationen entsprachen den gemäss Anhang 10 der Strahlenschutzverordnung für die verschiedenen Zonentypen erlaubten Werten beziehungsweise lagen grösstenteils darunter. Bei den in der Anlage gemessenen Ortsdosisleistungen ergaben sich keine meldepflichtigen oder erwähnenswerten Erhöhungen über die Normalwerte.

Die Kontamination der Primärsysteme mit alpha-strahlenden Nukliden war im Berichtsjahr in beiden Blöcken im Vergleich zu anderen Kernkraftwerken (KKW) verhältnismässig hoch. Das KKB überwachte die Alpha-Kontaminationen und traf ergänzende Massnahmen zum Schutz des Personals.

KKB Block 1

Der Anstieg der Oberflächendosisleistung an den Closure-Legs konnte nicht gestoppt werden. Der Grund für den Anstieg ist nach wie vor nicht ein-

deutig bekannt, mehrere Faktoren tragen zum Anstieg bei. Entsprechend setzt sich der Trend einer steigenden Oberflächendosisleistung der Vorjahre fort, wobei der Anstieg beim Closure-Leg A bei 5,0% und beim Closure-Leg B bei 9,1% liegt. Die Oberflächendosisleistung ist beim Hot-Leg A um 5,9% und beim Hot-Leg B um 5,2% gestiegen.

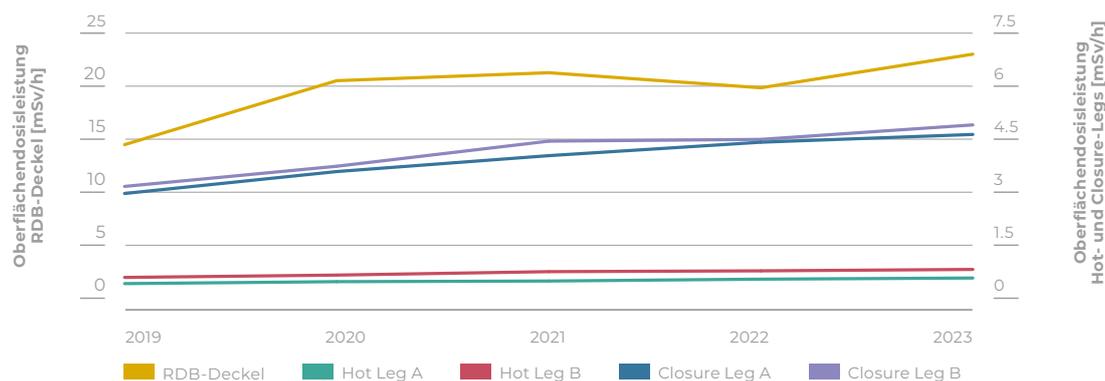
Weiterhin verfolgt das KKB die Oberflächendosisleistung an den Dampferzeugern und am Reaktordruckbehälter-Deckel (RDB-Deckel). Während die Oberflächendosisleistung an den Dampferzeugern im Vergleich zum Vorjahr konstant geblieben ist, hat sich die gemittelte Oberflächendosisleistung der sechs Messpunkte am RDB-Deckel um 16,0% erhöht. Die Erhöhung am RDB-Deckel hängt auch mit einem belegbaren Messausreisser zusammen.

KKB Block 2

Auch in Block 2 setzte sich bei den Closure-Legs der Trend der Oberflächendosisleistung der Vorjahre fort, wobei der Anstieg beim Closure-Leg A bei 6,0% und beim Closure-Leg B bei 5,1% liegt. Beim Hot-Leg A ist ein Anstieg der Oberflächendosisleistung von 5,0% und beim Hot-Leg B ein Anstieg von 2,9% zu verzeichnen.

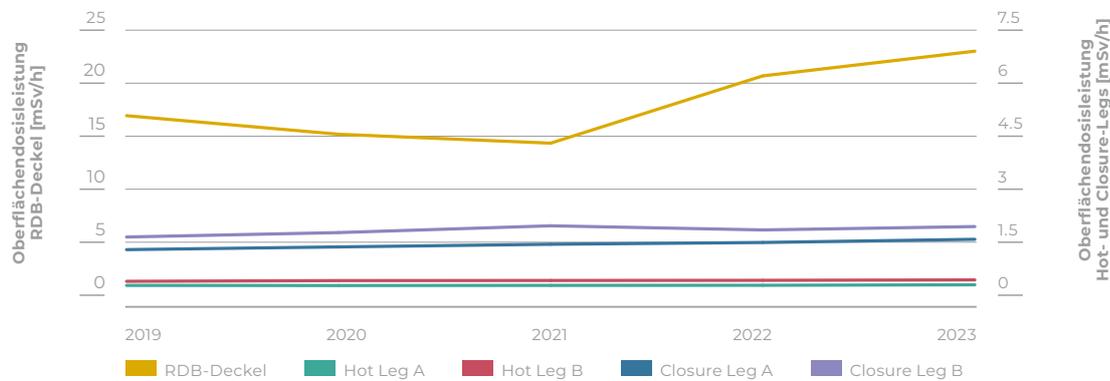
Die Oberflächendosisleistung an beiden Dampferzeugern ist im Vergleich zum Vorjahr, im Rahmen der Messgenauigkeit, konstant geblieben. Der Anstieg der Oberflächendosisleistung am RDB-Deckel fällt, gemittelt über sechs Messpunkte, mit 11,3% moderat aus.

Oberflächendosisleistungen an Komponenten des Primärkreislaufs des KKB Block 1 von 2019 bis 2023



Darstellung 12: Verlauf der gemessenen Oberflächendosisleistung im KKB Block 1 am RDB-Deckel (linke Achse) und an den Hauptkühlleitungen der Hot- und Closure-Legs (rechte Achse).

Oberflächendosisleistungen an Komponenten des Primärkreislaufs des KKB Block 2 von 2019 bis 2023



Darstellung 13: Verlauf der gemessenen Oberflächendosisleistung im KKB Block 2 am RDB-Deckel (linke Achse) und an den Hauptkühlleitungen der Hot- und Closure-Legs (rechte Achse).

Die aktuellen Oberflächendosisleistungen führten aber zu keinen Problemen im operationellen Strahlenschutz. Die für die Blöcke 1 und 2 abgeschätzte Kollektivdosis für den Leistungsbetrieb von 70 Pers.-mSv wurde mit 68 Pers.-mSv eingehalten.

Brennelementwechsel im Block 1

Das KKB stellte den Block 1 vom 16. Mai bis zum 1. Juni 2023 zum Brennelementwechsel für insgesamt 16 Tage ab. Die akkumulierte Kollektivdosis lag für einen Brennelementwechsel mit 57 Pers.-mSv im Bereich der Vorjahre und entsprach dem Umfang der Arbeiten. Die Kollektivdosis lag um 23% unter dem ursprünglichen Dosiszielwert von 74 Pers.-mSv, wobei der Toleranzbereich bei +/- 20% liegt. Die Abweichung ist auf den guten radiologischen Zustand des Beckenwassers und die optimale Ausführung der Arbeiten zurückzuführen. Es waren weniger, allgemeine Reinigungen erforderlich als geplant und der Brennelementwechsel verlief problemlos und routiniert. Die Kollektivdosis verteilte sich zu 58% auf das Eigen- und zu 42% auf das Fremdpersonal.

Die höchste Individualdosis für das Eigenpersonal während des Brennelementwechsels betrug 2,9 mSv und für das Fremdpersonal 1,1 mSv und lag damit weit unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr für beruflich strahlenexponierte Personen. Die mittlere Dosis betrug im Stillstandzeitraum 0,22 mSv/Person. Das KKB stellte über das ganze Jahr keine Inkorporationen fest oder Personenkontamination, die nicht mit einfachen Mitteln (Waschen, Duschen, Bürsten) ent-

fernt werden konnten. Gesamthaft wurden 9288 Arbeitsstunden in der kontrollierten Zone geleistet.

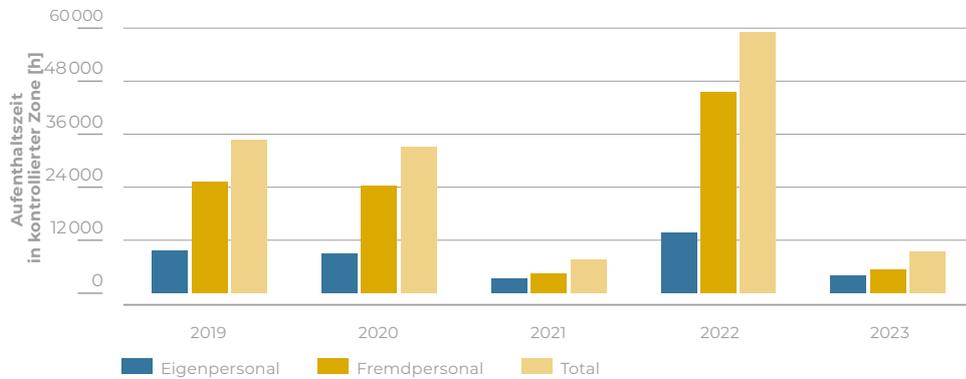
Während des Brennelementwechsels führte das KKB folgende Tätigkeiten mit erwarteter, signifikanter Strahlenexposition aus:

- Öffnen und Schliessen des RDB
- Reinigung der Reaktorgrube und des Transferkanals
- Brennelementwechsel
- Leckagesuche in der Reaktorgrube

Aufgrund des letzten Betriebszyklus stellte sich die radiologische Situation in der Anlage als günstig dar. Die kontrollierte Zone in der Anlage war während des Brennelementwechsels in einem radiologisch und konventionell sauberen Zustand. Zudem konnte während des ganzen Stillstandes der niedrige Kontaminationsgrad beibehalten werden.

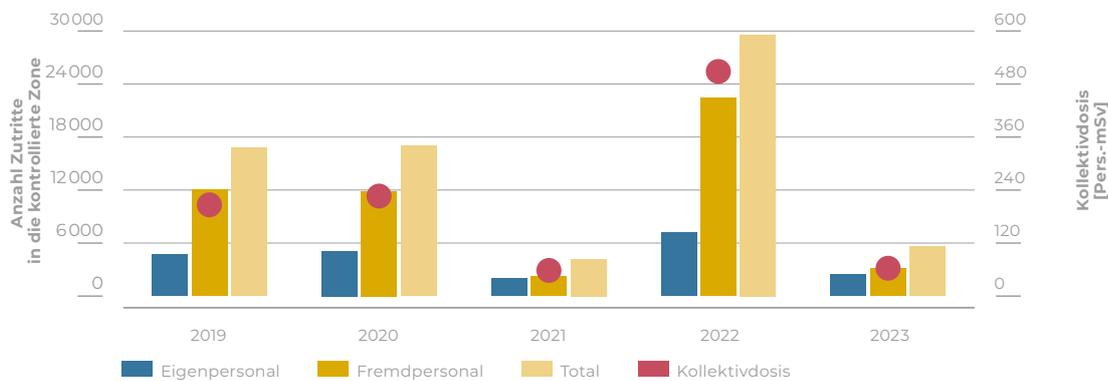
Während des Abhebens des RDB-Deckels wurde eine leicht erhöhte Luftkontamination detektiert, wobei keine Gefahr für das Personal bestand. Das Nuklidgemisch in der Raumluft wird von ^{51}Cr , ^{60}Co und ^{95}Nb mit fast gleichen Anteilen zwischen 25% und 26% dominiert. Im Überwachungszeitraum wurde ^{241}Am während der Grobreinigung in sehr niedriger Konzentration ($1,7\text{E}-3$ Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m^3)) gemessen. Die betroffenen Anlagenbereiche beim Heben des RDB-Deckels und bei der Reinigung der Reaktorgrube waren als Zonentyp IV ausgewiesen. Bei der Reinigung der Reaktorgrube (auch Reaktorbecken oder Cavity

Aufenthaltszeit in der kontrollierten Zone während den geplanten Stillständen im KKB Block 1 von 2019 bis 2023



Darstellung 14: Aufenthaltszeiten von Fremd- und Eigenpersonal in der kontrollierten Zone während der geplanten Stillstände im KKB Block 1 von 2019 bis 2023.

Kollektivdosen und Zutritte in die kontrollierte Zone während den geplanten Stillständen des KKB Block 1



Darstellung 15: Gesamtanzahl der Zutritte in die kontrollierte Zone und Kollektivdosen während der geplanten Stillstände im KKB Block 1 von 2019 bis 2023.

genannt) lag die Luftkontamination geringfügig über den für den Zonentyp II zulässigen Werten.

Während dem Brennelementwechsel kam es zu keiner Kontaminationsverschleppung aus den speziell dafür eingerichteten Zonentypen III und IV. Bei verschiedenen Arbeiten an Systemen wurden abwischbare Alpha-Kontaminationen festgestellt: Beim Schneiden der Incoresonden, bei Arbeiten in der Cavity und an Komponenten des Chemie- und Volumenregelsystems. Das Niveau der abwischbaren Alpha-Kontamination bewegte sich im Bereich zwischen 0,1 und 20 Bq/cm². Das Verhältnis von beta/gamma- zu alphastrahlenden Nukliden lag zwischen 18 zu 1 und 1600 zu 1 sowie mehrfach bei unter 200 zu 1.

Für die Arbeitsplatzüberwachung führte das KKB regelmässig Wischtests zur Bestimmung der Kontamination durch Alpha- und Beta-Strahler durch. Zusätzlich werteten Fachkräfte die Aero-

solfilter hinsichtlich der betastrahlenden Nuklide aus, wobei sie den Alpha-Anteil rechnerisch berücksichtigten. Die Messungen wurden mit stationären und mobilen Messgeräten durchgeführt. Zusätzlich führte das KKB Triagemessungen der Raumluft durch, für die die Beta-Aktivität aller Aerosolfilter gemessen wird. Bei Werten über 7,8 Bq/m³ erfolgte eine gammaspektrometrische Auswertung.

Während des Brennelementwechsels war im Sicherheitsgebäude und im Brennelementlager jeweils ein mobiler Aerosolmonitor permanent im Einsatz. Des Weiteren betrieb das KKB auf dem Beckenflur wie auch im Brennstofflager je einen permanent laufenden Hochvolumensammler. Die Filter wurden einmal pro Schicht gammaspektrometrisch ausgewertet. Ein mobiler Iod- und Edelmetallmonitor ergänzte die permanente Luftüberwachung auf dem Beckenflur.

Für die Radioanalytik setzte das KKB zwei Germanium-Detektoren ein. Diese dienen zur Auswertung von Wischtests auf Gamma-Strahler sowie der Auswertung der Aerosolfilter auf Gamma-Strahler im Energiebereich von 20 Kiloelektronenvolt (keV) bis 2,6 Megaelektronenvolt (MeV) und können damit auch den Anteil der Gamma-Strahlung beim Zerfall des hauptsächlich alphastrahlenden ^{241}Am messen. Ausserdem standen zwei Cadmium-Zink-Tellurid-Detektorkameras (CZT-Kameras) zur Verfügung.

Zu der guten radiologischen Situation im Bereich des Beckens trug der Einsatz der Balduff-Filteranlage in der gefluteten Reaktorgrube und die Reinigung des Wassers in den Borwasservorrattanks bei. Die Reinigung der Borwasservorrattanks war ca. vier Wochen vor der Abstellung in Betrieb genommen worden.

Die maximalen Aktivitätskonzentrationen im Primärkühlmittel während der Abfahr- und Reinigungsphase waren für ^{58}Co und ^{122}Sb im Vergleich zum Vorjahr in etwa gleich hoch. Die Höchstwerte für ^{60}Co und ^{124}Sb lagen um 35% respektive 24% unter den Maximalwerten aus dem Vorjahr. Die Aktivitätswerte im Primärkühlmittel wiesen im Vergleich zu den letzten Jahren eine fallende Tendenz auf.

Für die mechanische Bearbeitung von Komponenten mit Alpha-Kontamination diente die sogenannte Alphawerkstatt. In der Alphawerkstatt ist eine festinstallierte Auskleidestation eingerichtet, die über eine Bodenabsaugung verfügt. Die Schleuse zur Alphawerkstatt verfügt über Schiebetüren und sorgt für einen gestaffelten Unterdruck.

Das ENSI bewertet die während der Abstellungsplanung und -durchführung durch den Strahlenschutz getroffenen Optimierungsmassnahmen als zielführend. Das Einbeziehen des Strahlenschutzes in den frühen Phasen der Planung hat sich bewährt. Es gab, bis auf die Leckage in der Reaktorgrube, keine strahlenschutzrelevanten Zwischenfälle. Aufgrund dieser nur während eines Stillstandes aufgetretenen Leckage (jeweils, wenn die Reaktorgrube geflutet ist) inspizierte das ENSI am 25. und am 26. Mai 2023 reaktiv und unange-



Bild 5:
Designierter
Wartebereich
in der kontrollierten
Zone des KKB mit
geringer Orts-
dosisleistung.



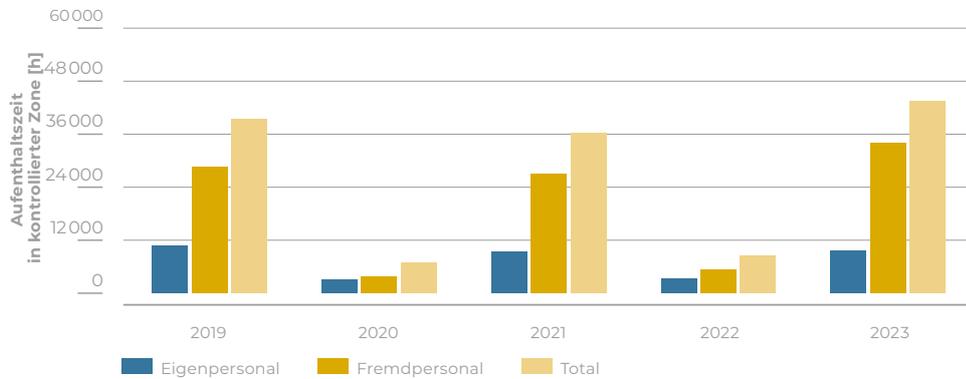
Bild 6:
Inspektion
des ENSI im
Kalottenraum
unterhalb des
RDB im KKB.

meldet die Situation und die radiologischen Bedingungen im Kalottenraum des KKB 1. Im Kalottenraum stand Wasser bis zu 1cm hoch. Von oben drang Wasser mit ca. einem Tropfen pro Sekunde ein. Die Ortsdosisleistung lag zwischen 0,015 mSv/h und 2,5 mSv/h. Die Oberflächenkontamination betrug maximal 200 Bq/cm² und die Luftkontamination etwas unterhalb von 10 Bq/m³. Als Konsequenz der Leckage waren Dekontaminationsmassnahmen im Kalottenraum und in den Sumpfrinnen notwendig.

Revisionsstillstand im Block 2

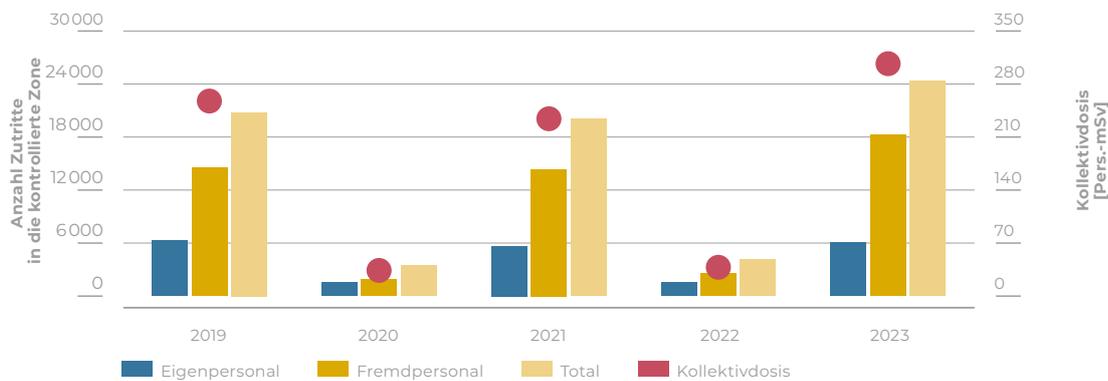
Das KKB stellte den Block 2 vom 4. August bis zum 12. September 2023 für die Revisionsabstellung für insgesamt 39 Tage ab. Die akkumulierte Kollektivdosis lag mit 318 Pers.-mSv im Bereich der Vorjahre für eine Revisionsabstellung und entsprach dem Umfang der Arbeiten. Die Kollektivdosis lag um 8% unter dem ursprünglichen Dosiszielwert von 346 Pers.-mSv. Die akkumulierte Kollektivdosis lag innerhalb des Toleranzbereichs von +/- 20% zur

Aufenthaltszeit in der kontrollierten Zone während den geplanten Stillständen im KKB Block 2 von 2019 bis 2023



Darstellung 16: Aufenthaltszeiten von Fremd- und Eigenpersonal in der kontrollierten Zone während der geplanten Stillstände im KKB Block 2 von 2019 bis 2023.

Kollektivdosen und Zutritte in die kontrollierte Zone während den geplanten Stillständen des KKB Block 2



Darstellung 17: Gesamtanzahl der Zutritte in die kontrollierte Zone und Kollektivdosen während der geplanten Stillstände im KKB Block 2 von 2019 bis 2023.

Planung. Die Kollektivdosis verteilte sich zu 24% auf das Eigen- und zu 76% auf das Fremdpersonal.

Die höchste Individualdosis, die während des Revisionsstillstands akkumuliert wurde, für das Eigenpersonal betrug 5,8mSv und für das Fremdpersonal 5,6mSv und lag damit weit unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes für beruflich strahlenexponierte Personen. Die mittlere Dosis betrug im Revisionszeitraum 0,22 mSv pro Person. Das KKB stellte über das ganze Jahr keine Inkorporationen fest oder Personenkontamination, die nicht mit einfachen Mitteln (Waschen, Duschen, Bürsten) entfernt werden konnten. Gesamthaft wurden 43520 Arbeitsstunden in der kontrollierten Zone geleistet.

Während der Revisionsabstellung wurden folgende Tätigkeiten mit erwarteter, signifikanter Strahlenexposition ausgeführt:

- Öffnen und Schliessen des RDB
- Reinigung der Reaktorgrube und des Transferkanals
- Öffnen, Schliessen und Inspektion der Dampferzeuger A und B
- Gerüstbau für Abschirmungen
- Armaturenrevision

Aufgrund des letzten Betriebszyklus stellte sich die radiologische Situation in der Anlage als günstig dar. Die kontrollierte Zone in der Anlage war während des Revisionsstillstands in einem radiologisch und konventionell sauberen Zustand. Zudem konnte während des ganzen Stillstandes der niedrige Kontaminationsgrad beibehalten werden.

Während des Abhebens des RDB-Deckels detektierte das KKB eine leicht erhöhte Luftkontamination, wobei keine Gefahr für das Personal bestand. Das Nuklidgemisch wurde von ⁵¹Cr mit 44%

und ^{60}Co mit 28% dominiert. Im Überwachungszeitraum wurde kein ^{241}Am in der Raumluft gemessen. Die betroffenen Anlagenbereiche beim Heben des RDB-Deckels und bei der Reinigung der Reaktorgrube waren als Zonentyp IV ausgewiesen. Bei den Arbeiten in der Reaktorgrube lag die Luftkontamination geringfügig über den für den Zonentyp II zulässigen Werten.

Zu keinem Zeitpunkt kam es zu einer signifikanten Kontaminationsverschleppung ausserhalb der dafür eingerichteten Zonentypen III und IV. Bei verschiedenen Arbeiten wurden abwischbare Alpha-Kontaminationen festgestellt: während der ersten und zweiten Grobreinigung des Reaktorbeckens, bei Arbeiten an verschiedenen Pumpen und Ventilen des Primärkreislaufes, bei Arbeiten am Dampferzeuger B, am Druckhalter-Entlastungstank, im Druckspeicher und in der Sumpfrinne. Das Niveau der abwischbaren Alpha-Kontamination bewegte sich zwischen 0,1 und 5 Bq/cm² und lag im Schnitt über alle Wischteste bei 0,7 Bq/cm². Insgesamt lagen die Beta/Gamma- zu Alpha-Verhältnisse der abwischbaren Kontaminationen in der Anlage zwischen 18 bis 6667 zu 1, im Mittel bei 1955 zu 1.

Bei der Arbeitsplatzüberwachung traf das KKB die gleichen Massnahmen wie beim Block 1. Auch kamen für die Raumluftüberwachung im Sicherheitsgebäude mobile Aerosol-, Edelgas- und Iodmonitore zum Einsatz. Im Brennelementlager war zusätzlich zum betrieblichen Iod-Überwachungssystem der Fortluft temporär ein Aerosolmonitor installiert.

Für die Radioanalytik setzte das KKB die gleichen Detektoren wie beim Block 1 ein. Für die mechanische Bearbeitung von Komponenten mit Alpha-Kontamination diente die sogenannte Alphawerkstatt.

Um im Bereich des Beckens für eine gute radiologische Situation zu sorgen, kam die bewährte Balduff-Filteranlage in der gefluteten Reaktorgrube sowie die Reinigung des Wassers in den Borwasservorrattanks zum Einsatz.

Die maximalen Aktivitätskonzentrationen im Primärkühlmittel während der Abfahr- und Reini-

gungsphase waren für ^{58}Co und ^{122}Sb im Vergleich zum Vorjahr in etwa gleich hoch. Die Höchstwerte für ^{60}Co und ^{124}Sb lagen um 53% respektive 25% unter den Maximalwerten aus dem Vorjahr. Die Aktivitätswerte im Primärkühlmittel lagen alle im Trend der letzten Jahre.

Der Strahlenschutz ergriff zudem Optimierungsmassnahmen bei der Reduktion der Ortsdosisleistung. So schirmte das KKB während der Revisionsabstellung Komponenten mit besonders hoher Dosisleistung mit Bleimatten oder Wasserstopfen temporär ab. Insgesamt wurden rund 34,7 Tonnen Bleiabschirmungen verbaut.

Wie in allen KKW üblich wurden zur Reduktion der Strahlenexposition gewisse Arbeiten vorher anhand eines Trainings an einem Mock-Up geübt. Aufgrund der späteren effizienteren Arbeitsweise im Strahlenfeld fallen sowohl die Aufenthaltszeit wie auch die Strahlenexposition tiefer aus. Im Block 2 trainierten Fachkräfte speziell den Einstieg in die Dampferzeuger und das Setzen der Loopschachtdeckel. Das Training wurde wie in der Realität unter erschwerten Bedingungen mit Schutzanzug und Atemschutzmaske absolviert. Durch das intensive Üben am Mock-Up konnte die Dosis für das Personal für den Einstieg in den Dampferzeuger mehr als halbiert werden.

Die Arbeiten an den Dampferzeugern A und B erforderten die Einrichtung eines Zonentyps IV. Bei den Dampferzeugern installierte das KKB eine mobile Absaugung. Die Luft aus den Dampferzeugern wurde durch eine Filteranlage gereinigt, bevor sie in die betriebliche Abluft eingeleitet wurde. Der Strahlenschutz war bei diesen und allen anderen Arbeiten bestrebt, die während der Arbeitsplatzüberwachung festgestellten Kontaminationen zeitnah und effektiv zu entfernen.

Das ENSI bewertet die während der Abstellungsplanung und -durchführung durch den Strahlenschutz getroffenen Optimierungsmassnahmen als zielführend. Es gab keine strahlenschutzrelevanten Zwischenfälle. Das Einbeziehen des Strahlenschutzes in den frühen Phasen der Planung hat sich bewährt.

Weitere Stillstände

In Block 1 kam es am 16. Juni des Berichtjahres infolge einer Speisewasserleckage zum Abfahren einer Turbogruppe. Die Reaktorleistung wurde auf 50% gedrosselt. Der Stillstand hatte keine Bedeutung für den Strahlenschutz, da sich die Leckage im nicht nuklearen Teil der Anlage ereignete. In Block 2 kamen keine weiteren Stillstände vor.

Vorkommnisse

Insgesamt wurden drei strahlenschutzrelevante Vorkommnisse verzeichnet: Im Block 1 führten zwei Leckagen im Bereich des Chemie- und Volumenregelsystems zu einem geringen Austritt von Radioaktivität in die kontrollierte Zone des Nebengebäudes. Ebenfalls im Block 1 kam es während des Brennelementwechsels zu einer Leckage bei einer Schweissnaht an der Auskleidung der Reaktorgrube. Die radiologischen Auswirkungen der Leckagen auf das Personal und die Anlage waren gering. Eine komplette Beschreibung der Vorkommnisse im Berichtsjahr findet sich jeweils im ENSI-Aufsichtsbericht.

Leckage an einer Schweissnaht einer Armatur des Chemie- und Volumenregelsystems

Am 15. Februar 2023 stellte das KKB im Rahmen eines periodischen Anlagenrundgangs eine Borablagerung auf der Isolation im Bereich einer Armatur im Chemie- und Volumenregelsystem fest. Mittels einer Abdichtmanschette stoppten Fachkräfte die Leckage. Die Verfügbarkeit des Systems war durch die Leckage nicht beeinträchtigt. Es ist davon auszugehen, dass es sich um den gleichen Schadensmechanismus wie bei einem Vorkommnis im Jahr 2022 handelt, nämlich eine «chlorinduzierte transkristalline Spannungsrisskorrosion» ausgehend von dem Spalt zwischen Muffe und Rohr.

Leckage an einer Entlastungsleitung (Entgasung) zur Mehrstufenblende einer Ladepumpe

Während des ungestörten Volllastbetriebes von Block 1 stellte das KKB am 7. Oktober 2023 eine Leckage in einem Bereich zwischen der Auffangwanne einer Ladepumpe und einer Mehrstufenblende fest.

Die Ladepumpe besitzt pro Kolben eine Entlastungsleitung, welche den Kolbenraum entgast und kühlt. Die Entlastungsleitungen dienen ausschliesslich der Optimierung des Pumpenbetriebs und haben weder eine sicherheits- noch eine funktionsrelevante Bedeutung für die Ladepumpe.

Als Ursachen für die vermutete Rissbildung kommen Spannungen aus dem Herstellungs-Biegeprozess der Leitung in Kombination mit vorhandenen Pulsationen aus dem Betrieb der Ladepumpe infrage.

Leckage an einer Dichtschweissnaht des Cavity-Liners

Während der Revisionsabstellung im Block 1 kam es am 11. Mai 2022, bei gefülltem Reaktorbecken zu einer Leckage, die über dem normalen Wert lag und sich als Niveauanstieg im Containment-Sumpf bemerkbar machte.

Die undichte Stelle konnte trotz diverser Massnahmen nicht gefunden werden und blieb bis zum Schluss der Revisionsabstellung 2022 bestehen. Die Leckagemenge konnte jederzeit durch Nachspeisen von boriiertem Wasser kompensiert werden.

Nach der Revisionsabstellung 2022 setzte sich eine Arbeitsgruppe des KKB mit den Massnahmen zum Finden und Beheben der Leckage auseinander.

Im Berichtsjahr ergriff das KKB anlässlich des Brennelementwechsels umfangreiche vorbereitete Massnahmen (unter anderem der Einsatz von Tauchern, Farbeindringprüfungen und Kameras an unzugänglichen Orten), um die Leckagestelle zu lokalisieren und die Leckage zu beheben. Die Leckagestelle wurde schliesslich in einer Schweissnaht zwischen der Edelstahlauskleidung des Reaktorbeckens und einer Puffernaht am RDB-Flansch identifiziert. Die Schweissnaht hat die Funktion, den Cavity-Liner mit dem RDB dicht zu verbinden.

In der Folge eines Fachgespräches mit dem ENSI meldete das KKB die im Jahr 2022 aufgetretene erhöhte Leckage am 29. November 2023 dem ENSI

als Vorkommnis. Die Reparatur der Leckagestelle ist für die im Jahr 2024 stattfindenden Revisionsabstellung eingeplant.

Strahlenschutzinstrumentierung

Anlässlich einer Inspektion überprüfte das ENSI stichprobenweise die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser. Der Weg von der Probenentnahme, über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Monats- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar. Auch zeigten die Stichproben, dass das KKB die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt im Jahr 2023 korrekt durchgeführt hat.

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

- 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.
- In der zweiten Jahreshälfte 2023 wurde vom BAG die 70. Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie veranlasst. Dabei führte das IRA unter anderem die obligatorische Referenzbestrahlung mit $^{137}\text{Cs}/^{137\text{m}}\text{Ba}$ durch. Bei der Erstellung des vorliegenden Berichts lagen die Resultate dieser Vergleichsmessung noch nicht vor.

Dosimetrie

Während des Berichtsjahres kamen in der kontrollierten Zone oder bei Transporteinsätzen 1540 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz. Die Kollektivdosis während der Berichtsperiode betrug gerundet 443 Pers.-mSv, sie liegt damit in einem tiefen Bereich und ist mit dem Dosiszielwert von 490 Pers.-mSv konsistent. Die Aufteilung der Kollektivdosis zwischen Leistungsbetrieb und Stillständen stellte sich folgendermassen dar:

KKB Block 1/2	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
Brennelementwechsel/ Revisionsstillstand	57 / 318
Leistungsbetrieb	68
Gesamte Jahreskollektivdosis	443

Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2023 betrug 6,4 mSv. Diese Dosis lag, bedingt durch den Arbeitsumfang, unterhalb des Vorjahreswertes (8,3 mSv) und unterhalb des für beruflich strahlenexponierte Personen festgelegten gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr.

Das KKB stellte während der ganzen Berichtsperiode keine Kontaminationen fest, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten. Zudem detektierte das KKB keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle.

Die anerkannte Personendosimetriestelle des KKB führte folgende Anzahl an Dosisermittlungen durch:

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
1565	1565	59

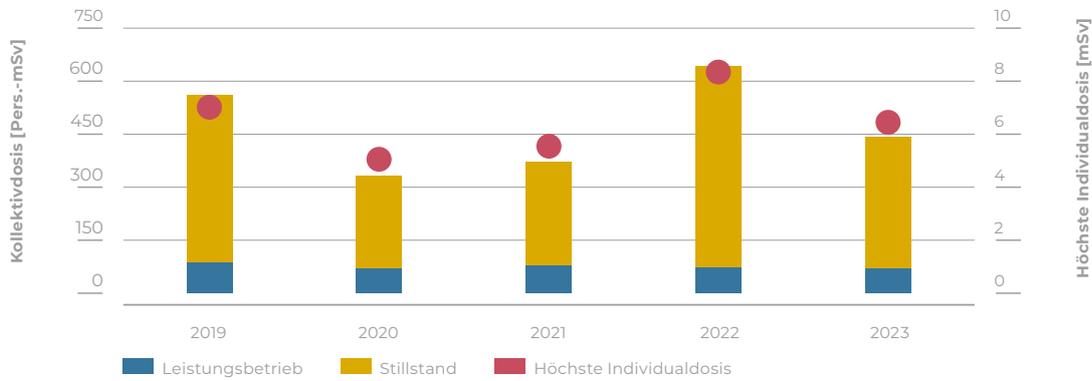
Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörperzähler	Schilddrüse
–	–

Bewertung der Strahlenexposition

Das KKB vollzieht einen nach Wissenschaft und Technik entsprechenden Strahlenschutz, indem es unter anderem Strahlenschutzplanungen erstellt und Optimierungsmassnahmen ein- und umsetzt. Das Betriebsjahr 2023 zeichnete sich durch eine für das KKB im Vergleich zu den Vorjahren durchschnittliche Kollektivdosis aus, trotz insgesamt erhöhtem Arbeitsaufwand. Das KKB führte 2023 eine lange Revisionsabstellung durch, konnte aber die Kollektivdosis dank der durchgeführten Massnahmen dabei tief halten.

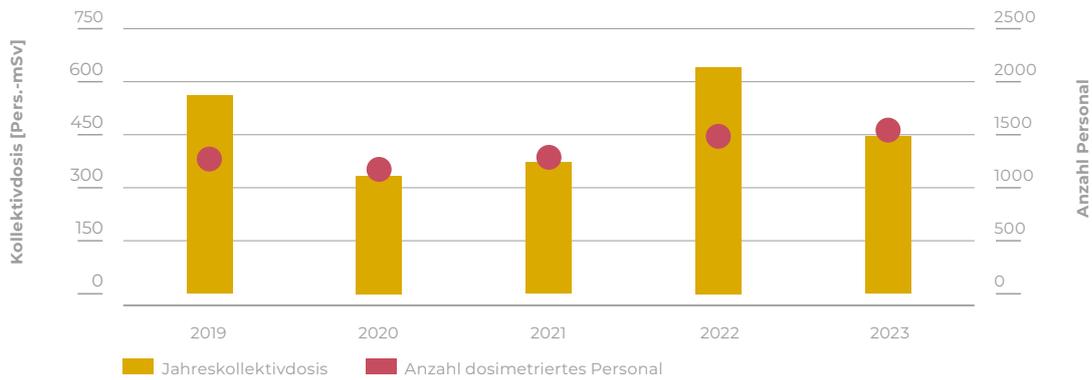
Das ENSI führte 2023 insgesamt 21 strahlenschutzbezogene Inspektionen im KKB durch. Dabei konnte festgestellt werden, dass im KKB ein gesetzlich konformer und effizienter Strahlenschutz betrieben wird und sämtliche Abgabewerte eingehalten wurden.

Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im KKB von 2019 bis 2023



Darstellung 18: Jahreskollektiv- (Pers.-mSv) und höchste Individualdosen (mSv) im KKB von 2019 bis 2023. Dargestellt sind Daten aus den Revisionsstillständen, dem Leistungsbetrieb und der Verlauf der höchsten Individualdosen während der vergangenen Betriebsjahre.

Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des KKB von 2019 bis 2023



Darstellung 19: Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal im KKB von 2019 bis 2023.

Der Quotient aus der Dosis pro erzeugte elektrische Energie betrug im KKB 0,074 Pers.-mSv pro GWh_(e) und blieb somit weiterhin tief (Vorjahr: 0,111 Pers.-mSv/GWh_(e)).

2.2 Kernkraftwerk Gösgen

Betrieb am Netz [%]

91,3

Dauer der Stillstände [d]

29

Kollektivdosis im Leistungsbetrieb [Pers.-mSv]

80

Höchste Individualdosis [mSv]

5,8

Erzeugter Strom [GWh]

8474

Kollektivdosis [Pers.-mSv]

380

Kollektivdosis während der Stillstände [Pers.-mSv]

300

Errechnete Dosis für die Bevölkerung aufgrund von Emissionen [mSv/Jahr]

< 0,001

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal im KKG



Verhältnis der Kollektivdosen Leistungsbetrieb gegenüber Stillstand



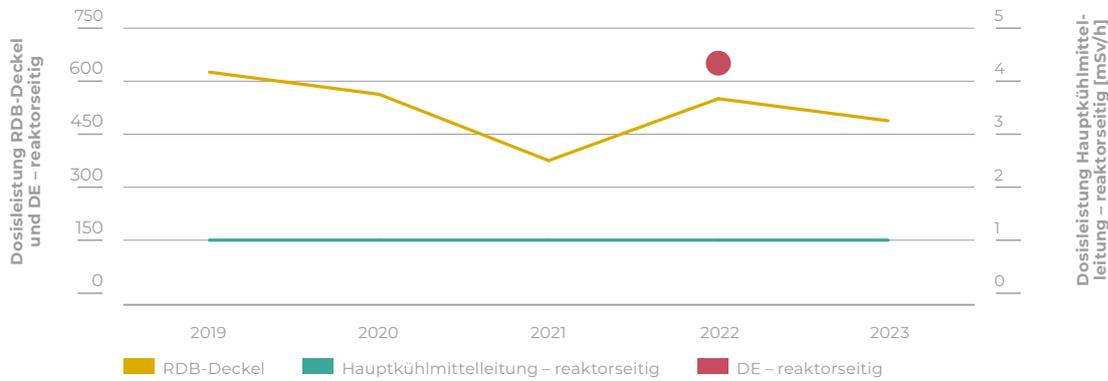
Kollektivdosis
 Anzahl dosimetriertes Personal

Leistungsbetrieb
 Stillstand

Zusammenfassung

Das Betriebsjahr 2023 des KKG verlief aus strahlenschutztechnischer Sicht ohne grössere Probleme. Ende Mai bis Ende Juni absolvierte das Werk eine 29-tägige, umfangreiche Jahresrevision. Das KKG konnte die Kollektivdosis dank der umgesetzten Massnahmen in Anbetracht des Arbeitsaufwandes tief halten. Der Leistungsbetrieb verlief weitgehend ohne relevante strahlenschutztechnische Ereignisse oder Vorkommnisse. Die durch das KKG geplanten und ergriffenen Massnahmen im Strahlenschutz, sowohl während des Stillstands als auch während des Leistungsbetriebs, haben sich als wirkungsvoll erwiesen.

Oberflächendosisleistungen an Komponenten des Primärkreislaufs des KKG von 2019 bis 2023



Darstellung 20: Verlauf der gemessenen Oberflächendosisleistung am RDB-Deckel sowie einem Dampferzeuger (DE) reaktorseitig (beide linke Achse) und der Hauptkühlmittelleitung reaktorseitig (rechte Achse) von 2019 bis 2023.

Betriebsgeschehen

Das KKG hat mit einer Verfügbarkeit von 91,3% ein erfolgreiches Betriebsjahr absolviert. Ausserhalb der Jahresrevision wurden keine umfangreichen strahlenschutzrelevanten Arbeiten durchgeführt. Der Bestand des Strahlenschutzpersonals hat sich 2023 nicht verändert und beträgt weiterhin 19 Personen, wobei das ENSI anmerkt, dass drei Strahlenschutz-Sachverständige hauptberuflich strahlenschutzfernen Aufgaben nachgehen.

Der radiologische Anlagenzustand stellt sich weiterhin als gut dar. Die mittlere Oberflächendosisleistung an den gemessenen Komponenten des Primärkreislaufes blieb dank der kontinuierlichen Zinkeinspeisung konstant. Es hat sich auf tiefem Niveau ein Gleichgewichtszustand ergeben.

Sowohl im endenden Zyklus 44 als auch in dem im Berichtsjahr anlaufenden Zyklus 45 gab es keine Anzeichen für Brennelementschäden. Deswegen und weil sich die Lüftungstechnischen Massnahmen bewährt haben, ergaben sich 2023 keine aussergewöhnlichen Luftkontaminationen. Das KKG stellte über das ganze Jahr keine Inkorporationen fest oder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln (Waschen, Duschen, Bürsten) entfernt werden konnten.

Das KKG verfolgte, insbesondere während der Jahresrevision, eine umfangreiche Kampagne zur Vermeidung von Fremdmaterialeintrag.

Als Fremdmaterialeintrag (kurz FME) wird in Kernanlagen das ungewollte Eindringen von Materialien oder Substanzen in den Primär- oder Sekundärkreislauf bezeichnet. Ein FME kann beispielsweise ein Leck, eine Störung oder auch menschliches Versagen als Ursache haben. Durch FME kann die Sicherheit und die Integrität einer Kernanlage beeinträchtigt werden, zum Beispiel indem ein Fremtteil im Primärkreislauf transportiert wird und dabei eine Komponente beschädigt. Entsprechend wird sensiblen Bereichen in Kernanlagen besondere Aufmerksamkeit geschenkt, wie beispielsweise am Beckenrand der Reaktorgrube oder an geöffneten Komponenten und Systemen.



Bild 7: Kampagne zur Steigerung der Aufmerksamkeit für die Vermeidung von Fremdmaterialeintrag.

Die geplante Kollektivdosis für den Leistungsbetrieb von 67 Pers.-mSv wurde mit 80 Pers.-mSv grundsätzlich eingehalten.

Revisionsstillstand

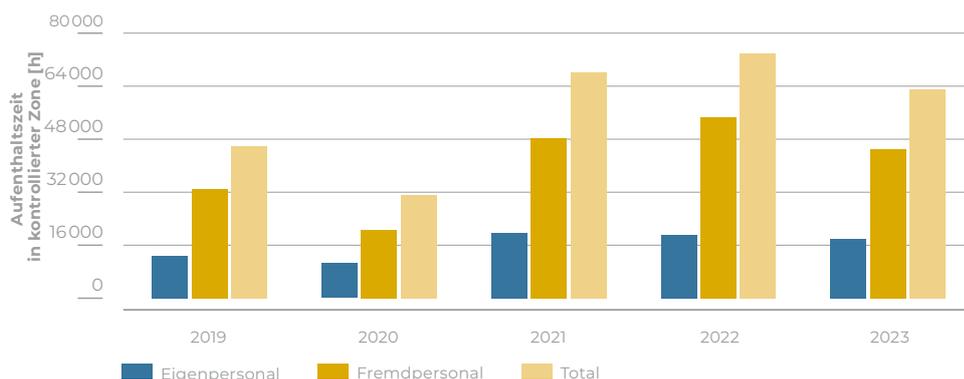
Das KKG stellte die Anlage vom 27. Mai bis zum 25. Juni 2023 für die Jahresrevision mit Brennelementwechsel für insgesamt 29 Tage ab. Mit 300 Pers.-mSv fiel die akkumulierte Kollektivdosis höher als im Vorjahr aus, entsprach aber dem Umfang der Arbeiten. Die Kollektivdosis für die Jahresrevision 2023 lag um 16% über dem ursprünglichen Dosiszielwert von 258 Pers.-mSv. Der Dosiszielwert wurde während der Jahresrevision aufgrund eines höher als geplantem Arbeitsaufwands auf 268 Pers.-mSv angepasst. Die Abweichung vom Dosiszielwert ist vorwiegend auf den deutlich höheren Aufwand bei Gerüstbauarbeiten und das länger dauernde Erodieren nach der Prüfung einer Trennblechschweißnaht in einem Dampferzeuger zurückzuführen. Die akkumulierte Kollektivdosis lag innerhalb des Toleranzbereichs von +/- 20% zur Planung. Die höchste Individualdosis beim Fremdpersonal, die während des Revisionsstillstands akkumuliert wurde, lag mit 4,1 mSv weit unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr für beruflich strahlenexponierte Personen. Gleiches gilt für die höchste Individualdosis des Eigenpersonals mit 3,1 mSv. Die Kollektivdosis verteilt sich zu 29% auf das Eigen- und zu 71% auf das Fremdpersonal. Die mittlere Dosis betrug im Revisionszeitraum 0,22 mSv/Person. Gesamthaft wurden 63010 Arbeitsstunden in der kontrollierten Zone geleistet. Das KKG ver-

zeichnete pro Tag in Mittel 712 Zutritte von bis zu 450 verschiedenen Personen.

Das Abfahren der Anlage für die Jahresrevision wurde ähnlich wie in den vergangenen Jahren durchgeführt und durch das Ressort Chemie anhand von Analysen begleitet. Während des Abfahrens wurden im Primärwasser Aktivitätskonzentrationen von ^{60}Co und weiteren Aktivierungsprodukten wie Chrom, Mangan oder Antimon gemessen. Die Messwerte waren mit jenen aus den Vorjahren vergleichbar.

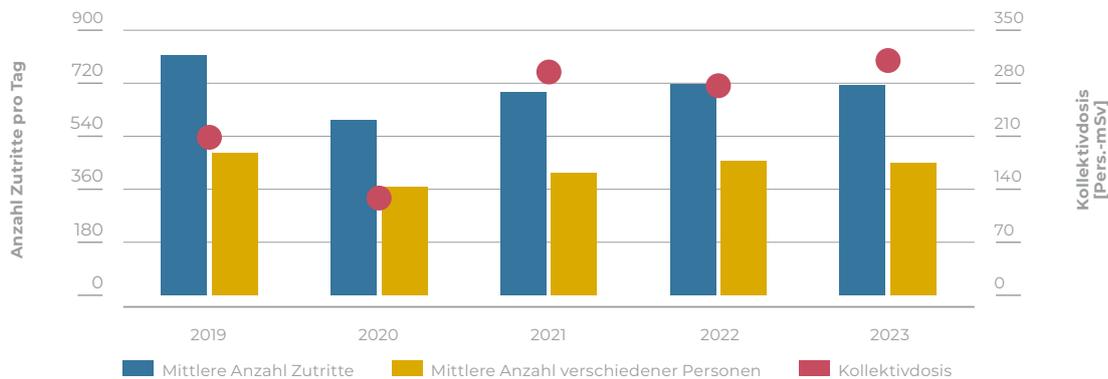
Beim Abfahren vollzieht das KKG für das Primärkühlmittel einen Wechsel von der sogenannten «reduzierenden Fahrweise» zur «oxidierenden Fahrweise». Zu Beginn des Abfahrens reichert das KKG das Primärkühlmittel mit zusätzlicher Borsäure an, um die Reaktivität des Reaktors mit zusätzlicher Marge zu kontrollieren. 24 Stunden später beginnt die Einspeisung von Wasserstoffperoxid, wodurch sich oxidierende Eigenschaften des Primärkühlmittels einstellen. Dies bewirkt, dass die Aktivitätskonzentrationen der Aktivierungsprodukte im Primärkühlmittel ansteigen, welche anschließend durch den Reinigungsprozess herausgefiltert werden können. Auch im Berichtsjahr überwachte das KKG die Aktivitätskonzentrationen von radioaktiven Edelgasen und von Iod-Nukliden während des Abfahrens engmaschig. Sowohl bei der Leistungsreduktion als auch bei der Druckentlastung wurde keine Erhöhung der Edelgas- oder Iod-Konzentrationen gemessen.

Aufenthaltszeit in der kontrollierten Zone während der Revision im KKG von 2019 bis 2023



Darstellung 21: Aufenthaltszeiten von Fremd- und Eigenpersonal in der kontrollierten Zone während der Revisionen im KKG von 2019 bis 2023.

Kollektivdosen und Zutritte in die kontrollierte Zone des KKG



Darstellung 22: Mittlere Anzahl Zutritte in die kontrollierte Zone des KKG pro Tag und mittlere Anzahl verschiedener Personen in der kontrollierten Zone des KKG pro Tag sowie die Kollektivdosen während der Revisionen im KKG von 2019 bis 2023.

Die kontrollierte Zone in der Anlage stellte sich während der Jahresrevision in einem radiologisch und konventionell sauberen Zustand dar. Die Dosierung von Zink in den Primärkreis wirkte sich über die Jahre auf den Dosisleistungspegel und die akkumulierten Personendosen positiv aus. Seit Beginn der Zinkdosierung im Jahr 2005 nahm die Dosisleistung an den Primärkreislaufkomponenten durchschnittlich um ca. 77% ab. Die Dosisleistung im Innern des RDB-Deckels nahm stärker ab und betrug mit 39 mSv/h noch knapp 14% des ursprünglichen Wertes von 2006 (280 mSv/h). Die regelmässigen Ortsdosisleistungsmessungen zeigten an den während der Revision zugänglichen Komponenten gegenüber dem Vorjahr eine in etwa konstante Gamma-Dosisleistung.

Das Verhältnis von beta/gamma- zu alphastrahlenden Nukliden nahm gegenüber dem Vorjahr zu und betrug für den RDB-Deckel ungefähr 2400 zu 1 und für die Dampferzeuger im Mittel 1350 zu 1. Dies liess einen Beta/Gammastrahlerbasierten Strahlenschutz zu.

Im Mittel lagen die Luftkontaminationen auf einem niedrigen Niveau unterhalb von 0,1 Richtwerten. So war beim Abheben des RDB-Deckels kein Anstieg der Luftkontamination bezüglich Aerosole festzustellen. Auch die dabei gemessene Edalgaskontamination von 0,003 Richtwerten war gering. Ferner wurden nur geringfügige Aktivitätskonzentrationen von ¹³¹Iod und ¹³²Iod gemessen. Die tiefen Kontaminationswerte begründen sich mit den zurückliegenden defektfreien Betriebszyklen.



Bild 8: Grubenreinigungsarbeiten im Zonentyp IV in entsprechendem Tenue beziehungsweise Vollschutz im KKG.

Nach dem Abfahren der Anlage präsentierte sich die kontrollierte Zone, insbesondere die grossen Anlagenräume des Containments, bezüglich Oberflächenkontaminationen in einem radiologisch sauberen Zustand. Das Zonenkonzept wurde vollumfänglich eingehalten.

Insgesamt verwendete das KKG in der kontrollierten Zone 20,2t Blei für Abschirmungszwecke. Dadurch wurden Abschirmfaktoren von 2 bis 27 und eine geschätzte Dosisreduktion von 64 Pers.-mSv erreicht.

Des Weiteren traf das KKG für den Strahlenschutz die regulären, zusätzlichen Massnahmen: das Erstellen einer gerichteten Absaugung anhand der Spülluftstränge der betrieblichen Lüftung, das gezielte Absaugen mittels Filtermobil oder die Verwendung eines Schutzhemdes beim Ziehen des RDB-Deckels, um das Inkorporationsrisiko und die Strahlenbelastung während der Arbeiten für das

Das Zonenkonzept in einer Kernanlage beschreibt die Einstufung der Betriebsareale, Gebäude, Räume oder Bereiche aufgrund des radiologischen Zustands in Zonen- resp. Gebietstypen. Die von der Strahlenschutzverordnung definierten Überwachungs- und Kontrollbereiche werden im Aufsichtsbereich des ENSI als kontrollierte Zone bezeichnet. Anlagenbereiche mit existierenden oder potentiellen Kontaminationswerten werden dabei Zonentypen zugeordnet. Analog werden Orte mit erhöhter oder möglicher erhöhter Dosisleistung in Gebietstypen eingeteilt. In der Schweiz kommen fünf verschiedene Zonentypen von 0 bis IV mit ansteigenden Oberflächen- und Luftkontaminationswerten zum Einsatz. In Bezug auf die Ortsdosisleistung (ODL) werden sogenannte Gebietstypen von V bis Z definiert, wobei die ODL für den Gebietstyp Z nach oben offen ist. Anhand der Einstufung von Gebiets- oder Zonentypen werden die Anforderungen an den Strahlenschutz definiert und Massnahmen abgeleitet und implementiert. Das Zonenkonzept ist somit ein wichtiger Bestandteil des Strahlenschutzes und der Sicherheitskultur in Kernanlagen, indem es eine Grundlage dafür bildet, die Strahlenexposition von Menschen zu kontrollieren und das Risiko sowohl für das Personal als auch für die Umwelt zu überwachen. Für Labore gibt der sogenannte Arbeitsbereich (A, B oder C) zusätzlich Auskunft über die radiologische Gefahr. In einem Arbeitsbereich A wird radioaktives Material von mehr als 10000 Beteiligungsgrößen behandelt.



Bild 9:
Zonenübergang vom Zonentyp I zu III und vom III zu IV.

Personal zu reduzieren. Beim Ziehen des RDB-Deckels beschränkte das KKG sicherheitsgerichtet den Aufenthalt des Personals im Containment auf Personen, die für die Ausführung dieser Tätigkeit notwendig waren.

Das KKG griff zur Optimierung der Strahlenexposition auf das Training an einem Mock-Up zurück. So übten Fachkräfte im Vorfeld zur Prüfung einer Trennblechschweissnaht in einem Dampferzeuger mit anschliessendem Erodieren die entsprechenden Handgriffe am Modell der Dampferzeuger-Kalotte.

Erwähnenswert sind zwei Arbeiten, in denen der Zielwert für die Kollektivdosis deutlich überschritten wurde. Bei den Gerüstbau- und Isolationsarbeiten wurde mit 48,5 Pers.-mSv mehr als doppelt so viel Dosis akkumuliert wie ge-

plant (23,3 Pers.-mSv). Die Jobdosis teilte sich auf zu 29,1 Pers.-mSv für den Gerüstbau und zu 19,4 Pers.-mSv für Isolationsarbeiten. Der Grund für die hohe Jobdosis war ein ausserordentlich hoher Aufwand bei den Gerüstbauarbeiten. Die zweite Arbeit mit einer Überschreitung des Dosiszielwerts der Jobdosis ergab sich bei Erodierarbeiten nach der Prüfung einer Trennblechschweissnaht in einem Dampferzeuger. Die Situation erforderte einen längeren Erodiervorgang, da die Anzeichen an der Schweissnaht tiefer reichten als erwartet. Entsprechend fiel bei der Arbeit eine Jobdosis von 36,1 Pers.-mSv anstatt der geplanten 19,4 Pers.-mSv an. Dementgegen standen mehrere Arbeiten, bei denen der Dosiszielwert teilweise deutlich unterschritten wurde. So wurden für Reinigungs- und Dekontaminationsarbeiten 20,1 Pers.-mSv anstatt 32,0 Pers.-mSv und bei der Prüfung der RDB-Bolzen 11,0 Pers.-mSv anstatt



Bild 10:
Prüfein-
richtung der
RDB-Bolzen
im KKG.

der geplanten 18,4 Pers.-mSv akkumuliert. Mit 138,4 Pers.-mSv wiesen die Personen aus der Maschinen- und Schweisstechnik die höchste Kollektivdosis auf.

Aufgrund der Optimierungsmassnahmen des KKG, der vorgenommenen Planungs- und Vorbereitungsarbeiten sowie aufgrund der Kontrolle und Begleitung der relevanten Arbeiten durch den Strahlenschutz gab es in der Jahresrevision keine strahlenschutzrelevanten Zwischenfälle.

Die Anlage wurde nach dem Anfahren auf 100% Leistung ausgemessen. Es wurde ein Hotspot im Beckenreinigungssystem festgestellt, der durch Spülen beseitigt werden konnte. Ein weiterer Hotspot wurde an einer Loop-Entwässerungsleitung gefunden. Dieser Ort ist im Leistungsbetrieb nicht

zugänglich. Dieser Feststellung wird beim nächsten Stillstand nachgegangen.

Ein Hotspot ist ein häufig eingegrenzter Ort oder eine Stelle mit erhöhter Strahlung (Ortsdosisleistung). Der Ursprung von Hotspots ist eine radioaktive Kontamination. Hotspots können durch losgelöste – beispielsweise durch Dekontaminationsmassnahmen – und sich an bestimmten Stellen in einer Kernanlage ablagernde Partikel entstehen. Oft sind Abschnitte von Rohrleitungen mit geringen Strömungsverhältnissen, bei Blenden, Biegungen oder Abzweigungen von Hotspots betroffen.

Weitere Stillstände

Es gab keine weiteren Stillstände.

Vorkommnisse

Im KKG ereignete sich im Berichtsjahr kein Vorkommnis mit Relevanz für den Strahlenschutz. Eine komplette Beschreibung der Vorkommnisse im Berichtsjahr findet sich jeweils im ENSI-Aufsichtsbericht.

Strahlenschutzinstrumentierung

Anlässlich einer Inspektion überprüfte das ENSI stichprobenweise die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser. Der Weg von der Probenentnahme, über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Monats- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar. Auch zeigten die Stichproben, dass das KKG die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt im Jahr 2023 korrekt durchgeführt hat.

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

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Iodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKG.
- In der zweiten Jahreshälfte 2023 wurde vom BAG die 70. Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie veranlasst. Dabei führte das IRA unter anderem die obligatorische Referenzbestrahlung mit $^{137}\text{Cs}/^{137\text{m}}\text{Ba}$ durch. Bei der Erstellung des vorliegenden Berichts lagen die Resultate dieser Vergleichsmessung noch nicht vor.

Im Berichtsjahr erteilte das ENSI die Konzeptfreigabe für den Ersatz der Messstellen zur Überwachung der Kaminfortluft und Raumabluft hinsichtlich radioaktiver Edelgase und die Auslegungsfreigabe für die Erneuerung des Messsystems zur radiologischen Überwachung der Frischdampfleitungen.

Dosimetrie

Während des Berichtsjahres kamen in der kontrollierten Zone oder bei Transporteinsätzen 1517 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz. Die Kollektivdosis während der Berichtsperiode betrug 380 Pers.-mSv, sie liegt damit in einem tiefen Bereich und ist mit dem revidierten Dosiszielwert von 335 Pers.-mSv grundsätzlich konsistent. Die Aufteilung der Kollektivdosis zwischen Leistungsbetrieb und Revisionsstillstand stellte sich folgendermassen dar:

KKG	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
Revisionsstillstand	300
Leistungsbetrieb	80
Gesamte Jahreskollektivdosis	380

Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2023 betrug 5,8 mSv. Diese Dosis ist identisch mit derjenigen des Vorjahres (5,8 mSv) und lag unterhalb des für beruflich strahlenexponierte Personen festgelegten gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr.

Das KKG stellte während der ganzen Berichtsperiode keine Kontaminationen fest, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten. Zudem detektierte das KKG keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle.

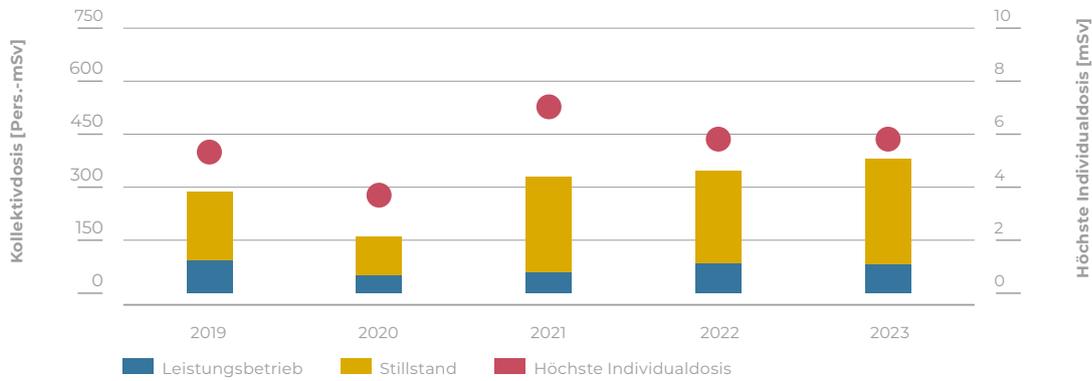
Die anerkannte Personendosimetriestelle des KKG führte folgende Anzahl an Dosismittlungen durch:

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
1612	1612	12
Überwachung der Inkorporationen		
Ganzkörperzähler	Schilddrüse	
1612	1612	

Bewertung der Strahlenexposition

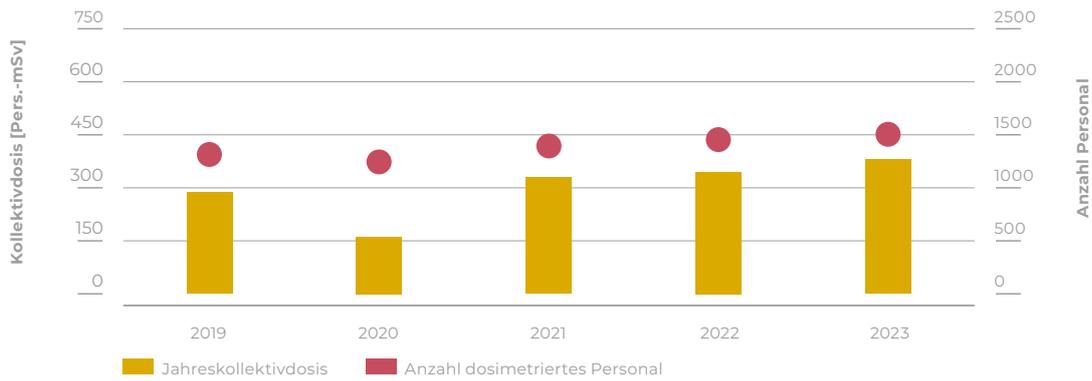
Die Kollektivdosis im KKG konnte aufgrund der im Jahr 2023 kontinuierlich fortgeführten Zinkein- speisung der letzten Jahre sowie dem consequenten Umsetzen von Optimierungsmassnahmen weiter reduziert werden. Das KKG vollzieht einen nach Wissenschaft und Technik entsprechenden Strahlenschutz, indem es unter anderem Erfah-

Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im KKG von 2019 bis 2023



Darstellung 23: Jahreskollektiv- (Pers.-mSv) und höchste Individualdosen (mSv) im KKG von 2019 bis 2023. Dargestellt sind Daten aus den Revisionsstillständen, dem Leistungsbetrieb und der Verlauf der höchsten Individualdosen während der vergangenen Betriebsjahre.

Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des KKG von 2019 bis 2023



Darstellung 24: Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal im KKG von 2019 bis 2023.

rungswerte aus den Vorjahren zur Optimierung heranzieht und neue Verbesserungsmaßnahmen ergreift.

Trotz eines insgesamt hohen Arbeitsaufwandes zeichnete sich das Betriebsjahr 2023 durch eine durchschnittliche Kollektivdosis aus. Das KKG führte eine umfangreiche Jahresrevision durch, konnte die Kollektivdosis aber dank der umgesetzten Massnahmen in Anbetracht des Arbeitsaufwandes tief halten.

Das ENSI führte 2023 insgesamt 19 strahlenschutzbezogene Inspektionen im KKG durch. Dabei stellte es fest, dass das KKG einen gesetzlich konformen und effizienten Strahlenschutz betrieb und sämtliche Abgabewerte einhielt.

Der Quotient aus der Dosis pro erzeugte elektrische Energie betrug im KKG 0,045 Pers.-mSv pro GWh_(e) und blieb somit weiterhin tief (Vorjahr: 0,041 Pers.-mSv/GWh_(e)).

2.3 Kernkraftwerk Leibstadt

Betrieb am Netz [y]

89,8

Dauer der Stillstände [d]

31

Kollektivdosis im Leistungsbetrieb [Pers.-mSv]

273

Höchste Individualdosis [mSv]

5,9

Erzeugter Strom [GWh]

10 111

Kollektivdosis [Pers.-mSv]

946

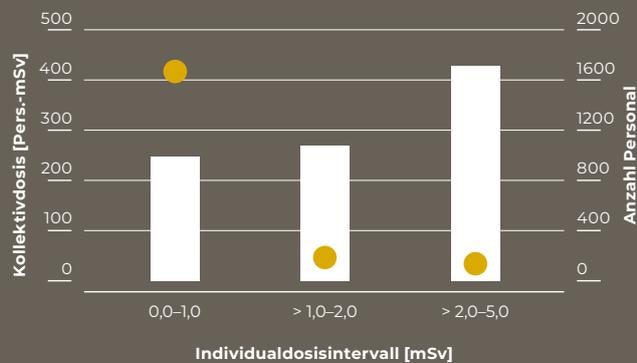
Kollektivdosis während der Stillstände [Pers.-mSv]

673

Errechnete Dosis für die Bevölkerung aufgrund von Emissionen [mSv/Jahr]

< 0,006

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal im KKL



Kollektivdosis
 Anzahl dosimetriertes Personal

Verhältnis der Kollektivdosen Leistungsbetrieb gegenüber Stillstand



Leistungsbetrieb
 Stillstand

Zusammenfassung

Die durch das KKL unternommenen Massnahmen im Strahlenschutz, sowohl für die 31 Tage dauernde Jahreshauptrevision als auch für den Leistungsbetrieb, bewertet das ENSI als zielführend. Der radiologische Anlagenzustand wurde durch die ⁶⁰Co-Aktivitätskonzentration im Primärwasser dominiert. Das KKL verbesserte die Situation aber mit dem im Jahr 2021 durchgeführten Austausch der Umwälzschleifen. Dank den brennstoffschadensfreien vergangenen Betriebszyklen ist die Aktivitätskonzentration der Spaltprodukte im Primärkühlmittel auch im Berichtsjahr leicht gesunken.

Betriebsgeschehen

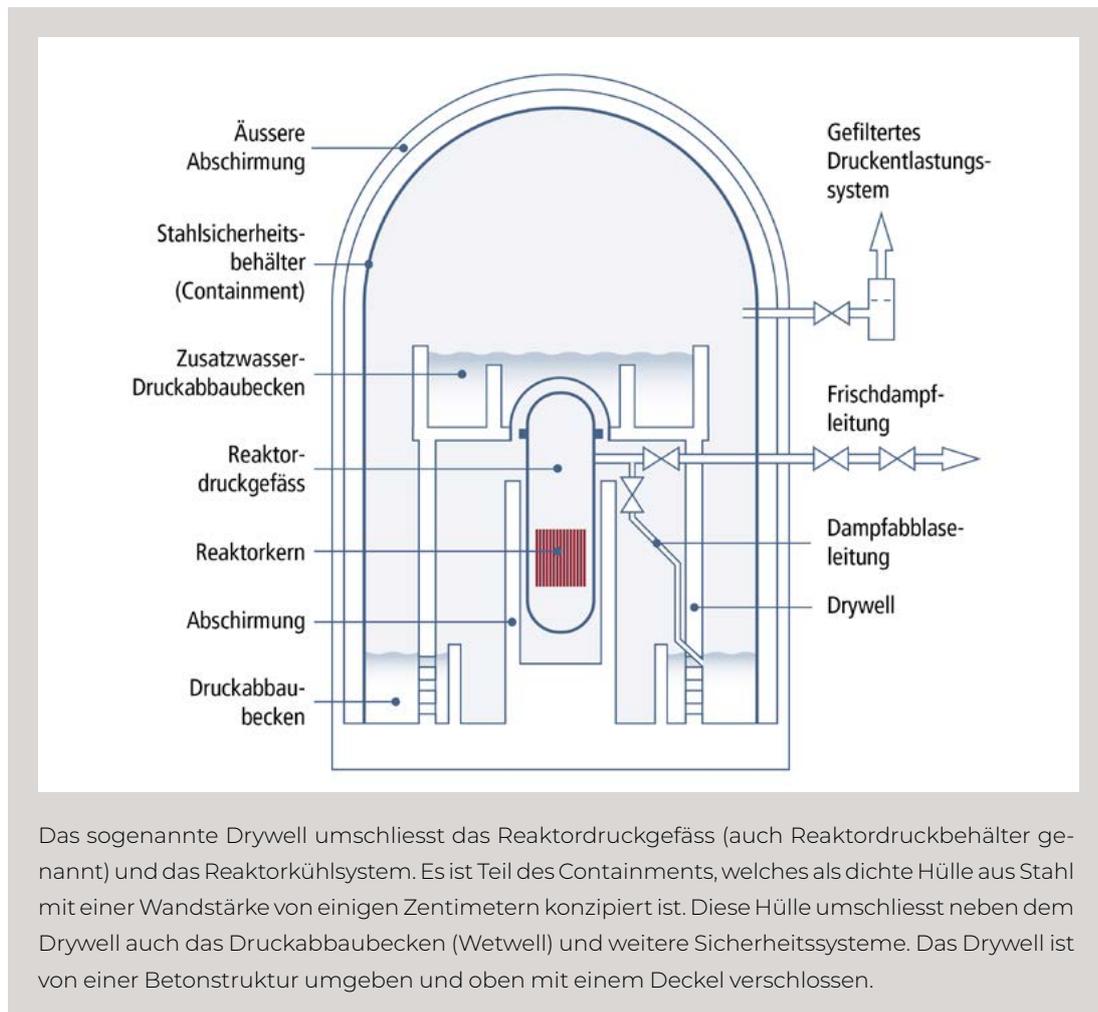
Das KKL hat mit einer Verfügbarkeit von 91,5% ein erfolgreiches Betriebsjahr absolviert. Die produzierte Menge an Strom ist mit derjenigen aus den Vorjahren vergleichbar. Ende des Berichtsjahres gehörten 23 Personen dem anerkannten Strahlenschutzpersonal an.

Der radiologische Anlagenzustand wird durch eine im Vergleich zu anderen BWR-6-Anlagen höhere ⁶⁰Co-Aktivitätskonzentration im Primärkühlmittel und damit durch höhere Dosisleistungen in der Anlage dominiert. Das KKL verbesserte die Situation durch den Austausch der Umwälzschleifen im Jahr 2021. Die mittlere Oberflächen-dosisleistung an den Umwälzschleifen lag im Jahr 2020 bei 1,8 mSv/h und nach dem Austausch im Jahr 2021 bei unter 0,2 mSv/h. Inzwischen hat eine Rekontamination und damit ein Anstieg der

Oberflächendosisleistung stattgefunden. Die Dosisleistung lag im Jahr 2023 bei 0,65 mSv/h, was einen Anstieg um 23% gegenüber dem Wert von 0,53 mSv/h aus dem Jahr 2022 bedeutet. Die Ortsdosisleistung im Drywell ist praktisch unverändert geblieben.

Dank den brennstoffschadensfreien vergangenen Betriebszyklen ist die Aktivitätskonzentration der Spaltprodukte im Primärkühlmittel auch im Berichtsjahr leicht gesunken. Vor allem die mittlere Aktivitätskonzentration im Zyklus 39 von ¹³¹I im Reaktorwasser war im Vergleich zum Vorjahr leicht tiefer.

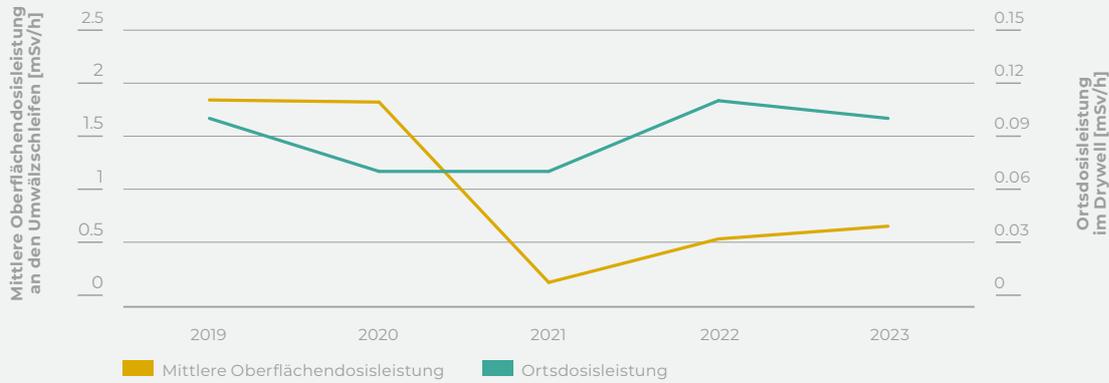
Die geplante Kollektivdosis für den Leistungsbetrieb von 350 Pers.-mSv wurde mit 273 Pers.-mSv unterschritten.



Darstellung 25:
Querschnitt
durch das
Reaktor-
gebäude des
KKL.
Darstellung:
KKL

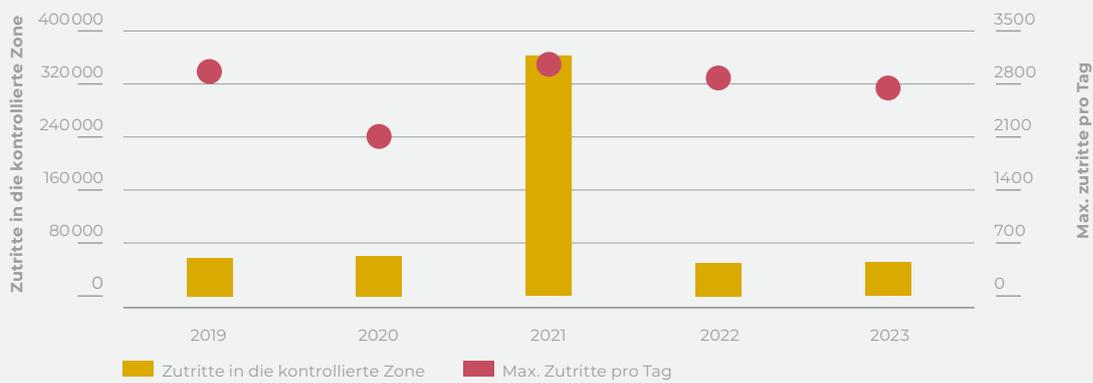
Das sogenannte Drywell umschliesst das Reaktor-druckgefäß (auch Reaktor-druckbehälter genannt) und das Reaktor-kühl-system. Es ist Teil des Containments, welches als dichte Hülle aus Stahl mit einer Wandstärke von einigen Zentimetern konzipiert ist. Diese Hülle umschliesst neben dem Drywell auch das Druckabbaubecken (Wetwell) und weitere Sicherheitssysteme. Das Drywell ist von einer Betonstruktur umgeben und oben mit einem Deckel verschlossen.

Oberflächendosisleistungen an Komponenten des Primärkreislaufs des KKL von 2019 bis 2023



Darstellung 26: Verlauf der gemessenen mittleren Oberflächendosisleistung an den Umwälzschleifen (linke Achse) und Verlauf der Ortsdosisleistung im Drywell (rechte Achse).

Zutritte zur kontrollierten Zone während der Revisionsstillstände des KKL



Darstellung 27: Gesamtanzahl der Zutritte zur kontrollierten Zone des KKL während der Revisionsstillstände (linke Achse) und maximale Zutritte pro Tag (rechte Achse) von 2019 bis 2023.

Kollektivdosen und Personenkontaminationsraten bei Austritt aus der kontrollierten Zone während der Revisionen



Darstellung 28: Kollektivdosen (rechte Achse) und Personenkontaminationsraten (linke Achse) beim Austritt aus der kontrollierten Zone des KKL während den Revisionen von 2019 bis 2023.

Revisionsstillstand

Die Jahreshauptrevision (JHR) 2023 dauerte 31 Tage vom 1. Mai 2023 bis zum 31. Mai 2023. Sie war mit einer Kollektivdosis von 864 Pers.-mSv geplant. Effektivakkumuliert wurden 671 Pers.-mSv. Dies entspricht einem Unterschied von ca. 22%. Die während der Revision registrierte maximale Individualdosis für das Eigenpersonal lag bei 2,6 mSv und für das Fremdpersonal bei 5,1 mSv. Dabei waren Personen betroffen, die das KKL bei Instandhaltungsarbeiten einsetzte.

Während der JHR wurden insgesamt rund 51 000 Zoneneintritte registriert. Die Kontaminationsrate beim Austritt aus der kontrollierten Zone lag bei 0,81% und damit unter dem KKL-internen Ziel von $\leq 1\%$. In 411 Fällen stellte das KKL Personenkontaminationen fest, die mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten. In all diesen Fällen trat keine Personenkontaminationen auf, die zu einer nennenswerten Hautdosis führten. Zu diesem guten Ergebnis trugen insbesondere die obligatorischen Personenkontaminationskontrollen («Frisking»-Verfahren) mit einer grossflächigen Messsonde bei. Das Personal ist beim Verlassen von Orten mit erhöhter Kontamination angewiesen, sich unmittelbar auszumessen.

Das Abfahren der Anlage gestaltete sich aus radiologischer Sicht als erfolgreich. Während der Druckentlastung beim Abfahren beobachtete das KKL einen erwarteten Anstieg der Aktivitätskonzentration von ^{60}Co . Die Druckreduktion im Primärsystem hat nicht zu einem Anstieg der Aktivitätskonzentration von ^{131}I (Iod-Spike) geführt, was eindeutig die Schadensfreiheit der Brennelementhüllrohre bestätigte.

Die Wasserstoffverfügbarkeit im 39. Zyklus lag bei 99%. Das heisst, der EPRI-OLNC-Mitigation-Performance-Indikator für eine gute Wasserstoffverfügbarkeit von grösser als 95% wurde erreicht. Die Einspeisung von Wasserstoff in den Wasserdampfkreislauf ist ein Teil der «reduzierenden Fahrweise» und dient durch die Absenkung des elektrochemischen Potentials der Vorbeugung vor Spannungsrisskorrosion.

Das Abfahren zur JHR erfolgte mit dem etablierten und bewährten Soft-Shutdown-Verfahren. Die

Ortsdosisleistung an der Pumpe A des Nachwärmeabfuhrsystems lag bei ca. 2,4 mSv/h und damit etwas oberhalb der Messergebnisse aus dem Jahr 2022. Die Ortsdosisleistung am Mantel des Wärmetauschers A des Nachwärmeabfuhrsystems stieg um 0,2 mSv/h auf 0,8 mSv/h.

Im Drywell wurden nach dem Abfahren die Ortsdosisleistung an 16 repräsentativen Messpunkten bestimmt. Im unteren Bereich des Drywells erhöhte sich die gemittelte Ortsdosisleistung im Vergleich zum Vorjahr von 0,21 mSv/h auf 0,24 mSv/h. Die Rekontamination der Umwälzschleifen und der während der JHR 2021 dekontaminierten Komponenten des Primärsystems setzt sich erwartungsgemäss fort. Erfreulicherweise sank die Ortsdosisleistung im oberen Drywell-Bereich geringfügig und weist einen tiefen Wert von 0,06 mSv/h auf.

Das Verhältnis von Beta-/Gamma- zu Alpha-Nukliden lag beim RDB-Deckel bei ca. 500 zu 1 und bei den Isolationsventilen des Frischdampfsystems bei 10151 zu 1. Dieses Verhältnis bestimmte das KKL mit Proben von Oberflächen, die in Kontakt mit dem Primärwasser stehen. Die Überwachung der Alpha-Luftkontamination war an neuralgischen Orten permanent gewährleistet.

Für zerstörungsfreie Prüfungen an Stützen des RDB mit einer zu erwartenden Kollektivdosis von über 50 Pers.-mSv hat das KKL dem ENSI gemäss der Richtlinie ENSI-B03 eine detaillierte Strahlenschutzplanung eingereicht. Das KKL führte die Arbeit aus Sicht des Strahlenschutzes regelwerkskonform optimiert durch, wobei die beengten Verhältnisse im Drywell für das Personal eine besondere Erschwernis darstellten. Für 25 weitere Arbeiten mit jeweils erwarteten Kollektivdosen kleiner als 50 Pers.-mSv hat der KKL-Strahlenschutz ebenfalls Strahlenschutzpläne erstellt. Das ENSI konnte sich vor Ort von den umgesetzten Optimierungsmassnahmen überzeugen. Die geplanten Kollektivdosen wurden grundsätzlich eingehalten, wobei das KKL die Abweichungen von den Dosiszielwerten analysierte und plausibel begründete. Als Ursachen für die Unterschreitung erwiesen sich die manchmal zu hohen geschätzten Arbeitszeiten im Strahlenfeld, tiefere durchschnittliche Dosisleistungen in den

Arbeitsbereichen als angenommen oder durchgeführte Optimierungsmassnahmen.

Beispiele für Optimierungsmassnahmen in den Strahlenschutzplanungen sind Abschirmmassnahmen, das Errichten von Wartebereichen mit niedrigen Ortsdosisleistungen sowie Orientierungshilfen und die Videoüberwachung im Drywell.

Die Revisionsarbeiten wurden von 105 Strahlenschutzfunktionsträgerinnen und -trägern überwacht und begleitet, davon waren 19 Personen dem Eigenpersonal zugeordnet und 86 Personen dem Fremdpersonal. Das Strahlenschutzpersonal war, für ausgewählte Arbeiten rund um die Uhr im Einsatz. Der operationelle Strahlenschutz, die Dosimetrie und die Strahlenschutz-Sachverständigen hielten je einen Pikettdienst aufrecht.

Der KKL-Strahlenschutz hat Ortsdosisleistungen und Oberflächen- und Luftkontaminationen gemäss den regulären Messprogrammen, aber auch arbeitsbedingt überwacht und gemessen. Als Arbeitsmittel kamen mobile und festinstallierte Messgeräte zum Einsatz.

Weitere Stillstände

Am 20. Juni im Berichtsjahr kam es zu einer automatischen Turbinenschnellabschaltung. Die Reaktorleistung wurde in der Folge auf 25% reduziert. Im Rahmen der Vorkommnisanalyse konnte keine eindeutige Ursache ermittelt werden. Am 23. Juni wurde der Vollastbetrieb wieder erreicht. Der Stillstand war für den Strahlenschutz nicht relevant.

Vorkommnisse

Eine komplette Beschreibung der Vorkommnisse im Berichtsjahr findet sich jeweils im ENSI-Aufsichtsbericht.

Abweichung bei Dichtheitsprüfung an Strahlenquellen

Am 23. Dezember 2022 meldete das KKL, dass es bei Dichtheitsprüfungen an Strahlenquellen in Strahlenmessgeräten zu Abweichungen kam. Das KKL stellte fest, dass die periodischen Dichtheitsprüfungen zur Qualitätssicherung von geschlossenen radioaktiven Quellen gemäss



Bild 11: Beengte Platzverhältnisse zwischen der Abschirmung des RDB und der Aussenwand im Drywell des KKL.



Bild 12: RDB-Deckel mit montiertem Hebe gerüst. Ersichtlich vor dem Deckel sind zwei mobile Abschirmwände aus Blei sowie Behälter mit persönlichem Schutzmaterial beim Zonenübergang auf +28 m im Reaktor Gebäude des KKL.

Strahlenschutzbestimmungen seit 2019 nicht vollumfänglich durchgeführt wurden. Als Sofortmassnahme führte das KKL bei allen zugänglichen Strahlenquellen die Dichtheitsprüfungen durch. Die durchgeführten Prüfungen haben ergeben, dass die Dichtheit dieser Strahlenquellen die gesetzlichen Anforderungen erfüllen. Eine Gefährdung von Mensch und Umwelt lag nicht vor.

Als ursächliche Faktoren für das Vorkommnis wurden die persönliche Entscheidung eines Mitarbeitenden, das Verständnis für die Aufgabe, die Dokumentation der durchgeführten Tätigkeiten, deren Kontrolle sowie die Mitarbeiterführung im betroffenen Bereich identifiziert. Beitragende Faktoren identifizierte das KKL in den vorhandenen Anweisungen sowie technischen Hilfsmitteln für die Tätigkeit und in der angespannten Ressourcensituation im zuständigen Ressort. Das Ereignis hatte keine ungeplante Dosis oder Personenkontamination zur Folge. Die Vorgaben der Technischen Spezifikationen des KKL waren nicht betroffen.

Schweisshaftleckage an einer Entleerungsarmatur

Beim Entleeren der Reaktorwasserumwälzschleife B im Rahmen der JHR 2023 stellte das KKL an einer Armatur (Zweitabspernung der Entleerungsleitung) eine Tropfleckage an der anströmseitigen Schweisshaft fest. Bei geschlossener Erstabspernung steht im Normalbetrieb kein Reaktorwasser an der Entleerungsarmatur an. Die Leckage konnte folglich nur im Zuge der Entleerung der Reaktorwasserumwälzschleife B festgestellt werden. Als Schadensursache identifiziert das KKL hauptsächlich den Mechanismus des Ermüdungsbruchs. Ferner geht das KKL auch dem möglichen Einfluss von Rohrleitungsschwingungen in dem Bereich nach. Das ENSI kommt in seiner Vorkommnisbearbeitung zum Schluss, dass die radiologische und sicherheitstechnische Bedeutung des Vorkommnisses gering ist.

Strahlenschutzinstrumentierung

Anlässlich einer Inspektion überprüfte das ENSI im KKL stichprobenweise die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser. Der Weg von der Probenerhebung, über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung

in den Monats- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar. Auch zeigten die Stichproben, dass das KKL die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt im Jahr 2023 korrekt durchgeführt hat.

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

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Iodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKL.
- In der zweiten Jahreshälfte 2023 wurde vom BAG die 70. Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie veranlasst. Dabei führte das IRA unter anderem die obligatorische Referenzbestrahlung mit $^{137}\text{Cs}/^{137\text{m}}\text{Ba}$ durch. Bei der Erstellung des vorliegenden Berichts lagen die Resultate dieser Vergleichsmessung noch nicht vor.

Im Berichtsjahr erteilte das ENSI die Auslegungsfreigabe für die Erneuerung des Messsystems zur Überwachung der Ortsdosisleistungen in der Anlage.

Dosimetrie

Im Berichtsjahr kamen 1983 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz, die eine Kollektivdosis von gerundet 946 Pers.-mSv akkumulierten.

Die Aufteilung der Kollektivdosis zwischen Leistungsbetrieb und Revisionsstillstand stellte sich folgendermassen dar:

KKL	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
Revisionsstillstand	673
Leistungsbetrieb	273
Gesamte Jahreskollektivdosis	946

Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2023 betrug 5,9 mSv. Diese Dosis lag unterhalb des Vorjahreswertes (9,2 mSv) und unterhalb des für beruflich strahlenexponierte Personen festgelegten gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr.

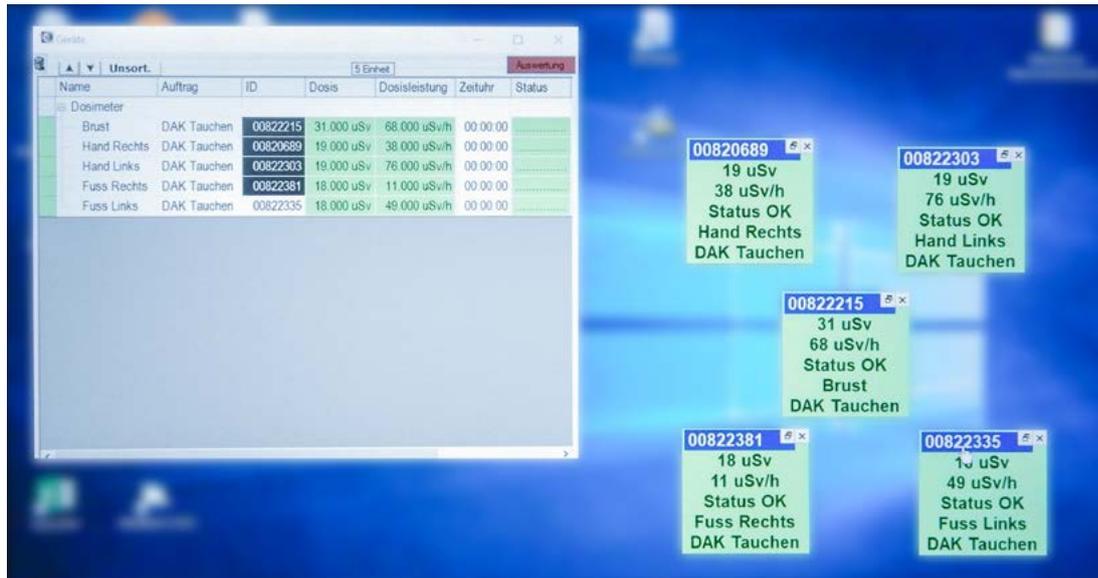


Bild 13: Das Bild zeigt eine Momentaufnahme von akkumulierten Strahlendosen und Status, die mit am Körper eines Tauchers befestigten Funkdosimeter dauernd gemessen und überwacht wurden. Für bestimmte Körperbereiche wurden auch die aktuellen Dosisleistungen gezeigt. Taucher werden beispielsweise für Arbeiten im Brennelementlagerbecken oder in der Druckabbaukammer für Inspektions- und Reinigungsarbeiten eingesetzt.

Das KKL stellte während der ganzen Berichtsperiode keine Personenkontaminationen fest, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten.

Die anerkannte Personendosimetriestelle des KKL führte folgende Anzahl an Dosisermittlungen durch:

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
2031	2031	76

Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörperzähler	Schilddrüse
1882	1882

Bewertung der Strahlenexposition

Das ENSI erachtet die vom KKL umgesetzten Strahlenschutzmassnahmen als vorgabenkonform und zielführend. Das KKL trug dem Optimierungsgrundsatz Rechnung. Die Strahlenexposition des Gesamtpersonals sowie die radiologische Situation in der Anlage, insbesondere während der JHR, wurde vom Strahlenschutz dauernd sowie auch arbeitsbedingt situativ verfolgt. Die akkumulierten Kollektiv- und Individualdosen entsprachen grundsätzlich den Dosiszielwerten, wobei das KKL Abweichungen nachvollziehbar begründete.

Das ENSI konnte bei seinen insgesamt 17 strahlenschutzbezogenen Inspektionen feststellen, dass das KKL in allen Betriebsphasen einen gesetzeskonformen und effizienten Strahlenschutz betreibt und sämtliche Abgabewerte einhält.

Der Quotient aus Dosis und erzeugter elektrischer Energie betrug im KKL 0,093 Pers.-mSv pro GWh(e) und ist somit tiefer als im 2022 (Vorjahr: 0,142 Pers.-mSv/GWh(e)).

Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im KKL von 2019 bis 2023



Darstellung 29: Jahreskollektiv- (Pers.-mSv) und höchste Individualdosen (mSv) im KKL von 2019 bis 2023. Dargestellt sind Daten aus den Revisionsstillständen, dem Leistungsbetrieb und der Verlauf der höchsten Individualdosen während der vergangenen Betriebsjahre.

Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des KKL von 2019 bis 2023



Darstellung 30: Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal im KKL von 2019 bis 2023.

2.4 Kernkraftwerk Mühleberg

Menge angefallener nicht endkonditionierter radioaktiver Abfälle

145

Anzahl Tage seit Beginn der Stilllegung [d] zum 31.12.2023

1203

Kollektivdosis [Pers.-mSv]

415

Errechnete Dosis für die Bevölkerung aufgrund von Emissionen [mSv/Jahr]

0,002

Freigemessenes Material [t]

670

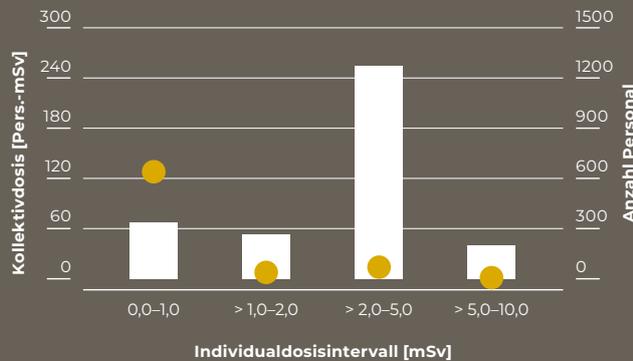
Freigemessenes Material seit Beginn der Stilllegung – Stand 31.12.2023 [t]

3835

Höchste Individualdosis [mSv]

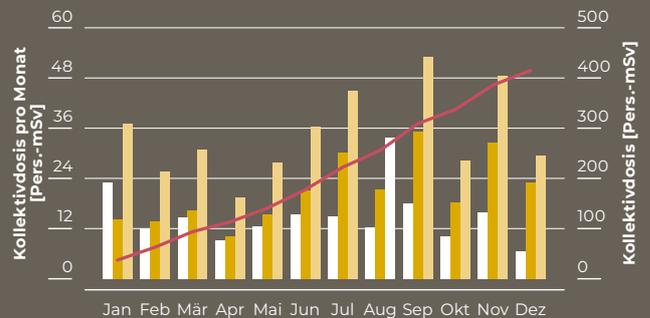
8,0

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal im KKM



Legend: Kollektivdosis Anzahl dosimetriertes Personal

Kollektivdosis Eigen- und Fremdpersonal des KKM in 2023



Legend: Eigenpersonal Fremdpersonal
 Monatstotal Jahrestotal

Zusammenfassung

Im Jahr 2023 ging das KKM nach der Erteilung der notwendigen Freigaben von der Stilllegungsphase 1 in die Stilllegungsphase 2 über. Die Voraussetzungen dafür, insbesondere der Abtransport der letzten Brennelemente, wurden seitens KKM erfüllt und vom ENSI bestätigt. Dies bedeutet, dass weitere Systeme obsolet wurden und für die Demontage vorgesehen werden können. Das KKM führte die umfangreichen Rückbauarbeiten im Berichtsjahr fort. Zudem wurden die Einrichtungen für die Fortführung der Zerlegung der Kerneinbauten wieder vorbereitet und im Maschinenhaus der erste von zwei Wasserabscheider-Zwischenüberhitzern zerlegt. Die akkumulierten Kollektiv- und Individualdosen fielen etwas geringer aus als im Rahmen der Planung erwartet. Aufgrund weiterer Asbestbefunde musste das KKM manche Arbeiten zurückstellen. Die gesetzlichen Anforderungen des Strahlenschutzes wurden erfüllt.

Betriebsgeschehen während der Stilllegung

Im Berichtsjahr hat das KKM den Abtransport der Brennelemente abgeschlossen und am 31. August 2023 den Antrag auf Feststellung der Kernbrennstofffreiheit beim ENSI eingereicht. Die Feststellung des ENSI erfolgte anhand einer Inspektion. Zuvor hatte das ENSI im Berichtsjahr die Stilllegungsphase 2 (SP2) freigegeben. Das KKM befindet sich seit September 2023 in der SP2. Damit sind die Voraussetzungen für den Rückbau weiterer Komponenten, beispielsweise der Kühlwasserversorgung, der Brennelementlagerstellen oder des RDBs, erfüllt.

Dieser zunächst formelle Schritt des Übergangs von der SP1 in die SP2 hat weitreichende Konsequenzen für das Stilllegungsprojekt sowie für die Aufsicht. Da im KKM keine Brennelemente mehr vorhanden sind, entfallen zwei der vier nuklearen Schutzziele, nämlich die Kontrolle der Reaktivität und die Kühlung der Brennelemente. Aus dem sogenannten technischen Nachbetrieb wurde der Rückbaubetrieb.

Neben dem Abtransport der letzten Brennelemente, der eine deutliche Reduktion des Aktivitätsinventars mit sich brachte, schritt die Demontage und Zerlegung kontaminierter Komponenten, respektive deren Vorbereitungen, fort. So entfernte das KKM im Drywell des Reaktorgebäudes Lüftungskomponenten und trennte Leitungen wie diejenigen des Frischdampf- oder Speisewassersystems. Um den stellenweisen engen Platzverhältnissen im Drywell gerecht zu werden, schuf das KKM im oberen Bereich des Drywells zunächst einen zusätzlichen Zugang. Dies optimierte neben der Aufenthaltsdauer im Strahlenfeld die Flucht- und Rettungswegsituation. Die betroffenen Rohre wurden vor ihrer Trennung gespült. Ferner kam ein Trennverfahren zum Einsatz, das aufgrund seiner Möglichkeit der Fernüberwachung, der angepassten Geschwindigkeit und der Bildung größerer Späne das Risiko von Kontaminationsverschleppungen reduziert und es erlaubt, die Fortschrittsüberwachung an Orte mit geringerer Dosisleistung zu verlegen. Alle Arbeiten im Drywell während des Berichtsjahres konnten mit einer Kollektivdosis von 94 Pers.-mSv abgeschlossen werden. Die Umsetzung dieser Massnahmen

waren unter anderem Gegenstand der Inspektionen des ENSI.

Nach dem Abtransport der Brennelemente bereitete das KKM im Brennelementlagerbecken auf der +29m Ebene im Reaktorgebäude (Ebene der Reaktorgrube) ebenfalls dort gelagerte Messlanzen für deren Abfallkonditionierung vor. Dies geschah aus Strahlenschutzgründen unter Wasser, was die Dosisleistung im Arbeitsbereich signifikant reduzierte. So wiesen vereinzelte hochaktive Messlanzen eine Dosisleistung von bis zu 17 Sv/h auf, während im Arbeitsbereich eine maximale Ortsdosisleistung zwischen 10 und 20 μ Sv/h gemessen wurde. Auch nahm das KKM im Bereich der Reaktorgrube Vorbereitungsarbeiten zur Fortführung der Zerlegung der Kerneinbauten auf. Diese Arbeiten wurden während des Brennelementabtransports aus Sicherheitsgründen unterbrochen und werden im folgenden Jahr weitergeführt.

Weiter hervorzuheben ist der Rückbau des ersten der zwei Wasserabscheider-Zwischenüberhitzer im Maschinenhaus sowie der Beginn der Demontage der Kondensatoren. Für die Zerlegung des Wasserabscheider-Zwischenüberhitzers wurde dieser zwecks Kontaminationseindämmung ein-



Bild 14:
Arbeitsplatz für das Schneiden der ehemaligen Messlanzen am Rand des Brennelementlagerbeckens.

gehaust und ein optimiertes Vorgehen gewählt, das sich beispielsweise die Abschirmwirkung des oberen Gehäuses zunutze macht. Es ergab sich dabei eine Kollektivdosis von 32 Pers.-mSv.

Diese und andere radiologisch relevanten Arbeiten wurden seitens des KKM-Strahlenschutzes eng begleitet und vom ENSI inspiziert. Dabei setzte das KKM diverse Massnahmen zur Reduktion der Dosis um, die das ENSI bewertete. Dazu gehörten beispielsweise die Installation von Bleiabschirmungen, verfahrenstechnische Optimierungen, das vorgängige Spülen von Leitungen oder, wo möglich, die Verlagerung von Arbeiten in Bereiche geringerer Dosisleistung. Ferner konnten Erfahrungen mit vorhergehenden Demontagetätigkeiten genutzt werden, um andere Arbeiten effizienter zu gestalten und Dosis einzusparen.

Eine besondere Herausforderung beim Rückbau eines KKW besteht im Rückwirkungsschutz noch benötigter Systeme und Komponenten, den teilweise beengten Platzverhältnissen in den Arbeitsbereichen oder der zusätzlichen Berücksichtigung von Bauschadstoffen wie Asbest oder PCB. So musste das KKM beispielsweise für das Berichtsjahr geplante Arbeiten in der Kondensation zeitlich neu anordnen. Die Asbestsanierung verursachte eine zusätzliche Dosis. Da aber aufgrund der Sanierung im Nebeneffekt eine Dekontaminierung erfolgte, wirkte sich dies günstig auf die Dosis der nachfolgenden Gewerke aus. In der Summe ergab sich dadurch lediglich ein moderater Anstieg der geplanten Kollektivdosis.

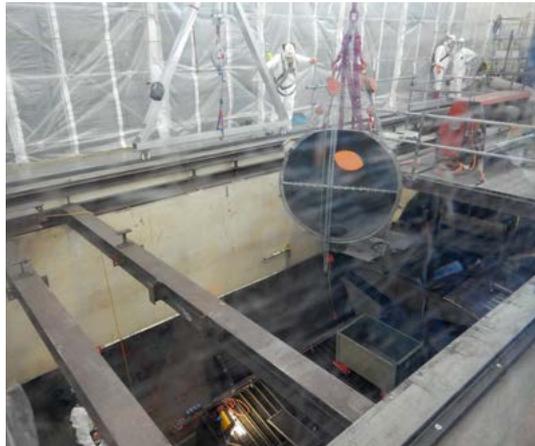


Bild 15: Blick durch ein Sichtfenster in der Einhausung. Mitarbeitende des KKM entnehmen die stirnseitige Kalotte der Rohrbündel nach deren Trennung vom Wasserabscheider-Zwischenüberhitzer.

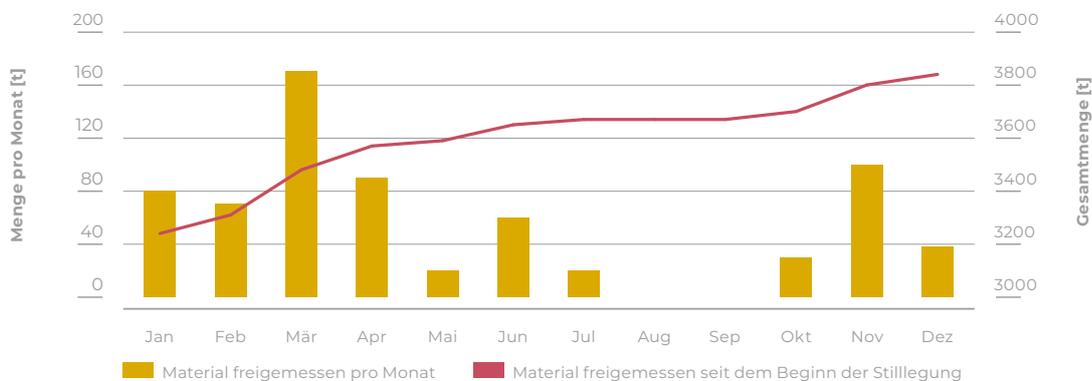
Beim Rückbau werden die demontierten Anlagenteile in eigens dafür vorgesehenen Materialbehandlungseinrichtungen zerlegt und dekontaminiert mit dem Ziel, möglichst viel Material freizumessen und als konventionellen Abfall zu entsorgen. Auf diese Weise konnte das KKM im Berichtsjahr ca. 670 Tonnen Material konventionell entsorgen. Demgegenüber stehen 145 Tonnen prozessierter aber nicht endkonditionierter radioaktiver Abfall.

Ein weiteres Inspektionsthema des ENSI betraf die Präsenz des Strahlenschutzpersonals während strahlenschutzrelevanten Arbeiten und die Ausbildung des anererkennungspflichtigen Strahlenschutzpersonals. Dies konnte im Berichtsjahr für die eigenen wie auch externen Strahlenschutz-Mitarbeitenden bestätigt werden. Gesamthaft waren im Jahr 2023 754 beruflich strahlenexponierte Personen am Rückbau des KKM beteiligt.

«Wasserabscheider-Zwischenüberhitzer»

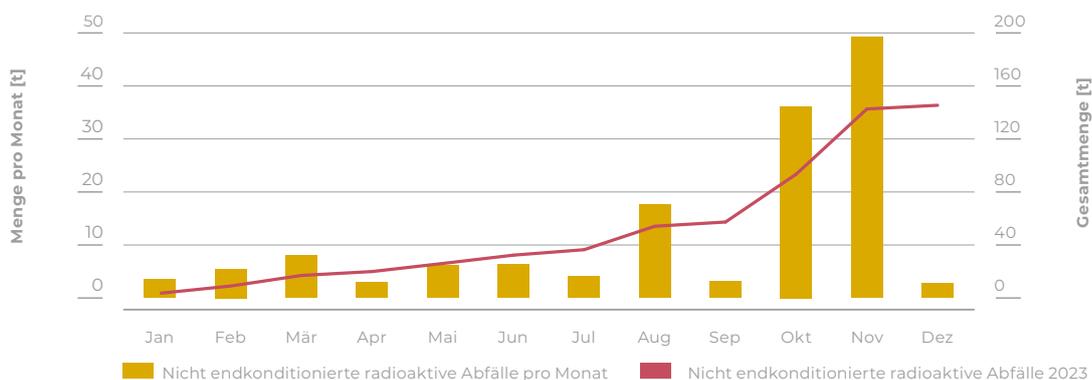
Im Leistungsbetrieb eines Siedewasserreaktors passiert der Dampf aus dem Reaktor in einem ersten Schritt den Hochdruckteil einer Turbine. Die dabei aus dem Dampf kondensierenden Wassertropfen können die Schaufeln der nachgeschalteten Niederdruckturbine beschädigen. Aus diesem Grund wird dieser «nasse» Dampf vom Wasserabscheider-Zwischenüberhitzer, oder kurz WaZü, technisch behandelt. Wassertropfen werden abgeschieden und der restliche Dampf erhitzt. Die Zwischenüberhitzung geht auch mit einer leichten Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades einher. Weil der Dampf in einem Siedewasserreaktor direkt aus dem Reaktorwasser erzeugt wird, sind alle Komponenten, die mit dem Dampf in Kontakt stehen, radioaktiv kontaminiert. Dies betrifft beispielsweise die Frischdampfleitungen, den Wasserabscheider-Zwischenüberhitzer, die Turbine und den Kondensator.

Freigemessenes Material im KKM in 2023



Darstellung 31: Materialmenge in Tonnen, die das KKM im Berichtsjahr durch Befreiungsmessungen aus der Strahlenschutzgesetzgebung entlassen konnte.

Nicht endkonditionierte radioaktive Abfälle im KKM in 2023



Darstellung 32: Materialmenge an gefallener nicht endkonditionierter radioaktiver Abfälle.

Trotz der vielfältigen und komplexen Rückbauarbeiten konnte das KKM einen radiologisch sauberen Anlagenzustand gewährleisten. Es kam zu keinen unerwarteten Kontaminationen oder erhöhten Dosisleistungen.

Vorkommnisse

Im KKM ereignete sich im Berichtsjahr kein Vorkommnis mit Relevanz für den Strahlenschutz. Eine komplette Beschreibung der Vorkommnisse im Berichtsjahr findet sich jeweils im ENSI-Aufsichtsbericht.

Strahlenschutzinstrumentierung und Materialbefreiungen

Im Berichtsjahr führte das ENSI eine Inspektion zur Materialbefreiung durch. Dabei prüfte das ENSI die eingereichten Unterlagen und führte stichprobenweise Kontrollmessungen durch. Die Ergebnisse der Kontrollmessungen stimmten mit

den Resultaten des Betreibers überein. Die gesetzlichen Vorgaben bezüglich der Materialbefreiung waren eingehalten. In einer weiteren Inspektion überprüfte das ENSI im KKM stichprobenweise die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser. Der Weg von der Probenerhebung, über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Monats- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar. Auch zeigten die Stichproben, dass das KKM die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt im Jahr 2023 korrekt durchgeführt hat.

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

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosolfiltern und von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKM.
- In der zweiten Jahreshälfte 2023 wurde vom BAG die 70. Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie veranlasst. Dabei führte das IRA unter anderem die obligatorische Referenzbestrahlung mit $^{137}\text{Cs}/^{137\text{m}}\text{Ba}$ durch. Bei der Erstellung des vorliegenden Berichts lagen die Resultate dieser Vergleichsmessung noch nicht vor.

Dosimetrie

Während des Berichtsjahres kamen in der kontrollierten Zone oder bei Transporteinsätzen 754 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz. Die Kollektivdosis während der Berichtperiode betrug 415 Pers.-mSv. Sie liegt damit in einem tiefen Bereich und fällt geringer aus als der revidierte Dosiszielwert von 472 Pers.-mSv. Die Revision des Dosiszielwertes zu tieferen Werten, aber auch dessen Unterschreitung, spiegelt insbesondere die Umplanungen von Arbeiten bedingt durch Befunde von Bauschadstoffen wider.

Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2023 von 8 mSv (Vorjahr: 5,7 mSv) liegt deutlich unterhalb des für beruflich strahlenexponierte Personen festgelegten gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr.

Das KKM stellte während der ganzen Berichtsperiode keine Personenkontaminationen fest, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten. Zudem detektierte das KKM keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle.

Die anerkannte Personendosimetriestelle des KKM führte folgende Anzahl an Dosisermittlungen durch:

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
810	810	2

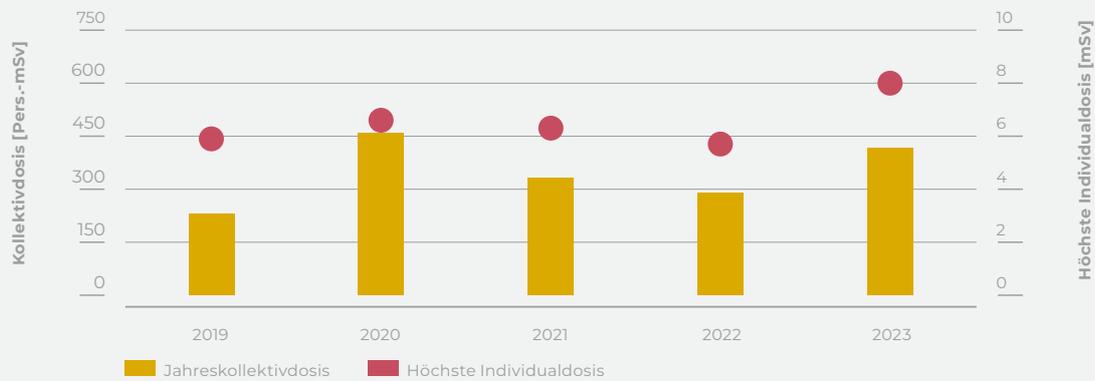
Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörperzähler	Schilddrüse
740	740

Bewertung der Strahlenexposition

Aufgrund von Bauschadstoff-Befunden in Systemen und Komponenten kam es zur Umplanung von Arbeiten. Mit solchen Befunden ist bei solchen alten Anlagen zwar zu rechnen, sie sind aber kaum planbar. Dies hatte zur Folge, dass das KKM den Dosiszielwert für das Berichtsjahr revidierte. Im Vergleich zum Jahr 2022, für das eine Kollektivdosis von 290 Pers.-mSv resultierte, fällt diejenige für 2023 mit 415 Pers.-mSv höher aus.

Das ENSI konnte bei 19 strahlenschutzbezogenen Inspektionen feststellen, dass im KKM ein effizienter Strahlenschutz betrieben wird und sämtliche Abgabewerte eingehalten wurden. Die Inspektionen deckten insbesondere die grossen Gewerke ab: beispielweise die Arbeiten im Drywell und auf der +29 m Ebene im Reaktorgebäude (Ebene der Reaktorgrube) oder die Zerlegung des Wasserabscheider-Zwischenüberhitzers im Maschinenhaus. Bis auf wenige Ausnahmen, bei denen Verbesserungsbedarf erkannt wurde, konnte das ENSI die inspizierten Sachverhalte mit Normalität bewerten. Das KKM setzte die vom ENSI angeordneten Korrekturmassnahmen vollumfänglich und fristgerecht um.

Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im KKM von 2019 bis 2023



Darstellung 33: Jahreskollektiv- (Pers.-mSv) und höchste Individualdosen (mSv) im KKM von 2019 bis 2023. Dargestellt sind Daten aus der Stilllegung von 2020 bis 2023 und des letzten Betriebszyklus im Jahr 2019.

Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des KKM von 2019 bis 2023

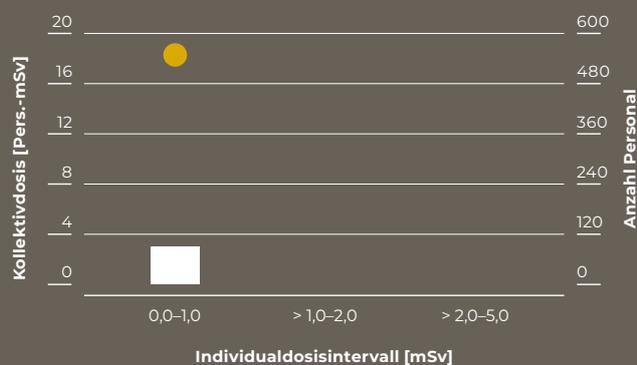


Darstellung 34: Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal im KKM von 2019 bis 2023.

3. Weitere Kernanlagen

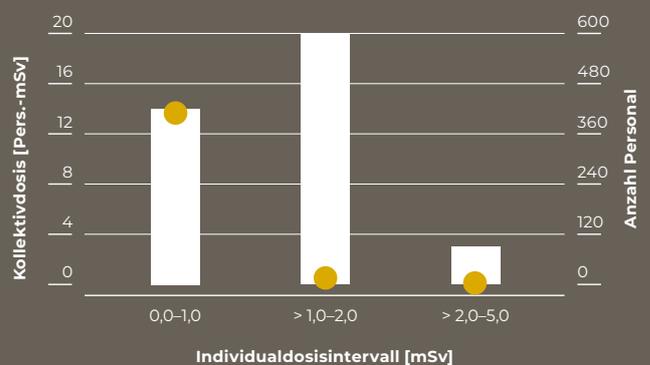
Paul Scherrer Institut
Zentrales Zwischenlager Würenlingen
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal im PSI



■ Kollektivdosis ● Anzahl dosimetriertes Personal

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal im ZZL



■ Kollektivdosis ● Anzahl dosimetriertes Personal

Zusammenfassung

PSI: Am PSI wurden die notwendigen, strahlenschutzrelevanten Arbeiten durchgeführt. Die erfasste Kollektivdosis im Aufsichtsbereich des ENSI liegt wie in den Vorjahren in einem niedrigen Bereich.

ZZL: Im ZZL wurden die Planungsziele für die Kollektivdosis leicht überschritten. Die Kollektivdosis befand sich im Berichtsjahr aber auf einem insgesamt niedrigen Niveau. Im Jahr 2023 führte das ZZL aus Strahlenschutzsicht erfolgreich zwei Verbrennungskampagnen an der Plasma-Anlage durch. Das ENSI bewertet den praktizierten Strahlenschutz als zielführend.

EPFL: Der CROCUS-Versuchsreaktor der EPFL wird hauptsächlich für den Unterricht der Reaktorphysik, für experimentelle Forschung und zur Demonstration von systemtechnischen Prozessen verwendet. Die Kollektivdosis für das Betriebspersonal bewegte sich wie in den Vorjahren auf sehr tiefem Niveau nahe bei < 1 Pers.-mSv.

3.1 Paul Scherrer Institut

Unter PSI sind nachfolgend zusammenfassend die Kernanlagen des PSI gemeint. Die Einrichtungen im Bereich Medizin und sonstige Forschung liegen im Aufsichtsbereich des Bundesamtes für Gesundheit BAG und sind nicht Gegenstand dieser Berichterstattung.

Betriebsgeschehen

Unter anderem setzte das PSI im Berichtsjahr die nachfolgend dargelegten strahlenschutzrelevanten Arbeiten fort.

Versuchsverbrennungsanlage (VVA)

In der VVA erfolgte der Rückbau von technischen Installationen. Weil sich die Sockel von Leuchtstoffröhren als asbesthaltig herausgestellt haben, musste das PSI für die Demontage im zweiten Obergeschoss der VVA einen Schwarzbereich errichten, wobei der Schwarzbereich das gesamte Stockwerk umfasste. Das Konditionieren der Rauchgasleitung kam nur langsam voran, weil die für das Konditionieren notwendige Dokumentation noch nicht vollständig war. Insgesamt muss das PSI noch 16 VVA-Innenbehälter und die Rauchgasleistungssegmente konditionieren. Die asbesthaltigen, kontaminierten, brennbaren Sekundärabfälle sollen im Jahr 2024 verbrannt werden.

Das Freimesskonzept für die VVA soll im Jahr 2024 erarbeitet werden. Vormessungen sind erst dann möglich, wenn die Rauchgasleitung aus der Anlage entfernt wird.

Die akkumulierte anlagenspezifische Kollektivdosis lag bei 0,5 Pers.-mSv. Bei der anlagenbezogenen Personendosimetrie mittels zusätzlicher, elektronischer Personendosimeter wurde auf die Messwerte eine Untergrundkorrektur von 80 nSv/h angewendet. Es wurden alle Messwerte ab der Nachweisgrenze von 0,001 mSv berücksichtigt.

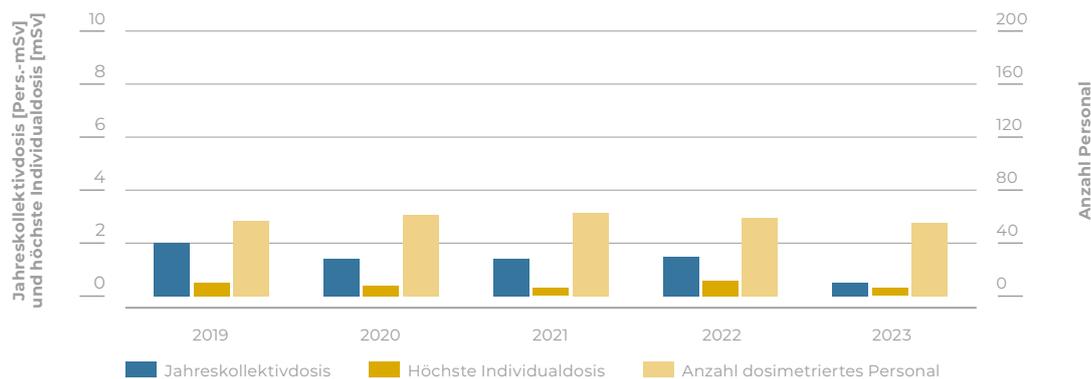
PROTEUS

Die Arbeiten in der Rückbauphase 2 umfassten im Berichtsjahr die Demontage der verbliebenen biologischen Abschirmung (sieben Blockringe aus weitgehend identischen Betonelementen), die Demontage des Brennstoffstabilagers sowie der Abbau der vertikalen Stützen der Reaktortragstruktur. Diese Arbeiten konnte das PSI erfolgreich abschliessen. Ausserdem erfolgte gegen Ende des Jahres der Ausbau der Wasserversorgung, der Ausbau der Druckluftversorgung, der Ausbau der Radiatoren und Heizrohre in der Reaktorhalle sowie die Demontage von Teilen der Elektroinstallationen. Ein Konzept zur Freimessung der Anlage befand sich zum Ende des Berichtsjahres in Arbeit.

Mit dem ENSI-eigenen Radonmonitor wurde beim Zonenübertritt vor dem Brennstofflabor eine stichprobenartige Messung durchgeführt. Für die Radonnuclide ²²²Rn und ²²⁰Rn ergab sich ein Messwert von 37 ± 16 Bq/m³.

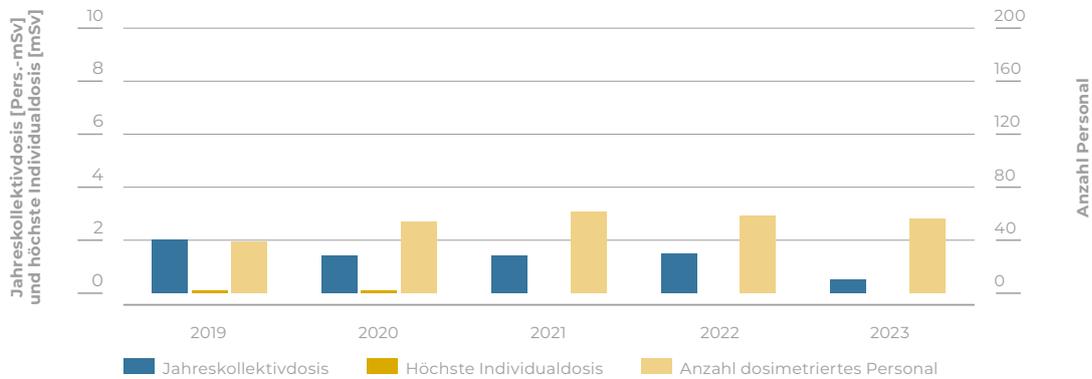
Die akkumulierte anlagenspezifische Kollektivdosis durch Direktstrahlung wurde zu 0,0 Pers.-mSv bestimmt.

Anlagenbezogene Jahreskollektivdosis, Anzahl dosimetriertes Personal und höchste Individualdosis – VVA, 2019 bis 2023



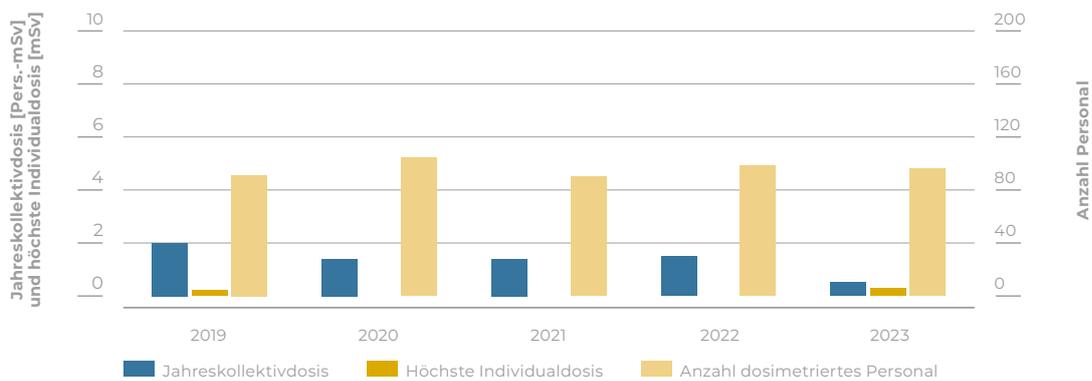
Darstellung 35: Verlauf der anlagenbezogenen Jahreskollektivdosis, der Anzahl dosimetriertes Personal und der höchsten Individualdosis – VVA, 2019 bis 2023.

Anlagenbezogene Jahreskollektivdosis, Anzahl dosimetriertes Personal und höchste Individualdosis – PROTEUS, 2019 bis 2023



Darstellung 36: Verlauf der anlagenbezogenen Jahreskollektivdosis, der Anzahl dosimetriertes Personal und der höchsten Individualdosis – PROTEUS, 2019 bis 2023.

Anlagenbezogene Jahreskollektivdosis, Anzahl dosimetriertes Personal und höchste Individualdosis – DIORIT, 2019 bis 2023



Darstellung 37: Verlauf der anlagenbezogenen Jahreskollektivdosis, der Anzahl dosimetriertes Personal und der höchsten Individualdosis – DIORIT, 2019 bis 2023.

DIORIT

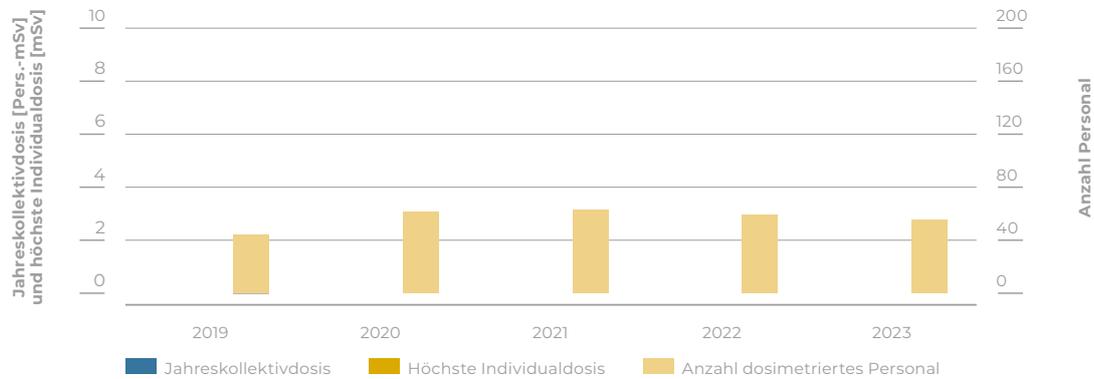
Eine beauftragte Fremdfirma führte im Berichtsjahr einen Teil der Rückbauarbeiten mit einem ferngesteuerten Roboter durch und kam gut voran. Sie entfernte acht Kühlluftleitungen und zwei Drainageleitungen ferngesteuert und damit strahlenschutztechnisch optimiert. Zwei Rohrpostleitungen wurden mittels einer Überbohrung ausgebaut.

Der anfallende Betonschutt wurde nach bewährtem Verfahren homogenisiert, radiologisch ausgemessen und soll je nach Resultat konventionell deponiert oder in die Abklinglagerung des PSI überführt werden. Das PSI führte die Inventarisierung und weitere Charakterisierung von Aluminiumabfällen als Vorbereitung für die Konditionierung (Einschmelzen) fort.

Das ENSI führte 2023 eine Inspektion im DIORIT durch, während welcher auch Aspekte des operationellen Strahlenschutzes inspiziert wurden. Das ENSI stellte dabei unter anderem Unstimmigkeiten zwischen baulichen Zuständen vor Ort und den Informationen in den radiologischen Zonenplänen sowie in den Brandschutzplänen fest. Als Folge wurde das PSI beauftragt die Brandschutz- und Zonenpläne zu überarbeiten.

In der Anlage DIORIT wurden sieben Abfallcontainer vergossen und verdeckelt. Die akkumulierte anlagenspezifische Kollektivdosis durch Direktstrahlung betrug 0,3 Pers.-mSv.

Anlagenbezogene Jahreskollektivdosis, Anzahl dosimetriertes Personal und höchste Individualdosis – SAPHIR, 2019 bis 2023



Darstellung 38: Verlauf der anlagenbezogenen Jahreskollektivdosis, der Anzahl dosimetriertes Personal und der höchsten Individualdosis – SAPHIR, 2019 bis 2023.

SAPHIR

Die Reaktorhalle des ehemaligen Forschungsreaktors SAPHIR wird nach wie vor freigemessen. Die Arbeiten sollen im ersten Quartal 2024 abgeschlossen werden. Der Zonenübertritt in die Reaktorhalle wurde verlegt und ein ehemaliger Zonenübertritt freigemessen. Es fanden Radonkonzentrationsbestimmungen statt. Stichprobenartige Messungen des ENSI ergaben keinen Handlungsbedarf.

Die akkumulierte anlagenspezifische Kollektivdosis durch Direktstrahlung wurde zu 0,0 Pers.-mSv bestimmt.

Hotlabor

Die neue Anlage für die Untersuchung aktiver Materialproben FIB/SEM CrossBeam 540 wurde nach der Erteilung der notwendigen Freigaben erfolgreich in Betrieb genommen. Damit ist das PSI in der Lage, radioaktive Kleinstproben geschützt durch eine Abschirmung mittels einem Rasterelektronenmikroskop zu untersuchen. Diese Kleinstproben stammen beispielsweise von Brennelementhüllrohren.

Des Weiteren sieht das PSI vor, die Lagerung von flüssigen Abfällen sicherheitstechnisch zu verbessern. Für einen dedizierten Abschirmschrank hat das PSI beim ENSI einen entsprechenden Freigabeantrag eingereicht. Zweck des Abschirmschranks ist eine zentrale Lagerung solcher Abfälle. Die Sicherung sowie die Kontrolle der verwendeten Gebinde sollen damit wesentlich vereinfacht und optimiert werden.

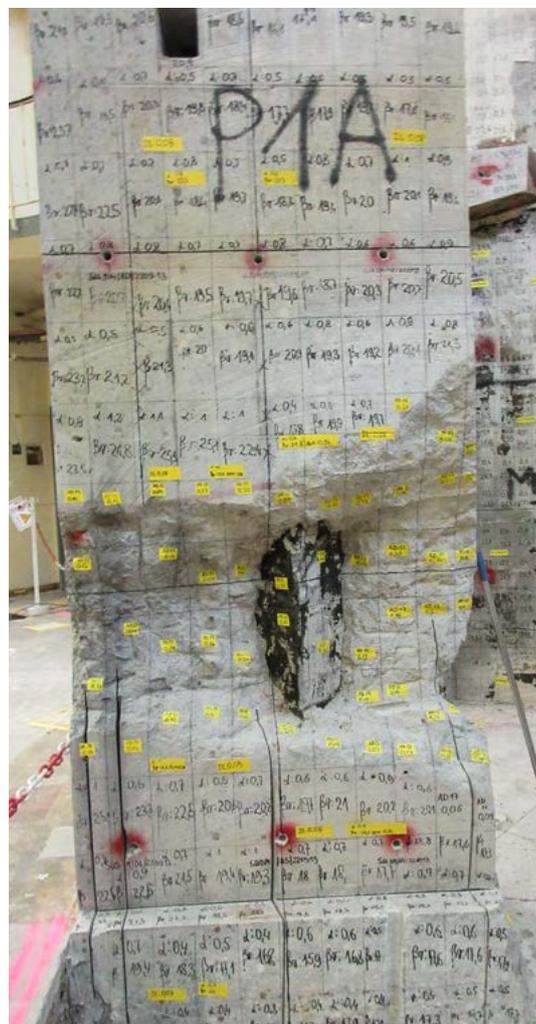
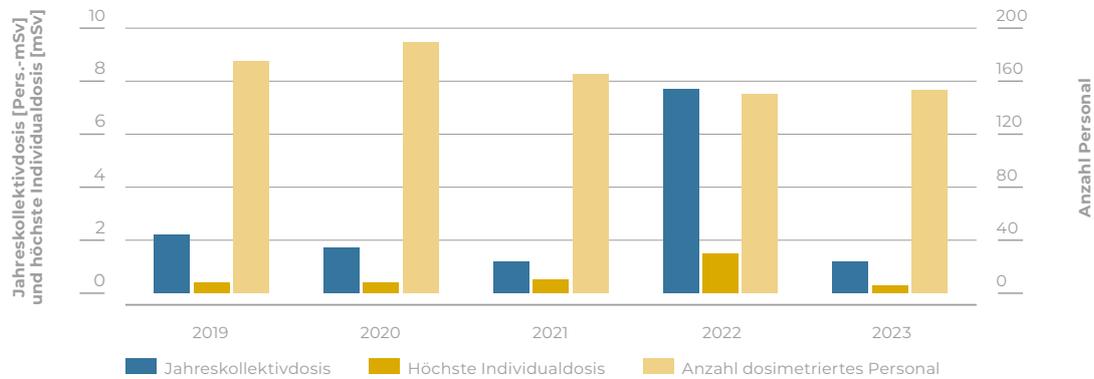


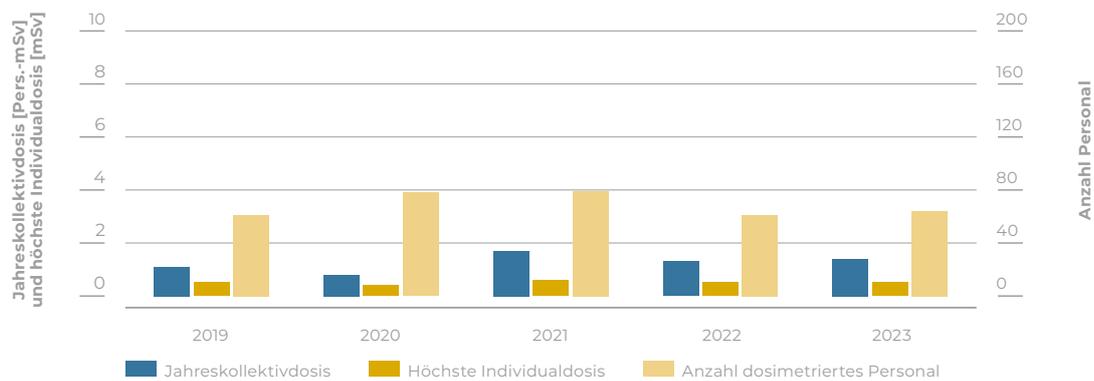
Bild 16: Freimessung in der Reaktorhalle des ehemaligen Forschungsreaktors SAPHIR.

Anlagenbezogene Jahreskollektivdosis, Anzahl dosimetriertes Personal und höchste Individualdosis – HOTLABOR, 2019 bis 2023



Darstellung 39: Verlauf der anlagenbezogenen Jahreskollektivdosis, der Anzahl dosimetriertes Personal und der höchsten Individualdosis – Hotlabor, 2019 bis 2023.

Anlagenbezogene Jahreskollektivdosis, Anzahl dosimetriertes Personal und höchste Individualdosis – AERA, 2019 bis 2023



Darstellung 40: Verlauf der anlagenbezogenen Jahreskollektivdosis, der Anzahl dosimetriertes Personal und der höchsten Individualdosis – AERA, 2019 bis 2023.

Die akkumulierte anlagenspezifische Kollektivdosis betrug 1,2 Pers.-mSv.

Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (AERA)

Im Betriebsgebäude OBGA liefen Umbauarbeiten der Übergänge zu den radiologisch kontrollierten Zonen in den angrenzenden Hallen. Eine aktive Inbetriebnahme ist für das Jahr 2024 vorgesehen.

In den Gebäuden Bundeszwischenlager BZL und Abfalllabor OALA verlief der Lagerbetrieb normal.

Die akkumulierte anlagenspezifische Kollektivdosis war 1,4 Pers.-mSv.

Vorkommnisse

Eine komplette Beschreibung der Vorkommnisse im Berichtsjahr findet sich jeweils im ENSI-Aufsichtsbericht.

Kontaminierter Schacht ausserhalb der kontrollierten Zone

Am 12. Mai 2023 öffneten Fachkräfte des PSI im Rahmen der Sanierung des Zulaufbeckens auf dem Areal PSI-Ost einen Schacht mit unbekannter Funktion neben dem Pumpenhaus. Vom Strahlenschutzpersonal vorgenommene Messungen ergaben eine Ortsdosisleistung von maximal 2,4 mikroSv/h und eine Oberflächenkontamination von 12 Richtwerten im Bereich des Bodens und des Wasserablaufs. Analyseergebnisse von entnommenen Proben zeigen eine ¹³⁷Cs-Aktivität im Boden von 35 Bq/g sowie Spuren von ⁹⁰Sr (0,2 Bq/g), ²⁴¹Am (0,2 Bq/g) und ²³⁹Pu/²⁴⁰Pu (0,4 Bq/g).

Die Ursache für die Kontamination konnte das PSI bis dato nicht ermitteln. Aufgrund der aufgefundenen Nuklide steht für das PSI ein noch unbekanntes älteres Vorkommnis in einem der ehemaligen Forschungsreaktoren im Vordergrund.

Das Vorkommnis hat eine sicherheitstechnische Bedeutung, da sich Personen aufgrund der fehlenden kontrollierten Zone und den damit einhergehenden Schutzmassnahmen einer unbemerkten Strahlenexposition hätten aussetzen können oder ausgesetzt haben.

Ausfall der Überwachung im Hochkamin

Am 2. Oktober 2023 fiel die Fortluftüberwachungs- und Bilanzierungsanlage im Hochkamin aus. Damit konnten die radioaktiven Stoffe in der Fortluft der Kernanlage DIORIT nicht mehr bilanziert werden. Die Unterdruckhaltung in der Anlage war sichergestellt, die Lüftungsanlage lief normal. Die Überwachung und die Bilanzierung der radioaktiven Stoffe in der Fortluft der übrigen an den Hochkamin angeschlossenen Kernanlagen waren durch deren Strangüberwachungen gewährleistet. Wegen des Ausfalls stellte das PSI in der Kernanlage DIORIT und in dem in diesem Gebäude integrierten «Nagralabor» sämtliche Arbeiten mit radioaktiven Stoffen sofort ein. Das PSI ersetzte den defekten Frequenzumrichter und überführte die Fortluftüberwachung am 9. Oktober 2023 wieder in den Normalbetrieb.

Die sicherheitstechnische Bedeutung des Vorkommnisses wurde als gering eingestuft. Die Schutzziele wurden zu jeder Zeit eingehalten.

Strahlenschutzinstrumentierung

Anlässlich einer Inspektion überprüfte das ENSI stichprobenweise die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser. Der Weg von der Probenerhebung, über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Quartals- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar. Auch zeigten die Stichproben, dass das PSI die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt im Jahr 2023 korrekt durchgeführt hat.

Das ENSI hat die Abklinglagerung in der Halle OAHC am PSI-Ost inspiziert und dabei die Betriebsvorgaben, die Verpackung und Dokumentation des Abklinglagergutes, die Arbeitsprozesse und -abläufe sowie den Zustand des Abklinglagers bewertet. Bei der Dokumentation sowie der Verpackung und der Kennzeichnung des Abklinglagergutes stellte das ENSI je einen Verbesserungsbedarf fest.

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

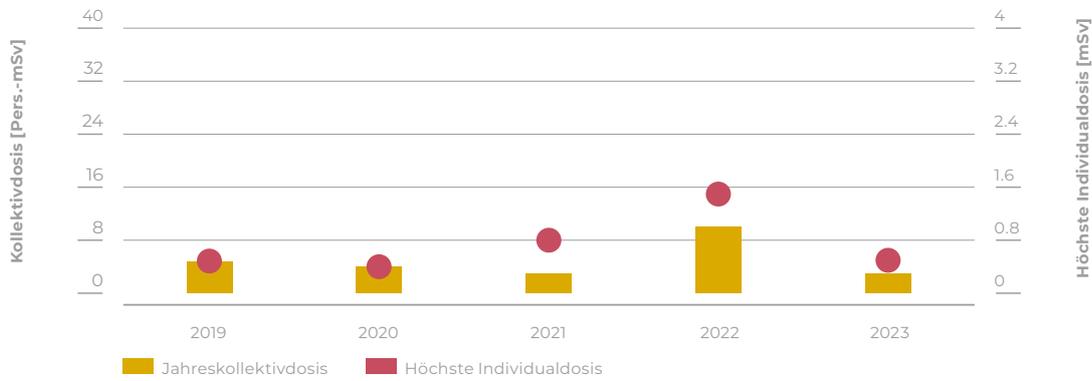
- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Iodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des PSI.
- In der zweiten Jahreshälfte 2023 wurde vom BAG die 70. Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie veranlasst. Dabei führte das IRA unter anderem die obligatorische Referenzbestrahlung mit $^{137}\text{Cs}/^{137\text{m}}\text{Ba}$ durch. Bei der Erstellung des vorliegenden Berichts lagen die Resultate dieser Vergleichsmessung noch nicht vor.
- Bei der internen Dosimetrie wurde die 71. Vergleichsmessung mit Tritium ebenfalls in der zweiten Jahreshälfte 2023 durchgeführt. Auch hier sind die Resultate der Messung bei der Erstellung des vorliegenden Berichts noch ausstehend.

Im Berichtszeitraum erstellte das ENSI diverse Freigaben im Bereich der Strahlenmesstechnik. Dazu gehören insbesondere die Freigabe des Freimessverfahrens mit einem Kleinteile-Monitor, die Inbetriebnahmefreigabe für einen Aerosolmonitor zur Überwachung eines Labors im Hotlabor und die Montagefreigabe für die Erneuerung der Messsysteme zur Überwachung der Ortsdosisleistung in den Gebäuden der Abfallentsorgung.

Dosimetrie

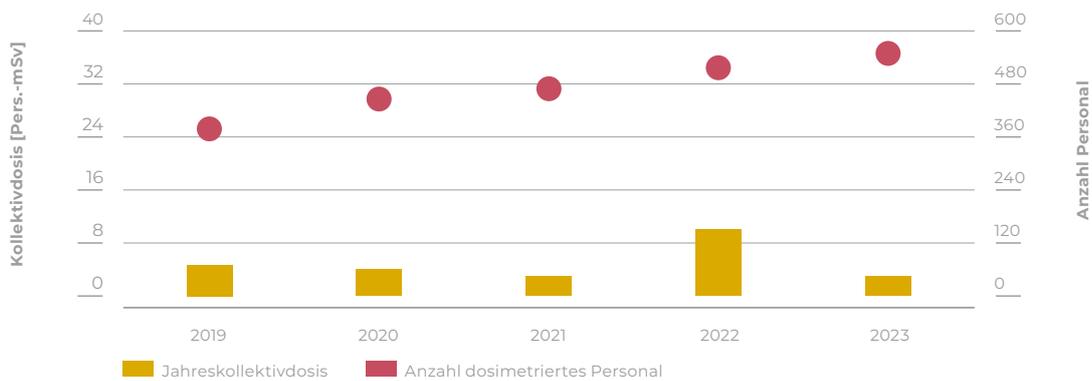
In der Berichtsperiode kamen am PSI im Aufsichtsbereich des ENSI 548 beruflich strahlenexponierte Personen in den kontrollierten Zonen oder bei Aussenarbeiten zum Einsatz. Die Kollekt-

Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im PSI von 2019 bis 2023



Darstellung 41: Jahreskollektiv- (Pers.-mSv) und höchste Individualdosen (mSv) im PSI von 2019 bis 2023.

Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des PSI von 2019 bis 2023



Darstellung 42: Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal im PSI von 2019 bis 2023.

tivdosis während des gesamten Berichtszeitraumes betrug 3,3 Pers.-mSv.

Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2023 betrug 0,5 mSv und lag damit deutlich unterhalb des für beruflich strahlenexponierte Personen festgelegten gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr.

Die anerkannte Personendosimetriestelle des PSI führte folgende Anzahl an Dosierermittlungen durch:

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
824	824	43

Überwachung der Inkorporationen		
Ganzkörperzähler	Schilddrüse	Urin
1	–	1

Bewertung der Strahlenexposition

Das ENSI führte 2023 insgesamt 16 strahlenschutzbezogene Inspektionen im PSI durch. Dabei stellte das ENSI fest, dass im PSI ein gesetzlich konformer und effizienter Strahlenschutz betrieben wird und sämtliche Abgabewerte eingehalten wurden.

3.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen

Betriebsgeschehen

An der Plasma-Anlage führte das ZZL zwei Verbrennungskampagnen erfolgreich durch. Die erste Kampagne wurde am 11. April 2023 gestartet und wegen technischer Schwierigkeiten, aber ohne Relevanz für den Strahlenschutz, am 5. Juni 2023 vorzeitig beendet. In dieser Zeit verarbeitete das ZZL total 440 Fässer. Die Kampagnenvorgabe von 550 Fässern wurde damit nicht erreicht.

Die zweite Kampagne wurde am 18. September 2023 gestartet und am 9. November 2023 wegen einer Wasserleckage vorzeitig beendet. Auch für diese Kampagne wurde die Vorgabe von 550 Fässern mit total 448 Fässern nicht erreicht. Die Leckage trat an einem Zentrifugengehäuse auf und hatte für den Strahlenschutz keine Bedeutung.

Insgesamt verarbeitete das ZZL im Betriebsjahr 888 Fässer (davon 39 mit inaktivem Glas und 849 mit aktivem Abfall) und produzierte 179 endlagerfähige Kokillen.

Während des Berichtsjahres führte das ZZL die folgenden strahlenschutzrelevanten Arbeiten durch:

- Instandhaltung im Gebäude V
- Ofenausmauerungsarbeiten
- Behälterempfang
- Arbeiten am Lager-Behälter im Gebäude H
- Verbrennungsbetrieb (Plasma-Anlage)
- Zentrifugen-Revision
- Fasshandhabung im Gebäude S

Vorkommnisse

Während der Berichtsperiode kam es im ZZL zu keinen strahlenschutzrelevanten Vorkommnissen. Eine komplette Beschreibung der Vorkommnisse im Berichtsjahr findet sich jeweils im ENSI-Aufsichtsbericht.

Strahlenschutzinstrumentierung

In einer Inspektion überprüfte das ENSI im ZZL stichprobenweise die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser. Der Weg von der Probener-



Bild 17:
Behälter-
lagerhalle im
Gebäude H.

hebung, über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Quartals- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar. Auch zeigten die Stichproben, dass das ZZL die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt im Jahr 2023 korrekt durchgeführt hat.

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

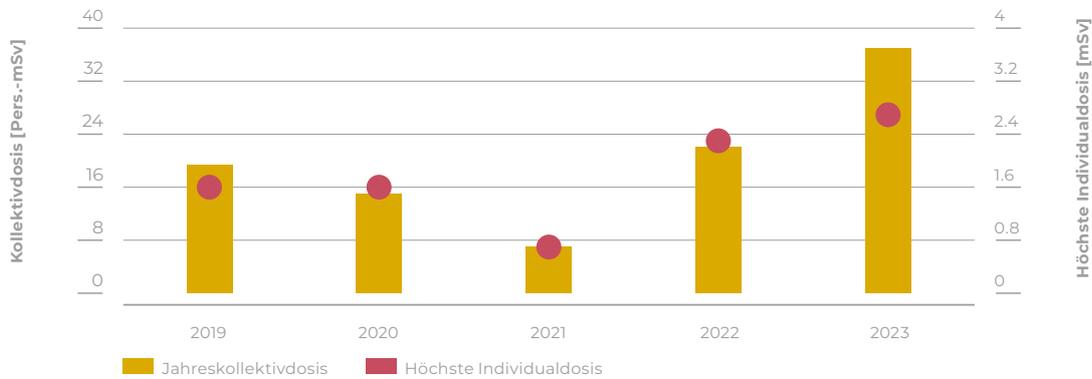
- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosolfiltern und Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des ZZL.

Im Berichtsjahr erteilte das ENSI die Inbetriebnahmefreigabe für die umplatzierte stationäre Ortsdosisleistungs- und Raumluftüberwachung im Gebäude K.

Dosimetrie

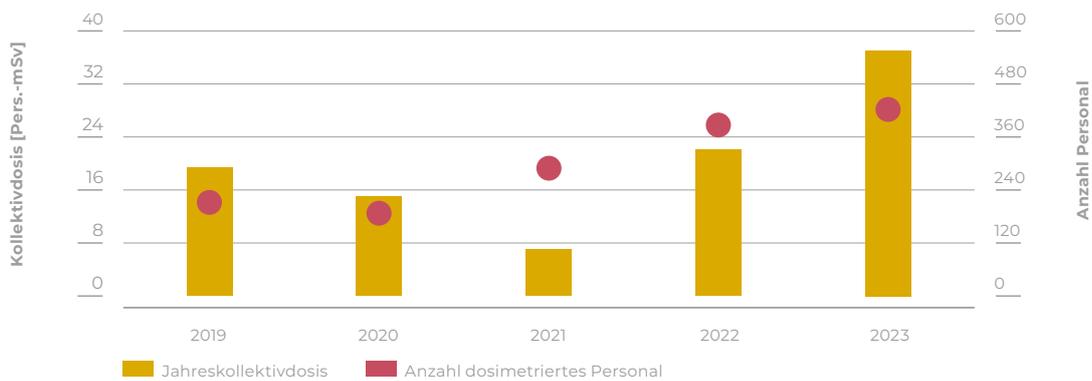
Während des Berichtsjahres kamen im ZZL 422 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz. Die Kollektivdosis während der Berichtsperiode betrug 36,5 Pers.-mSv. Sie lag damit um etwa 5% höher als der für das Berichtsjahr geplante Wert von 34,8 Pers.-mSv. Die Überschreitung des Zielwerts lässt sich auf ungeplante Revisionsarbeiten an einer Zentrifuge des Plasma-Ofens sowie

Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im ZZL von 2019 bis 2023



Darstellung 43: Jahreskollektiv- (Pers.-mSv) und höchste Individualdosen (mSv) im ZZL von 2019 bis 2023.

Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des ZZL von 2019 bis 2023



Darstellung 44: Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal im ZZL von 2019 bis 2023.

auf weitere Arbeiten mit schwer vorherzusehenden Jobdosen zurückführen. Als höchste Individualdosis wurden 2,7 mSv gemessen. Dieser Wert liegt deutlich unterhalb des für beruflich strahlenexponierte Personen festgelegten gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr sowie dem ZZL-internen Schutzziel für die Individualdosis von max. 5 mSv pro Jahr.

Die anerkannte Personendosimetriestelle des KKB führte für das ZZL folgende Anzahl an Dosenermittlungen durch:

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
508	508	–
Überwachung der Inkorporationen		
Ganzkörperzähler	Schilddrüse	
–	–	

Bewertung der Strahlenexposition

Die Tätigkeiten in den Anlagen des ZZL wurden unter Einhaltung der gesetzlichen und internen Strahlenschutzvorgaben durchgeführt. Die Kollektivdosis war 2023 im Vergleich zu den Vorjahren erhöht. Dies lässt sich auf einen höheren geplanten Aufwand bei Instandhaltungsarbeiten zurückführen. Die Ergebnisse von ENSI-Inspektionen bestätigen, dass im ZZL ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz angewendet wird.

3.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Betriebsgeschehen

Die Kernanlage der EPFL umfasst den Forschungsreaktor CROCUS, das Neutronenexperiment CARROUSEL, die Neutronenquellenkavität LOTUS und die angegliederten Labors. Diese Anlagen sind dem Laboratoire de physique des Réacteurs et de comportement des Systèmes (LRS) zugeteilt, das dem Institut de Physique (IPHYS) angehört. Im Jahr 2023 stand der CROCUS-Reaktor Ingenieur- und Physikstudierenden der EPFL, Kursteilnehmenden der Reaktorschule des PSI und Studierenden des Swiss Nuclear Engineering Masterkurses der ETHZ/EPFL während 186 Stunden bei kleiner Leistung (bis 50 W) für Ausbildungs- und Forschungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 396 Wh thermische Energie erzeugt. Im Vergleich zum Vorjahr bedeutet dies eine Reduktion der Betriebsdauer von 34% und eine Erhöhung bei der erzeugten Energie von 29%. Gründe für die geringere Betriebszeit ist einerseits, dass in den Vorjahren umfangreiche Experimente stattfanden und das Berichtsjahr nun zur Auswertung der gewonnenen Daten verwendet wurde. Andererseits stand die Anlage aufgrund von Personalwechslern nur kürzere Zeit zur Verfügung. Die Erhöhung der erzeugten thermischen Energie ist darauf zurückzuführen, dass die durchgeführten Untersuchungen durchschnittlich höhere Neutronenflüsse benötigten.

Vorkommnisse

Im Jahr 2023 kam es zu keinen meldepflichtigen Vorkommnissen.

Dosimetrie

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

Bewertung der Strahlenexposition

Im Berichtsjahr 2023 stellte das ENSI beim Personal eine Reduktion der auf einem sehr tiefen Niveau liegenden Kollektivdosis fest. Aufgrund von Dosisoptimierungen und geringerer Betriebszeit lagen die Individualdosen im Bereich des Untergrundes und folglich resultierte eine geringe Kollektivdosis. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luftpfad ist unbedeutend, es wird keine Bilanzierung verlangt. Abgaben über den Abwasserpfad werden vor dem Abgeben gemäss Artikel 106 der Strahlenschutzverordnung freigemessen und befreit. Im Rahmen einer Inspektion überprüfte das ENSI die Befreiung von Abwasser aus der kontrollierten Zone. Die Ergebnisse der Kontrollmessungen stimmten mit den Resultaten des Betreibers überein. Die gesetzlichen Vorgaben bezüglich der Befreiung waren eingehalten.

Die Ergebnisse der ENSI-Inspektionen bestätigen, dass im LRS an der EPFL ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz angewendet wird.



Bild 18:
Blick auf den unteren Teil des CROCUS im entleerten, wasserfreien Zustand.



Umgebungsüberwachung 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 innerhalb und in der Umgebung der Kernanlagen durchführt.

Vorwort der Leitung der Sektion Strahlenmessung

Aus dem Arbeitsgebiet der Sektion sind im Berichtsjahr folgende Highlights hervorzuheben:

Das akkreditierte Messlabor bestand im Berichtsjahr erfolgreich ein Überprüfungsaudit der schweizerischen Akkreditierungsstelle SAS.

Im Rahmen des Stilllegungsprojekts des Kernkraftwerks (KKW) Mühleberg (KKM) müssen in Zukunft viele Räume befreit werden. Im Hinblick auf die Durchführung von Kontrollmessungen hat das ENSI erfolgreich an einer In-Situ-Gammaspektrometrie Vergleichsmessung an der Referenzwand der Universität Regensburg teilgenommen.

Weiter bearbeitete das ENSI im Berichtsjahr eine Vielzahl von Meldungen zur Befreiung von Materialien, die aus kontrollierten Zonen der konventionellen Entsorgung zugeführt werden. Der grösste Anteil des Materials kam aus der Stilllegung des KKM, gefolgt von den Rückbauprojekten des Paul Scherrer Instituts (PSI) und den Umbauarbeiten im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL).

Im Berichtsjahr begleitete das ENSI mit Freigaben verschiedene Projekte zur Ertüchtigung von Strahlmesssystemen in den Kernanlagen. Dazu gehörte unter anderem die Erneuerung des Messsystems zur Überwachung von Ortsdosisleistungen im KKW Leibstadt (KKL) und die Erneuerung der Edelgasmessstellen der Kaminfortluft- und Raumabluftüberwachung im KKW Gösgen (KKG).

Das Projekt zur Revision der Richtlinie ENSI-G14 schreitet voran. Noch vor Jahresabschluss 2023 wurde ein Entwurf der Richtlinie für die externe Vernehmlassung finalisiert. Eine der wichtigsten Änderungen in der Richtlinie ist, dass die Dosiswerte gemäss dem aktuellen Stand des internationalen Regelwerks für repräsentative Personen und nicht mehr für die meistbetroffene Bevölkerungsgruppe ermittelt werden müssen. Auch werden beim Ingestionspfad keine Notfallschutzmassnahmen bei den Dosisberechnungen mehr berücksichtigt. Mit der Neuauflage wird die Richtlinie ENSI-G14 an den internationalen Stand der Technik angeglichen.



Joachim Löhle



Bild 19:
Immissions-
messungen
des ENSI.

4. Grundlagen Emissions- und Immissionsüberwachung

Radioaktive Stoffe geringer Aktivität dürfen gemäss Art. 112 der Strahlenschutzverordnung (StSV) über die Abluft an die Atmosphäre beziehungsweise über das Abwasser an Oberflächengewässer abgegeben werden. Die Bewilligungsbehörde legt dabei für jede Abgabestelle die maximal zulässigen Abgabegeraten 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 den 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 kontrolliert das ENSI stichprobenartig ihre korrekte Messfunktion. Mit Vergleichsmessungen von Proben aus dem Abwasser- und Fortluftsystem kontrolliert das ENSI die bilanzierenden Messungen der Betreiber. Das ENSI überprüft die Berichterstattung und Buchführung der radioaktiven Abgaben mit jährlichen Bilanzierungsinspektionen. Das Zusammenspiel von eigenen Messungen, den oben beschriebenen Inspektionen und den Beurteilungen zu den 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 StSV), 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, Probenahmeorte, Messhäufigkeiten, Verfahren zur Probenerhebung und Messungen sowie die zu erreichenden Messempfindlichkeiten festgelegt. Beteiligt sind, neben der Kernanlage selbst, das BAG, das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs (Eawag), das Institut de radiophysique (IRA) in Lausanne, die Universität Bern sowie kantonale Labors und das ENSI. 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 durchführte oder beauftragte, sind in diesem Bericht dargestellt. Im Jahresbericht «Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz» veröffentlicht das BAG sämtliche Ergebnisse der Umweltüberwachung sowohl für die Umgebung der Kernanlagen wie auch für die gesamte Schweiz.



5. Emissionen aus den Kernanlagen

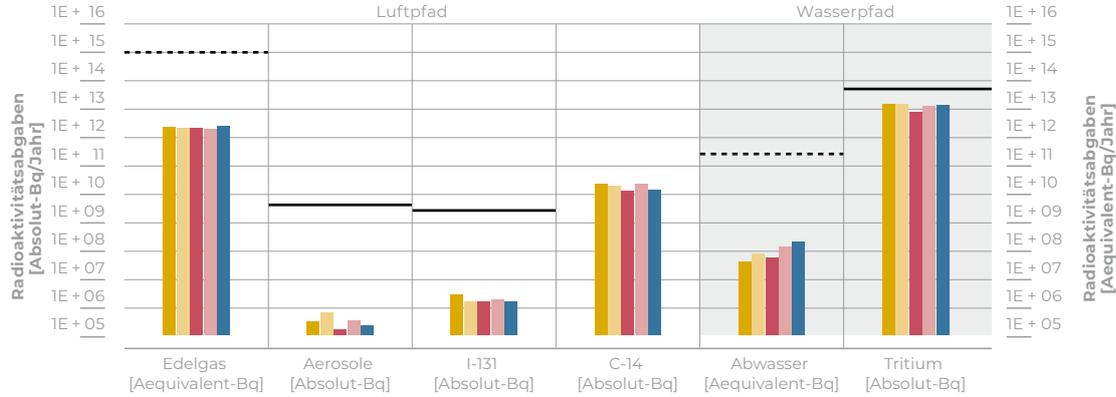
Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser und der Fortluft lagen im Jahr 2023 für die vier Schweizer KKW Beznau (KKB), KKG, KKL und KKM sowie für das PSI und das am gleichen Standort gelegene ZZL deutlich unterhalb der Jahres- und Kurzzeit-Abgabelimiten. Die aus den tatsächlichen Abgaben und der Direktstrahlung aus der jeweiligen Anlage errechnete Strahlenexposition liegt selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren für Erwachsene, zehnjährige Kinder und Kleinkinder weit unterhalb des für Standorte von Kernanlagen festgelegten quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr.

Die Abgaben von radioaktiven Stoffen mit der Fortluft und dem Abwasser der schweizerischen KKW sind in der Darstellung 45 und A1 im Anhang für die letzten fünf Jahre zusammen mit den entsprechenden Jahreslimiten dargestellt. Eine Aufschlüsselung der Abgaben der KKW nach Monat für die limitierten radioaktiven Abgaben ist in Darstellung A2 im Anhang aufgezeigt. Die Tabelle A4 zeigt die in den KKW und im ZZL gemessenen Abgabewerte sowie die unter ungünstigen Annahmen gemäss Richtlinie ENSI-G14 «Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung» errechneten Personendosen für Erwachsene, zehnjährige Kinder und Kleinkinder in der Umgebung der betreffenden Anlage im Jahr 2023. 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 Fortluft in den Tabellen A7 und A8 gegeben (alle Tabellen im Anhang). Darstellung 46 zeigt für die vier schweizerischen KKW den Verlauf der in der Umgebung berechneten Dosen für die meistbetroffenen Personen (nur Erwachsene) über die letzten 27 Jahre.

Zur Überprüfung der Messverfahren der Kernanlagen hat das ENSI an 168 Proben eigene gammaspektrometrische Messungen durchgeführt. Dabei wurden Aerosol- und Iodfilter sowie Abwasserproben aus den Anlagen stichprobenweise analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Abgabereglemente eingehalten werden. Bei der monatlichen Aufschlüsselung der radioaktiven Abgaben aus den KKW (vgl. Darstellung A2 im Anhang) ist bei den flüssigen Abgaben beim KKG die jährlich jeweils vor dem Revisionsstillstand durchgeführte Verwerfungsaktion für tritiumhaltiges Wasser erkennbar. Solche Abgaben sind bei den Druckwasserreaktoren systembedingt erforderlich, um den operationellen Strahlenschutz während der Revision zu optimieren. Im Gegensatz zum KKG erfolgen die Tritiumabgaben im KKB über das ganze Jahr verteilt.

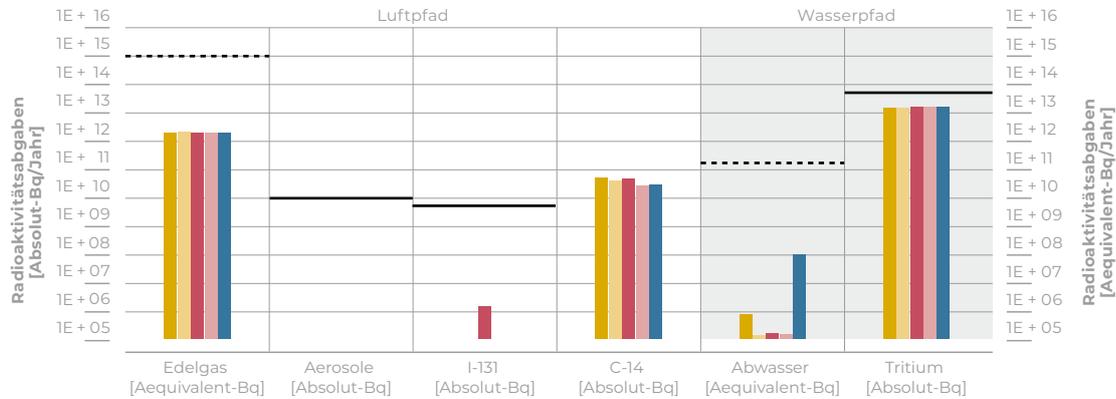
Alle Schweizer KKW haben auch 2023 die ^{14}C -Aktivität in der Fortluft gemessen. Der Dosisbeitrag von ^{14}C wurde aus den Messwerten ermittelt. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die ^{14}C -Abgaben aus den schweizerischen KKW während deren Normalbetrieb über die Ingestion von Nahrungsmitteln den grössten Beitrag zur Dosis in der Umgebung der Anlagen liefern. Dieser Beitrag liegt aber bei wenigen Prozenten des quellenbezogenen Dosisrichtwertes und ist somit radiologisch nicht relevant. Die aus den Emissionen der KKW errechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren in unmittelbarer Nähe des KKB und des KKG weniger als 0,001 mSv sowie in unmittelbarer Nähe des KKM etwa 0,002 mSv und des KKL etwa 0,005 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung betragen somit im Jahr 2023 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

KKB

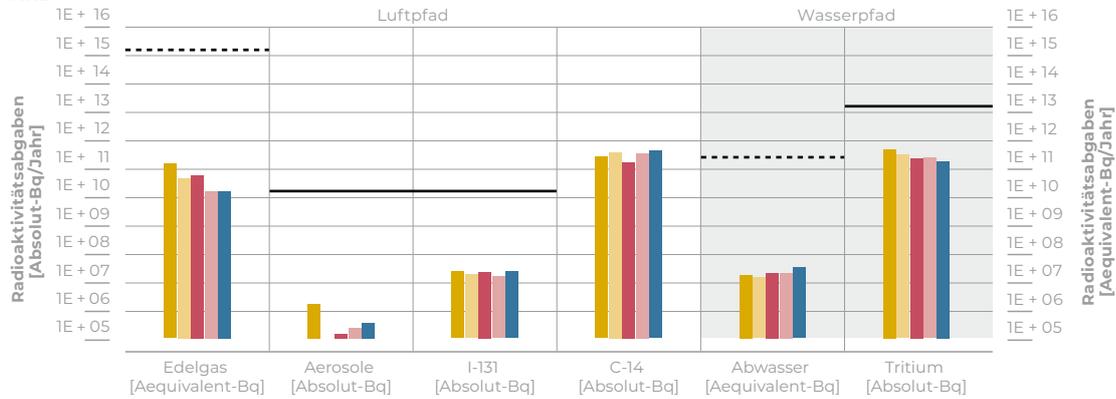


Darstellung 45: Abgaben der schweizerischen KKW an die Atmosphäre und mit dem Abwasser in den letzten fünf Jahren (2019 bis 2023) im Vergleich mit den Jahresabgabelimiten.

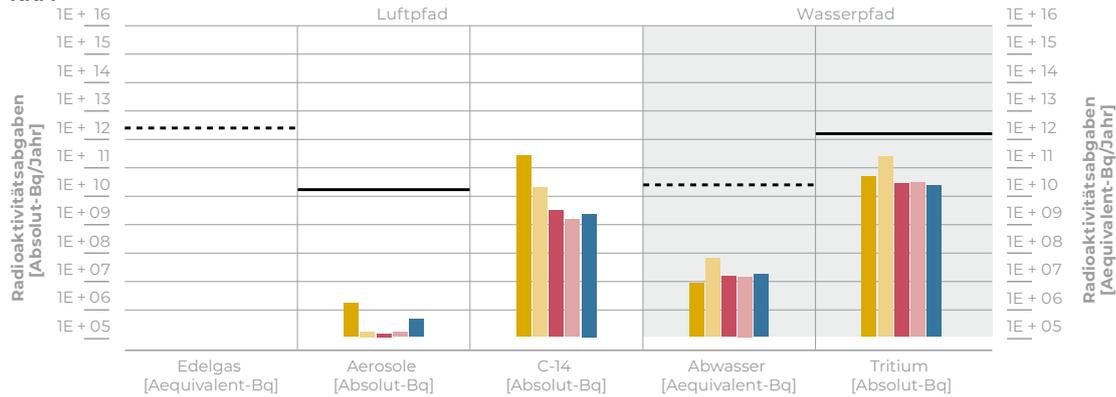
KKG



KKL

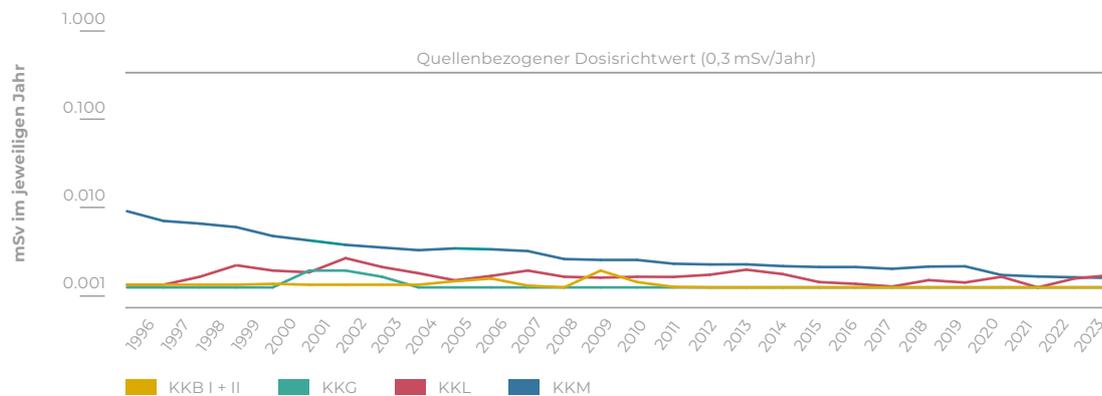


KKM



■ 2019
■ 2020
■ 2021
■ 2022
■ 2023
 Limite [Aequivalent-Bq]
 Limite [Absolut-Bq]

Berechnete Jahresdosen aus den erfolgten Emissionen



Darstellung 46:
Berechnete Dosen für die meistbetroffenen Personen¹ (Erwachsene) in der Umgebung der schweizerischen KKW.

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

PSI die aus den Abgaben resultierende Dosis in der Umgebung zu berechnen. Beim PSI errechnete das ENSI eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von etwa 0,004 mSv. Beinahe die gesamte Dosis ergibt sich im 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 zeigten, dass unter ungünstigen Annahmen die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung im Berichtsjahr 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 lag. Für das ZZL beträgt der bewilligte Anteil 0,05 mSv pro Jahr.

Die für das Jahr 2023 bilanzierten Abgaben des ZZL sind nuklidspezifisch 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 (Tabelle A4).

Die komplette Datensammlung und deren grafische Auswertung sind in Anhang 2 abgebildet. Angegeben ist für die jeweilige Nuklidgruppe und den Abgabepfad die Jahressumme der bei den einzelnen bilanzierenden Messungen durch die KKW ausgewiesenen Aktivitätsabgaben. Die Edel-

gasbilanzierung 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 Gammaskopie-Messungen. Die nuklidspezifischen Messungen liegen häufig unterhalb der Nachweisgrenze.

Für radioaktive Edelgase und Abwasser aus den KKW 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 zehnmal radiotoxischer ist als ein anderer, auch zehnmal weniger an die Umgebung abgegeben werden darf.



6. Immissionen in der Umgebung der Kernanlagen

6.1 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen

Das ENSI überwacht die Ortsdosis, respektive die Ortsdosisleistung durch externe Strahlung, bei den Kernanlagen und beim PSI mit dem MADUK-Messnetz (siehe Kapitel 6.2) und mit passiven Dosimetern (Thermolumineszenz-Dosimeter, TLD, und Environmental Direct Ion Storage-Dosimeter, EDIS) in der Umgebung sowie am Arealzaun. Zusätzlich dazu führt das ENSI vierteljährlich Dosisleistungsmessungen am Arealzaun sowie bei Bedarf spezielle Messkampagnen durch. In der Umgebung der Kernanlagen stellte das ENSI im Berichtsjahr keine signifikanten Erhöhungen der Ortsdosis fest, 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.

Beim KKB und KKG wurde am Zaun weder mittels TLD respektive EDIS noch bei den vierteljährlichen Messungen des ENSI eine signifikante Erhöhung der Ortsdosis über dem natürlichen Untergrund festgestellt. Am Zaun des KKL ermittelte das ENSI bei seinen vierteljährlichen Messun-

gen während des Leistungsbetriebes Ortsdosisleistungen zwischen 0,06 Mikrosievert pro Stunde ($\mu\text{Sv/h}$) (natürlicher Untergrund) und 0,18 $\mu\text{Sv/h}$. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes am meistexponierten 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 ermittelte das ENSI bei seinen vierteljährlichen Messungen Dosisleistungen zwischen 0,08 $\mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und 0,31 $\mu\text{Sv/h}$. Auf eine Woche hochgerechnet würde basierend auf dem maximalen Momentanwert am meistexponierten Ort eine Dosiserhöhung von etwa 0,039 mSv resultieren. Die vom KKM quartalsweise ausgewerteten TLD am Zaun ergeben nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes eine maximale, auf eine Woche gemittelte Dosiserhöhung von etwa 0,016 mSv. Am Zaun des PSI ermittelte das ENSI bei seinen vierteljährlichen Messungen Ortsdosisleistungen zwischen 0,06 $\mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und 0,11 $\mu\text{Sv/h}$. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes am meistexponierten Ort einer Dosiserhöhung von ca. 0,009 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 0,007 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 Absatz 2 der StSV anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausser-

halb 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 KKW (MADUK)

6.2.1 Übersicht

Das MADUK-System (Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der KKW) inklusive der Einrichtungen zur Übernahme von Anlageparametern (ANPA) und Kaminemissionswerten aus den KKW (EMI) 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 KKW 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 über den natürlichen Dosiswerten ab einem vordefinierten Schwellenwert im ENSI automatisch gemeldet werden. Bei einem Störfall unterstützt MADUK die Notfallorganisation bei der Bestimmung des betroffenen Gebietes und bei der Einschätzung der möglichen Massnahmen. Zudem trägt MADUK mit einem schnellen Datenaustausch zur erfolgreichen Zusammenarbeit mit den involvierten Behörden bei.

Das MADUK-Netz zur Messung der Dosisleistungen besteht aus insgesamt 57 Immissionsmessstationen in der Umgebung der vier KKW. 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 (Niederdosiszählrohr) 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 permanen-



Bild 20:
Messung am
Zaun des KKL.

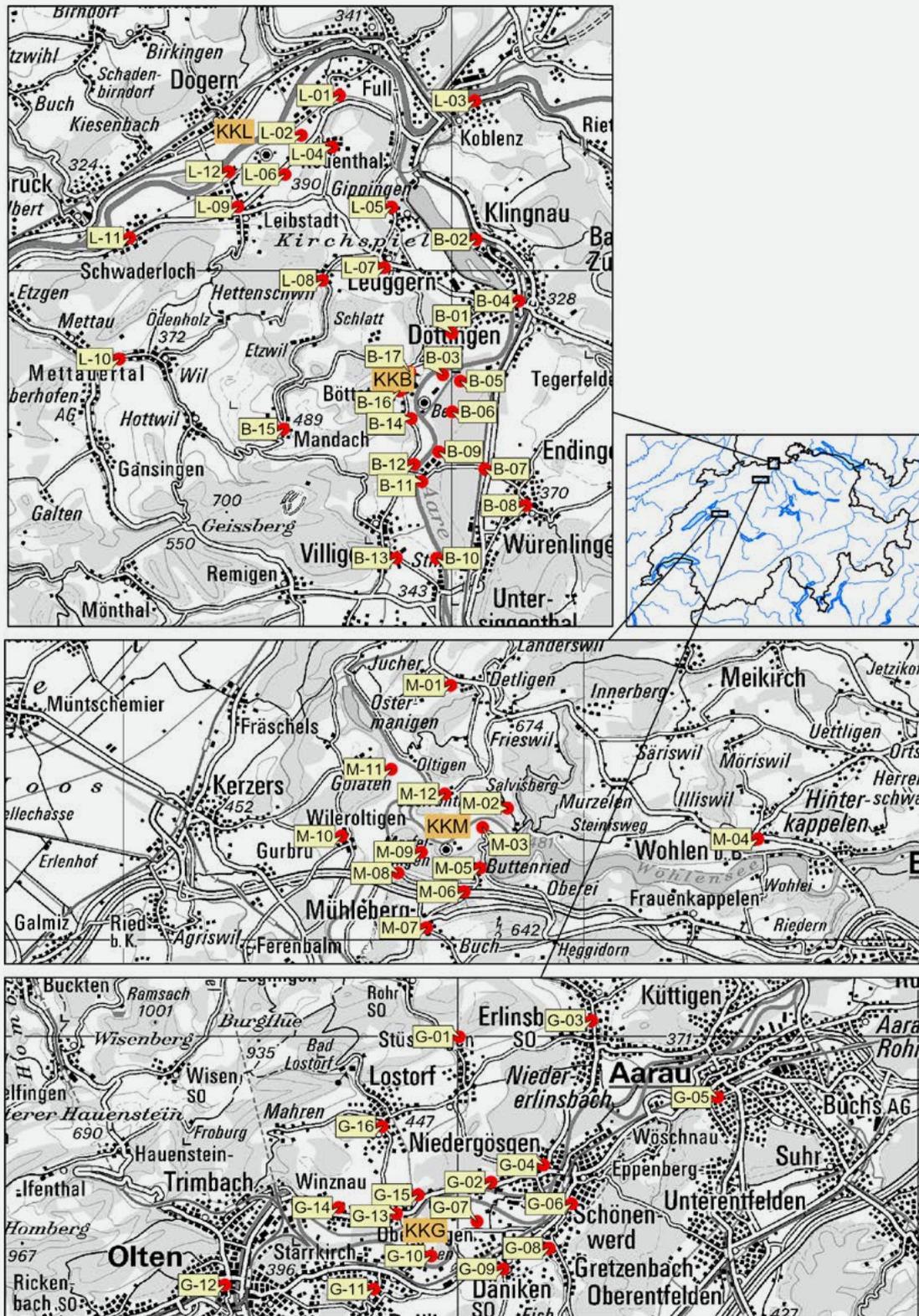
ter Datenaustausch mit externen Partnern wie der NAZ und der Kernreaktorfernüberwachung Baden-Württemberg. Die Darstellung 47 zeigt die Standorte der Messsonden in der Umgebung der KKW.

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



Bild 21:
MADUK-
Messsonden-
standort im
Winter.

MADUK Sondenstandorte



Darstellung 47:
Die vier Mess-
ringe des
MADUK-Net-
zes. Karten-
daten PK200
Darstellung:
Bundesamt
für Landes-
topografie

6.2.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung

Im Jahr 2023 wurden im KKB, KKG und KKL die Erfassungsrechner für die ANPA-/EMI-Daten ersetzt. Zudem wurden die Netzwerkanbindungen auf Glasfaser migriert, um die Ausfallsicherheit im Falle eines Stromnetzausfalls zu erhöhen. Nach dem vollständigen Abtransport der Brennelemente vom KKM ins ZZL und dem Erreichen der Stilllegungsphase 2 stellte das KKM die Übertragung der ANPA-/EMI-Daten per Ende September ein und baute die entsprechenden Geräte in der Folge zurück.

6.2.3 Systemverfügbarkeit und Störungen

Die Systemverfügbarkeit ist bei MADUK von besonderer Bedeutung, da das System eine kontinuierliche Überwachung gewährleisten muss, die auch von der Öffentlichkeit wahrgenommen wird. Mit der Kenngrösse «Systemverfügbarkeit» wird die Einsatztauglichkeit des Gesamtsystems MADUK beurteilt: Systemstörungen, die zu wesentlichen Nutzungseinschränkungen des Systems geführt haben, erfasst das ENSI als Ausfallzeit in Stunden.

Die permanente Übertragung der Anlageparameter aus den KKW erreichte insgesamt wiederum eine sehr hohe Verfügbarkeit. Beim KKG führten angekündigte Wartungsarbeiten zu sechs Unterbrüchen mit einer Gesamtdauer von 16,9 Stunden. Beim KKB war ein Unterbruch von 2,2 Stunden zu verzeichnen. Die Übertragung der Anlageparameter des KKL und des KKM liefen ohne nennenswerte Unterbrüche (das heisst, ohne Unterbrüche >1 Stunde). Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Störungen mit permanentem Datenverlust an den MADUK-Messstationen.



Bild 22: Komponenten eines Gamma-Tracer XL2 der Firma Bertin GmbH mit einem langen Niederdosiszählrohr und einem kurzen Hochdosiszählrohr sowie einem Elektronikmodul.

Die Messstationen liefen auch im Jahr 2023 grösstenteils zuverlässig. Aufgrund von Qualitätsproblemen beim Hochdosiszählrohr befanden sich 2023 zehn Messsonden in der Reparatur. Dies führte im dritten Quartal zu Engpässen beim Reserve-material, aber glücklicherweise nicht zu längeren Ausfällen von Messstationen. Mit dem Eintreffen der reparierten Sonden anfangs Dezember entspannte sich die Situation wieder. Am 11. Oktober ab ca. 11.00 Uhr lieferte die Messstation L-03 um rund 10% erhöhte Messwerte. Dies fiel bei der täglichen Routineprüfung der Daten ab dem 12. Oktober auf. Die Detailprüfung der Sondendaten zeigte zudem, dass die Sonde zum entsprechenden Zeitpunkt ein Shock-Ereignis aufgezeichnet hat. Am 13. Oktober wurde die Situation vor Ort überprüft. Dabei stellte das ENSI fest, dass die Sonde umgefahren worden war und am Boden lag. Die Befestigungsschrauben waren ausgerissen. Das ENSI reparierte die Sonde, prüfte sie und montierte sie anschliessend wieder bei der Station L-03. Der Schadenverursacher konnte nicht festgestellt werden.

Station	Störungsdauer [h]	Permanenter Datenverlust [h]	Ursache
M-10	43,3	43,3	Defekte Messsonde
L-03	143,0	143,0	Messsonde umgefahren
G-02	6,4	6,4	Defekte Messsonde

Tabelle 1: Auflistung der Störungen bei den MADUK-Messstationen mit permanentem Datenverlust.

Im Berichtsjahr lag die gemäss Managementhandbuch des ENSI bestimmte Systemverfügbarkeit bei 99,8% (Verfügbarkeit der ANPA- und EMI-Daten eingerechnet). Die Verfügbarkeit der Dosisleistungsdaten aller MADUK-Stationen im Archiv betrug 99,9%.

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/Erneuerung qualitätsgesichert und nachvollziehbar bearbeitet werden.

Im dritten Quartal 2023 erfolgte wie üblich eine jährliche Funktionsprüfung der Messsonden mithilfe einer radioaktiven Quelle. Alle Messsonden erfüllten die Prüfkriterien.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme führt das ENSI Messungen bei den Messstationen mittels In-Situ-Gammaspektrometrie durch.

6.2.5 Messergebnisse

Im Jahr 2023 verzeichneten die Messstationen insgesamt fünf Verletzungen des Nettodosisleistungsschwellenwertes von 50 nSv/h (Tabelle 2). Alle Erhöhungen waren aufgrund von gleichzeitig registriertem Niederschlag und/oder dem für Radonfolgeprodukte typischen Abklingverhalten auf Washout von natürlichen Radionukliden zurückzuführen.

Das ENSI stellte keine erhöhten Ortsdosisleistungswerte fest, die auf Abgaben der KKW zurückzuführen waren.

Die Darstellungen 48 und 49 zeigen die Maxima, die Minima und die Medianwerte der Tagesmittelwerte der jeweiligen Messringe im Berichtsjahr in den Umgebungen der KKW.

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

Gemäss den Abgabereglementen führt das ENSI im Zweijahresrhythmus an den Standorten der MADUK-Stationen in-situ-gammaspektrometrische Messungen durch. Im Jahr 2023 wurden diese Messungen an den MADUK-Standorten der Messringe des KKB und des KKM durchgeführt. Die Messresultate zeigten dabei keine Einträge von künstlichen Nukliden an den Standorten der MADUK-Sonden, welche auf den Betrieb der Kernanlagen zurückzuführen sind. Die aus den in-situ-gammaspektrometrischen Messungen berechneten Dosisleistungen waren konsistent mit den Ortsdosisleistungswerten an den MADUK-Standorten und zeigten auch keine nennenswerten Veränderungen.

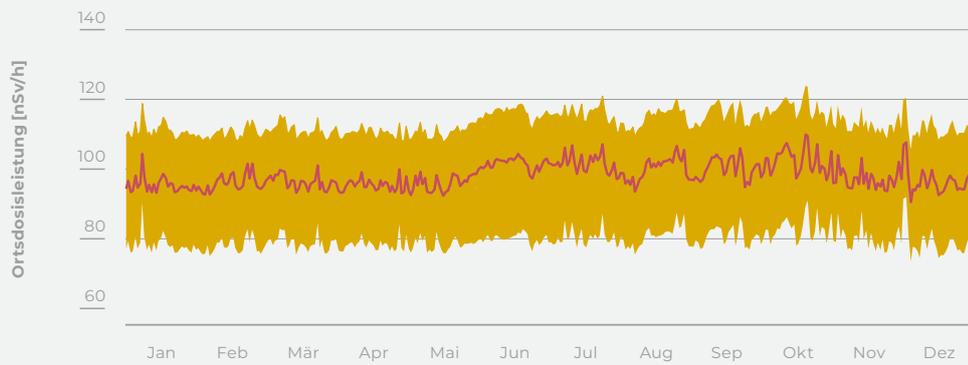


Bild 23:
In-Situ-Messung an MADUK-Standort Messring KKM.

Datum	Station	Dauer [h]	Max. NDL [nSv/h]	Max. ODL [nSv/h]
13.05.2023 18:50	M-04	0,3	52	140
23.05.2023 02:10	L-03	0,2	51	151
24.08.2023 19:00	G-12	0,3	54	148
28.08.2023 15:10	G-03	0,2	52	203
28.08.2023 15:00	G-07	0,5	58	196

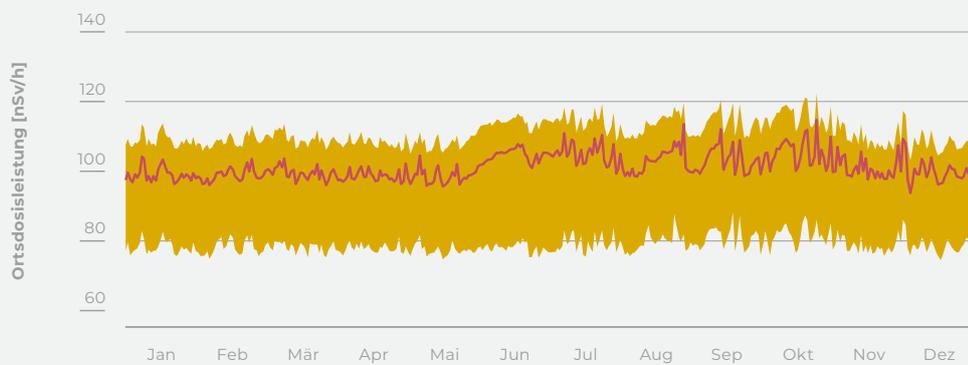
Tabelle 2:
Auflistung der Nettodosisleistungsschwellenwertüberschreitungen im Jahr 2023.

Maxima, Minima und Medianwerte des MADUK-Messrings des KKB für das Jahr 2023

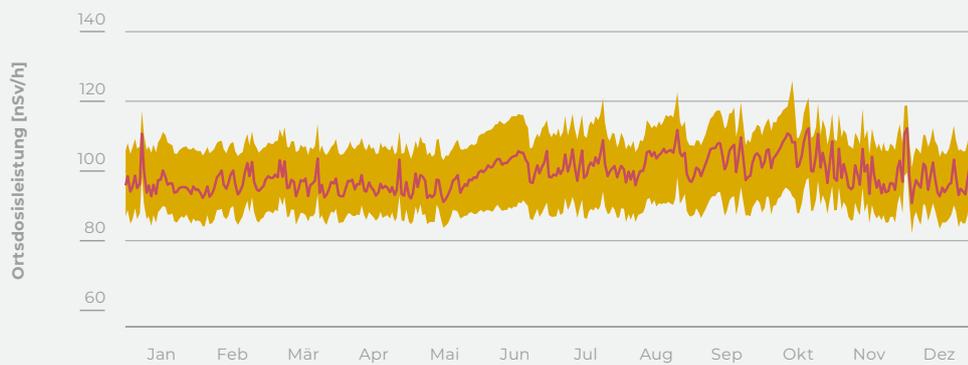


Darstellung 48: Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe des KKB und KKG im Jahr 2023.

Maxima, Minima und Medianwerte des MADUK-Messrings des KKG für das Jahr 2023

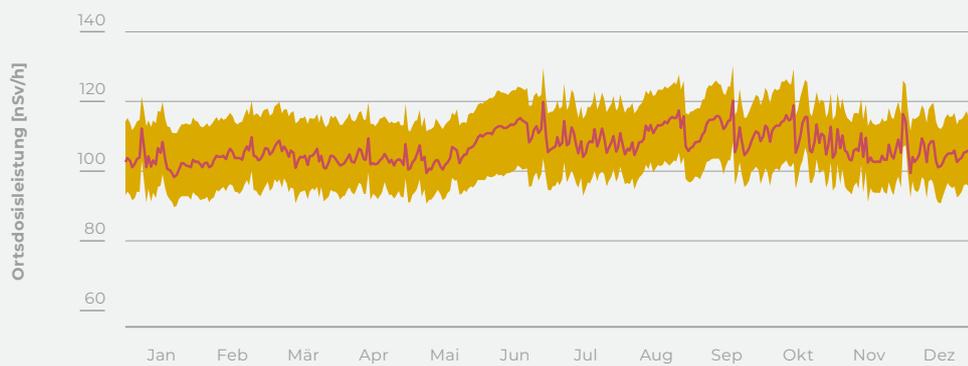


Maxima, Minima und Medianwerte des MADUK-Messrings des KKL für das Jahr 2023



Darstellung 49: Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe des KKL und KKM im Jahr 2023.

Maxima, Minima und Medianwerte des MADUK-Messrings des KKM für das Jahr 2023



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 aus Aare und Rhein konnten bis auf Spuren von ^{137}Cs keine weiteren Radionuklide aus dem Betrieb der Kernanlagen nachgewiesen werden. Die gemessene ^{137}Cs Aktivität betrug maximal $1,5\text{E-}04$ Becquerel pro Liter (Bq/l) (Immissionsgrenzwert 36 Bq/l). In den Monaten September bis Dezember 2023 konnten bei der Probenahme-Station Pratteln (Rhein) aufgrund des Umbaus der Pumpen keine Proben erhoben werden. In den Grundwasserproben von Aarberg, Schönenwerd, Böttstein und Pratteln konnten keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen werden.

In diversen Sedimentproben bei Hagneck, Klingnau und Pratteln wurden Spuren von ^{54}Mn detektiert. In einer Sedimentprobe bei Pratteln wurde auch ^{60}Co mit einem Wert von $2,6$ Bq/kg (Befreiungsgrenze $LL = 100$ Bq/kg) nachgewiesen. Der maximale Wert für ^{54}Mn lag bei Hagneck bei $0,5$ Bq/kg (Befreiungsgrenze $LL = 100$ Bq/kg). An der Messstelle Klingnau lagen die maximalen Werte für ^{54}Mn bei $0,5$ Bq/kg und an der Messstelle Pratteln bei $0,4$ Bq/kg. In allen Sedimentproben wurde ^{137}Cs gemessen. Dieses stammt hauptsächlich aus ausgewaschenem ^{137}Cs des Fallouts aus den Kernwaffentests und des Reaktorunfalls in Tschernobyl. Der maximale Wert für ^{137}Cs im Sediment betrug $4,9$ Bq/kg (Befreiungsgrenze $LL = 100$ Bq/kg).

In den Proben der Wasserpflanzen konnte ^{137}Cs mit Aktivitäten von $3,2$ Bq/kg (Möhlin) gemessen werden (Befreiungsgrenze $LL = 100$ Bq/kg). In den anderen Wasserpflanzenproben von Hagneck, Küttigen und Kleindöttingen konnten keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen werden. In keinen Fischproben wurden Aktivitäten von künstlichen Radionukliden über der Nachweisgrenze festgestellt.

Detaillierte Resultate zu allen Messungen des Probenahme- und Messprogramms können dem BAG-Jahresbericht 2023 über «Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz» entnommen werden.

6.5 Aeroradiometrische Messungen und Messresultate 2023

Während der Messübung unter der Leitung der NAZ im Zeitraum vom 19. bis 23. Juni 2023 wurde turnusgemäss die Umgebung des KKG und des KKM aeroradiometrisch gemessen. Im Rahmen der Messübung wurden zudem die Messungen ausserhalb der Zone 2 des KKG in südlicher Richtung bis zu 50 Kilometer Distanz erweitert. Die detaillierten Ergebnisse sämtlicher Messungen werden in einem PSI-Bericht im Verlauf des Jahres 2024 publiziert.

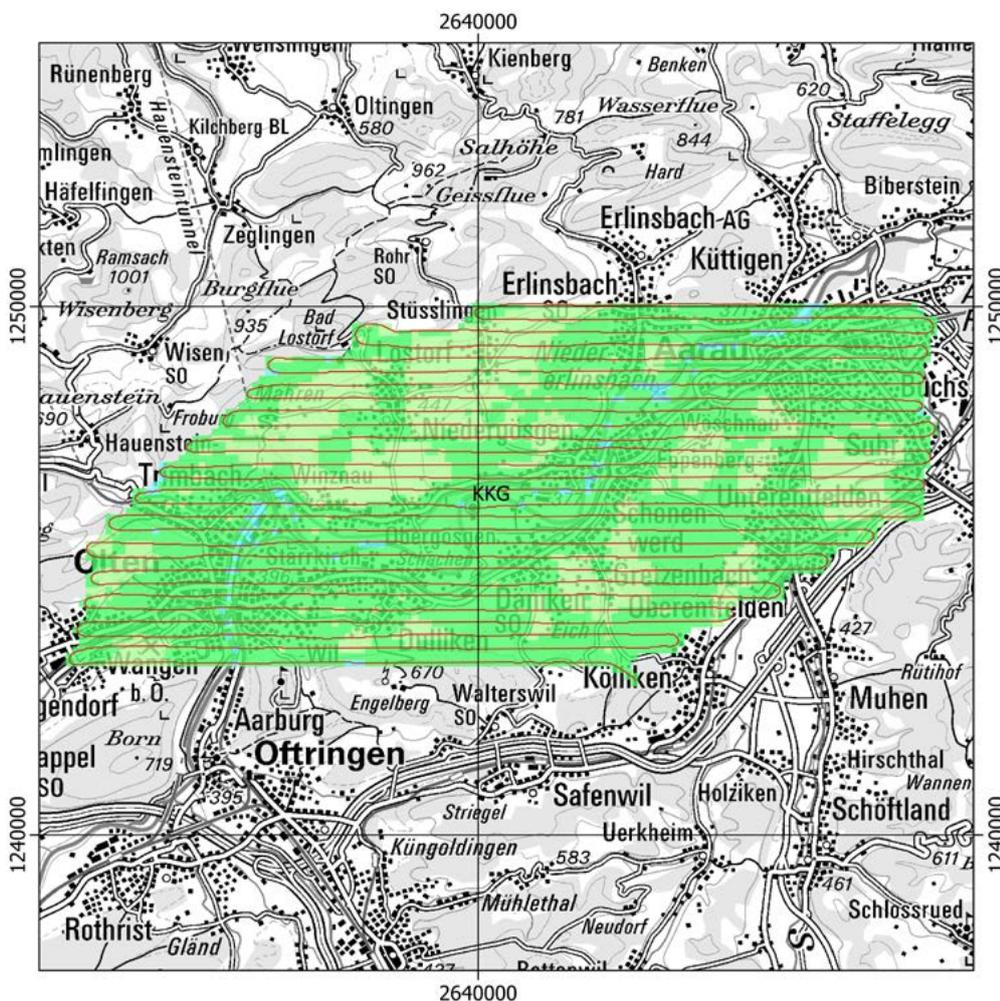
Die Messresultate in den Messgebieten KKG und KKM zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. Im Bereich des KKG sind keine besonderen Werte bei der Ortsdosisleistung (Darstellung 50) zu erkennen. Das KKG mit seinem Druckwasserreaktor konnte aeroradiometrisch weder aufgrund der Ortsdosisleistung (Darstellung 50) noch aufgrund des Man Made Gross Count (MMGC)-Verhältnisses erkannt werden. Das MMGC-Verhältnis steht für den Quotienten der Zählraten im Energiebereich von 400 – 1400 Kilo-elektronenvolt (keV) und 1400 – 3000 keV. Da die meisten Spaltprodukte Gammalinien im Energiebereich unterhalb von 1400 keV aufweisen, stellt das MMGC-Verhältnis ein empfindliches Instrument zur Lokalisierung künstlicher Radionuklide dar.

Im Messgebiet KKM sind am Standort des KKM in der Ortsdosisleistungskarte (Darstellung 51) leichte Erhöhungen erkennbar. Das KKM befindet sich im Rückbau. Dabei werden Komponenten ausgebaut und auf dem Werksareal zwischengelagert. Diese enthalten teilweise das Aktivierungsprodukt ^{60}Co , welches in den gemessenen Spektren auch identifiziert werden kann (Darstellung 52). Die Ortsdosisleistungen ausserhalb des Zauns des KKM werden regelmässig überprüft und entsprechen den gesetzlichen Vorgaben (siehe Kapi-

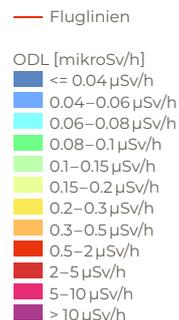
tel 6.1). Andere erhöhte Werte waren nicht erkennbar. Weitere Unterschiede in der Ortsdosisleistung sind auf Einflüsse der Topografie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen.

Im Messgebiet ausserhalb der Notfallschutzzone 2 des KKG liegen die Messwerte im erwarteten Bereich. Unterschiede sind auf Einflüsse der Topografie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen (Darstellung 53).

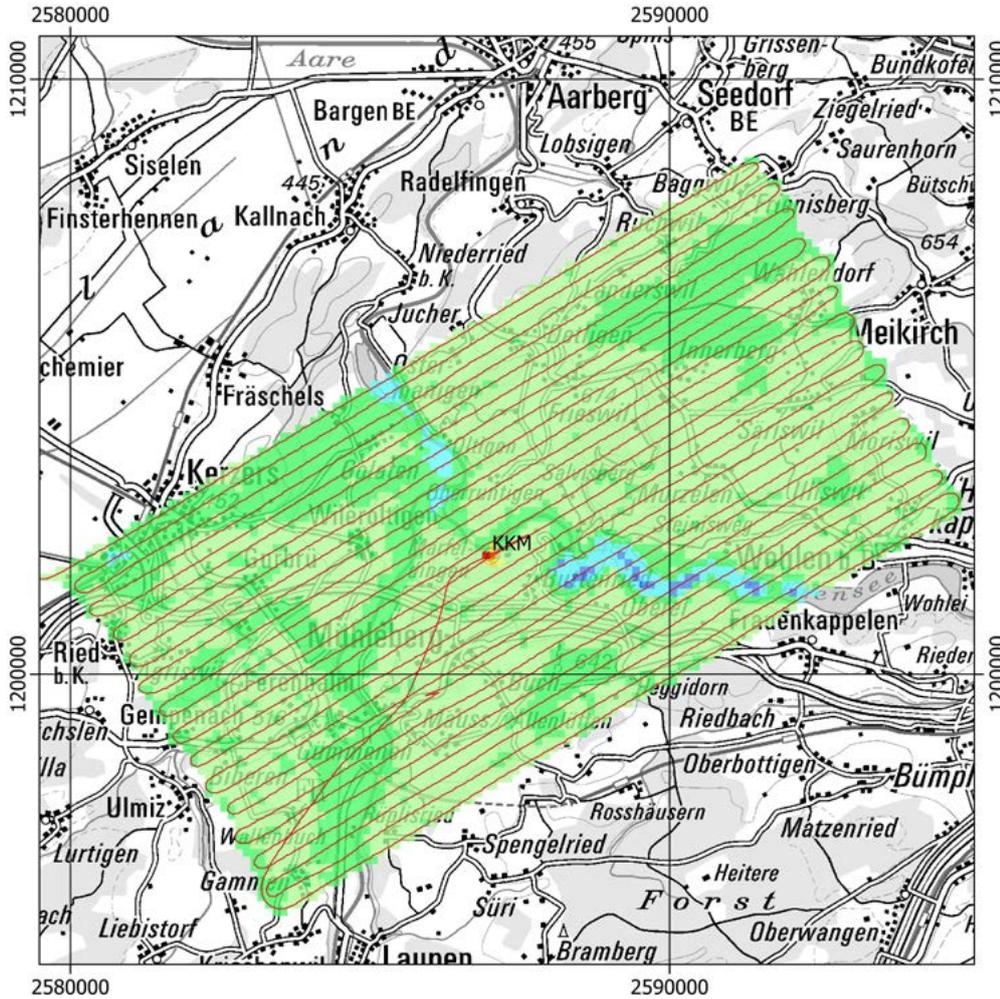
Ortsdosisleistung im Messgebiet des KKG



Darstellung 50: Ortsdosisleistung 2023 im Messgebiet KKG. Kartendaten PK200 Darstellung: Bundesamt für Landestopografie



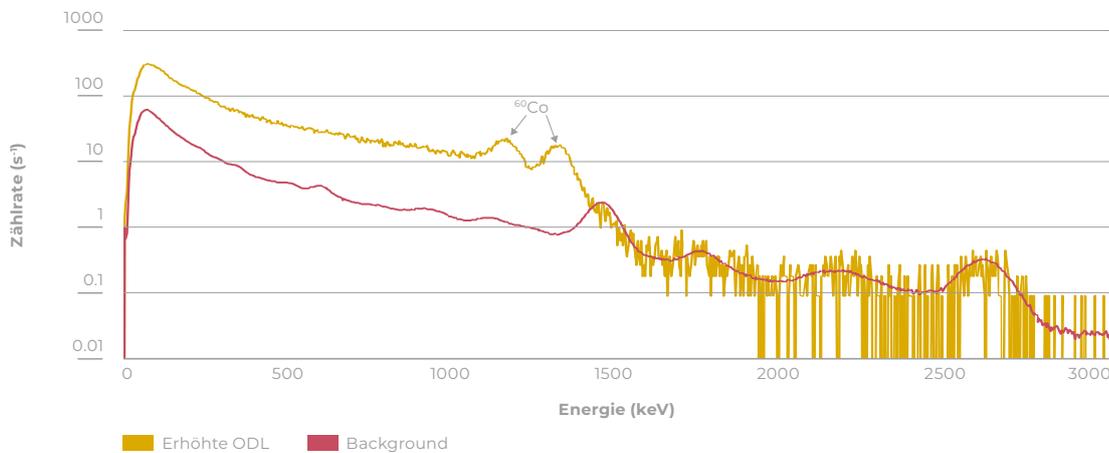
Ortsdosisleistung im Messgebiet des KKM



Darstellung 51: Ortsdosisleistung 2023 im Messgebiet KKM. PK200 Darstellung: Bundesamt für Landestopografie

- Fluglinien
- ODL [mikroSv/h]
- $\le 0.04\ \mu\text{Sv/h}$
- $0.04\text{--}0.06\ \mu\text{Sv/h}$
- $0.06\text{--}0.08\ \mu\text{Sv/h}$
- $0.08\text{--}0.1\ \mu\text{Sv/h}$
- $0.1\text{--}0.15\ \mu\text{Sv/h}$
- $0.15\text{--}0.2\ \mu\text{Sv/h}$
- $0.2\text{--}0.3\ \mu\text{Sv/h}$
- $0.3\text{--}0.5\ \mu\text{Sv/h}$
- $0.5\text{--}2\ \mu\text{Sv/h}$
- $2\text{--}5\ \mu\text{Sv/h}$
- $5\text{--}10\ \mu\text{Sv/h}$
- $> 10\ \mu\text{Sv/h}$

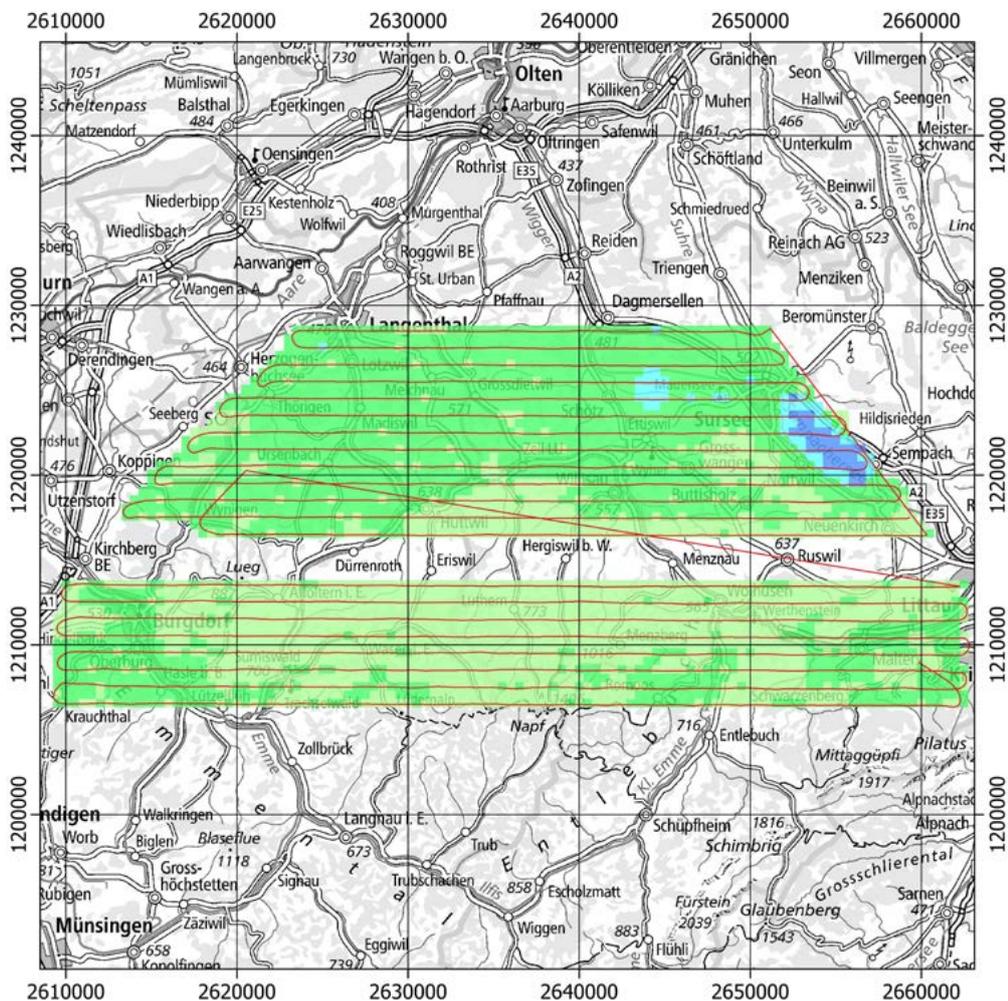
Gemittelte Spektren über dem KKM



Darstellung 52: Gemittelte Spektren im Gebiet der erhöhten Ortsdosisleistung und über einem Gebiet ausserhalb der erhöhten Werte (Background).

- Erhöhte ODL
- Background

Ortsdosisleistung im Messgebiet ausserhalb der Notfallschutzzone des KKG



Darstellung 53: Ortsdosisleistung im Messgebiet ausserhalb der Notfallschutzzone 2 bis 50 Kilometer südlich des KKG. PK500 Darstellung: Bundesamt für Landestopografie

- Fluglinien
- ODL [mikroSv/h]
- $\leq 0.04 \mu\text{Sv/h}$
- $0.04 - 0.06 \mu\text{Sv/h}$
- $0.06 - 0.08 \mu\text{Sv/h}$
- $0.08 - 0.1 \mu\text{Sv/h}$
- $0.1 - 0.15 \mu\text{Sv/h}$
- $0.15 - 0.2 \mu\text{Sv/h}$
- $0.2 - 0.3 \mu\text{Sv/h}$
- $0.3 - 0.5 \mu\text{Sv/h}$
- $0.5 - 2 \mu\text{Sv/h}$
- $2 - 5 \mu\text{Sv/h}$
- $5 - 10 \mu\text{Sv/h}$
- $> 10 \mu\text{Sv/h}$



Notfallschutz

Die Sektion «Störfallauswirkungen und Notfallschutz» befasst sich mit Störfallszenarien in Kernanlagen und beurteilt deren radiologischen Auswirkungen auf 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 (ENSI-NFO). Sie ist für den Betrieb, den Unterhalt und die Entwicklung des Prognosemodells JRODOS zuständig, mit dem die radiologischen Auswirkungen im Falle von unfallbedingten atmosphärischen Freisetzungen von radioaktiven Stoffen bestimmt werden. Im Besonderen sorgt die Sektion für die jährliche Aktualisierung der Notfallschutzpläne.

Vorwort der Leitung der Sektion «Störfallauswirkungen und Notfallschutz»

Nach den von der Covid-Pandemie gezeichneten Jahren hat sich auch am Standort Saporischschja des grössten Kernkraftwerks (KKW) Europas in der vom Krieg gebeutelten Ukraine so etwas wie «Normalität» eingestellt. Dass die Ruhe trügerisch ist, zeigte ein Besuch von Experten der Internationalen Atomenergie-Agentur (IAEA) vor Ort im Februar 2024, als Bombenexplosionen in einiger Entfernung zum KKW zu hören waren. Zudem stellt der IAEA zufolge der Mangel an qualifiziertem Personal nach wie vor eine ernst zu nehmende Sorge dar. Das Thema eines möglichen radiologischen Notfalls in Saporischschja bleibt uns wohl bis auf Weiteres erhalten: Selbst wenn die Anlagen am Standort zwischenzeitlich in den abgestellten Zustand überführt wurden, das Inventar an radioaktivem Material vor Ort bleibt beträchtlich und muss weiter überwacht beziehungsweise gekühlt werden.

In den Schweizer Kernanlagen konnte die Aufsicht über die Notfallvorsorge uneingeschränkt wahrgenommen werden: ENSI-Inspektoren inspizierten Notfallübungen in sechs Schweizer Kernanlagen, davon eine im KKW Beznau (KKB) mit Schwerpunkt Polizeieinsatz. Letztere unterstrich erneut die Bedeutung von regelmässig gemeinsam durchgeführten Übungen und die Herausforderungen, welche sich aus dem Zusammenspiel der Akteure bei der Bewältigung eines Ereignisses ergeben können. Das ENSI konnte die Einsatzbereitschaft der Kommunikationsmittel der Kernanlagenbetreiber für die Kommunikation mit den Notfallpartnern im Berichtsjahr wiederum feststellen. Gleichermassen inspizierte das ENSI den Prozess der Lagerverwaltung des externen Lagers Reitnau, welches zusätzliches Notfallmaterial aufweist, und stellte «Normalität» fest.

Wie die Bevölkerungsschutzkonferenz 2021 in Davos erneut bestätigte, kommt der Ausbildung der an der Bewältigung eines radiologischen Ereignisses beteiligten Stellen, vornehmlich der an der vordersten Front wirkenden Einsatzelemente, eine zentrale Rolle zuteil. Das Ausbildungsbedürfnis der Notfallschutzpartner ist gross. Erfreulich ist im Berichtsjahr daher die Entwicklung der

Nachfrage von Partnern nach einer Mitwirkung des ENSI bei der Planung und Vorbereitung der Massnahmen zur Erfüllung ihrer Aufgaben: Gleich mehrmals hatte das ENSI die Gelegenheit, bei der Ausbildung von Einsatzelementen die Kantone zu unterstützen. Darüber hinaus referierte das ENSI im Rahmen einer Feuerwehrinspektorenkonferenz über schwere Unfälle in KKW und über das Ausbildungsangebot des ENSI.

Dass sich im Notfallschutz international auch im Berichtsjahr 2023 einiges bewegte, belegen die auf den nachfolgenden Seiten dargelegten Aktivitäten der unterschiedlichen Gremien, in denen sich Mitarbeiter der Sektion engagieren und über neue Entwicklungen orientieren. In diesem Zusammenhang stellt das weltweit zu verzeichnende grosse Interesse am Bau von modularen Kleinreaktoren (sogenannte Small Modular Reactors oder SMR) ein an dieser Stelle hervorzuhebender Trend dar, bei dem auch Fragen der Notfallvorsorge und des Notfallschutzes von Beginn an entsprechend gewichtet werden.

Gleichermassen möchte ich es nicht auslassen, auf die beträchtlichen Fortschritte zu verweisen, welche im Berichtsjahr bei der Einführung einer neuen digitalen Oberfläche für die Notfallorganisation des ENSI mit den zu diesem Zweck eingestellten IT-Experten erreicht werden konnten: Das langfristig angelegte Projekt ist auf Kurs und die bis im November 2024 erreichte Ausbaustufe wird an der Gesamtnotfallübung 2024 seinen ersten Einsatz erfahren.



Ronald Rusch

7. Grundlagen Notfallschutz

Gesetzgebung

Die für den Notfallschutz in der Schweiz massgeblichen Gesetze sind das Kernenergiegesetz, das Bundesgesetz über den Bevölkerungsschutz und den Zivilschutz sowie das Strahlenschutzgesetz.

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 (insbesondere die Kernenergieverordnung, die Notfallschutzverordnung, die Verordnung über den Bundesstab Bevölkerungsschutz, die Bevölkerungsschutzverordnung, die Jodtablettenverordnung und die Strahlenschutzverordnung).

Darüber hinaus hat die Schweiz im Bereich des Notfallschutzes Abkommen und Vereinbarungen mit dem Ausland abgeschlossen, darunter beispielsweise das Übereinkommen über die frühzeitige Benachrichtigung bei nuklearen Unfällen, das Übereinkommen über Hilfeleistung bei nuklearen Unfällen oder strahlungsbedingten Notfällen sowie die Vereinbarung zwischen dem Schweizer Bundesrat und der Regierung der Bundesrepublik Deutschland über den radiologischen Notfallschutz.

Das Dosismassnahmenkonzept (siehe Tabelle 3) 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 Millisievert (mSv) im ersten Jahr – überschritten werden. Die Schweiz und Deutschland teilen sich die Notfallschutzzone um das KKW Leibstadt (KKL) und das KKB. Um grenzübergreifend gleiche Massnahmen anordnen zu können, ist eine Angleichung der Schwellenwerte und

der Dosisintegrationszeiten zielführend. Entsprechend werden in der Schweiz Sofortmassnahmen bei einer zu erwartenden Dosis von 10 mSv angeordnet. Ab 1 mSv werden Verhaltensempfehlungen zum Schutz der vulnerablen Bevölkerungsgruppen ausgesprochen.

Auf der Grundlage von Erkenntnissen aus dem Nuklearunfall in Fukushima-Daiichi und dem danach erarbeiteten Ansatz der HERCA-WENRA (vgl. Strahlenschutzbericht 2019) wurden für die Anordnung von Sofortmassnahmen zusätzliche Entscheidungskriterien in das Dosismassnahmenkonzept aufgenommen. Auf diese greifen die Notfallschutzpartner zurück, wenn die Informationslage nicht ausreichend ist und nicht erwartet werden darf, dass sich dies in nützlicher Frist ändert. Der internationale Konsens 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 Regelung ermöglicht es der Nationalen Alarmzentrale (NAZ), bei längerfristig unzureichender Informationslage und basierend auf der Einschätzung des ENSI Sofortmassnahmen anzuordnen, ohne dass zuvor durch Ausbreitungsrechnungen die Überschreitung von Dosissschwellen 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» und ENSI-A08

«Quelltermanalyse: Umfang, Methodik und Randbedingungen». Im Jahr 2021 begann das ENSI damit, die Richtlinie ENSI-B11 «Notfallübungen» grundlegend zu überarbeiten. Die Inkraftsetzung der Neuauflage dieser Richtlinie ist derzeit für den Anfang des Jahres 2025 geplant.

Stand von Wissenschaft und Technik

Als Basis für seine Ausbreitungs- und Dosisberechnungen (siehe Kapitel 8.2) nutzt das ENSI seit jeher Wettervorhersagen des Bundesamts für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz). Dabei kommen typischerweise die drei-stündlich aktualisierten 33-Stunden-Vorhersagen aus dem Wettervorhersagemodell COSMO-1E zum Einsatz, die hinsichtlich räumlicher und zeitlicher Auflösung Masstäbe setzen: Beim Modell COSMO-1E beträgt die horizontale räumliche Auflösung ca. einen Kilometer und die zeitliche Auflösung zehn Minuten. Alternativ stehen der ENSI-NFO auch Wettervorhersagen aus dem Modell COSMO-2E mit einer reduzierten räumlichen und zeitlichen Auflösung,

aber mit einem erweiterten Prognosehorizont von fünf Tagen zur Verfügung. MeteoSchweiz arbeitet kontinuierlich daran, die Vorhersagegüte weiter zu verbessern und die eingesetzten Modelle nach Stand von Wissenschaft und Technik weiterzuentwickeln. Es ist vorgesehen, das aktuell eingesetzte Modell COSMO ab 2024 durch das Modell ICON zu ersetzen. Im Berichtsjahr konnte die MeteoSchweiz das Modell ICON in den präoperationellen Betrieb nehmen.

In Rahmen des Vertrags zwischen MeteoSchweiz, Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) und ENSI erfolgt seit 2019 die Erneuerung und der Ausbau der Messmittel, die zur detaillierten Erfassung der Wettersituation im Mittelland eingesetzt werden, sowie die Erweiterung der Datenbasis für die Eingabegrößen des Vorhersagemodells. MeteoSchweiz installierte im Berichtsjahr die verbleibenden zwei Windprofiler in Grenchen und Schaffhausen sowie das verbleibende Radiometer in Schaffhausen. Damit ist die Erneuerung im



Bild 24:
Im Jahr 2023 im Rahmen der Messmittel-Erneuerung in Betrieb gesetzter Windprofiler der Messstation Grenchen.
Foto: MeteoSchweiz

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

Tabelle 3:
Dosismassnahmen-konzept seit 1. Januar 2021.

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

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

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

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

Rahmen eines sogenannten Lifecycles für diese Geräte abgeschlossen. Nennenswert an dieser Stelle ist, dass der Ersatz der Radiometer eine signifikante Verbesserung der Datenqualität dieser Messgeräte brachte.

7.1 Notfallschutz in der Schweiz

Der Notfallschutz in der Schweiz ist auf Stufe des Bundes organisiert. Die Ziele des Notfallschutzes gemäss Notfallschutzverordnung sind, 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 die Krise nach Möglichkeit selbstständig. 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 den Auswirkungen und der 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 unfallbedingten Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus einer Kernanlage in einem für die Bevölkerung gefährdenden 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:

- die Betreiber von Kernanlagen,
- das ENSI,
- weitere Bundesstellen (unter anderem Bundesstab Bevölkerungsschutz (BSTB), Bundesamt für Gesundheit BAG, BABS, NAZ, MeteoSchweiz, Gruppe Verteidigung),
- die Kantone,
- die Regionen und Gemeinden.

Das BABS ist federführend in der Unterstützung und Koordination der Notfallschutzpartner bei der Planung und Vorbereitung, der Koordination von

Notfallschutzmassnahmen (bis zur Evakuierung von Notfallschutzzonen beziehungsweise Sektoren von Notfallschutzzonen) und der Durchführung von Gesamtnotfallübungen (GNU), die alle zwei Jahre stattfinden.

Der Notfallschutz unterscheidet Planung und Vorbereitung (englisch: «Emergency Preparedness» entsprechend der Notfallvorsorge) vom Ereignisfall («Emergency Response»). Die Planung und Vorbereitung stellt sicher, dass sämtliche Notfallschutzpartner jederzeit über eine ausgebildete und regelmässig beübte NFO verfügen und die Abläufe im Ereignisfall allen Notfallschutzpartnern bekannt sind. Das ENSI beaufsichtigt die Notfallbereitschaft der Kernanlagen (vgl. Kapitel 9) und konkretisiert die entsprechenden Vorgaben aus Gesetz und Verordnungen in Richtlinien (siehe oben, Gesetzgebung und Regelwerk). Der BSTB bereitet sich auf mögliche Ereignisfälle vor und überprüft die Einsatzbereitschaft durch regelmässige Übungen.

Das Verhindern eines Notfalls als Folge eines Störfalls sowie die Minimierung beziehungsweise das Abwenden einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen 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 zur möglichen Freisetzung einen wichtigen Beitrag zur fundierten Entscheidungsfindung betreffend die Notfallschutzmassnahmen für die Bevölkerung. Die Notfallschutzmassnahmen werden vom BSTB beim Bundesrat beantragt und deren Umsetzung vom Bundesrat entschieden. Sind die zuständigen Stellen des Bundes in einem Ereignisfall noch nicht einsatzbereit, trifft die NAZ gestützt auf das Dosismassnahmenkonzept 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 vertreten.

Es leistet dort einen wichtigen Fachbeitrag im Zusammenhang mit dem radiologischen Notfallschutz. Im nationalen Umfeld ist das ENSI im BSTB sowie in den Eidgenössischen Kommissionen für Strahlenschutz und für ABC-Schutz vertreten.

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 besser verstehen und nachvollziehen können. Das ENSI bietet in diesem Zusammenhang den von einem Unfall potentiell betroffenen Kantonen an, deren Einsatzelemente zu schulen. Im Jahr 2023 durfte das ENSI dem Kanton Solothurn im Rahmen eines Stabsarbeitstages, den Chefs der Regionalen Führungsorganisationen des Kantons Aargau sowie der Regionalen Führungsorganisation Unteres Fricktal grundlegende Aspekte der Notfallvorsorge und der Notfallbekämpfung im Falle eines KKW-Unfalls in der Schweiz näherbringen.

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

Die Deutsch-Schweizerische Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen (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 2023 fand die DSK-Sitzung der Arbeitsgruppe Notfallschutz in Freiburg i.B. statt. Die Hauptsitzung der DSK wurde Ende des Jahres in München durchgeführt.

Commissione Italo-Svizzera

Im Rahmen der Commissione Italo-Svizzera (CIS) haben das 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 fand im Jahr 2023 in Rom statt.

Commission Franco-Suisse

Die Commission Franco Suisse (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. Im Jahr 2023 fand ein per Videokonferenz veranstaltetes Treffen der Expertengruppe «crise nucléaire» der CFS statt. Dabei unterrichteten sich die Teilnehmenden über aktuelle Entwicklungen im Notfallschutz in Frankreich und der Schweiz, über die grenzüberschreitende Koordination, über die Einbindung von lokalen Akteuren in Notfallübungen und die Aktualisierung der französischen Doktrin für die Bewältigung der Phase nach einem radiologischen Ereignis. Die jährliche Hauptsitzung der CFS fand in Cadarache in Frankreich statt.

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 14 Arbeitskreise, in denen sich Fachexperten zum jeweiligen Fachgebiet austauschen. Der Arbeitskreis Notfallschutz des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V. hat sich im Mai und im November 2023 zu jeweils einer Sitzung zusammengefunden, an denen aktuelle Themen hinsichtlich des Notfallschutzes diskutiert wurden. An der Sitzung im Mai stellten die Teilnehmenden beispielsweise die Tätigkeiten der deutschen und schweizerischen Behörden zur Vorbereitung auf eine mögliche radiologische Notfallsituation in einer ukrainischen Kernanlage vor. Die Sitzung im November fand als Präsenzsitzung statt, anlässlich derer unter anderem über durchgeführte Notfallübungen und die daraus gezogenen «lessons learned» berichtet wurde.

Emergency Preparedness and Response Standards Committee der Internationalen Atomenergie-Agentur

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

Die Versammlungen des EPRReSC wurden 2023 in Wien durchgeführt. Für die Revision, beziehungsweise Neuerstellung von Guidelines mit Hauptfokus auf Notfallvorsorge und Notfallbekämpfung ist das Gremium EPRReSC federführend:

- GS-G-2.1 – «Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency»
- GSG-2 – «Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency»
- Neuerstellung «Protection Strategy for a Nuclear or Radiological Emergency» (Arbeitstitel)

Während den Sitzungen besprachen die Teilnehmenden insbesondere folgende Themen:

- Bildung einer Arbeitsgruppe zur Durchführung einer Defizitanalyse der General Safety Requirements (GSR) Part 7 «Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency» im Hinblick auf eine künftige Revision;
- Diskussion des Langzeitplans und weiteres Vorgehen für Safety Standards im Bereich Notfallvorsorge und Notfallbekämpfung;
- Auswirkungen des Klimawandels auf die Notfallvorsorge und die Notfallbekämpfung;
- Verabschiedung von Spezifikationen für die Revision von Guidelines, in Zusammenarbeit mit anderen Safety Committees aus den Bereichen Strahlenschutz, Auslegung, nukleare Sicherung, radioaktive Transporte und Abfallmanagement.

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

HERCA Working Group on Emergencies

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 teilweise 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 vorgesehen 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.

Im Jahr 2023 fanden zwei Sitzungen der Arbeitsgruppe WGE statt, eine davon virtuell. Ein Hauptaugenmerk der Arbeitsgruppe war die Sicherstellung des Informationsflusses bei kriegerischen Auseinandersetzungen.

Zusätzlich erörterte die WGE im Jahr 2023 Folgendes:

- Die Umsetzung der Empfehlungen des Berichts zur Implementierung von nuklearen und radiologischen Anforderungen im Bereich der Notfallvorsorge und der Notfallbekämpfung in den EU-Mitgliedstaaten und deren Nachbarländern;

- Die Verabschiedung des sogenannten Action Plans 2023–2027 sowie die organisatorische Aufteilung in Task-Gruppen innerhalb der Arbeitsgruppe WGE zu dessen Umsetzung.

Working Party on Nuclear Emergency Matters

Die Working Party on Nuclear Emergency Matters (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 der 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.

Die Sitzung der WPNEM fand im Jahr 2023 bei der norwegischen Aufsichtsbehörde für Strahlenschutz und nukleare Sicherheit statt. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer besprachen unter anderem die Berichte der Mitgliedsländer und internationaler Organisationen zu notfallschutzbezogenen Themen. Als Schwerpunktthema wurden Notfallschutzzonen für neue Nukleartechnologien, insbesondere die sogenannten Small Modular Reactors (SMRs), diskutiert und einzelne nationale Ansätze dafür vorgestellt.

8. Notfallschutz im ENSI

Notfallschutz ist eine Verbundaufgabe. Den im nuklearen Notfallschutz involvierten Partnern werden zur Erreichung der Ziele des Notfallschutzes 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.

8.1 Aufgaben des ENSI

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 NFO sicher.
- Es betreibt ein Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der KKW (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 NFO 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 orientiert die NAZ unverzüglich über Ereignisse in schweizerischen Kernanlagen.
- Es beurteilt die Zweckmässigkeit der vom Betreiber der Kernanlagen getroffenen Massnahmen und überprüft deren Umsetzung.
- Es erstellt Prognosen betreffend die Entwicklung des Störfalles in der Anlage, die mögliche Ausbreitung der Radioaktivität in der Umgebung und deren Konsequenzen.
- Es berät das BABS und den BSTB bei der Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung.
- Es stuft das Ereignis auf der internationalen Bewertungsskala für nukleare Ereignisse (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 INES-Einstufung eines Störfalles ab der Stufe 2.

8.2 Die ENSI-Notfallorganisation

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

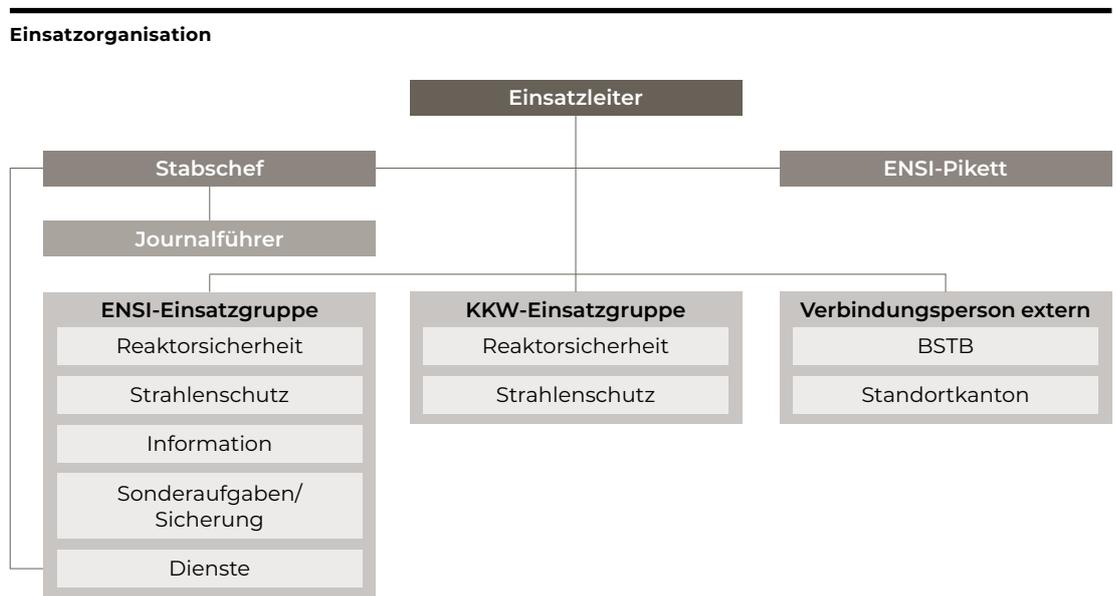
Grundsätzlich sind alle festangestellten Mitarbeitenden des ENSI in der ENSI-NFO eingeteilt. Sie übernehmen die ihnen zugewiesenen Aufgaben und Funktionen. Die Einteilung basiert auf dem jeweiligen Erfahrungsgrad der Mitarbeitenden und der im ENSI wahrgenommenen Funktion im Tagesgeschäft. Um ein ereignisangepasstes 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 die Darstellung 54. Die Einsatzorganisation kann bei Bedarf angepasst werden. Insbesondere können auch weitere Verbindungspersonen eingesetzt werden, die als Fachexperten des ENSI eine beratende Funktion wahrnehmen.

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 dem Ereignis angepassten Aufgebot die Handlungsfähigkeit der Einsatzorganisation in weniger als einer Stunde erreicht wird. Das Aufgebot der Kernteams erfolgt via Telegame 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 speziell dafür 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 verfügte 2023 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.



Darstellung 54:
Gliederung der Einsatzorganisation.

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, kommt das Sicherheitsfunknetz der Schweiz POLYCOM zum Einsatz. Als weitere Rückfallebene wird auch die Satellitenkommunikation eingesetzt, wobei die ENSI-NFO über mehrere Satellitentelefone verfügt. Der diensthabende Piketzingenieur ist während seines Dienstes ständig über das POLYCOM erreichbar.

b. ADAM: Accident Diagnostics, Analysis and Management

Die Software ADAM («Accident Diagnostics, Analysis and Management») erfasst, visualisiert und interpretiert die vom KKW zum ENSI ständig übermittelten und definierten Anlageparameter. Der diensthabende Piketzingenieur wird damit im Ereignisfall bei der ersten raschen Beurteilung

des Anlagezustandes im betroffenen KKW unterstützt. Auf Basis einer einfachen Logik interpretiert ADAM den momentanen Anlagenzustand und leitet daraus ab, ob sich das KKW in einem sicheren respektive unsicheren Zustand befindet.

c. MADUK

Das MADUK-Messnetz gestattet die permanente Erfassung, Überprüfung und Speicherung von Dosisleistungsdaten aus den 57 Immissionsmessgeräten in der Umgebung der KKW und des PSI (siehe Kapitel 6.2).

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 (der sogenannte Quellterm) im Ereignisfall und der Berechnung der sich daraus potentiell ergebenden Strahlendosis für die Bevölkerung mit dem Ziel, zu Handen 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), in der Verordnung über den Bundesstab Bevölkerungsschutz und in der Bevölkerungsschutzverordnung 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 dieser Stoffe in der Umgebung und deren Konsequenzen. Das ENSI berät zudem das BABS und den 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 Messungen 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.

Das im Jahr 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 anlagenexternen Notfallschutz, welches von vielen Ländern genutzt wird. Die Weiterentwicklung erfolgt laufend durch das KIT, gesteuert von der RODOS User Group, in welcher das ENSI Einsitz nimmt. Innerhalb von JRODOS wird für die eigentliche Ausbreitungsrechnung das Programm LASAT (LAgrange-Simulation von Aerosol-Transport) verwendet. Dieser Programmcode berechnet die Ausbreitung von Spurenstoffen in der Atmosphäre, indem für eine Gruppe repräsentativer Stoffteilchen der Transport und die turbulente Diffusion durch einen Zufallsprozess auf dem Computer simuliert wird (Lagrange-Simulation). Unter den Anwendungsbereichen von LASAT befinden sich beispielsweise die technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft für Störfälle, für das Screening, für 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.

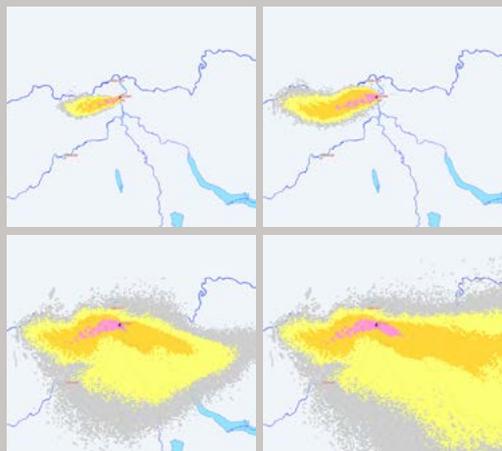
JRODOS erlaubt die direkte Verwendung von 3D-Wettervorhersagedaten aus den von Meteo-Schweiz routinemässig eingesetzten Modellen COSMO-1E und COSMO-2E. Diese liefern Prognosen in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung bis zu 33 Stunden respektive 120 Stunden im Voraus. Bei der Verwendung dieser Wettervorhersagen werden die 3D-Daten mit einem Windfeldmodell auf die vom Ausbreitungsmodell benötigten Auflösungen heruntergerechnet. Dies ermöglicht Simulationen mit einer noch höheren räumlichen Auflösung als derjenigen des Wettervorhersagemodells. Das Rechengitter von JRODOS 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.

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 Landestopografie swisstopo verwendet.

Beispiel einer JRODOS-Simulation

In Darstellung 55 wird beispielhaft eine JRODOS-Simulation für den Standort des KKB 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.

JRODOS-Simulation



Ausbreitungsrechnung einer fiktiven Freisetzung aus dem KKB für den 29. Juni 2023 um 8.00 Uhr Lokalzeit, Abgabehöhe 50 Meter über Boden, Dauer der angenommenen Freisetzung zwei Stunden.

Ausbreitungssituation am 29. Juni 2023 um 10.00 Uhr (links oben), 12.00 Uhr (rechts oben), 16.00 Uhr (links unten) und 20.00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

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

Darstellung 55:
Beispiel einer JRODOS-Simulation für das KKB.

Atmosphärische Ausbreitung und Dosisberechnung

Das ENSI verfügt seit vielen Jahren nicht nur über die Mittel und das Expertenwissen, um Entwicklungen in schweizerischen Kernanlagen bei Unfällen früh zu erkennen, zu beurteilen 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 stellen eine Voraussetzung für das rasche Erfassen und Einschätzen von sich ändernden Rahmenbedingungen 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 setzt das ENSI seit 2016 das Programm JRODOS ein.

Aktueller Stand

Das Ausbreitungsmodell JRODOS ist für alle Kernanlagen operationell. Es ist in der ENSI-NFO eingebunden und technisch mit den anderen Notfallwerkzeugen ADAM und MADUK verknüpft. Um seine in der Notfallschutzverordnung zugewiesenen Aufgaben zuverlässig 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-NFO – 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-NFO. Im Rahmen von Notfallübungen wird das System unter realitätsnahen Bedingungen eingesetzt und die vorgesehenen Abläufe werden verifiziert. Anlässlich der alle zwei Jahre stattfindenden GNU, 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. Digitale Arbeitsoberfläche für die Notfallorganisation

Die digitale Arbeitsoberfläche für die NFO ist eine Software, die die Arbeitsabläufe in den Einsatzgruppen Reaktorsicherheit und Strahlenschutz 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 Handen der Notfallschutzpartner erzeugt, welche in der elektronischen Lagerdarstellung bereitgestellt werden.

Im Zuge der kontinuierlichen Verbesserung hält die Digitalisierung auch in der ENSI-NFO 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 zu Handen der Notfallschutzpartner und der Einführung der digitalen Arbeitsoberfläche für die beiden Einsatzgruppen Reaktorsicherheit und Strahlenschutz fortgeführt.

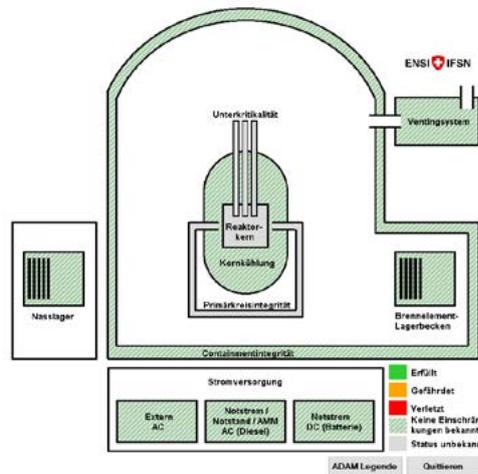
Die operationelle digitale Arbeitsoberfläche ermöglicht den beiden Einsatzgruppen Strahlenschutz und Reaktorsicherheit der NFO, einen

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 anlagen-spezifische 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 von Signalfarben (vgl. Darstellung 56). Diese Anlagengrafik bietet den Notfallschutzpartnern einen vereinfachten Überblick über die Situation vor Ort.

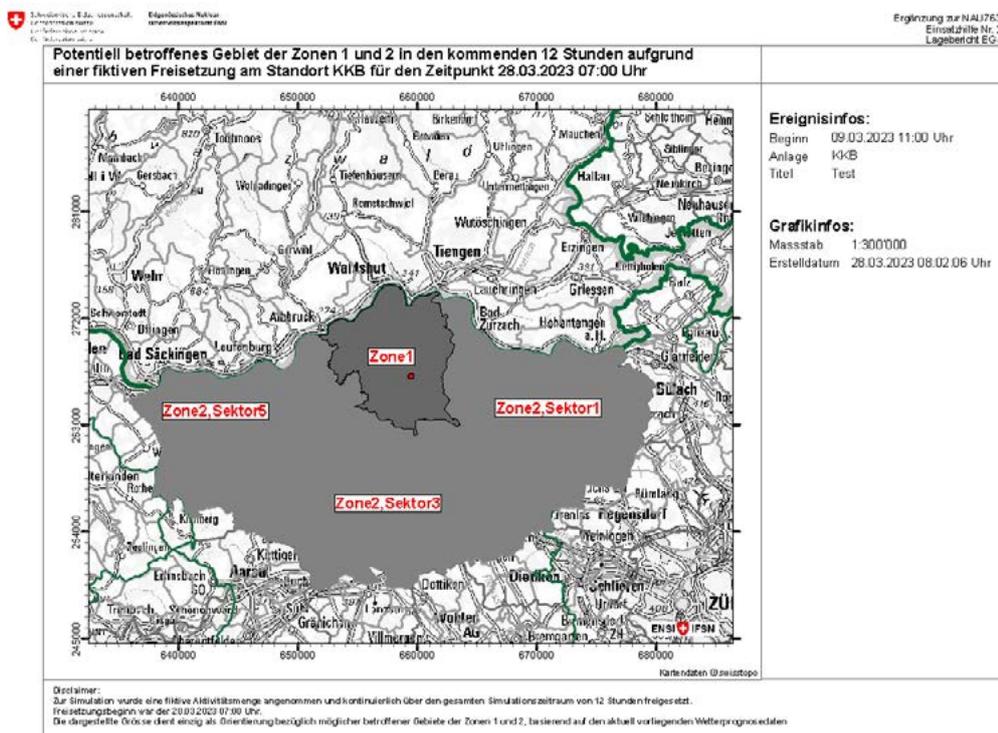
Übersicht über den Anlagenzustand des KKG

Thema	Aktueller Status	Bewertung (für Andere sperrt)	Technische Begründung, Kommentar	KKG
Reaktivität				
Reaktorkern				
Zustand des Kerns	Kern intakt			
INPA Nr. 2, 3 und 5	<input type="checkbox"/> Möglicherweise begrenzte Hüllschäden <input type="checkbox"/> Reaktorkern ist eingekollt oder stillstehend/überbeheizt / meldefähig an SLMG (Einsatzgruppen) erfüllt <input type="checkbox"/> Keine Informationen vorliegend			
Nachwärmeabfuhr				
Stromversorgung				
Containment				
BE-Lagerbecken				
Massenlöcher im Werk				
Lokale Lager				
Prognose				



Darstellung 56: Liste der Systeme und Komponenten (links), deren Statusbeurteilung zur automatischen Einfärbung der Anlagengrafik (rechts) führt, am Beispiel des KKG.

Potentiell betroffenes Gebiet am Standort des KKB



Darstellung 57: Beispiel einer Grafik für das Produkt «Potentiell betroffenes Gebiet der Zonen 1 und 2 in den kommenden 12 Stunden aufgrund einer fiktiven Freisetzung am Standort des KKB» im Rahmen einer Übung.

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

Auf der Basis der neuesten Routineberechnungen durch JRODOS kann das Produkt «Potentiell betroffenes Gebiet» in wenigen Schritten erstellt und den Notfallschutzpartnern zur Verfügung gestellt werden (vgl. Darstellung 57). Dieses Produkt illustriert auf der Grundlage der aktuellen Wettervorhersagen jene Notfallschutzzonen und -sektoren, die von einer radioaktiven Wolke betroffen wären, falls es innerhalb der nächsten zwölf Stunden zu einer Freisetzung kommen sollte.

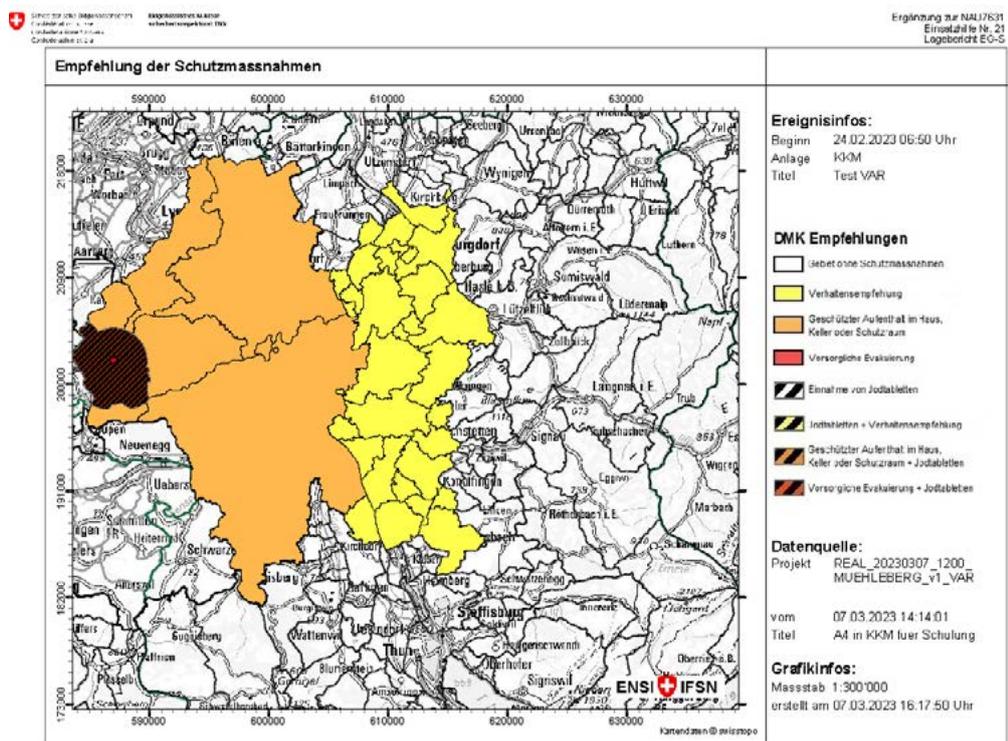
Ferner kann über die Benutzeroberfläche eine grafische Darstellung der vom ENSI gegebenenfalls empfohlenen Schutzmassnahmen erstellt werden, bei welcher die Notfallschutzzonen und

-sektoren sowie die Gemeinden ausserhalb der Notfallschutzzonen entsprechend eingefärbt werden (vgl. Darstellung 58). Das Produkt visualisiert die bislang ausschliesslich in Tabellenform mitgeteilten Empfehlungen des ENSI für Schutzmassnahmen in einfacherer, schneller erfassbarer Form.

Die digitale Arbeitsoberfläche enthält zusätzlich einen stets aktuell gehaltenen Statusbalken, der unter anderem eine Übersichtsdarstellung in Ampelform zu den radiologischen Schutzziele, zum MADUK-Schwellwertalarm, zur Windgeschwindigkeit am Standort und zur Notfallklasse besitzt. Dies gibt den Nutzern jederzeit einen Überblick über den aktuellen Stand der wesentlichen Kenngrössen.

Im Berichtsjahr wurde die Programmierung einer neuen digitalen Arbeitsoberfläche fortgeführt, welche die bestehende operationelle Arbeitsoberfläche im Hinblick auf die Gesamtnotfallübung 2024 ersetzen soll. Mit der ENSI-intern erfolgenden Neuprogrammierung stehen dem

Empfehlungen nach Dosismassnahmenkonzept



Darstellung 58:
Grafische Darstellung der Empfehlung des ENSI entsprechend den Dosis-schwellen nach Dosis-massnahmen-konzept am Beispiel des KKM im Rahmen einer Übung.



Bild 25:
Impressionen aus dem neuen Ausweichstandort der ENSI-NFO.

ENSI vielfältige Möglichkeiten der Gestaltung sowie der Anbindung des Systems an die ENSI-interne IT-Landschaft offen.

f. Ausweichstandort

Die NFO verrichtet ihre Arbeit in geschützten Notfallräumlichkeiten am Standort Brugg, welche jederzeit zur Verfügung stehen. Seit der Operationalisierung des neuen Ausweichstandorts für die ENSI-NFO und die ENSI-Rechenzentren verfügt das ENSI über einen zukunftsgerichteten Ausweichstandort, der die Verfügbarkeit der ENSI-NFO und ihrer Produkte zugunsten des Notfallschutzes auf nationaler Ebene gewährleistet. Im Berichtsjahr erfolgten punktuelle Ergänzungen in der Infrastruktur des Ausweichstandorts.

9. Notfallschutz- Inspektionen

Im Rahmen der Aufsicht führt das ENSI auch im Fachgebiet Notfallschutz regelmässig wiederkehrende Inspektionen durch. So werden die Notfallkommunikationsmittel der Kernanlagen jährlich nach den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B12 «Notfallschutz in Kernanlagen» 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 bezeichneten Stellen, auf deren Gebiet sich Gemeinden beziehungsweise Gemeindeteile der Zone 1 befinden,

zu beschaffen und zu installieren. Geeignete Kommunikationsmittel der Kernanlagenbetreiber 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 sollen stichprobenweise Funktionskontrollen von Kommunikationseinrichtungen deren ordnungsgemässe Funktion verifizieren.

Als weiterer wichtiger Baustein der Aufsichtstätigkeit im Bereich Notfallschutz inspiziert das ENSI die gemäss Richtlinie ENSI-B11 «Notfallübungen» durchzuführenden Notfallübungen der Kernanlagen. 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 NFO der entsprechenden Anlage. Je nach Übungstyp wird das ENSI durch weitere Behörden und/oder Organisationen unterstützt, die in Tabelle 4 ausgewiesen werden.

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

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

Im Jahr 2023 konnten alle Kernanlagen ihre geplanten Notfallübungen durchführen. Die Anlagen KKG und ZZL haben im Jahr 2023 Notfallübungen vom Typ Werksnotfallübung durchgeführt. Im KKM wurde eine Werksnotfallübung mit Schwerpunkt Feuerwehreinsatz durchgeführt, die dem Beüben der Schnittstellen zwischen der Notfallorganisation der Kernanlage und externen Feuerwehren dient. Das KKL und das PSI haben im Jahr 2023 jeweils eine Notfallübung vom Typ Stabsnotfallübung durchgeführt. Dabei wird im Schwerpunkt der Notfallstab beübt. Die Anlage KKB hatte gemäss Übungsplanung eine Notfallübung mit Schwerpunkt Polizeieinsatz durchzuführen. Im Rahmen dieses Übungstyps wird insbesondere die Schnittstelle zwischen der Notfallorganisation der Kernanlage und der zuständigen Kantonspolizei beübt. Alle Anlagen konnten

Übungstyp	Behörde/Organisation
Werksnotfallübung mit Schwerpunkt Polizeieinsatz	Zuständige Kantonspolizei
Werksnotfallübung/Institutsnotfallübung mit Schwerpunkt Feuerwehreinsatz	Zuständiges kantonales Feuerwehrintspektorat
Institutsnotfallübungen	BAG, Abteilung Strahlenschutz

**Tabelle 4:
An Notfall-
übungen
beteiligte
Organisatio-
nen.**

zeigen, dass sie jeweils über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete NFO verfügen.

Die Inspektionen betreffend die externen Notfallkommunikationsmittel wurden im Jahr 2023 wie geplant durchgeführt. Bei allen Inspektionen konnte die uneingeschränkte Verfügbarkeit der überprüften Mittel festgestellt werden. Ferner wurde in den KKW und im ZZL durch die Auslösung der unangemeldeten Aufgebotstests ausnahmslos die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabs innerhalb der zeitlichen Vorgaben gemäss Richtlinie ENSI-B11 «Notfallübungen» bestätigt.

Anhang 1 – Dosimetriedaten

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	543	851	1394	527	870	1397	415	1253	1668	222	419	641	1694	2642	4336
> 1,0–2,0	28	67	95	25	52	77	45	139	184	16	20	36	116	241	357
> 2,0–5,0	18	32	50	17	26	43	32	99	131	29	42	71	95	225	320
> 5,0–10,0	1		1							2	4	6	4	8	12
>10,0–15,0															
Total Personen	590	950	1540	569	948	1517	492	1491	1983	269	485	754	1909	3116	5025
Mittel pro Person [mSv]	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,4	0,5	0,4

Tabelle A1: Anzahl beruflich strahlenexponiertes Personal in KKW 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			EPFL	Total Forschung	ZZL			Total KKW	Total Kernanlagen und Forschung
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP	EP + FP	
0,0–1,0	337	211	548	12	560	80	328	408	4336	5037
> 1,0–2,0						10	3	13	357	369
> 2,0–5,0						1		1	320	322
> 5,0–10,0									12	12
>10,0–15,0										
Total Personen	337	211	548	12	560	91	331	422	5025	5740
Mittel pro Person [mSv]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,1	0,4	0,4

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

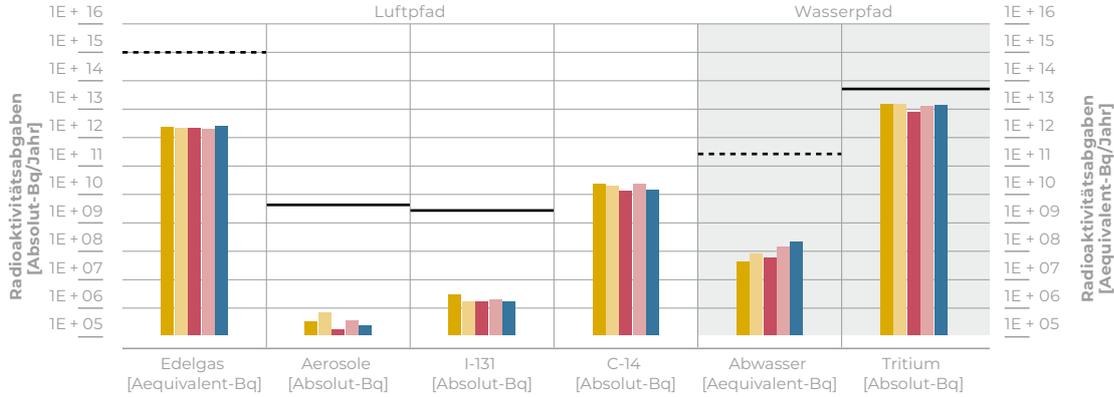
Anlage	Haut			Extremitäten*		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigenpersonal	Fremdpersonal	Total	Eigenpersonal	Fremdpersonal	Total
KKB	590	950	1540	18	41	59
KKG	569	948	1517	10	2	12
KKL	492	1491	1983	10	66	76
KKM	51	72	123	2	0	2
PSI	337	207	544	34	5	39
ZZL	91	331	422	0	0	0
Summe	2130	3929	6059	74	114	188

Tabelle A3: Anzahl Messungen der Haut- und Extremitätendosen (Hände, Füße) des beruflich strahlenexponierten Eigen- und Fremdpersonals – KKW, PSI und ZZL.

* Gemäss Richtlinie ENSI-B09 «Ermittlung und Aufzeichnung der Dosen strahlenexponierter Personen» ist pro Person nur die Jahresdosis der am höchsten exponierten Extremität zu berücksichtigen.

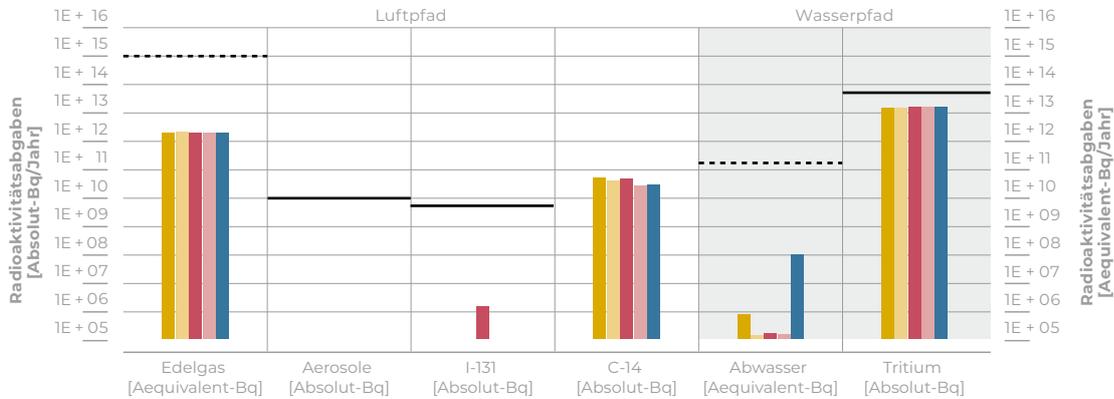
Anhang 2 – Emissionsdaten aus den Kernanlagen

KKB

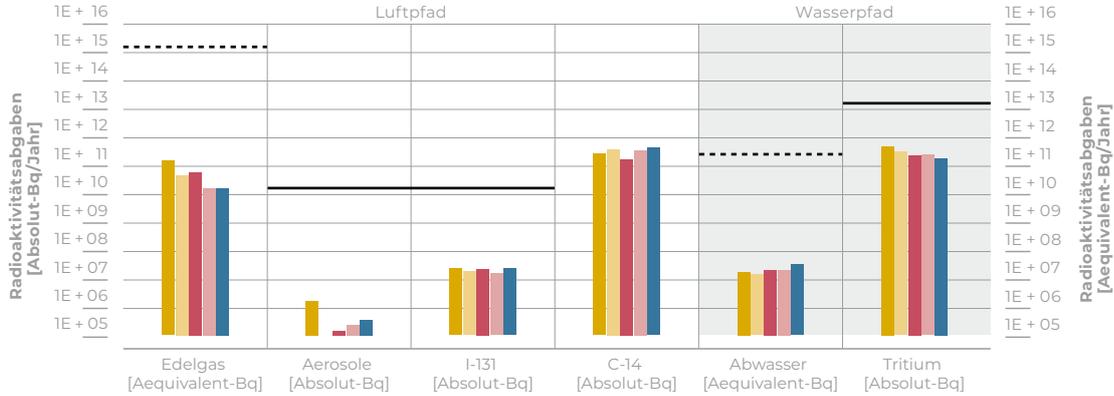


Darstellung A1: Abgaben der schweizerischen KKW an die Atmosphäre und mit dem Abwasser in den letzten fünf Jahren (2019 bis 2023) im Vergleich mit den Jahresabgabelimiten.

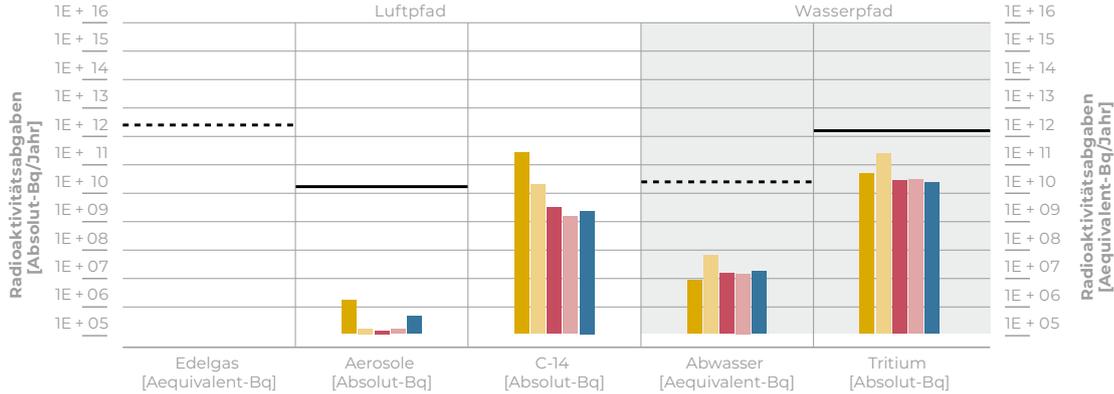
KKG



KKL

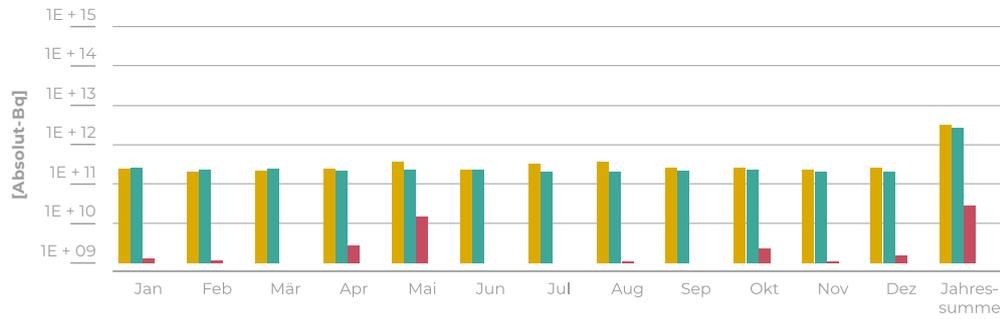


KKM



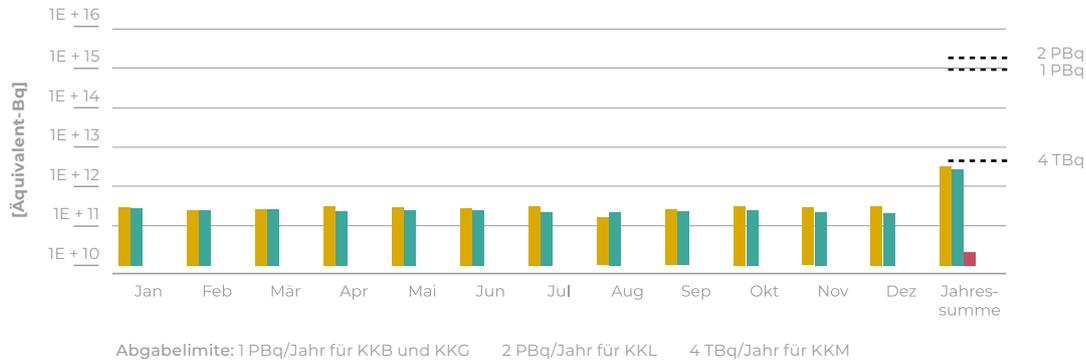
Legend: 2019 (yellow), 2020 (orange), 2021 (red), 2022 (pink), 2023 (blue). Dashed line: Limite [Aequivalent-Bq]; Solid line: Limite [Absolut-Bq].

Monatliche Edelgasabgaben mit der Fortluft aus den KKW und Jahressumme 2023

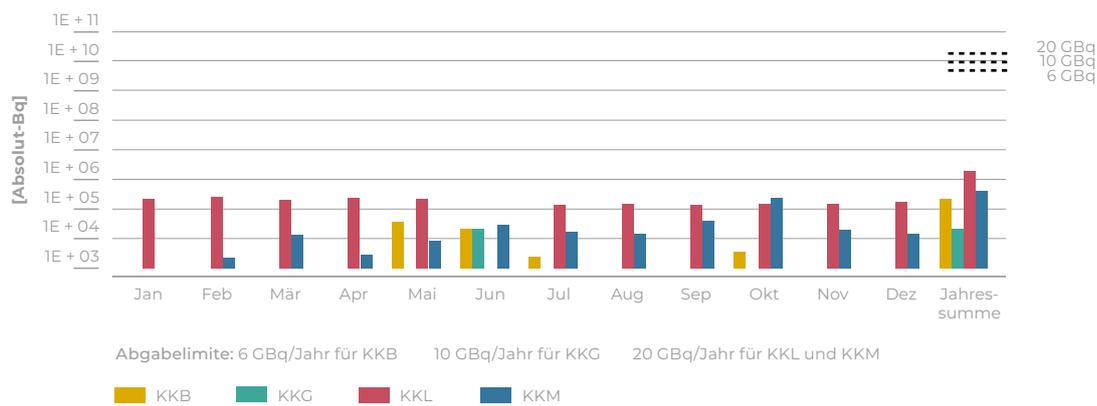


Darstellung A2: Abgaben der schweizerischen KKW an die Atmosphäre und das Abwasser im Jahr 2023 aufgeschlüsselt nach einzelnen Monaten.

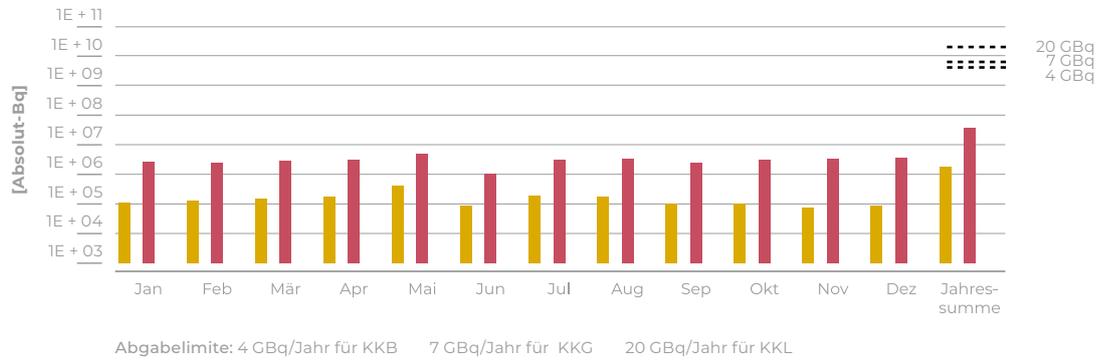
Monatliche Äquivalent-Edelgasabgaben mit der Fortluft aus den KKW und Jahressumme 2023



Monatliche Aerosolabgaben mit der Fortluft aus den KKW und Jahressumme 2023

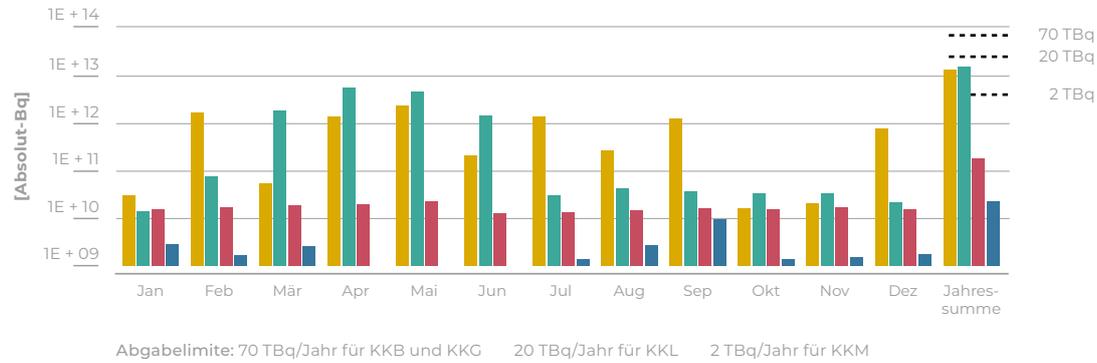


Monatliche Abgaben von Iod-131 mit der Fortluft aus den KKW und Jahressumme 2023

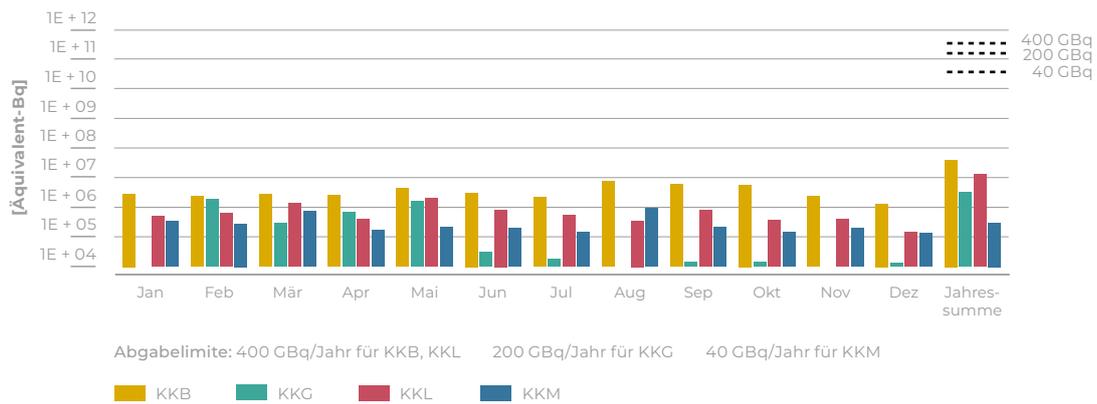


Darstellung A3:
Abgaben der schweizerischen KKW an die Atmosphäre und das Abwasser im Jahr 2023 aufgeschlüsselt nach einzelnen Monaten.

Monatliche Abgaben von Tritium mit dem Abwasser aus den KKW und Jahressumme 2023



Monatliche Äquivalentabgaben der übrigen Nuklide mit dem Abwasser aus den KKW und Jahressumme 2023



Ort	Medium	Art der Abgaben ¹	Bilanzierte Abgaben ²				Berechnete Jahresdosis ³		
			Abgabe	Aequivalentabgaben ^{1,2}	Limiten ⁴				
			Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Prozent der Limite	Erw. mSv/Jahr	10j Kind mSv/Jahr	1j Kind mSv/Jahr
KKB1 + KKB2	Abwasser 3870 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	3,0·10 ⁸	6,3·10 ⁷	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,2·10 ¹³		7·10 ¹³	17%	<0,001	<0,001	<0,001
	Fortluft	Edelgase	3,2·10 ¹²	3,2·10 ¹²	1·10 ¹⁵	0,4%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	3,4·10 ⁵		6·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	1,8·10 ⁶	3,8·10 ⁶	4·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	1,4·10 ¹⁰				<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total					<0,001	<0,001	<0,001	
KKG	Abwasser 7741 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	9,8·10 ⁷	5,2·10 ⁶	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,9·10 ¹³		7·10 ¹³	27%	<0,001	<0,001	<0,001
	Fortluft	Edelgase	<2,7·10 ¹²	<2,8·10 ¹²	1·10 ¹⁵	<0,3%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	3,3·10 ⁴		1·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I			7·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	4,5·10 ¹⁰				<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total					<0,001	<0,001	<0,001	
KKL	Abwasser 12273 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	5,0·10 ⁷	1,1·10 ⁷	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	2,5·10 ¹¹		2·10 ¹³	1,3%	<0,001	<0,001	<0,001
	Fortluft	Edelgase	2,8·10 ¹⁰	2,0·10 ¹⁰	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	5,3·10 ⁵		2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	3,9·10 ⁷	3,9·10 ⁷	2·10 ¹⁰	0,2%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	6,3·10 ¹¹				0,0024	0,0031	0,0053
	Dosis total					0,0024	0,0032	0,0053	
KKM	Abwasser 1747 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	2,1·10 ⁷	4,8·10 ⁶	4·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	3,5·10 ¹⁰	3,5·10 ¹⁰	2·10 ¹²	1,8%	<0,001	<0,001	<0,001
	Fortluft	Edelgase	–	–	4·10 ¹²	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	6,0·10 ⁵		2·10 ¹⁰	<0,1%	0,0021	0,0020	0,0020
	Dosis total					0,0021	0,0020	0,0020	
ZZL	Abwasser 517 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	3,4·10 ⁸	9,2·10 ⁷	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,1·10 ¹⁰				<0,001	<0,001	<0,001
	Fortluft	β-/γ-Aerosole	3,3·10 ⁵		1·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		α-Aerosole	1,2·10 ⁴		3·10 ⁷	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	1,4·10 ¹⁰		1·10 ¹²	1,4%	<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 2023 für die KKW und das ZZL und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung.

	PSI-Ost				
	Hochkamin	SAPHIR, PROTEUS	Forschungs-labor	Betriebs-gebäude radio-aktive Abfälle	Bundes-zwischenlager
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]					
Nuklidgemisch ohne Tritium	–	–	–	–	–
Tritium	–	–	–	–	–
Abgaben über die Fortluft^{1,2} [Bq/a]					
Edelgase und andere Gase	–	–	–	–	–
β-/γ-Aerosole, ohne Iod	1,1·10 ⁷	–	–	–	–
α-Aerosole	–	–	–	–	–
Iod: Summe aller Isotope	–	–	–	–	–
Tritium als HTO	6,2·10 ⁹	–	–	–	1,6·10 ¹⁰
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,6·10 ⁶	–	–	5,8·10 ⁸	1,2·10 ⁷
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	C-Labor	Abwasser 990 m ³	Fortluft	Äquivalent-abgaben
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]					
Nuklidgemisch ohne Tritium			2,6·10 ⁷		1,2·10 ⁶
Tritium			2,6·10 ¹⁰		
Abgaben über die Fortluft^{1,2} [Bq/a]					
Edelgase und andere Gase	8,2·10 ¹³	–		8,2·10 ¹³	3,4·10 ¹⁴
β-/γ-Aerosole, ohne Iod	4,4·10 ⁹	–		4,4·10 ⁹	–
α-Aerosole	–	–		–	–
Iod: Summe aller Isotope	6,3·10 ⁷	–		6,3·10 ⁷	–
Tritium als HTO	2,3·10 ¹²	–		2,3·10 ¹²	–
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	–	–		6,0·10 ⁸	–
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:					
Erwachsene	0,0032	<0,00015	<0,00015		0,004
Kind 10 Jahre	0,0033	<0,00015	<0,00015		0,004
Kleinkinder	0,0033	<0,00015	<0,00015		0,004
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert ⁴	2,1%	<0,1%	<0,1%		<3%

Tabelle A5: Zusammenstellung der Abgaben des PSI im Jahr 2023 und der daraus berechneten Dosen für Einzelpersonen der Bevölkerung.

Nuklid β-/γ-Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
³ H	1,2·10 ¹³	1,9·10 ¹³	2,5·10 ¹¹	3,5·10 ¹⁰	2,6·10 ¹⁰	1,1·10 ¹⁰
⁷ Be					7,7·10 ⁵	
²² Na					4,0·10 ⁵	3,6·10 ⁶
²⁴ Na	1,2·10 ⁶					
³⁵ S					8,2·10 ⁶	
⁵⁴ Mn	3,6·10 ⁶		3,1·10 ⁶	8,2·10 ⁵	3,9·10 ⁴	6,9·10 ⁵
⁵⁷ Co					4,0·10 ³	
⁵⁸ Co	1,2·10 ⁷					
⁶⁰ Co	6,0·10 ⁷	4,7·10 ⁴	4,7·10 ⁷	1,8·10 ⁷	5,6·10 ⁵	5,6·10 ⁶
⁶⁵ Zn	5,1·10 ⁷					
⁶⁷ Cu					1,5·10 ⁶	
⁶⁷ Ga					1,4·10 ⁶	
⁸⁸ Zr					1,1·10 ⁴	
⁸⁹ Sr	4,7·10 ⁵			1,0·10 ⁶		
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	6,1·10 ⁵			2,3·10 ⁴		
⁹⁵ Zr	1,8·10 ⁵					
⁹⁵ Nb	9,4·10 ⁴					
^{99m} Tc	2,6·10 ⁵	3,6·10 ⁵				
¹⁰³ Ru	2,5·10 ⁵					
^{110m} Ag	1,2·10 ⁷					
¹¹¹ In					5,1·10 ⁴	
¹¹³ Sn	1,1·10 ⁵					
¹²² Sb	9,1·10 ⁵					
¹²⁴ Sb	5,4·10 ⁷				3,0·10 ³	8,7·10 ³
¹²⁵ Sb	2,5·10 ⁷					4,7·10 ⁶
^{123m} Te	1,8·10 ⁷	1,9·10 ⁶				
^{125m} Te		9,6·10 ⁷				
^{129m} Te	8,9·10 ⁶					
¹³² Te	5,2·10 ⁶	1,0·10 ⁵				
¹³¹ I	4,2·10 ⁶					
¹³³ I	3,8·10 ⁵					
¹³⁴ Cs	5,6·10 ⁵					1,3·10 ⁶
¹³⁷ Cs	6,9·10 ⁷			8,8·10 ⁵	1,5·10 ⁶	3,2·10 ⁸
¹⁴⁰ La	6,5·10 ⁴					
¹⁵⁵ Tb					6,3·10 ⁴	
¹⁶¹ Tb					5,0·10 ⁶	
¹⁷⁷ Lu					6,9·10 ⁶	
²⁰⁷ Pb					2,1·10 ³	
α-Strahler	*	3,9·10 ⁵	5,8·10 ⁵	2,7·10 ⁴		*
^{234/238} U					4,3·10 ³	
^{239/240} Pu	5,3·10 ³				4,3·10 ³	4,4·10 ³
²³⁸ Pu/ ²⁴¹ Am	3,2·10 ⁴				4,3·10 ³	
²⁴² Cm	8,1·10 ³					
^{243/244} Cm	2,3·10 ⁴					

**Tabelle A6: Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2023:
Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.**

* Angabe umfasst für das KKB und ZZL das 4. Quartal 2022 bis und mit dem 3. Quartal 2023.

Nuklid	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
β-/γ-Strahler						
Gase, Edelgase						
Tritium	8,5·10 ¹¹	5,4·10 ¹¹	5,6·10 ¹¹	5,3·10 ⁹	2,3·10 ¹²	8,1·10 ⁹
¹⁴ C (CO ₂)	1,4·10 ¹⁰	4,5·10 ¹⁰	6,3·10 ¹¹	3,4·10 ⁹	6,0·10 ⁸	1,4·10 ¹⁰
¹¹ C					1,2·10 ¹³	
¹³ N					1,3·10 ¹³	
¹⁵ O					5,3·10 ¹³	
¹⁸ F					3,9·10 ¹¹	
²⁴ Ne						
⁴¹ Ar					3,3·10 ¹²	
⁸⁵ Kr						
^{85m} Kr	1,2·10 ¹¹					
⁸⁸ Kr	2,0·10 ¹¹					
¹³³ Xe	1,5·10 ¹²		9,7·10 ⁹			
¹³⁵ Xe	1,4·10 ¹²		1,6·10 ¹⁰			
^{135m} Xe			2,3·10 ⁹			
¹³⁷ Xe						
EG-Aequiv.						
EG: β-total		<2,7·10 ¹²				
Andere						
Iod						
¹²³ I					1,2·10 ⁵	
¹²⁴ I					2,5·10 ⁵	
¹²⁵ I					6,2·10 ⁷	
¹²⁶ I					4,2·10 ⁵	
¹³¹ I	1,8·10 ⁶		3,9·10 ⁷			
¹³³ I	1,1·10 ⁷					

**Tabelle A7: Abgaben der Kernanlagen mit der Fortluft, Edelgase und Iod 2023:
Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.**

Nuklid	Abgaben [Bq im Jahr]						
	β-/γ-Strahler	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
⁷ Be						6,4·10 ⁵	
²⁴ Na						1,4·10 ⁸	
⁵⁴ Mn							
⁵⁷ Co							
⁶⁰ Co		4,7·10 ⁴		3,6·10 ⁴	4,7·10 ⁵	8,4·10 ⁴	1,9·10 ³
⁶⁵ Zn							
⁷⁷ Br						2,7·10 ⁶	
^{80m} Br						4,5·10 ⁶	
⁸² Br						9,4·10 ⁸	
⁸⁹ Sr							
⁹⁰ Sr							
⁹⁵ Zr		8,2·10 ³					
⁹⁵ Nb		1,8·10 ³					
^{99m} Tc						1,1·10 ⁷	
¹⁰³ Ru		4,5·10 ⁴					
¹⁰⁶ Ru							
^{123m} Te							
¹²¹ Te						6,9·10 ⁴	
¹³⁷ Cs					1,4·10 ⁵		8,8·10 ³
¹⁴⁰ Ba				3,0·10 ⁵			
¹⁴⁰ La				2,0·10 ⁵			
¹⁴⁴ Ce			3,3·10 ⁴				
¹⁸¹ Re						4,1·10 ⁷	
¹⁸² Re						1,1·10 ⁹	
¹⁸³ Re						7,5·10 ⁶	
¹⁸² Os						3,0·10 ⁸	
¹⁸³ Os						3,2·10 ⁸	
^{183m} Os						1,5·10 ⁷	
¹⁸⁵ Os						2,5·10 ⁷	
¹⁹¹ Os		2,3·10 ⁵					
¹⁹¹ Pt						3,4·10 ⁶	
¹⁹² Au						2,6·10 ⁸	
¹⁹³ Au						6,3·10 ⁷	
¹⁹⁴ Au						5,8·10 ⁵	
¹⁹⁵ Au							6,6·10 ³
^{193m} Hg						1,7·10 ⁷	
¹⁹⁴ Hg						5,8·10 ⁵	9,8·10 ³
^{195m} Hg						1,7·10 ⁸	
¹⁹⁷ Hg						7,5·10 ⁸	
^{197m} Hg						2,0·10 ⁸	
²⁰³ Hg						1,3·10 ⁷	
Nicht spezifizierte							3,1·10 ⁵
α-Aerosole		2,8·10 ³	5,7·10 ⁴	1,5·10 ⁵	7,4·10 ³		1,2·10 ⁴

Tabelle A8: Abgaben der Kernanlagen mit der Fortluft, Aerosole 2023:
Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.

Fussnoten zu den Tabellen A4 bis A8

¹ Bei der Art der Abgaben resp. 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 Aequivalentabgaben angegeben:

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

Edelgase und Gase: Die Summe der Edelgasbeziehungsweise 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 Aequivalentabgaben angegeben:

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

Iod: Bei den KKW 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 zudem auch ein ¹³¹Iod-Aequivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben.

Für die Berechnung der Jahresdosis werden sowohl für die KKW wie für das PSI immer sämtliche verfügbaren Iod-Messungen verwendet.

² Abgaben kleiner als 1000 Bq werden in den Tabellen A6 bis A8 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 «Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung» 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 KKW unter 0,3 mSv/Jahr respektive das Zentrale Zwischenlager in Würenlingen (ZZL) unter 0,05 mSv pro Jahr bleibt. Für das PSI sind die Abgaben gemäss Bewilligung 6/2013 direkt über den quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0,15 mSv pro Jahr limitiert.

**Herausgeber:
Eidgenössisches
Nuklearsicherheits-
inspektorat ENSI
CH-5201 Brugg**

**+41 (0)56 460 84 00
info@ensi.ch
www.ensi.ch**

© ENSI, Mai 2024

Zusätzlich zu diesem Strahlenschutzbericht informiert das ENSI in weiteren jährlichen Berichten (Aufsichtsbericht, Erfahrungs- und Forschungsbericht) aus seinem Arbeits- und Aufsichtsgebiet.

**ENSI-AN 11733
ISSN 2813-334X (Online)**

ENSI
Industriestrasse 19
5201 Brugg
Schweiz

+41 56 460 84 00
info@ensi.ch
www.ensi.ch