

STRAHLENSCHUTZ- BERICHT 2022

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 2022

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

Rapport sur la radioprotection 2022

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

Rapporto di radioprotezione 2022

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

Radiological Protection Report 2022

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

INHALTS- VERZEICHNIS

		Strahlenschutz in den Kernanlagen	14
Vorwort	4		
Préface	4		
Prefazione	6		
Foreword	6		
Robotik im Strahlenschutz	8		
		1. Grundlagen «Anlageninterner Strahlenschutz»	16
		1.1 Allgemeines	16
		1.2 Grundlagen der Dosimetrie	17
		1.3 Dosimetrierung von Personal	17
		1.4 Ausbildung im Strahlenschutz	18
		1.5 Grundlagen für den Strahlenschutzbericht	19
		2. Kernkraftwerke	22
		2.1 Kernkraftwerk Beznau, Block 1 und 2	22
		2.2 Kernkraftwerk Gösgen	28
		2.3 Kernkraftwerk Leibstadt	34
		2.4 Kernkraftwerk Mühleberg	40
		3. Weitere Kernanlagen	46
		3.1 Paul Scherrer Institut	47
		3.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen	50
		3.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne	52

Umgebungsüberwachung und Schutz der Bevölkerung: Emissionen und Immissionen 54

4. Grundlagen «Emissions- und Immissionsüberwachung» 56

5. Emissionen aus den Kernanlagen 58

6. Immissionen in der Umgebung der Kernanlagen 62

6.1 Ortsdosis und Ortsdosis- leistung in der Umgebung der Kernanlagen 62

6.2 Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der KKW (MADUK) 63

6.3 In-situ-gammaspektro- metrische Messungen in der Umgebung der Kernanlagen 68

6.4 Immissionsmessungen im Wasserpfad 69

6.5 Aeroradiometrische Messungen 69

Notfallschutz 74

7. Grundlagen Notfallschutz 76

7.1 Notfallschutz in der Schweiz 78

7.2 Notfallschutz international 79

8. Notfallschutz im ENSI 82

8.1 Aufgaben des ENSI 82

8.2 Die ENSI-Notfallorganisation 82

9. Notfallschutzinspektionen 90

Anhang 1 – Dosimetriedaten 94

Anhang 2 – Emissionsdaten aus den Kernanlagen 96

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser

Nach dem Abflachen der Pandemie begann 2022 eine weitere Krise in Form eines militärischen Konflikts in Europa, von dem auch die ukrainischen Kernanlagen betroffen sind. Bei einem nuklearen Unfall in der Ukraine würde man höchstwahrscheinlich geringe radiologische Auswirkungen auf die Schweiz aufgrund der Distanz erwarten. Dennoch sind Massnahmen auch für eine schwache Kontamination der Schweiz rechtzeitig zu planen. Die Bedeutung einer sorgfältigen Notfallvorsorge für alle Partner – auf Ebene des Bundes und der Kantone – wird bestätigt. In diesem Zusammenhang fand im September 2022 eine Gesamtnotfallübung für ein dreitägiges Szenario mit einem schweren Unfall im Kernkraftwerk Leibstadt statt. Die Übung hat in erster Linie gezeigt, dass der Betreiber alle notwendigen Gegenmassnahmen implementieren kann, um den Reaktor unter Kontrolle zu halten und die Kühlung sicherzustellen, aber auch, dass er über Strategien zur Reduktion von radioaktiven Freisetzungen verfügt, falls die Kühlung (so das Szenario) nicht mehr gewährleistet wäre. Das ENSI hat mit seiner Notfallorganisation an der Übung teilgenommen und daraus wertvolle Erkenntnisse gewonnen, um die internen Abläufe sowie den Austausch mit nationalen und internationalen Partnern weiter zu verbessern.

Bei der Überwachung der Emissionen der Schweizer Kernanlagen führt das ENSI ein Programm mit Kontrollen, Inspektionen und Messungen durch. Im Jahr 2022 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 Personals in den Kernanlagen eingehalten wurden.

Préface

Chères lectrices et chers lecteurs,

Après le tassement de la pandémie, une autre crise a débuté en 2022 sous la forme d'un conflit militaire en Europe, qui touche également les installations nucléaires ukrainiennes. En cas d'accident nucléaire en Ukraine, les conséquences radiologiques sur la Suisse seraient très probablement faibles en raison de la distance. Néanmoins, des mesures adéquates devraient être planifiées à temps, même en cas de faible contamination de la Suisse. La situation actuelle confirme l'importance d'une préparation minutieuse aux situations d'urgence avec l'ensemble des partenaires, au niveau de la Confédération et des cantons. Dans ce contexte, un exercice général d'urgence a eu lieu en septembre 2022 avec pour scénario sur trois jours un accident grave à la centrale nucléaire de Leibstadt. L'exercice a montré que l'exploitant est capable d'implémenter toutes les contre-mesures nécessaires pour maintenir le contrôle du réacteur et pour assurer le refroidissement, mais aussi qu'il dispose de stratégies pour réduire les rejets radioactifs si le refroidissement (selon le scénario) n'était plus garanti. L'IFSN a participé à l'exercice avec son organisation d'urgence et en a tiré de précieux enseignements pour continuer à améliorer ses procédures internes, ainsi que les échanges avec les partenaires nationaux et internationaux.

En ce qui concerne la surveillance des émissions des installations nucléaires suisses, l'IFSN met en œuvre un programme de contrôles, d'inspections et de mesures. En 2022, toutes les installations nucléaires suisses ont respecté avec de grandes marges les limites de rejet de substances radioactives dans l'environnement. L'exploitation des installations nucléaires a généré en moyenne annuelle des doses potentielles pour la population inférieures à 0,01 millisievert (représentées sous « Autres » dans le graphique ci-après). L'IFSN confirme également que toutes les exigences légales relatives à l'exposition du personnel aux radiations dans les installations nucléaires ont été respectées au cours de l'année de référence.



Rosa Sardella

Im Jahr 2022 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.

Der Rückbau des Kernkraftwerks Mühleberg wurde im Rahmen der Stilllegungsphase 1 fortgesetzt, insbesondere mit dem Transport der sich noch im Becken befindenden, abgebrannten Brennelemente in das zentrale Zwischenlager der Zwiilag in Würenlingen. Sobald die Anlage brennelementfrei ist, ist eine zentrale Voraussetzung für den Beginn der Stilllegungsphase 2 erfüllt. Das ENSI hat den Freigabeantrag für die Stilllegungsphase 2 erhalten und im Jahr 2022 einer Grobprüfung unterzogen. Daraufhin hat der Betreiber die eingereichten Unterlagen vervollständigt. Im Fokus der Aufsicht standen weiterhin die Dekontaminationsanlagen, für deren Auslegung das ENSI den Stand der Technik im Strahlenschutz verlangt.

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 öffentlich einsehbar.

Diese und weitere Themen sind im Strahlenschutzbericht 2022 zu finden, ich wünsche Ihnen eine angenehme Lektüre!

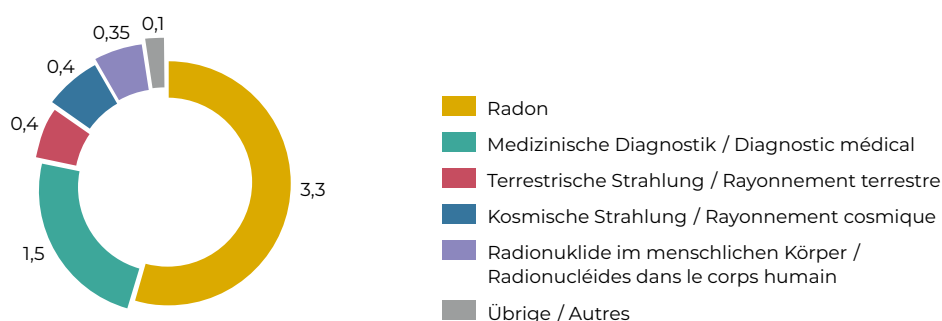
En 2022, l'IFSN a effectué de nombreuses inspections dans les installations nucléaires afin de contrôler leur bon fonctionnement du point de vue de la radioprotection et de la préparation aux situations d'urgence. Lors de travaux de maintenance impliquant des doses significatives pour le personnel, lors des révisions annuelles planifiées des centrales nucléaires et pour le renouvellement du combustible, des inspecteurs de l'IFSN sont régulièrement présents pour s'assurer que les travaux sont effectués selon les règles de la technique et dans le respect des prescriptions légales.

Le démantèlement de la centrale nucléaire de Mühleberg s'est poursuivi dans le cadre de la phase 1 de la désaffectation, avec notamment le transport des éléments combustibles usés se trouvant encore dans la piscine vers le dépôt intermédiaire central de Zwiilag à Würenlingen. Ces transports achevés et sous réserve de l'autorisation de l'IFSN, la phase 2 de la désaffectation pourra commencer. L'IFSN a reçu la demande d'autorisation pour la phase 2 et l'a soumise à un examen sommaire en 2022. L'exploitant a ensuite complété les documents déposés. La surveillance s'est également focalisée sur les installations de décontamination, pour lesquelles l'IFSN exige une conception selon l'état de la technique en radioprotection.

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

Vous trouverez ces thèmes, ainsi que d'autres, dans le Rapport sur la radioprotection 2022. Je vous souhaite une bonne lecture !

Mittlere Jahresdosis / Dose annuelle moyenne [mSv]



Prefazione

Cari lettori e care lettrici

Dopo la pandemia un'altra crisi ha aperto il 2022 con un conflitto militare alle porte dell'Europa che ha visto coinvolti anche gli impianti nucleari ucraini. Seppure per un incidente nucleare in Ucraina, a causa della distanza, le ricadute radioattive in Svizzera sarebbero molto probabilmente minori, vengono ciononostante pianificate delle azioni di risposta di emergenza anche ad una debole contaminazione del territorio elvetico. Si conferma in ogni caso l'importanza di un'adeguata preparazione alle emergenze per tutti i partner a livello di Confederazione e cantonale. In quest'ambito si è svolta a settembre 2022 un'esercitazione generale d'emergenza su uno scenario di tre giorni in relazione ad un incidente grave alla centrale di Leibstadt. L'esercitazione ha dimostrato innanzi tutto che il gestore della centrale sa adottare le contromisure necessarie per mantenere il reattore sotto controllo e assicurarne il raffreddamento, ma altresì che dispone di strategie per la mitigazione delle fuoriuscite radioattive qualora il raffreddamento (così dettava lo scenario) non fosse più garantito. L'IFSN ha partecipato con la propria organizzazione d'emergenza all'esercitazione ricavandone preziosi elementi per continuare a migliorare i processi interni così come gli scambi con i partner nazionali ed internazionali.

Per quando riguarda il monitoraggio delle emissioni dagli impianti nucleari svizzeri in regime di operazione normale, l'IFSN conduce un programma continuo di controlli, ispezioni e misurazioni, concludendo che nel 2022 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.

Foreword

Dear Readers,

After the pandemic finally began to subside, another crisis in the form of a military conflict in Europe broke out in 2022, a conflict that is also affecting the Ukrainian nuclear installations. If a nuclear accident were to occur in Ukraine, the radiological impact on Switzerland would be in all likelihood minimal because of the distance between the countries. Nevertheless, adequate measures for a low level of contamination in Switzerland must be planned in good time. The situation confirms how important it is to establish a thorough emergency preparedness for all partners, both at federal and cantonal level. In this context, a general emergency exercise for a three-day scenario involving a severe accident in the Leibstadt Nuclear Power Plant took place in September 2022. First and foremost, the exercise demonstrated that the operator is capable of implementing all necessary countermeasures to keep the reactor under control and ensure its cooling. It also showed that the operator has strategies at its disposal for reducing radioactive releases should cooling (according to the scenario) no longer be guaranteed. ENSI, with its emergency response organisation, participated in the exercise and gained valuable insights into how it can further improve its internal procedures as well as its exchanges with national and international partners.

In monitoring emissions from Swiss nuclear installations, ENSI implements a programme of checks, inspections and measurements. In 2022, 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 complied with for the reporting year.



Rosa Sardella

Nel 2022 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.

Lo smantellamento della centrale nucleare di Mühleberg è continuato nell'ambito della fase 1 del progetto di disattivazione, in particolare con il trasporto verso il deposito centrale ZWILAG degli elementi di combustibile usati ancora presenti nella piscina. Conclusi tali trasporti potrà avere inizio, previa autorizzazione dell'IFSN, la fase 2 dello smantellamento. L'IFSN ha ricevuto la richiesta di autorizzazione per la fase 2 e nel 2022 ha condotto una prima valutazione del dossier inviato, valutazione che ha portato il gestore a completare la suddetta documentazione. La sorveglianza si è altresì concentrata sulle installazioni di decontaminazione radioattiva per cui l'IFSN richiede una concezione secondo gli standard attuali di protezione radiologica.

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.

Questi e altri temi potrete trovare nel presente Rapporto di radioprotezione 2022, buona lettura!

ENSI carried out numerous inspections in nuclear installation in 2022 to check their proper operation in terms of radiation protection and emergency preparedness. ENSI inspectors are regularly present for maintenance work involving significant doses for personnel and in particular for planned nuclear power plant outages and refuellings, thereby ascertaining that the work is carried out in accordance with best practice and in compliance with legal requirements.

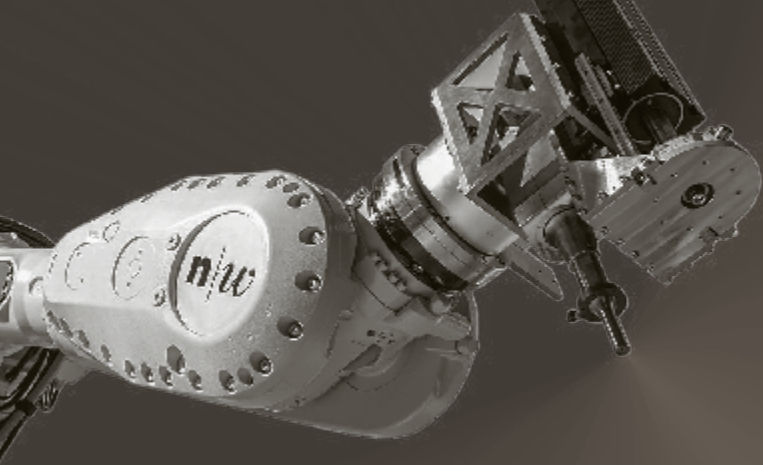
The dismantling of Mühleberg Nuclear Power Plant continued as part of decommissioning phase 1, in particular with the transport of spent fuel elements still present in the fuel pool to the Central Interim Storage Facility of Zwilag in Würenlingen. Once these transports completed and provided it is approved by ENSI, decommissioning phase 2 may start. ENSI received the phase 2 permit application and subjected it to a coarse check during 2022. Based on this, the operator then completed the submitted documents. Oversight activities were also focused on decontamination installations, for which ENSI requires a design according to the state-of-the-art in radiation protection.

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

These and other topics are included in the Radiation Protection Report 2022. Enjoy your reading!

Dose media annuale / Average annual dose [mSv]





Robotik im Strahlenschutz

Einsatz von Robotern in der Kerntechnik und in der Aufsicht

In der Kerntechnik sind Robotik und Automatisierung bereits seit Jahrzehnten wichtige Werkzeuge, um die Sicherheit von Kernanlagen zu erhöhen und die Strahlenexposition von Arbeitskräften zu minimieren. Insbesondere in gefährlichen oder schwer zugänglichen Bereichen, wie beispielsweise bei der Handhabung von radioaktiven Materialien oder in Containment-Bereichen mit starkem Strahlungsfeld, haben Roboter einen hohen Stellenwert. Sie können beispielsweise Inspektionen durchführen, Proben nehmen oder Reparaturen durchführen, ohne dass menschliche Arbeitskräfte einem erhöhten Strahlenrisiko ausgesetzt sind.

Die Bedeutung von Robotik in der Kerntechnik wird in Zukunft noch weiter zunehmen, da neue Technologien und Entwicklungen die Fähigkeiten und Effizienz von Robotern verbessern. Das ENSI beabsichtigt die Forschung für die Entwicklung von strahlenresistenten, ferngesteuerten Technologien zu unterstützen, welche darauf abzielen, die Strahlenexposition im Normalbetrieb und bei Störfällen in der Kerntechnik so gering wie möglich zu halten.

Ein zentrales Anliegen in der Kerntechnik ist die Aufsicht und Überwachung von Kernkraftwerken. Die Robotik kann eine wertvolle Unterstützung bieten, indem Roboter beispielsweise Strahlungsbelastungen überwachen. Darüber hinaus können Fachkräfte Roboter bei der Durchführung von Notfallübungen und bei der Reaktion auf Störfälle einsetzen, um menschliche Arbeitskräfte vor unnötigem Risiko zu schützen.

Auch bei Inspektionstätigkeiten können Roboter einen wichtigen Teil der Überwachung von Kernkraftwerken übernehmen, potenzielle Sicherheitsprobleme identifizieren und beheben, bevor sie zu einem Störfall führen können. Roboter sind in der Lage, in Bereichen zu navigieren, die für menschliche Arbeitskräfte schwierig oder un-

möglich zu erreichen sind. Darüber hinaus können sie mit speziellen Sensoren und Kameras ausgestattet werden, die eine detaillierte Inspektion ermöglichen und so sicherstellen, dass mögliche Probleme frühzeitig erkannt werden.

Ein wichtiger Aspekt der Entwicklung von Robotik in der Kerntechnik ist die Strahlenresistenz. Strahlung kann elektronische Komponenten beschädigen und so die Funktionalität von Robotern beeinträchtigen. Daher müssen Roboter, die in der Nähe von radioaktiven Materialien arbeiten, speziell konstruiert werden, um eine ausreichende Strahlenresistenz zu gewährleisten. Dies erfordert den Einsatz von speziellen Materialien und Komponenten, die in der Lage sind, Strahlung zu widerstehen, sowie eine sorgfältige Planung und Konstruktion der Robotik-Systeme. Darüber hinaus muss bei der Entwicklung von Robotik-Systemen für die Kerntechnik die Fernsteuerung berücksichtigt werden. Hierbei müssen sowohl die technischen Aspekte der Fernsteuerung als auch die Schulung und Ausbildung der Bediener berücksichtigt werden, um sicherzustellen, dass die Roboter sicher und effektiv eingesetzt werden können.

Die Robotik in der Kerntechnik bedeutet keine vollständige Automatisierung und menschliche Arbeitskräfte spielen nach wie vor eine wichtige Rolle. Insbesondere bei komplexen Aufgaben, die menschliches Urteilsvermögen erfordern, ist die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine unerlässlich. Daher müssen bei der Entwicklung und beim Einsatz von Roboter-Systemen in der Kerntechnik immer auch die menschlichen Faktoren berücksichtigt werden, um sicherzustellen, dass die Roboter effektiv und sicher eingesetzt werden können.

Insgesamt bietet die Robotik in der Kerntechnik viele Chancen, die Sicherheit von Kernkraftwerken zu erhöhen und die Strahlenexposition von Arbeitskräften zu minimieren.

Anmerkung des ENSI: Dieser Beitrag wurde am 2. März 2023 mit Hilfe der KI ChatGPT Feb13 Version geschrieben.

Robotertechnik im Kernkraftwerk Leibstadt

Autor: Kernkraftwerk Leibstadt

Im Rahmen einer bei der Axpo konzernweit angelegten Innovationskampagne wurde für das Kernkraftwerk Leibstadt (KKL) der Einsatz von Robotern und Drohnen als Feld mit dem grössten Potential identifiziert. Um die Strahlenexposition des Personals zu verringern, sollen in Zukunft in der kontrollierten Zone auch diese modernen Geräte eingesetzt werden. Hierzu mussten zuerst die einzelnen Anwendungsgebiete identifiziert und verschiedene Robotik-Systeme auf ihre Eignung für den Einsatz in der Anlage evaluiert werden.

Folgende Anwendungsgebiete kommen für Robotik infrage:

- Rundgänge Strahlenschutz
- Rundgänge Betrieb
- Leckagesuche/Störungsabklärungen
- Erstellen von detaillierten Isodosenkarten
- Erstellen eines 360°-Raumatlas

Letztes Jahr führte das Kernkraftwerk Leibstadt erste Tests mit verschiedenen Robotik-Systemen durch.

Mit einem Roboterhund wurden Kontrollrundgänge sowie radiologische Messungen erprobt. Ausgestattet mit einem Laserscanner und einem Messkristall konnten radiologische Messwerte in 3D-Modellen des Raumes erfasst werden. Die Fernsteuerung von ausserhalb eines Raumes ermöglichte dem Personal, Inspektionen und Messungen von ganz ausserhalb des Strahlenfeldes durchzuführen.



Bild 1: Treppen sind für den Roboter kein Hindernis.

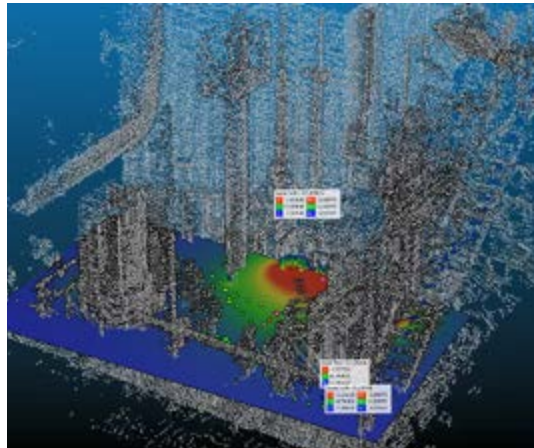


Bild 2: 3D-Modell mit radiologischen Messwerten.

Ein sogenannter Rover (kleines ferngesteuertes Fahrzeug) mit eingebauter Kamera erwies sich als geeignet für visuelle Inspektionen und erste Abklärungen vor Ort bei Störungen in erhöhten Strahlenfeldern. Zusätzlich konnte die radiologische Situation auf dem Fahrweg mittels einer Dosisleistungssonde gemessen werden.



Bild 3: Drohne mit Wärmebildkamera und Dosisleistungsmessgerät.

Im Maschinenhaus wurde auch der Einsatz einer Drohne getestet. Neben dem Kamerasystem der Drohne wurde eine Wärmebildkamera und ein Dosisleistungsmessgerät eingesetzt. Ausserdem war es durch den Laserscanner möglich, ein 3D-Modell des überflogenen Raumes mit den Dosisleistungsmesswerten zu verknüpfen.

Ausblick

Im Laufe von 2023 sollen nun zwei Roboter und eine Drohne schrittweise in die normalen Arbeitsprozesse integriert werden. Sowohl die Betriebsmannschaft wie auch der Strahlenschutz werden sie nutzen, um Daten in der Anlage zu sammeln, die ausgewertet werden und insbesondere die Arbeitsvorbereitung unterstützen sollen.

Robotik an der Fachhochschule Nordwestschweiz

Autor: Institut für Automation, Fachhochschule Nordwestschweiz

In der am 11. März 2011 durch ein Erdbeben und Flutwellen ausgelösten Reaktorkatastrophe wurden vier von sechs Reaktorblöcke des Kernkraftwerks Fukushima Daiichi beschädigt und grosse Mengen radioaktiver Stoffe freigesetzt. In den darauffolgenden Jahren setzte der Betreiber Tepco wiederholt Roboter ein, um in den mit hoher Strahlung belasteten Reaktorblöcken geschmolzenen Brennstoff zu lokalisieren, um diesen bergen zu können [1]. Manche, wie der Forscher Alexander Stumpf, gehen sogar so weit zu behaupten, dass durch den Einsatz von Robotern die Kernschmelze in Fukushima wohl hätte verhindert werden können [2]. So oder so können Roboter einen wertvollen Beitrag leisten, wenn es um den Einsatz in mit Strahlung belasteten Umgebungen geht, und die Schweiz ist gut beraten, sich im Bereich der Robotik gut aufzustellen.

Ein Ort, an dem Robotik grossgeschrieben wird, befindet sich in unmittelbarer Umgebung des ENSI an der Fachhochschule Nordwestschweiz in Brugg-Windisch. Am Institut für Automation wird in Projekten der angewandten Forschung Mehrwert für die Schweizer Industrie geschaffen. Hierbei kommen unterschiedliche Industrieroboter in den Einsatz, angefangen bei kollaborativen Robotern, die für den flexiblen Einsatz in Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern geschaffen wurden, bis zu mannshohen Sechachsrobotern für den industriellen Einsatz. Auch in der Ausbildung kommen Roboter zum Einsatz; insbesondere im Studiengang Systemtechnik werden die Studierenden sowohl in theoretischen Fächern als auch im praktischen Umgang mit Robotern geübt. In den theoretischen Fächern können die Studie-

renden zum Beispiel im Modul *Robotik* mehr über Industrieroboter lernen, oder im Modul *Mobile Automation* in die Welt der mobilen Roboter eintauchen. Auf der Praxisseite gibt es eine Reihe von spannenden Projekten, in denen unterschiedliche Robotiklösungen zum Einsatz kommen. Im Folgenden werden beispielhaft sieben praktische Aktivitäten der Fachhochschule Nordwestschweiz im Bereich der Robotik vorgestellt.

Mobiler Roboter zur Bombenbergung

Systemtechnik-Studierende haben einen mobilen Bombenbergungsroboter für Flugzeuge entwickelt [5]. Im Falle einer Bombendrohung in einem Flugzeug muss nach der Evakuierung der Passagiere ein Bergungsroboter die Gepäckstücke aus dem Flugzeug befördern. Aktuelle Bombenbergungsroboter sind meist zu sperrig und damit unpraktisch für einen Einsatz im Flugzeug. Mehrere Systemtechnik-Studierende haben die Kinematik, die Steuerung und eine Android-Applikation entwickelt. Der Roboter besteht aus einem Raupenfahrzeug und einem Greifarm mit vier Kameras. Die Komponenten lassen sich über Wifi von einem Tablet-Computer und einem Gamepad steuern. In Bild 4 wird der Bombenbergungsroboter dargestellt.

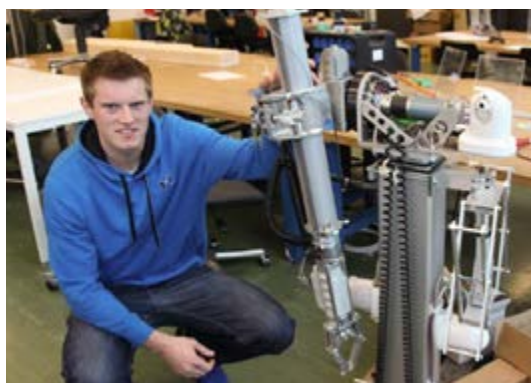


Bild 4:
Stefan Umbricht präsentiert seinen Bombenbergungsroboter (Foto: LP Aargauer Zeitung).

FHNW Robotik-Wettbewerb

Im ersten Jahr ihres Bachelorstudiums konstruieren und programmieren Systemtechnikstudierende im Team einen mobilen Roboter, mit dem es eine Aufgabe zu erfüllen gilt. Im Jahr 2022 z.B. war diese Aufgabe inspiriert vom Spiel Pacman: der Roboter sollte in der Lage sein, möglichst schnell Kunststoffplättchen in einer labyrinthartigen Umgebung einzusammeln [3]. Im Sommer



Bild 5:
Links: Ein vom Spiel «Pacman» inspirierter Roboter des FHNW Robotik-Wettbewerbs 2022. Rechts: Das labyrinth-artige Spielfeld.

kommt dann jeweils der Praxistest der entwickelten Lösungen: Im FHNW Robotik-Wettbewerb treten dann die Roboter der einzelnen Teams gegeneinander an, um zu sehen, welcher Roboter die gegebene Aufgabe am besten meistert. In Bild 5 ist eine Roboterlösung sowie das im Wettbewerb verwendete Spielfeld zu sehen.

Roboter mit Ultraschall-Schweisswerkzeug

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Kunststofftechnik FHNW und den Firmen MultiMaterial-Welding und KVT Fastening wird der robotergetriebene MultiMaterial-Welding Prozess basierend auf dem Einsatz von Ultraschall-Energie entwickelt. Der MultiMaterial-Welding Prozess stellt eine innovative Verbindungstechnologie für Leichtbau und Multimaterialkonstruktionen an. Dabei werden Kunststoffelemente, sogenannte Pins, in Leichtbaustrukturen eingebracht. Für die hohen Anforderungen der Verbindungstechnologie wurde ein Ultraschallschweissystem entwickelt: Der Ultraschall-Stack versetzt den Pin in hochfrequente Schwingungen. Mit einem Linearmotor wird der Pin dann in die Leichtbaustruktur hinein-

getrieben. Durch die auftretende Reibungswärme schmilzt der Pin lokal auf und verbindet sich beim Abkühlen mit der Leichtbaustruktur. In Bild 6 ist der Roboterarm mit aufgesetztem Schweisswerkzeug dargestellt.

European Rover Challenge

Ein interdisziplinäres Studierendenteam der Studiengänge Elektro- und Informationstechnik, Maschinenbau und Informatik der Hochschule für Technik FHNW, hat während zwei Semestern einen Mars-Rover entwickelt, der über unwegsames Gelände navigieren und technische Wartungsaufgaben ausführen kann. Von über 90 teilnehmenden Teams hat sich das FHNW Rover Team mit ihrem Rover «Meyer-1» als einer der 19 Finalisten für den Wettbewerb qualifiziert.

Beim Finale massen sie sich mit den 18 anderen Finalisten-Teams in Polen, an der European Rover Challenge, in verschiedenen Aufgaben wie das Erkunden einer Marslandschaft, das Bedienen eines Schalterpanels oder das Nehmen von Bodenproben.



Bild 6:
Roboter mit Ultraschall-Schweisswerkzeug.

Das FHNW Rover Team erzielte aus dem Stand den hervorragenden 6. Rang. Der von den Studierenden der FHNW entwickelte Mars-Rover «Meyer-1» ist in Bild 7 dargestellt.

Smart-Manufacturing Lehranlage an der ABB Technikerschule

Im Auftrag der ABB Technikerschule entwickelte das Institut für Automation FHNW die DSub-RJ45-Bestückung mit Vision-Qualitätsprüfung. Basis bildete ein ABB YuMi Kollaborativroboter mit zwei integralen Kameras in einer festen Inspektionsstation. Die Lösung wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit ausgearbeitet. Die Montage von DSub- und RJ45-Steckverbindern wird von dem zweiarmigen Roboter YuMi übernommen, die Montageteile werden mithilfe mehrerer Kameras und Bildverarbeitungsalgorithmen überprüft. Der verwendete Roboter YuMi sowie der Montageprozess sind in Bild 8 dargestellt.

Autonomer Mobiler Roboter steuert Lift

Die Staveb Automation AG plant, autonome mobile Roboter (AMR) in mehrstöckigen Gebäuden einzusetzen. Da mobile Roboter herstellerseitig für den Einsatz auf nur einer Etage vorgesehen sind, soll diese Einschränkung eliminiert werden und als Alleinstellungsmerkmal für den Verkauf von Gesamtsystemen einen Wettbewerbsvorsprung verschaffen.

OMRON ist einer von diversen Herstellern für mobile Roboter, die dafür ausgelegt sind, Aufgaben zu erledigen, wofür sie von Punkt A nach B fahren müssen, ohne dass ein Mensch den genauen Weg vorgibt. Dabei können sie Lasten von einigen Kilogramm bis zu mehreren Tonnen transportieren. Beispielsweise werden mobile Roboter in Spitä-



Bild 7:
Der von Studierenden der FHNW entwickelte Mars-Rover.

lern eingesetzt, um Proben ins Labor zu schicken oder Laufwege zu desinfizieren und entlasten so das Pflegepersonal.

In einem Projekt mit der Staveb Automation AG wurde ein System für den Etagenwechsel eines OMRON LD-60/90 erstellt. Als zentrale Komponente beim Etagenwechsel verwaltet eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) den kompletten Ablauf und koordiniert den AMR mit der Liftsteuerung. Die Herausforderung bei dieser Systemarchitektur bildet die WLAN-Verbindung zwischen SPS und AMR. Diese bricht im Lift ab, da die Stahlwände der Liftkabine einen Faraday'schen Käfig bilden. Der autonome mobile Roboter arbeitet deshalb kurzzeitig verbindungslos vom Einfahren in den Lift bis zum ersten Zwischenziel auf der Zieletage. In Bild 9 wird ein Ablauf dargestellt, in dem der Roboter von einem Standort im EG zu einem Ziel im UG geschickt wird. In orange eingezeichnet sind die Schritte, die direkt von der SPS vorgegeben werden, in blau die Schritte, die der AMR verbindungslos fährt.



Bild 8:
Links: Zweiarmiger, kollaborativer Roboter YuMi von ABB in der Smart Manufacturing Station zur Montage. Rechts: Zweiarmiger Roboter im Montageprozess.

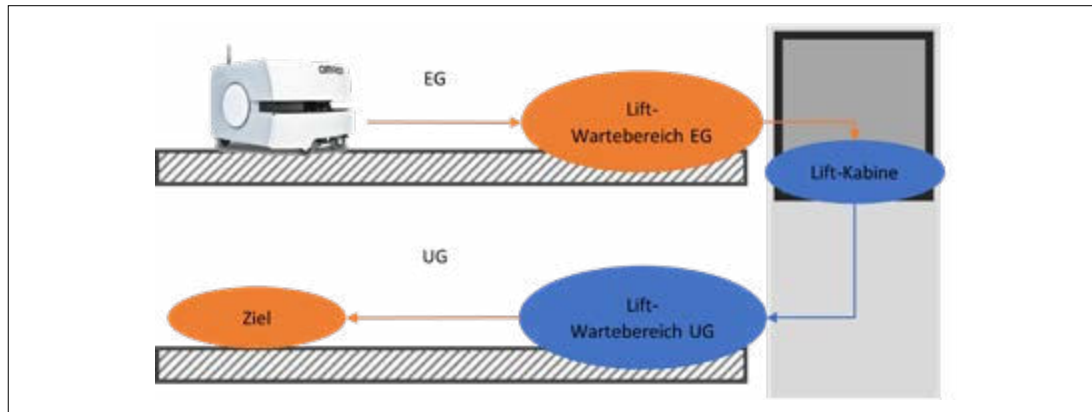


Bild 9:
Beispiel einer
Wegplanung.

Schoggiroboter

Grosser Beliebtheit erfreut sich der Schoggiroboter auf Messen und in Museen. Beispielsweise kam der Schoggiroboter in der Ausstellung «ROBOZÄN – Neue Zeiten für Industrie, Arbeit und Konsum» des Stadtmuseums Aarau in den Einsatz [6]. Beim Schoggiroboter kann über das Web Schoggi bestellt werden – Industrie 4.0 macht's möglich. Ein Industrieroboter stellt dem Benutzer eine Dose mit einem individuell ausgewählten Mix an feiner Schoggi zusammen und überreicht die Dose über eine Rampe.



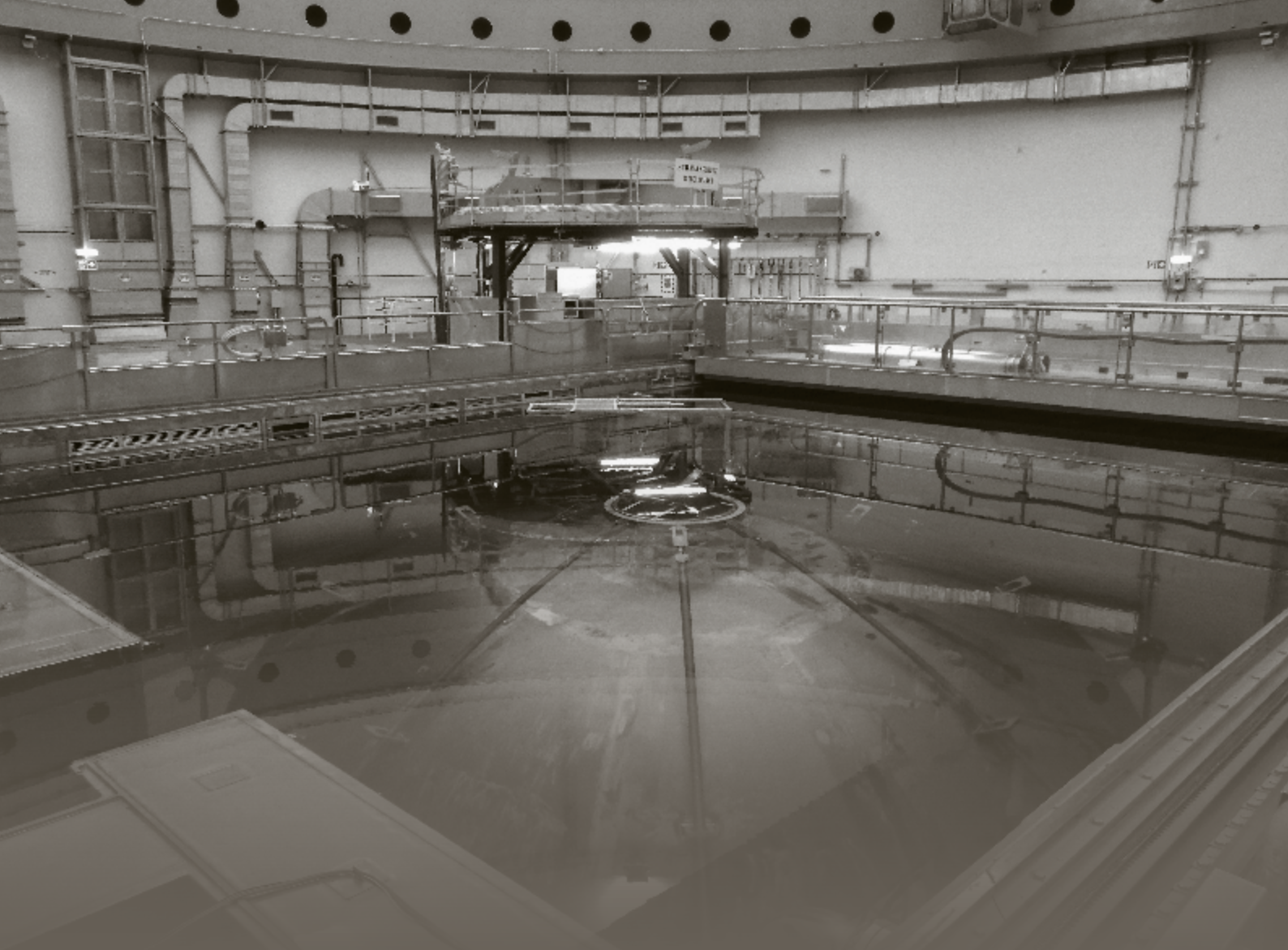
Bild 10:
Schoggi-
roboter.

Fazit

Das Institut für Automation FHNW begeistert sich für die Robotik, sowohl in der Ausbildung als auch in der angewandten Forschung. Wie die obigen sieben Beispiele zeigen, umfasst diese Begeisterung eine Fülle an unterschiedlichen Herausforderungen und Einsatzbereichen.

Literatur

- [1] Spiegel: *Roboter sucht nach Brennstoff*, vom 19.7.2017, <https://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/fukushima-ruine-roboter-sucht-nach-atom-brennstoff-a-1158648.html>, abgerufen am 21.2.2023.
- [2] SRF Schweizer Radio und Fernsehen: *Katastrophenhelfer nach dem Super-Gau*, vom 29.5.2015, <https://www.srf.ch/wissen/technik/katastrophenhelfer-nach-dem-super-gau>, abgerufen am 21.2.2023.
- [3] Aargauer Zeitung: *Pacman gegen Pacman: Roboter-Wettbewerb an der Fachhochschule*, vom 10.6.2022, <https://www.aargauerzeitung.ch/aargau/kanton-aargau/wettbewerb-pac>
- man-gegen-pacman-an-der-fachhochschule-beenden-studierende-ihr-semester-mit-einem-roboter-wettbewerb-Id.2302490, abgerufen am 21.2.2023.
- [4] Digital Bytes: *Mission to Mars: FHNW-Studierende entwickeln Mars-Rover*, vom 8.6.2022, <https://digitalbytes.ch/mission-to-mars-fhnw-studierende-entwickeln-mars-rover/>, abgerufen am 21.2.2023.
- [5] Mobiler Roboter zur Bombenberingung: <https://www.fhnw.ch/de/studium/technik/system-technik/studierendenprojekte/mobiler-roboter-zur-bombenberingung>, abgerufen am 21.2.2023.
- [6] <http://www.schoggiroboter.ch/info.html>, abgerufen am 22.2.2023.



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»

Zur Erfüllung seines Aufsichtsauftrags ist das ENSI u. a. verpflichtet, während den unterschiedlichen Betriebsphasen einer Kernanlage Inspektionen durchzuführen, die Anlage zu begutachten sowie den Einsatz von zulassungspflichtigem oder anerkanntem Personal zu überprüfen. Die Sektion «Radiologischer Arbeitsschutz» trägt mit seiner Fachexpertise im Strahlenschutz dazu bei, die Sicherheit in den Kernanlagen zu stärken, und arbeitet interdisziplinär mit allen Fachsektionen des ENSI an unterschiedlichen Fragestellungen der nuklearen Sicherheit und Sicherung zusammen. Ein Beispiel für die interdisziplinäre Zusammenarbeit stellten im Berichtsjahr die Teaminspektionen in allen Kernkraftwerken (KKW) zur sogenannten Komponente des Jahres dar. Gegenstand dieser Inspektionen waren die Auslegungsvorgaben von ausgewählten Filtern der Lüftungsanlagen, der operationelle Strahlenschutz beim Filterwechsel, die wiederkehrenden Prüfungen von Filtern sowie die Aktivitätsinventare in den Komponenten.

Die Sektion «Radiologischer Arbeitsschutz» beaufsichtigte im Jahr 2022 ein breites Spektrum an Themen, wie die Planung, Vorbereitung und Durchführung von Strahlenschutz- und Überwachungsmassnahmen, Aspekte bezüglich Flucht- und Rettungswege, Sanität und Wasserchemie sowie Fragestellungen zur konventionellen Arbeitssicherheit. Unsere Inspektionstätigkeit um-

fasste 42 Inspektionen. In den meisten Fällen traf die Sektion ein den gesetzlichen Vorgaben entsprechender IST-Zustand an. Für die festgestellten Nichtkonformitäten stellte das ENSI Forderungen zu deren Behebung.

Der Rückbau des KKW Mühleberg (KKM) sowie von verschiedenen stillgelegten Kernanlagen des Paul Scherrer Instituts (PSI) schritt im Berichtsjahr voran. Ein besonderer Fokus galt den im Hotlabor des PSI aufbewahrten, flüssigen Plutoniumabfällen. Diese Abfälle sind teilweise über 20 Jahre alt und sollen in naher Zukunft fachgerecht konditioniert und entsorgt werden. Bei allen Rückbautätigkeiten wurden die Aspekte des Strahlenschutzes vom ENSI eng begleitet. Die Verzahnung von Anforderungen des konventionellen Arbeitsschutzes mit jenen des Strahlenschutzes standen dabei im Zentrum.

In zahlreichen Fachgesprächen stellte das ENSI die Frage nach ausreichend verfügbarem Strahlenschutzpersonal. Hier zeigt sich, dass das Angebot auf dem Arbeitsmarkt weiterhin angespannt bleibt. Inwieweit zukünftig dieser Fachkräftemangel mit Zuwanderung aus dem Ausland ausgeglichen werden kann, bleibt unklar. Vor diesem Hintergrund werden auch im Jahr 2023 die strahlenschutzrelevanten Arbeiten während den Jahresrevisionen auf diesen Aspekt hin inspiziert: Wir möchten uns vergewissern, dass die Betreiber der KKW diese Arbeiten durch eigenes Strahlenschutzpersonal angemessen überwachen lassen.



Giuseppe Testa



Bild 11:
Ein Inspektor
des ENSI über-
prüft im KKW
Leibstadt
die aktuellen
Messwerte
der Raumluft-
überwachung
in der Nähe
einer Filter-
anlage.

1. Grundlagen «Anlagen- interner Strahlenschutz»

1.1 Allgemeines

2022 war das erste Jahr nach der Covid-19-Pandemie, in dem die Betreiber ihre Kernanlagen durchgehend ohne Einschränkungen beziehungsweise ohne hygienische Massnahmen betreiben konnten. Seitens der Kernanlagen wurde ein pragmatischer und moderner Strahlenschutz durchgeführt. Erfreulicherweise wurde im Berichtsjahr in keinem der KKW ein Brennstoffschaden festgestellt, was sich grundsätzlich günstig auf die Strahlenschutzsituation auswirkte.

Auch im Berichtsjahr absolvierte das Strahlenschutzpersonal der Kernanlagen regelmässig Fort- und Weiterbildungen, um auf dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik zu bleiben. Unter anderem führte auch das ENSI ein Strahlenschutzseminar zum Thema «Strahlen-

schutzplanung und Kompetenzerhalt: Anforderungen, Zusammenhang und Relevanz» mit insgesamt 39 Teilnehmenden aus den Kernanlagen, von Personalagenturen und von verschiedenen Behörden durch.

Im KKW Gösgen (KKG) fand ein von der Gruppe schweizerischer Kernkraftwerksleiter (GSKL) entwickelter und vom ENSI anerkannter Kurs für von der Industrie- und Handelskammer Deutschland (IHK) anerkannte Fachkräfte statt. Damit werden diese Strahlenschutzfachkräfte befähigt, uneingeschränkt in Schweizer KKW Strahlenschutzvorgaben umzusetzen und deren Einhaltung zu überwachen.

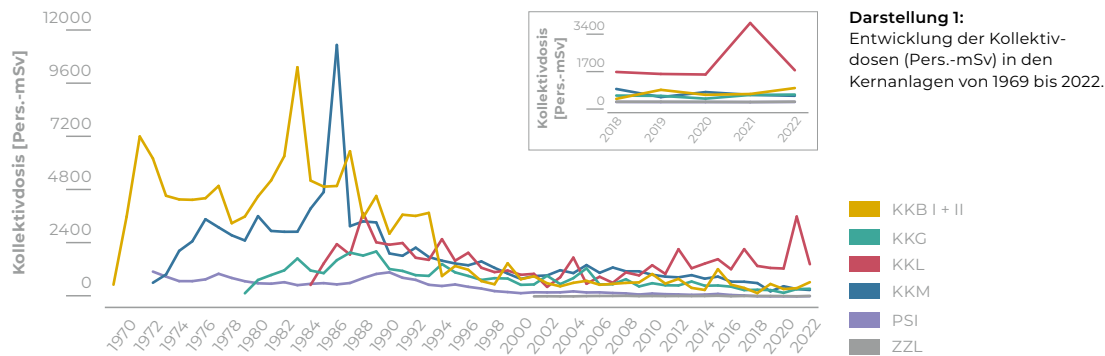
Im Berichtsjahr legte das ENSI ein besonderes Augenmerk auf die Abluftsysteme in allen KKW. Dabei inspizierten Fachkräfte des ENSI mehrere Komponenten der Fort- und Abluftanlagen und überprüften Aspekte des Strahlenschutzes bei wiederkehrenden Filterprüfungen, Filterbeladungen und dem operationellen Vorgehen bei Filterwechseln. Mittels dieser Inspektionen konnte das ENSI für die Beurteilung der deterministischen Erdbebennachweise der KKW neue Erkenntnisse gewinnen.

Im Jahr 2022 schritt der Rückbau des KKM weiter voran. Das ENSI beaufsichtigte den KKM-Strahlenschutz bei den Prozessen, bei der operationellen Umsetzung diverser Rückbautätigkeiten, beim generellen radiologischen Anlagenzustand, bei den Strahlenschutzmassnahmen anlässlich des Abtransports der Brennelemente sowie beim Betrieb der Materialbehandlungseinrichtungen. Im Vordergrund standen und stehen die Herausforderungen eines optimierten Strahlenschutzes im Kontext einer «Grossbaustelle» bei der es neben den radiologischen Gegebenheiten die Risiken durch Bauschadstoffe zu beachten gilt.



Bild 12: Ausgetauschte, kontaminierte Schwebstofffilter im KKM vor deren Entsorgung.

Jahreskollektivdosen 1969 bis 2022



1.2 Grundlagen der Dosimetrie

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

trolle 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, sie auswertet und die akkumulierten Dosen registriert. Für das Zentrale Zwischenlager (ZZL) der Zwiilag Zwischenlager Würenlingen AG übernimmt die Personendosimetriestelle des KKW Beznau (KKB) diese Aufgaben. Das Institut 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 Informationen in seinem Strahlenschutzbericht bereinigt. Dadurch und durch die in Kapitel 1.5 erwähnten Rundungen können sich in den nachfolgenden Tabellen numerische Unterschiede zu den Rohdaten der Personendosimetriestellen ergeben.

Für das Jahr 2022 haben die fünf vom ENSI anerkannten Personendosimetriestellen (KKB, KKG, KKM, PSI und das KKW Leibstadt (KKL)) insgesamt 5625 beruflich strahlenexponierte Personen mit einer Kollektivdosis von 2757 Personen-Millisievert (Pers.-mSv) gemeldet (Mehrfachbuchungen bereinigt). Diese Werte schliessen die Meldungen des IRA für das beruflich strahlenexponierte Personal der EPFL ein. Die Meldungen der Dosimetriestelle des PSI an das ENSI umfassen seit 2018 nur Dosen von Anlagen aus dem Aufsichtsbe- reich des ENSI. Die vom PSI für alle Anlagen der Schweiz zur Verfügung gestellten und ausgewer- teten Neutronen-Dosimeter des Typs PADC wer- den im Aufsichtsbe- reich des ENSI von den einzel- nen Personendosimetriestellen der Kernanlagen abgegeben und die Resultate ebendort entspre- chend verbucht.

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

1.4 Ausbildung im Strahlenschutz

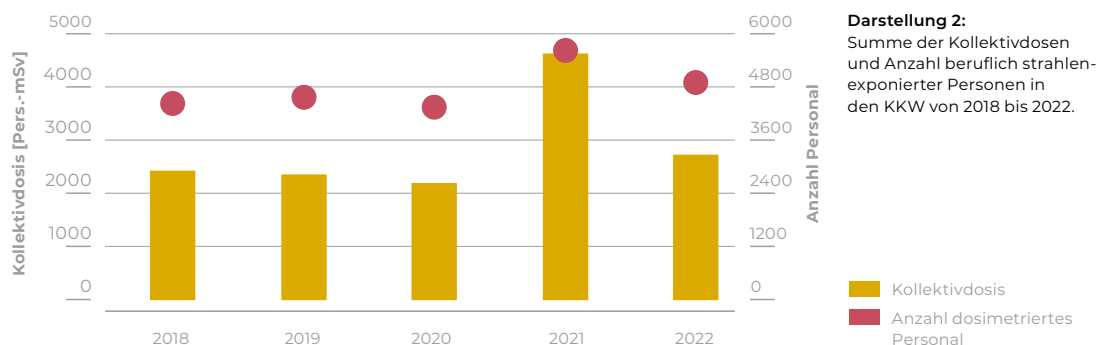
Das ENSI übt gestützt auf die Strahlenschutz-Aus- bildungsverordnung auch die Aufsicht über die Ausbildung im Strahlenschutz aus. Hierzu zählen unter anderem die Anerkennung von Kursen für das Strahlenschutzpersonal, welches in den Kern- anlagen eingesetzt wird.

Zur Übernahme von Strahlenschutzaufgaben in- nerhalb der kontrollierten Zone in den Kernanla- gen benötigt das eingesetzte Personal fach- und arbeitsspezifische Aus- und Fortbildungen. Die gesetzlichen Vorgaben regeln dabei gezielt die Einsatzgebiete und die sogenannten «erlaub- ten Tätigkeiten» für das Strahlenschutz-Personal in den drei Kategorien: Strahlenschutz-Sachver- ständige (Berufsgruppe K1), Strahlenschutztech- nikerinnen und -techniker (Berufsgruppe K2) und Strahlenschutzfachkräfte (Berufsgruppe K3). Für die Anerkennung der Ausbildung wird die Teil- nahme an einem vom ENSI anerkannten Ausbil- dungskurs von mehreren Wochen Dauer sowie ausreichende praktische Erfahrungen im Strah- lenschutz vorausgesetzt.

Zusatzausbildung für IHK-Fachkräfte für den Einsatz in schweizerischen Kernanlagen

Während den Jahresrevisionen sind in einem KKW zum Schutz des Personals bis zu hundert Strah- lenschutzfachleute erforderlich. Um diesen temporär

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal der KKW von 2018 bis 2022



erhöhten Bedarf an fachkundigem Personal zu decken, findet ein länderübergreifender Austausch, vorwiegend mit Deutschland, von Fachpersonal statt. Dabei ist es unerlässlich, länderspezifische Unterschiede, vor allem bezüglich der Vorgaben der Strahlenschutzgesetzgebung, gezielt zu schulen. Ein von der GSKL eigens zu diesem Zweck entwickelter und vom ENSI im Jahr 2021 anerkannter Schulungskurs für von der IHK anerkannte Fachkräfte fand im Berichtsjahr 2022 am KKG statt.

IHK-Fachkräfte verfügen aufgrund ihrer durch die IHK 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 Zusatzausbildung können IHK-Fachkräfte als Schweizer Strahlenschutzfachkräfte mit eingeschränktem Einsatzbereich anerkannt werden. Der Einsatzbereich dieser Strahlenschutzfachkräfte ist auf die KKW beschränkt; Tätigkeiten an Beschleunigeranlagen sowie an Röntgenanlagen sind nicht erlaubt.

An dem im Mai 2022 am KKG durchgeführten Kurs nahmen 15 Personen teil. 14 Personen wurden anschliessend neu für Aufgaben als Strahlenschutzfachkraft in schweizerischen Kernanlagen anerkannt. Eine weitere Person besuchte den Kurs im Rahmen einer betriebsinternen Fortbildungsmassnahme.

Aus- und Fortbildungen im Strahlenschutz am Bildungszentrum des Paul Scherrer Instituts

Das PSI bietet verschiedene vom ENSI anerkannte Ausbildungs- und Fortbildungskurse für Strahlenschutz-Sachverständige (K1), für Strahlenschutz-technikerinnen und -techniker (K2) sowie für Strahlenschutzfachkräfte (K3) an.

Im Juli 2022 fanden am Bildungszentrum des PSI insgesamt drei Fortbildungskurse K311 für Strahlenschutzpersonal in Kernanlagen der Berufsgruppen K1, K2, und K3 statt. Sie wurden von 35 Personen aus schweizerischen KKW, vier Personen vom PSI und fünf Personen von schwei-

zerischen und deutschen Dienstleistungsunternehmen sowie von einer Privatperson besucht. Der 16-wöchige Ausbildungskurs K314 für Strahlenschutz-Fachkräfte fand im Herbst 2022 statt. Er wurde von vier Personen aus schweizerischen KKW, drei Personen vom PSI und zehn Personen von schweizerischen und deutschen Dienstleistungsunternehmen besucht. Alle 17 Personen haben die Abschlussprüfung bestanden und können somit nach erfolgreicher Absolvierung der vorgeschriebenen Praktika neu für Aufgaben als Strahlenschutzfachkraft in schweizerischen Kernanlagen anerkannt werden.

Im Berichtsjahr 2022 erteilte das ENSI eine erneute Anerkennung für den Fortbildungskurs K311 sowie für den Ausbildungskurs K312 für Strahlenschutztechnikerinnen und -techniker, mit jeweils zehnjähriger Gültigkeit.

Insgesamt führte das Bildungszentrum des PSI im Berichtsjahr 24 Aus- und Fortbildungskurse für die schweizerischen Kernanlagen durch, an denen insgesamt 259 Personen teilnahmen. An sieben Kursen mit Bezug zu Transporten radioaktiver Gefahrgüter nahmen insgesamt 55 Personen teil.

1.5 Grundlagen für den Strahlenschutzbericht

Die Kernanlagen verwenden für die Planung und die Darstellung der Jobdosimetrie der Revisionskollektivdosen EPD-Werte (EPD = elektronische Personendosimeter). Um die geplanten Revisionskollektivdosen mit den tatsächlich akkumulierten Revisionskollektivdosen vergleichen zu können und die Ergebnisse nachvollziehbar zu bewerten, werden im Strahlenschutzbericht deshalb im Text wenn möglich nur korrigierte EPD-Werte angegeben. 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 und eine nachvollziehbare und korrekte Jobdosimetrie dank deren Programmierbarkeit nur mit elektronischen Dosimetern erfolgen kann.

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

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

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

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 13: 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.

Damit am Ende des Dosimetriejahres eine Gesamtkollektivdosis (Summe aus Leistungsbe-
triebs- und Revisionskollektivdosen) gebildet
werden kann, müssen die EPD-Dosen aus physi-
kalischen Gründen mithilfe eines Umrechnungs-
faktors 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 Personendosimet-
riestellen für die Meldung an die Kunden und an
das Zentrale Dosisregister», die von der Eidgenös-
sischen Kommission für Strahlenschutz im Jahr
2004 veröffentlicht wurde. Ab dem 1. Januar 2018
wurde diese Regelung zur Rundung von Do-
siswerten in Art. 32 der Dosimetrieverordnung
übernommen. Die Messwerte werden gemäss
den international üblichen Rundungsregeln in
Schritten von 0,1 mSv gerundet. Ferner werden im
untersten Dosisbereich (kleiner als 0,1 mSv) Mess-
werte unterhalb von 0,075 mSv auf 0 mSv abge-
rundet. Messwerte zwischen 0,075 und 0,1 mSv
werden auf 0,1 mSv aufgerundet.

Fallweise können einzelne nicht dosisrelevante
numerische Abweichungen zwischen den Aus-
wertungen der Personendosimetriestellen und
dem ENSI entstehen. Auch berücksichtigt das
ENSI die von der Dosimetriestelle des PSI ermit-
telten Neutronendosen bei der Bestimmung der
Ganzkörperdosen, wenn sie Dosiswerte über der
Nachweisgrenze von 0,5 mSv zeigen.

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

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

2. Kernkraftwerke

2.1 Kernkraftwerk Beznau, Block 1 und 2

Betrieb am Netz [%]

80,3 **93,1**

Dauer der Stillstände [d]

62 **15**

Kollektivdosis im Leistungsbetrieb [Pers.-mSv]

33 **40**

Höchste Individualdosis [mSv]

8,3 **8,3**

Erzeugter Strom [GWh]

2673 **3100**

Kollektivdosis [Pers.-mSv]

561 **80**

Kollektivdosis während der Stillstände [Pers.-mSv]

528 **40**

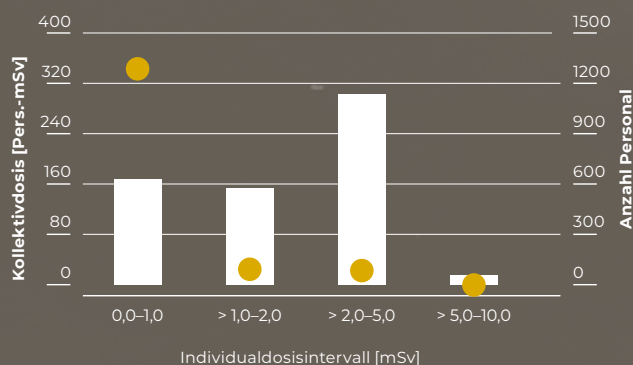
Errechnete Dosis für die Bevölkerung aufgrund von Emissionen [mSv/Jahr]

< 0,002

■ Block 1

■ Block 2

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal im KKB



■ Kollektivdosis ■ Anzahl dosimetriertes Personal

Verhältnis der Kollektivdosen Leistungsbetrieb gegenüber Stillstand



■ Leistungsbetrieb ■ Stillstand

Zusammenfassung

Das Betriebsjahr 2022 des KKB verlief im Strahlenschutz insgesamt erfolgreich. Es wurden im Berichtsjahr ein für den Strahlenschutz relevantes Vorkommnis im Zwischenlager Beznau (ZWIBEZ) sowie weitere Befunde mit Kleinleckagen am Volumenregelsystem festgestellt. Die Arbeiten während der Revisionsabstellung in Block 1 und während des Brennelementwechsels in Block 2 konnten planmässig erledigt werden. Die Inspektionen des ENSI zeigten, dass der KKB-Strahlenschutz seine Überwachungs- und Schutzmassnahmen erfolgreich umgesetzt hat.

Allgemein

Im Berichtsjahr wurden ein radiologisch relevantes und sechs radiologisch geringfügig relevante Vorkommnisse festgestellt. Letztere betrafen alle das Volumenregelsystem. Das Betriebsjahr war für das KKB aus Sicht des Strahlenschutzes trotzdem erfolgreich. Die Kollektivdosen für das eingesetzte Personal waren vergleichbar mit den Vorjahren. Für den Leistungsbetrieb beträgt diese 33 Personen-Millisievert (Pers.-mSv) für Block 1 und 40 Pers.-mSv für Block 2.

Fehlendes Tragen eines DIS-Dosimeters während des ZWIBEZ-Lagerbetriebs

Beim radiologisch relevanten Vorkommnis vom 15. Februar 2022 betraten zwei externe Mitarbeitende zur Kontrolle der Brandschutzeinrichtungen den Empfangs- und Umladebereich des Schwachaktivlagers des ZWIBEZ, ohne dabei das für diesen Bereich obligatorische Dosimeter auf sich zu tragen. KKB-Mitarbeitende konnten die beiden externen Mitarbeitenden auf das Fehlen des persönlichen Dosimeters hinweisen. Die beiden Personen verliessen daraufhin den Bereich unverzüglich. Die Ortsdosisleistung vor Ort betrug zwischen 25 bis 70 Nanosievert pro Stunde (nSv/h) und die Aufenthaltsdauer war ungefähr drei Minuten. Das Vorkommnis wurde auf der Stufe 0 (below scale) der internationalen Ereignisskala (INES) eingestuft.

Leckagen am Volumenregelsystem

Im Zeitraum von 2019 bis 2022 meldeten beide Blöcke des KKB insgesamt acht Vorkommnisse im Zusammenhang mit dem Volumenregelsystem (KCH-System). Relevant für den Strahlenschutz waren sechs dieser Vorkommnisse, da diese Kleinstleckagen aus dem aktivitätsführenden System beinhalteten. Dies erfordert im Bereich Strahlenschutz eine dedizierte Aufsicht mit Fokus auf das KCH-System. Für den Strahlenschutz steht die Gewährleistung der Zonentypenkonformität im Vordergrund, sodass das KKB-Personal vor einer Kontamination oder Inkorporation geschützt wird.

Revisionsabstellung im Block 1

Die Revisionsabstellung im Block 1 dauerte vom 29. April bis zum 1. Juli 2022 (insgesamt 62 Tage). Die Arbeiten während der Revision führten zu



Bild 14:
Bleimatten
schirmen
Leitungen mit
hoher Dosis-
leistung ab.

einer Kollektivdosis von 528 Pers.-mSv, welche im Vergleich mit der Plandosis von 449 Pers.-mSv um rund 15% höher lag. Die höchste Individualdosis für das Eigenpersonal betrug 6,1 mSv und für das Fremdpersonal 6,3 mSv.

Das KKB registrierte für einzelne Jobdosen im Vergleich mit den Dosisplanwerten gewisse Abweichungen nach oben, die auf längere Arbeitsdauer, Mehrarbeit sowie mehr und unerfahrenes Personal zurückzuführen sind. Dabei wurde die Jobdosis im Strahlenschutz beispielsweise um 61% oder bei den weiteren Revisionsarbeiten um 38% überschritten. Im Gegenzug akkumulierte das Personal für den Brennelementwechsel 50% oder für das Sludge Lancing (Reinigung der Dampferzeugerböden auf der Sekundärseite) 39% weniger Jobdosis als geplant. Insgesamt leistete das Eigen- und Fremdpersonal für die Revisionsabstellung etwas über 59 000 Personenstunden in der kontrollierten Zone.

Bezüglich Kontaktortsdosisleistungen an ausgewählten Komponenten im Block 1 wurden für die Hot-Legs A und -B Anstiege von ca. 11% beziehungsweise 3% festgestellt. Für die Closure-Legs A und B nahmen die Ortsdosisleistungen um rund 9% beziehungsweise 1% zu. Am neuen Deckel des Reaktordruckbehälters (RDB) wurde im Vergleich zum Vorjahr eine Reduktion der gemittelten Kontaktortsdosisleistung von ca. 7% festgestellt. Für die beiden Dampferzeuger A und B wurden Anstiege der Kontaktortsdosisleistung von 7% beziehungsweise 9% festgestellt.

Während der Arbeiten traten keine unerwarteten Luftkontaminationen auf. Eine gewisse temporär erhöhte Raumluftaktivität wurde aber im Zusammenhang mit dem Abheben des RDB-Deckels sowie während der Cavity-Grobreinigung festgestellt. Die Fachkräfte führten diese Arbeiten im Zonentyp IV mit der entsprechenden persönlichen Schutzausrüstung durch. Bezüglich Oberflächenkontaminationen in der Anlage konnten ebenfalls keine unerwarteten Anstiege der Messwerte festgestellt werden. Es traten keine Inkorporationen und auch keine Personenkontaminationen auf, die nicht mit einfachen Mitteln zu entfernen waren. Das im Mittel gemessene Verhältnis von Beta/Gamma zu Alpha wurde bestimmt und betrug 546 zu 1.

Ein Abschirmkonzept für die Revisionsabstellung stellte sicher, dass Ortsdosisleistungen an ausgewählten Orten arbeitsbedingt temporär reduziert wurden. Für diese Massnahmen setzte das Personal rund 42 Tonnen an Bleiabschirmungen sowie in einem Fall ein Wasserstopfen ein.

Zur weiteren Dosisoptimierung führte das Personal ein Mock-up-Training zum Einstieg in die Dampferzeuger durch. Zwei Personen nahmen an zwei halben Tagen am Mock-up-Training teil. Das Training wurde mit Schutzanzug und Atemschutzmaske, unter Zone IV Bedingungen, durchgeführt.

Aufgrund von Problemen an der Dichtung einer Reaktorhauptpumpe verzögerte sich das Wiederanfahren des Blocks 1 nach der Revisionsabstellung. Dies stellte aber für den Strahlenschutz kein Problem dar.

Brennelementwechsel im Block 2

Block 2 wurde am 8. August 2022 für den Brennelementwechsel abgestellt. Das Wiederanfahren erfolgte am 22. August. Während dieser 14 Tage wurde eine Kollektivdosis von 40 Pers.-mSv akkumuliert. Im Vergleich zum Planwert von ca. 55 Pers.-mSv wurde also rund 27% weniger Dosis akkumuliert. Die Dosisabweichungen können durch deutlich geringere Kollektivdosen bei der Reinigung (-84% gegenüber dem Planwert) und beim Strahlenschutz (-32% gegenüber dem Planwert) begründet werden. Dies ist aufgrund von ge-



Bild 15:
Verladen des
Reaktorhaupt-
pumpe-Innen-
blocks für den
Transport aus
dem Sicher-
heitsgebäude.

ringer als erwarteten Kontaminationswerten zu erklären. Weiter konnte aufgrund der sehr tiefen Ortsdosisleistung an der Wasseroberfläche eine Reduktion von knapp 5% der Kollektivdosis für die Arbeiten beim Brennelementwechsel festgestellt werden. Die höchste Individualdosis betrug jeweils für das Eigen- und Fremdpersonal knapp 1,1 mSv. Insgesamt wurden für den Brennelementwechsel etwas mehr als 8400 Personenstunden in der kontrollierten Zone gearbeitet.

Am Closure-Leg A ist die Dosisleistung im Vergleich zum Vorjahr um ca. 4% gestiegen, während diejenige vom Closure-Leg B um 6% gesunken ist. Die Dosisleistung am RDB-Deckel ist um ca. 44% auf 20,7 Millisievert pro Stunde (mSv/h) angestiegen. Die Dosisleistungen an den Hot-Legs sowie an den Dampferzeugern sind nahezu konstant geblieben.

Während der Arbeiten traten keine unerwarteten Luftkontaminationen auf. Erhöhte Raumluftaktivität wurde lediglich im Zusammenhang mit dem Abheben des RDB-Deckels sowie während der Cavity-Grobreinigung festgestellt. Das Personal führte diese Arbeiten im Zonentyp IV mit der entsprechenden persönlichen Schutzausrüstung durch. Zum Thema Oberflächenkontaminationen in der Anlage wurden ebenfalls keine unerwarte-

ten Anstiege der Messwerte festgestellt. Die Anlage war in einem radiologisch sauberen Zustand. Des Weiteren sind keine Inkorporationen sowie Personenkontaminationen aufgetreten, die nicht mit einfachen Mitteln zu entfernen waren. Das im Mittel gemessene Verhältnis von Beta/Gamma zu Alpha wurde bestimmt und betrug zwischen 167 und 8000 zu 1.

Infolge des Abschirmkonzepts für den Brennelementwechsel wurde ein Abschirmstopfen eingesetzt. Weitere temporäre Abschirmungen waren nicht erforderlich.

Weitere Stillstände

Am 7. Oktober kam es in Block 2 zu einer Turbinenabschaltung der Turbogruppe 22 und einer Reaktorschnellabschaltung ohne Relevanz für den Strahlenschutz.

Dosimetrie

Während des Berichtsjahres kamen im KKB 1481 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz. Die Kollektivdosis während der Berichtsperiode betrug 641 Pers.-mSv, sie liegt grundsätzlich in einem tiefen Bereich und stimmt mit dem Planwert von 550 Pers.-mSv gut überein. Die Verteilung der Kollektivdosen stellt sich folgendermassen dar:

KKB	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
Revisionsabstellung	528
Brennelementwechsel	40
Leistungsbetrieb	73
Weitere Stillstände	–
Gesamte Jahreskollektivdosis	641

Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2022 betrug 8,3 mSv und liegt damit deutlich unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv.

Es wurden während der ganzen Berichtsperiode keine Personenkontaminationen festgestellt, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten. Im Jahr 2022 führte das KKB an 1267 Personen (479 Eigen- und 788 Fremdpersonal) Triagemessungen durch und detektierte dabei keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle.



Bild 16:
Abheben des RDB-Deckels. Das Personal vor Ort ist gemäss den Vorgaben des eingerichteten Zonentyps IV gekleidet.

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

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper*	Haut	Extremitäten*
1594	1507	43

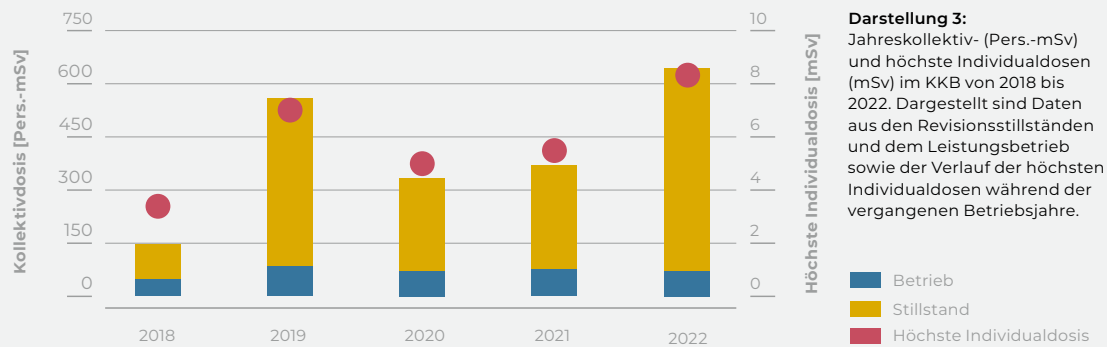
Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörperzähler	Schilddrüse
–	–

*Inkl. Dosimeter, die am PSI ausgewertet wurden.

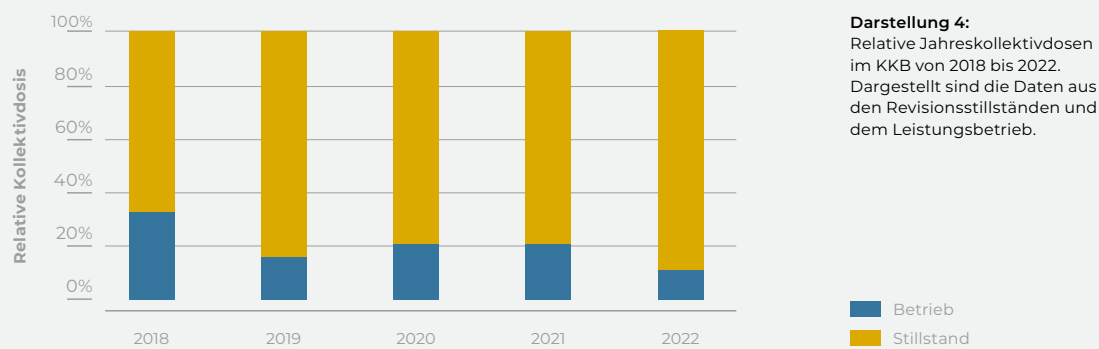
Bewertung der Strahlenexposition

Aus Sicht des Strahlenschutzes verlief das Betriebsjahr 2022 ohne bedeutende Ereignisse oder Vorfälle. Die Revisionsabstellung im Block 1 dauerte zwar länger als geplant, doch der Brennele-

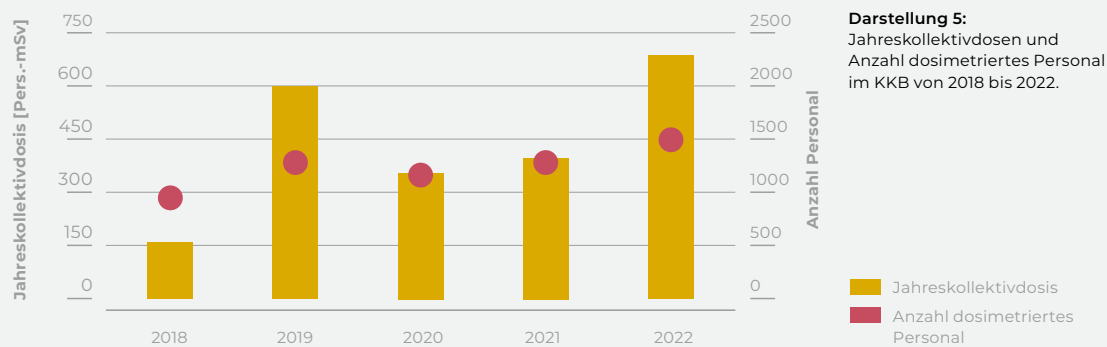
Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im KKB von 2018 bis 2022



Kollektivdosisverteilung zwischen Betrieb und Stillstand des KKB von 2018 bis 2022



Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des KKB von 2018 bis 2022



mentwechsel im Block 2 wurde wie vorgesehen durchgeführt und der Betreiber hielt die entsprechenden Planwerte und Strahlenschutzvorgaben für beide Stillstände grundsätzlich ein. Die Entwicklung der Dosisleistungen an den Closure-Legs, Dampferzeugern, Hot-Legs sowie am RDB-Deckel werden vom KKB weiterhin laufend beobachtet und bewertet.

Der Quotient aus Dosis und erzeugter elektrischer Energie betrug für das Jahr 2022, über beide Blöcke des KKB betrachtet, 0,111 Pers.-mSv pro GWh_(e) (Vorjahr: 0,060 Pers.-mSv/GWh_(e)).

Die Inspektionen des ENSI im Bereich des Strahlenschutzes zeigten, dass im KKB die Überwachung und die Massnahmen des Strahlenschutzes während des Leistungsbetriebs und der Abstellungen ordentlich und vorgabenkonform erfolgten.

Strahlenschutzinstrumentierung

Das ENSI überprüfte die Strahlenschutzinstrumentierung im Rahmen von zwei Inspektionen. Dabei vergewisserte sich das ENSI anhand der Qualitätsmanagement-Dokumentation sowie durch Vor-Ort-Kontrollen stichprobenweise, dass das Personal die periodischen Prüfungen der Messgeräte vorschriftsmässig durchführte und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten. Verbesserungspotential identifizierte das ENSI bei der Bestimmung der Referenzwerte für die Konstanzprüfung von Personenmonitoren und der Stärke der radioaktiven Prüfquelle zur Prüfung der Alarmschwelle bei Triage-Inkorporationsmonitoren.

In einer weiteren 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 Monats- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar.

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 durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Iodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKB.
- Gegen Ende 2022 fand die 68. Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie statt. Dabei wurden neben der Referenzbestrahlung mit ¹³⁷Cs zusätzlich auch Bestrahlungen mit Röntgenstrahlung durchgeführt. Das KKB erfüllte bis auf eine Ausnahme die Anforderungen der Dosimetrieverordnung. Für niederenergetische Röntgenstrahlung lagen die Resultate geringfügig unter der geforderten Bandbreite. Da in einem KKW die Dosisbeiträge resultierend aus der Röntgenstrahlung nicht signifikant sind, tolerierte das ENSI im Einklang mit der Dosimetrieverordnung diese Abweichung.

2.2 Kernkraftwerk Gösgen

Betrieb am Netz [%]

90,3

Dauer der Stillstände [d]

33

Kollektivdosis im Leistungsbetrieb [Pers.-mSv]

84

Höchste Individualdosis [mSv]

5,8

Erzeugter Strom [GWh]

8385

Kollektivdosis [Pers.-mSv]

345

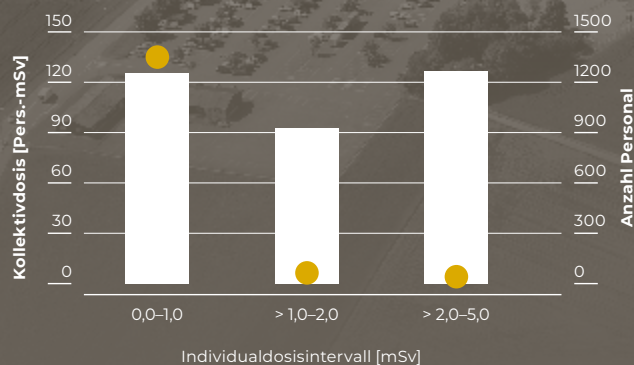
Kollektivdosis während der Stillstände [Pers.-mSv]

261

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

< 0,001

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal im KKG



■ Kollektivdosis ■ Anzahl dosimetriertes Personal

Verhältnis der Kollektivdosen Leistungsbetrieb gegenüber Stillstand



■ Leistungsbetrieb ■ Stillstand

Zusammenfassung

Das KKG verzeichnete aus strahlenschutztechnischer Sicht ein erfolgreiches Betriebsjahr 2022 und absolvierte eine umfangreiche Hauptrevision. Dies führte zu einer entsprechenden Kollektivdosis sowohl für den Wert der Hauptrevision selbst als auch für das ganze Betriebsjahr. Die durch das KKG geplanten und ergriffenen Massnahmen im Strahlenschutz, sowohl für die Hauptrevision als auch für den Leistungsbetrieb, haben sich als wirkungsvoll erwiesen. Im Berichtsjahr waren zwei strahlenschutzrelevante Vorkommnisse zu verzeichnen.

Allgemein

Im Berichtsjahr ereigneten sich im KKG zwei strahlenschutzrelevante Vorkommnisse. Während der Jahresrevision wurden umfangreiche Arbeiten durchgeführt. Infolge des grossen Arbeitsvolumens und der Dauer der Jahresrevision wurde 2022 eine entsprechende Kollektivdosis akkumuliert.

Ausfall der Edelgasmessstellen der Kamininstrumentierung

Im Berichtszeitraum kam es zu zwei Vorkommnissen, bei denen für kurze Zeit je eine der beiden Edelgasmessstellen der Kamininstrumentierung ausfiel. Die Überwachung und Bilanzierung der radioaktiven Abgaben über die Kaminfortluft war zu jedem Zeitpunkt durch die andere Messstelle sichergestellt. Als Ursache identifizierte das KKG Alterungsprozesse. Das KKG plant nun zeitnah den Ersatz dieser Messstellen.

Revisionsstillstand

Das KKG stellte die Anlage vom 21. Mai bis zum 23. Juni 2022 für die Jahresrevision mit Brennelementwechsel für insgesamt 33 Tage ab. Die akkumulierte Kollektivdosis war mit 261 Pers.-mSv (Vorjahr: 271 Pers.-mSv) im Bereich des Vorjahrs und entsprach dem Umfang der Arbeiten. Die Kollektivdosis für die Revision 2022 lag um 34 % unter dem ursprünglichen Dosiszielwert von 393 Pers.-mSv. Der Zielwert wurde Anfang Juni 2022 aufgrund neuer Erkenntnisse hinsichtlich der tatsächlich angetroffenen Dosisleistungen vor Ort und dem bis dahin beobachteten Dosisverlauf auf 271 Pers.-mSv angepasst. Die Abweichung ist vorwiegend auf die viel günstigeren radiologischen Bedingungen bei den Dampferzeugerheizrohrprüfungen und den Arbeiten an den Hauptkühlmittelpumpen zurückzuführen. Im Vergleich zur angepassten Planung lag die tatsächliche Kollektivdosis innerhalb des Toleranzbereichs von $\pm 20\%$. Die höchste Individualdosis lag mit 3,4 mSv (Vorjahr: 6,0 mSv) auf einem tiefen Niveau. Die mittlere Dosis betrug im Revisionszeitraum 0,20 mSv/Person (Vorjahr 0,22 mSv/Person). Gesamthaft wurden 73 784 Arbeitsstunden (Vorjahr: 68 127) in der kontrollierten Zone geleistet.

Die kontrollierte Zone in der Anlage war während der Jahresrevision in einem radiologisch und konventionell sauberen Zustand. Zudem konnte während des ganzen Stillstandes der niedrige Kontaminationsgrad beibehalten werden. Seit Beginn der Zinkdosierung im Jahr 2005 nahm die Dosisleistung an den Primärkreislaufkomponenten im Mittel um circa 76 % ab. Die Dosisleistung im Innern des Reaktordruckbehälterdeckels nahm noch stärker ab und betrug 44 mSv/h (2005: 280 mSv/h). Im Vergleich zum Vorjahr nahm die mittlere Dosisleistung an den Primärkomponenten um ca. 8 % ab. Das Verhältnis von Beta/Gamma zu Alpha nahm gegenüber dem Vorjahr ab und betrug im Mittel ungefähr 800 zu 1. Dies liess weiterhin einen Beta-/Gamma-Strahler basierten Strahlenschutz zu. Im Berichtsjahr wurde beim Anheben des RDB-Deckels, wie in den vergangenen Jahren, kein signifikanter Anstieg der Aerosol-Luftkontamination in den Betriebsräumen des Containments festgestellt. Auch die Edelgaskonzentration war mit einem Maximalwert von 0,002 Richtwerte der Luftkontamination (CA) nach dem Abheben gering. Es wurden während des ganzen Revisionsstillstandes keine relevanten Iod- oder Alpha-Konzentrationen in der Luft gemessen.

Insgesamt verwendete das KKG in der kontrollierten Zone 28,1 t Blei für Abschirmungszwecke. Zudem wurden zusätzliche Massnahmen eingesetzt wie beispielsweise das gezielte Absaugen mittels Filtermobil oder die Verwendung eines Schutzhelmes beim Ziehen des RDB-Deckels, um das Inkorporationsrisiko und die Strahlenbelastung während der Arbeiten für das Personal zu reduzieren. Des Weiteren wurde beim Ziehen des Reaktordruckbehälterdeckels und bei «Lufttransporten» des oberen Kerngerüsts der Aufenthalt des Personals auf Personen beschränkt, welche für die Ausführung der Tätigkeit notwendig waren. Das KKG setzte die Ausgangsmonitore vom Typ «Two Step Exit» sowohl für die Überwachung von Kontaminationen als auch von Inkorporationen ein.

Die wichtigsten Revisionsarbeiten aus Sicht des Strahlenschutzes waren das Ziehen und das Inspeizieren der drei Läufer der Hauptkühlmittelpumpen (HKMP), die HKMP-Gehäuseinspektionen und die Dampferzeuger-Heizrohr- und Kalottenprüfungen aller drei Dampferzeuger. Vor den Inspektionen der Dichtungsgehäuse führten Fachkräfte chemische Dekontaminationen der Läufer (Dichtungsgehäuse, Laufrad und Pumpenwelle) durch und erreichten dabei sehr gute Dekontaminationsfaktoren zwischen 80 und 121. Für diese Arbeiten erstellte das KKG detaillierte Dosisschätzungen. Es gab keine Arbeiten mit einer Kollektivdosis über 50 Pers.-mSv.



Bild 17:
Dampferzeuger-Mockup
zu Trainings-
zwecken.

Unter rein chemischer Dekontamination versteht man Verfahren, bei denen die Kontaminationen der Oberflächen der betroffenen Bauteile durch oxidierende oder säurehaltige Lösungen beseitigt werden. Bei Systemdekontaminationen werden solche Lösungen direkt durch das intakte Wasserkreislaufsystem zirkuliert. Es gibt aber auch Varianten, bei denen einzelne Komponenten, oder Teile davon, in ein Bad aus solchen Lösungen getaucht werden. Grundsätzlich wird zwischen weichen und harten Verfahren unterschieden. Die weniger aggressiven, weichen Verfahren kommen bei Komponenten zur Anwendung, die wiederverwendet werden. Die aggressiveren, harten Verfahren werden bei Komponenten angewendet, die im Anschluss der Entsorgung zugeführt werden sollen. Eine chemische Dekontamination kann die Dosisleistung an den betroffenen Komponenten auf ein Zehntel bis mehrere Hundertstel des ursprünglichen Wertes reduzieren.



Bild 18:
Chemische
Bäder im De-
kontzentrum
des KKL.

Aufgrund der Optimierungsmaßnahmen des KKG an den vorgenommenen Planungs- und Vorbereitungsarbeiten sowie der Kontrolle und Begleitung der relevanten Arbeiten durch den Strahlenschutz konnte die Jahresrevision ohne strahlenschutzrelevante Zwischenfälle absolviert werden.

Weitere Stillstände

Es gab keine weiteren Stillstände.

Dosimetrie

Während des Berichtsjahres kamen in der kontrollierten Zone oder bei Transporteinsätzen 1466 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz. Die Kollektivdosis während der Berichtsperiode betrug 345 Pers.-mSv, sie liegt damit in einem tiefen Bereich und ist mit dem revidierten Planwert von 323 Pers.-mSv konsistent. Die Aufteilung der Kollektivdosis zwischen Leistungsbetrieb und Revisionsstillstand stellte sich folgendermassen dar:

KKG	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
Revisionsabstellung	261
Leistungsbetrieb	84
Gesamte Jahreskollektivdosis	345

Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2022 entsprach derjenigen der Jahresrevision und betrug somit 5,8 mSv. Dieser lag, bedingt durch den Arbeitsumfang, unterhalb des Vorjahreswertes (7,0 mSv) und unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv.

Es wurden während der ganzen Berichtsperiode keine Kontaminationen, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, festgestellt. Im Jahr 2022 hat das KKG an 1258 Personen (489 Eigen- und 769 Fremdpersonal) Triagemessungen durchgeführt und dabei keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle detektiert.

Folgende Anzahl an Personen wurden von der anerkannten Personendosimetriestelle des KKG überwacht:

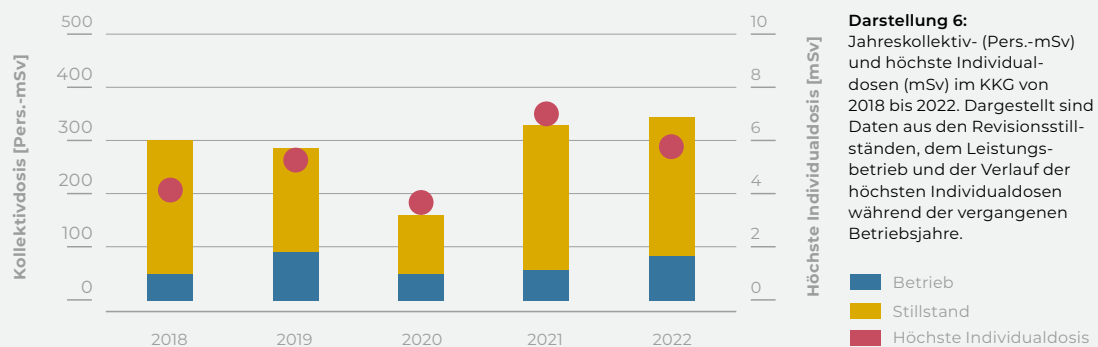
Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
1529	1529	13

Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörperzähler	Schilddrüse
1258	1258

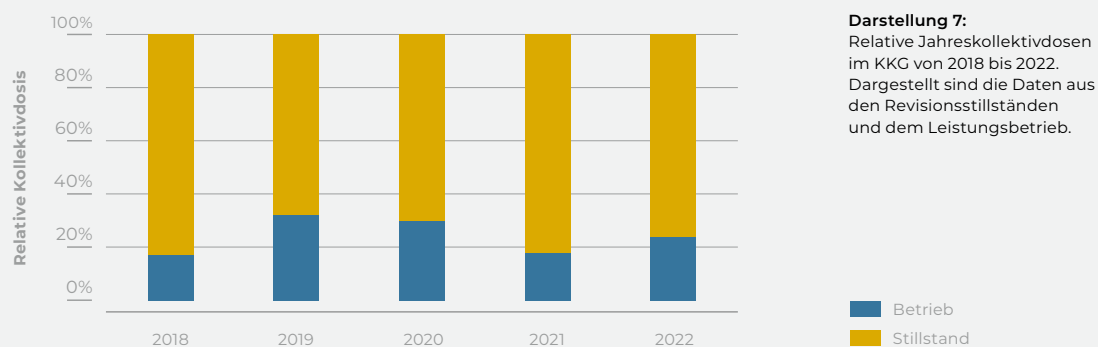


Bild 19:
Abheben eines
Betonriegels
oberhalb des
Reaktors.

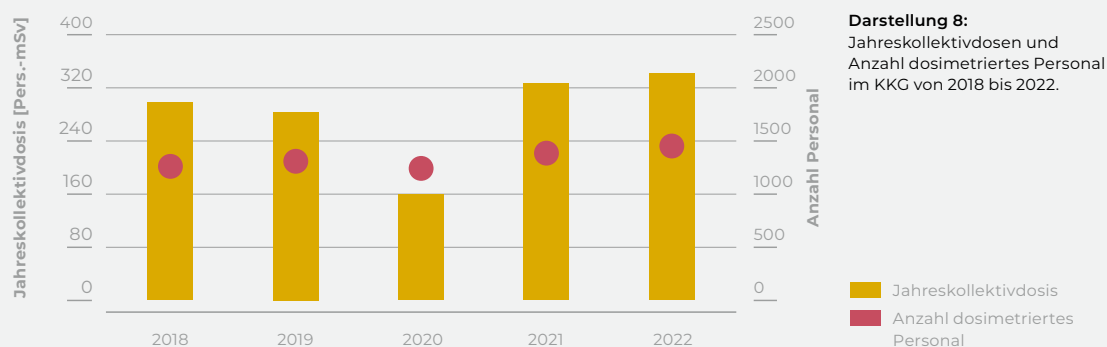
Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im KKG von 2018 bis 2022



Kollektivdosisverteilung zwischen Betrieb und Stillstand des KKG von 2018 bis 2022



Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des KKG von 2018 bis 2022



Bewertung der Strahlenexposition

Das KKG vollzieht einen nach Wissenschaft und Technik entsprechenden Strahlenschutz, indem es unter anderem Strahlenschutzplanungen erstellt und Optimierungsmassnahmen ein- und umsetzt.

Das Betriebsjahr 2022 zeichnete sich durch eine für das KKG im Vergleich zu den Vorjahren durchschnittliche Kollektivdosis aus, trotz insgesamt erhöhtem Arbeitsaufwand. Das KKG führte 2022 eine der längsten Jahresrevision seit 2013 durch, konnte aber die Kollektivdosis dank der durchgeführten Massnahmen tief halten. Die Kollektivdosis im KKG konnte nicht bloss aufgrund der 2022 kontinuierlich fortgeführten Zinkeinspeisung weiter reduziert werden.

Der Quotient aus der Dosis pro erzeugte elektrische Energie betrug im KKG 0,041 Pers-mSv pro GWh_(e) und blieb somit weiterhin tief (Vorjahr: 0,040 Pers.-mSv/GWh_(e)).

Das ENSI konnte bei seinen Inspektionen feststellen, dass das KKG einen gesetzlich konformen und effizienten Strahlenschutz betreibt.

Strahlenschutzinstrumentierung

Das ENSI überprüfte die Strahlenschutzinstrumentierung im Rahmen von zwei Inspektionen. Dabei vergewisserte sich das ENSI anhand der Qualitätsmanagement-Dokumentation sowie durch Vor-Ort-Kontrollen stichprobenweise, dass das KKG-Personal die periodischen Prüfungen der Messgeräte vorschriftsmässig durchführte und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

In einer weiteren 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 Monats- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar.

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 durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Iodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKG.
- Gegen Ende 2022 fand die 68. Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie statt. Dabei wurden neben der Referenzbestrahlung mit ¹³⁷Cs zusätzlich auch Bestrahlungen mit Röntgenstrahlung durchgeführt. Das KKG erfüllte bis auf eine Ausnahme die Anforderungen der Dosimetrieverordnung. Für niederenergetische Röntgenstrahlung lagen die Resultate geringfügig unter der geforderten Bandbreite. Da in einem KKW die Dosisbeiträge resultierend aus der Röntgenstrahlung nicht signifikant sind, tolerierte das ENSI im Einklang mit der Dosimetrieverordnung diese Abweichung.

Das KKG hat im Berichtsjahr den Ersatz der Aktivitätsüberwachung des Dampfes, der an eine Papierfabrik in Niedergösgen geliefert wird, erfolgreich abgeschlossen.

2.3 Kernkraftwerk Leibstadt

Betrieb am Netz [%]

91,9

Dauer der Stillstände [d]

29

Kollektivdosis im Leistungsbetrieb [Pers.-mSv]

467

Höchste Individualdosis [mSv]

9,2

Erzeugter Strom [GWh]

10 185

Kollektivdosis [Pers.-mSv]

1449

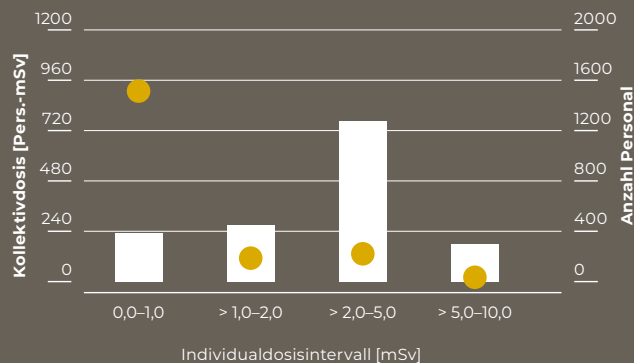
Kollektivdosis während der Stillstände [Pers.-mSv]

982

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

< 0,005

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal im KKL



■ Kollektivdosis ● Anzahl dosimetriertes Personal

Verhältnis der Kollektivdosen Leistungsbetrieb gegenüber Stillstand



■ Leistungsbetrieb ■ Stillstand

Zusammenfassung

Im Betriebsjahr implementierte das KKL seinen Strahlenschutz erfolgreich. Nach der langen Jahreshauptrevision (JHR) 2021 konnte zu einer üblichen, aber immer noch anspruchsvollen, Revisionsdauer von 29 Tagen zurückgekehrt werden. Die durch das KKL unternommenen Massnahmen im Strahlenschutz, sowohl für die JHR als auch für den Leistungsbetrieb, bewertet das ENSI als zielführend. Im Berichtsjahr waren drei strahlenschutzrelevante Vorkommnisse zu verzeichnen.

Allgemein

Die Strahlenexposition des Eigen- und Fremdpersonals im KKL führte 2022 zu einer Kollektivdosis von 1449 Pers.-mSv, davon 982 Pers.-mSv für die Jahresrevision und 467 Pers.-mSv für den Leistungsbetrieb.

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

Erhöhte Ortsdosisleistung im Bereich einer Leitung des Abwassersammel- und Aufbereitungssystems

Während einer geplanten Brandschutzinspektion im Radwaste wurde unerwartet der Dosisleistungsalarm ($> 0,1 \text{ mSv/h}$) der elektronischen Personendosimeter ausgelöst. Grund war eine unerwartet hohe Ortsdosisleistung im Bereich unterhalb einer Leitung des Abwassersammel- und Aufbereitungssystems. Die Ortsdosisleistung wurde mit $1,5 \text{ mSv/h}$ gemessen.

Als für das Vorkommnis auslösender Faktor stellte sich ein Saugheber-Effekt (Flüssigkeitstransport durch gefüllte Leitung über Hochpunkt von höherem zu tieferem Niveau) zwischen zwei Behältern heraus. Dies führte zu entsprechenden Wasserbewegungen und damit zur Aufwirbelung des Behälterinventars von kontaminierten Harzen, die sich in einer Leitung des Abwassersammel- und Aufbereitungssystems ablagerten.

Die Dosisleistungsalarme und das korrekte Verhalten des Personals haben dazu beigetragen, dass die Zusatzexposition auf sehr tiefem Niveau blieb.

Unerwarteter Anstieg des Kontaminationspegels durch Leckage

Beim Kamerarundgang im Bereich des Bypass-Regelventils Nord wurde am 6. Oktober 2022 im Leistungsbetrieb eine Leckage entdeckt, welche später einem Regelventil zugeordnet werden konnte. Wenige Tage später wurde entschieden, die Verschraubung des Gehäusedeckels bei reduzierter Reaktorleistung und mit Ausserbetriebnahme des Wasserabscheider-Zwischenüberhitzers nachzuziehen.

Der begleitende Strahlenschutz hat bei der Arbeitsdurchführung erhöhte Kontaminationswerte im Arbeitsbereich festgestellt und die nötigen Sofortmassnahmen veranlasst, um die Zonentypenkonformität wiederherzustellen.

Am folgenden Tag stellte das Personal bei einer Wischtestkontrolle erneut eine erhöhte Oberflächenkontamination von $> 10 \text{ CS}$ fest. Dadurch war eine temporäre Erhöhung von Zone I auf Zone III im Bereich der Turbogruppe notwendig. Damit wurden für diesen Bereich höhere Anforderungen an die Schutzausrüstung des Personals gestellt.

Abweichung bei Dichtheitsprüfung an Strahlenquellen

Am 23. Dezember 2022 meldete das KKL, dass es bei Dichtheitsprüfungen an Strahlenquellen in Strahlenmessgeräten zu Abweichungen kam. Es wurde festgestellt, dass die periodischen Dichtheitsprüfungen zur Qualitätssicherung von geschlossenen radioaktiven Quellen nicht vollumfänglich durchgeführt wurden. Daraufhin führte das KKL als Sofortmassnahme bei allen zugänglichen Strahlenquellen die Dichtheitsprüfungen durch. Die durchgeführten Prüfungen haben ergeben, dass die Dichtheit aller Strahlenquellen die gesetzlichen Anforderungen erfüllen. Eine Gefährdung von Mensch und Umwelt konnte ausgeschlossen werden.

Revisionsstillstand

Die JHR 2022 dauerte 29 Tage vom 13. Juni 2022 bis zum 12. Juli 2022. Sie war mit einer Kollektivdosis von 1021 Pers.-mSv geplant, akkumuliert wurden 982 Pers.-mSv. Die maximale Revisionsindividualdosis für das Eigenpersonal lag bei $5,1 \text{ mSv}$ (Kranbetrieb) und für das Fremdpersonal bei $8,6 \text{ mSv}$ (Gerüstbau).

Während der JHR 2022 wurden insgesamt rund 49700 Zoneneintritte registriert. Die Kontaminationsrate beim Austritt aus der kontrollierten Zone lag bei $0,76\%$, und damit unter dem KKL-internen Ziel von $\leq 1\%$. In fast 380 Fällen wurden Personenkontaminationen festgestellt, die mit einfachen Mitteln zu entfernen waren. Es wurden keine Personenkontaminationen vorgefunden, die zu einer Hautdosis führen konnten. Gemäss dem KKL kann das gute Ergebnis auf die obligatorischen Perso-

nenkontaminationskontrollen mit einer grossflächigen Messsonde zurückgeführt werden. Diese Kontrollen wurden vom Personal beim Verlassen von Orten mit erhöhten Kontaminationen durchgeführt.

Während der Druckentlastung beim Abfahren beobachtete das KKL einen Anstieg der Aktivitätskonzentration von ^{60}Co auf maximal $9,3\text{E}8 \text{ Bq/m}^3$. Der Mittelwert für den Zyklus 38 lag bei $1,49\text{E}7 \text{ Bq/m}^3$ (Zyklus 37 bei $1,46\text{E}7 \text{ Bq/m}^3$). Die Aktivitätskonzentration von ^{131}I im Reaktorwasser vor der Lastreduktion betrug $2,5\text{E}5 \text{ Bq/m}^3$. Die Druckreduktion hat nicht zu einem Iod-Spike geführt und wenige Tage nach dem Abfahren war ^{131}I im Reaktorwasser nicht mehr messbar. Der Zyklusmittelwert für ^{131}I im Reaktorwasser lag bei $4,0\text{E}5 \text{ Bq/m}^3$ (Zyklus 37 bei $4,0\text{E}5 \text{ Bq/m}^3$). Der Zyklus 38 konnte ohne Brennelementschaden beendet werden.

Die Wasserstoffverfügbarkeit im 38. Zyklus lag bei 97%, das heisst, der Indikator für eine gute Wasserstoffverfügbarkeit von grösser als 95% wurde erreicht.

In Leichtwasserreaktoren wird dem Primärkreislauf während des Leistungsbetriebs kontinuierlich Wasserstoff zugeführt. Diese Fahrweise wird Hydrogen Water Chemistry (HWC) genannt. Dabei senkt der eingespeiste Wasserstoff das elektrochemische Potenzial, sodass das Kreislaufwasser reduzierende Eigenschaften erhält. Diese reduzierende Fahrweise wirkt der Oxidation von Komponentenoberflächen entgegen und vermindert damit das Risiko von Spannungsrisskorrosion.

Im Drywell wurden nach dem Abfahren die Ortsdosisleistung an 16 repräsentativen Messpunkten bestimmt. Im unteren Bereich des Drywells war die gemittelte Ortsdosisleistung im Vergleich zum Vorjahr von $0,12 \text{ mSv/h}$ auf $0,21 \text{ mSv/h}$ gestiegen. Dies ist auf eine erwartete Rekontamination nach der Systemdekontamination in der JHR 2021 zurückzuführen. Im oberen Bereich lag die Ortsdosisleistung bei etwa $0,07 \text{ mSv/h}$ und damit praktisch auf dem gleichen Niveau wie im Vorjahr.



Bild 20:
Kamera-
überwachung
für die
Ebene +28 m
im Reaktor-
gebäude.

Das Verhältnis von Beta-/Gamma-Nukliden zu Alpha-Nukliden, das mit Proben von Oberflächen, die in Kontakt mit dem Primärwasser stehen, bestimmt wird, lag beim Reaktordruckbehälterdeckel bei ca. 451:1 und bei den Isolationsventilen des Frischdampfsystems bei rund 4490:1. Die Luftkontamination durch Alpha-Nuklide wurde in diesen Bereichen zusätzlich mit permanent messenden Alpha-Luftmonitoren überwacht.

Für drei Arbeiten mit zu erwartenden Kollektivdosen von über 50 Pers.-mSv hat das KKL gemäss der Richtlinie ENSI-B03 «Meldungen der Kernanlagen» dem ENSI detaillierte Strahlenschutzplanungen eingereicht. Dies betraf die Arbeiten «Durchführung Projekt MSIP» mit 197,7 Pers.-mSv, «Nacharbeiten aus YUMOD 2021» mit 108,7 Pers.-mSv und «CRD-Wechsel» mit 55 Pers.-mSv. Das KKL hat die Arbeiten aus Sicht des Strahlenschutzes regelwerkskonform optimiert.

Für 13 weitere Arbeiten mit erwarteten Kollektivdosen kleiner als 50 Pers.-mSv erstellte der KKL-Strahlenschutz ebenfalls detaillierte Strahlenschutzplanungen.

Beispiele für Optimierungsmassnahmen in den Strahlenschutzplanungen sind Abschirmmassnahmen, das Errichten von Wartebereichen mit niedrigen Ortsdosisleistungen sowie Orientie-



Bild 21:
Arbeitsbereich
im Drywell vor
dem Eingang
zum Steuer-
stabantriebs-
raum, links im
Bild.

runghilfen und Videoüberwachung im Drywell. Das ENSI beurteilt die Optimierungsmassnahmen als zweckmässig.

Grundsätzlich hielt das KKL die geplanten Kollektivdosen ein. Abweichungen konnte das KKL plausibel begründen.

Die Revisionsarbeiten wurden von 99 Strahlenschutzfunktionsträgerinnen und -trägern überwacht und begleitet, davon waren 19 Personen dem Eigenpersonal zuzuordnen und 80 Personen dem Fremdpersonal. Das Strahlenschutzpersonal war, unter Einhaltung der vorgeschriebenen Ruhezeiten, für ausgewählte Arbeiten rund um die Uhr im Einsatz. Der operationelle Strahlenschutz, die Dosimetrie und die Strahlenschutz-Sachverständigen hielten je einen Pikettdienst aufrecht. Aufgrund von Covid-19-Infektionen kam es im Revisionszeitraum zu einem Ausfall von bis zu 20% des Strahlenschutzpersonals. Durch Umdisponierungen und Nachbestellungen konnten dennoch alle Arbeiten durch den Strahlenschutz betreut werden.

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

Es gab keine weiteren Stillstände.

Dosimetrie

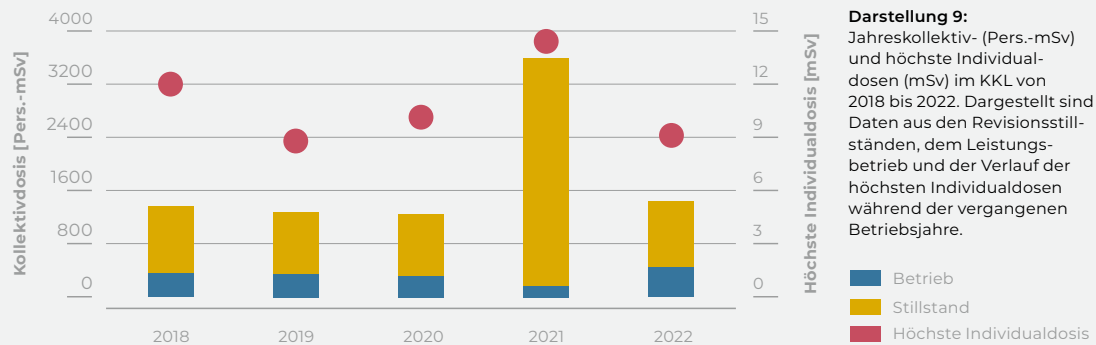
Im Berichtsjahr kamen 1947 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz (2021: 2927 Personen), die eine Kollektivdosis von 1449 Pers.-mSv akkumulierten. Die Kollektivdosis lag damit in einem hohen Bereich. Die Aufteilung der Kollektivdosis zwischen Leistungsbetrieb und Revisionsstillstand stellte sich folgendermassen dar:

KKL	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
Revisionsstillstand	982
Leistungsbetrieb	467
Gesamte Jahreskollektivdosis	1449

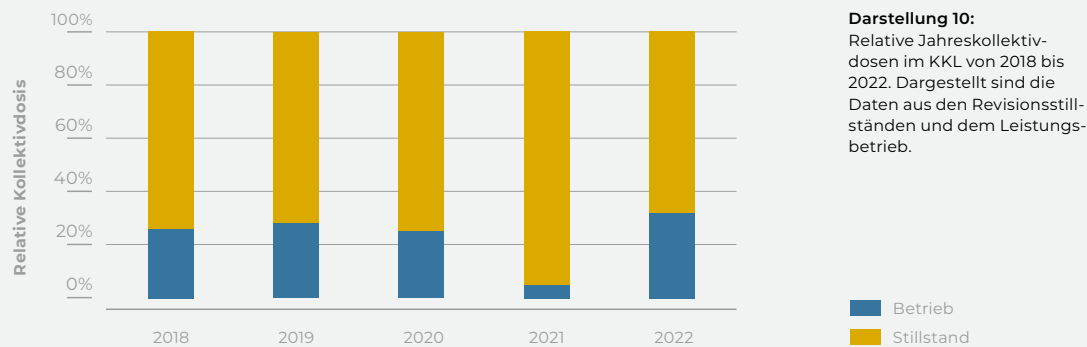
Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2022 betrug 9,2 mSv. Dieser Wert lag unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv und auch unterhalb des Vorjahreswertes (14,4 mSv).

Es wurden während der ganzen Berichtsperiode keine Kontaminationen festgestellt, welche nicht

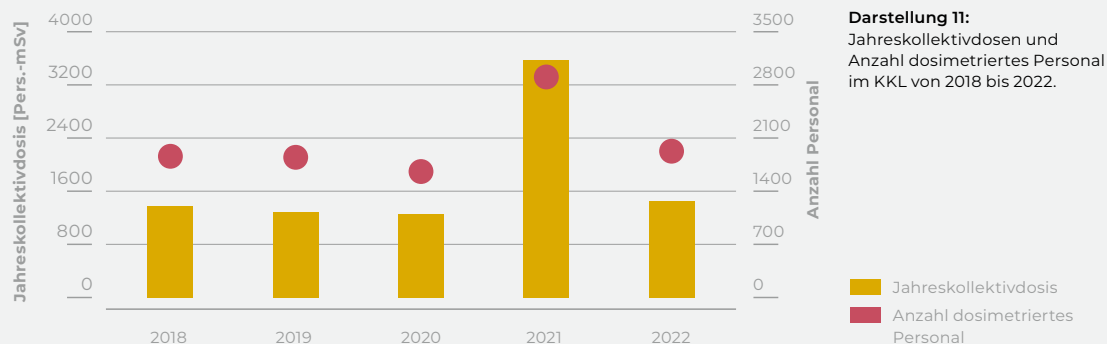
Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im KKL von 2018 bis 2022



Kollektivdosisverteilung zwischen Betrieb und Stillstand des KKL von 2018 bis 2022



Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des KKL von 2018 bis 2022



mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten. Im Jahr 2022 hat das KKL an 1819 Personen (420 Eigen- und 1399 Fremdpersonal) Triagemessungen durchgeführt und keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle detektiert.

Folgende Anzahl Personen wurden von der anerkannten Personendosimetriestelle des KKL überwacht:

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
2000	2000	119

Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörperzähler	Schilddrüse
1867	1867

Bewertung der Strahlenexposition

Das ENSI erachtet die vom KKL umgesetzten Strahlenschutzmassnahmen als vorgabenkonform und sicherheitsgerichtet. Die im KKL akkumulierten Kollektiv- und Individualdosen waren in Anbetracht des Arbeitsumfanges sowie der radiologischen Situation in der kontrollierten Zone gerechtfertigt.

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

Der Quotient aus Dosis und erzeugter elektrischer Energie betrug im KKL 0,142 Pers.-mSv pro $\text{GWh}_{(e)}$ (Vorjahr: 0,710 Pers.-mSv/ $\text{GWh}_{(e)}$).

Strahlenschutzinstrumentierung

Das ENSI überprüfte die Strahlenschutzinstrumentierung im Rahmen einer Inspektion. Dabei vergewisserte sich das ENSI anhand der Qualitätsmanagement-Dokumentation sowie durch Vor-Ort-Kontrollen stichprobenweise, dass das Personal die periodischen Prüfungen der Messgeräte vorschriftsmässig durchführte und dass die Messgeräte bis auf einen Triage-Inkorporationsmonitor für Eingangsmessungen auf Ebene 13,5 Meter einwandfrei funktionierten. Obwohl die Triagemessung vor dem Ersteintritt in die Zone

keine grundsätzliche Relevanz für die Sicherheit des Personals darstellt, veranlasste das ENSI die Ausserbetriebnahme des Monitors, bis die Ursache für die fehlerhafte Schwellwertüberprüfung geklärt und der Fehler behoben war.

In einer weiteren 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. 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 durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Iodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKL.
- Gegen Ende 2022 fand die 68. Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie statt. Dabei wurden neben der Referenzbestrahlung mit ^{137}Cs zusätzlich auch Bestrahlungen mit Röntgenstrahlung durchgeführt. Das KKL erfüllte bis auf eine Ausnahme die Anforderungen der Dosimetrieverordnung. Für niederenergetische Röntgenstrahlung lagen die Resultate geringfügig unter der geforderten Bandbreite. Da in einem KKW die Dosisbeiträge resultierend aus der Röntgenstrahlung nicht signifikant sind, tolerierte das ENSI im Einklang mit der Dosimetrieverordnung diese Abweichung.

Im Berichtsjahr erteilte das ENSI die Konzeptfreigabe für die Erneuerung des Messsystems zur Überwachung der Ortsdosisleistungen im KKL.

2.4 Kernkraftwerk Mühleberg

Betrieb am Netz [%]

—

Dauer der Stillstände [d]

dauerhaft

Kollektivdosis im Leistungsbetrieb [Pers.-mSv]

—

Höchste Individualdosis [mSv]

5,7

Erzeugter Strom [GWh]

—

Kollektivdosis [Pers.-mSv]

290

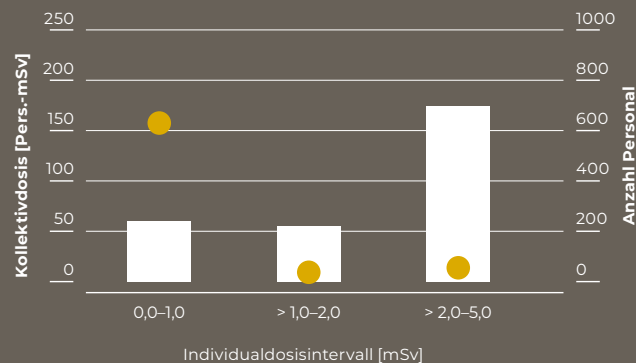
Kollektivdosis während der Stillstände [Pers.-mSv]

290

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

0,002

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal im KKM



■ Kollektivdosis ■ Anzahl dosimetriertes Personal

Zusammenfassung

Im Jahr 2022 trieb das KKM den Rückbau weiter voran. Es fanden umfangreiche Rückbautätigkeiten statt, wie beispielsweise am Torus im Untergeschoss des Reaktorgebäudes oder an den Strukturen und Komponenten der Kondensation im Maschinenhaus. Des Weiteren wurde mit dem Abtransport der Brennelemente begonnen. Ferner hat das KKM im Berichtsjahr den Antrag auf Freigabe für die Stilllegungsphase 2 beim ENSI eingereicht. Die akkumulierten Kollektiv- und Individualdosen lagen im Erwartungsbereich der Planung. Die gesetzlichen Anforderungen des Strahlenschutzes wurden grundsätzlich erfüllt.

Ein KKW in der Stilllegung

Im Jahr 2022 begann der Abtransport der Brennelemente mit dem Ziel die Kernbrennstofffreiheit zu erreichen und damit eine zentrale Voraussetzung für den Übergang in die Stilllegungsphase 2 zu schaffen. Im Rahmen der Transportkampagnen wurden bis Ende 2022 ca. 50 % der Brennelemente ins ZZL erfolgreich abgeführt. Während dabei aus strahlenschutztechnischen Gründen sowie aus Gründen des Rückwirkungsschutzes keine anderen Arbeiten in direktem Umfeld des Brennelementelagerbeckens stattfinden, gehen die Rückbautätigkeiten in den anderen Anlagenbereichen weiter. Die dabei rückgebauten Komponenten und Strukturen gilt es in handhabbare Größen zu zerlegen und zu dekontaminieren. Dazu verfügt das KKM über Materialbehandlungseinrichtungen. Wie bei allen Tätigkeiten trägt das KKM dabei die Verantwortung, das radiologische Risiko für das KKM-Personal und die geplante Strahlenexposition durch Optimierung soweit möglich und vernünftig zu reduzieren. Zusätzlich müssen auch die Anforderungen des konventionellen Arbeitsschutzes berücksichtigt werden. Dies insbesondere im Hinblick auf die Befunde von Bauschadstoffen, mit denen bei einem Rückbau solch alter Anlagen zu rechnen ist.

Das Verladen und der Transport der Brennelemente geschieht nach bewährten Prozessen aus dem Leistungsbetrieb. Dennoch ist der Besonderheit des Rückwirkungsschutzes auf relevante

Systeme sowie der Sicherheit bei den anderen Rückbautätigkeiten Rechnung zu tragen. So unterbrach das KKM während der innerbetrieblichen Transporte der Brennelement-Transportbehälter allfällige Arbeiten entlang der Transportroute, ebenso waren die Arbeiten auf der Ebene der Reaktorgrube und des Brennelementlagerbeckens während der Beladung und Abfertigung der Transportbehälter unterbrochen. Die Zerlegung der Kerneinbauten auf +29 m im Reaktorgebäude wurden ebenfalls im Hinblick auf die Abtransporte der Brennelemente komplett sistiert. Die Kollektivdosis für die Abtransportkampagnen im Jahr 2022 belief sich auf ca. 48 Pers.-mSv. Das ENSI konnte sich im Rahmen von Inspektionen vor und während des Abtransports unter anderem von den radiologischen Schutzmassnahmen und den strahlenschutztechnischen Optimierungen überzeugen.

Die im Jahr 2021 in Betrieb genommenen Materialbehandlungseinrichtungen im Maschinenhaus stellen für die Stilllegung ein wichtiges Arbeitsmittel dar. Sie erlauben mittels thermischer und abrasiver Verfahren die beim Rückbau anfallenden Bauteile und Komponenten weiter zu zerlegen und zu dekontaminieren. Ihre strahlenschutzkonforme Auslegung ermöglicht die Bearbeitung hoch kontaminierter und aktivierter Materialien. Die Arbeiten finden in Caissons statt, in denen über die gefilterte und überwachte Abluft ein Unterdruck aufrechterhalten wird. Durch



Bild 22: Blick durch den teilzerlegten Torus. Im Hintergrund ist das Gerüst mit Kunststofffolien zu sehen, die den eigentlichen Zerlegebereich unter anderem aus strahlenschutztechnischen Gründen vom umgebenden Raum abtrennen.

den Einschluss und den Unterdruck wird einer Ausbreitung radioaktiver Stoffe entgegengewirkt.

Weitere dedizierte Inspektionen galten den grossen Teilprojekten wie der Demontage des Torus im Untergeschoss des Reaktorgebäudes oder den Strukturen und Komponenten der Kondensation unterhalb der ehemaligen Turbinen. Die strahlenschutztechnischen Herausforderungen bestanden hierbei im Rückbau grosser kontaminierter Strukturen und komplexer Systeme unter teilweise beengten Verhältnissen. Als Optimierungsmassnahmen wurden Bleiabschirmungen aufgebaut, Leitungen gespült, um deren Kontaminationsgrad zu reduzieren, oder Nacharbeiten in Arbeitsbereiche mit geringerer Strahlenbelastung verlegt.

Besonderes Augenmerk galt ferner den bauschadstoffbelasteten Anstrichen und Asbestbefunden in Dämmungen und Dichtungen. Insbesondere der Bereich der Kondensation wurde einer umfangreichen Asbestsanierung unterzogen. In diesem Fall bedarf es radiologischen und konventionellen Schutzmassnahmen. Es sind beispielsweise die Unterdruckhaltung im betroffenen Bereich und die Vollschutzausrüstung der darin arbeitenden Personen notwendig. Für die Arbeiten am Torus belief sich die Kollektivdosis im Jahr 2022 auf ca. 16 Pers.-mSv, für diejenigen in der Kondensation auf ca. 39 Pers.-mSv.

Im Berichtsjahr überprüfte das ENSI ferner die radiologische Auslegung und Überwachung der Komponenten von Fort- und Abluftsträngen des Lüftungssystems. Dieses Aufsichtsziel wurde übergeordnet für alle KKW definiert und durch-



Bild 23:
Innerbetrieblicher Transport des Behälters mit den Brennelementen während einer Abtransportkampagne.

geführt. Wie bei den anderen Werken konnte für das KKM die Regelkonformität bestätigt werden.

Die Aufsichtstätigkeiten des ENSI im Berichtsjahr umfassten insbesondere auch den Beginn der Prüfung der umfangreichen Antragsunterlagen für die nächste Stilllegungsphase, die Stilllegungsphase 2. Deren Beginn ist gegeben durch die Kernbrennstofffreiheit und endet mit der Aufhebung der kontrollierten Zonen durch die Freimessung. Sie ist geprägt durch den Rückbau des Reaktordruckbehälters, dessen Einbauten sowie ihn umgebende Strukturen und Systeme wie beispielsweise die Frischdampfleitungen oder der biologische Schild. Hierbei prüft das ENSI unter anderem die Konformität der Konzepte mit der

Unter dem Begriff «Befreiung von Materialien» versteht man die Befreiung von der Bewilligungspflicht und der Aufsicht von bestimmten, vor allem beim Rückbau einer kerntechnischen oder radiologischen Anlage anfallende Rückstände wie Bauschutt, Metallteile etc., wenn sie nachweislich so wenig radioaktive Aktivität aufweisen, dass die Kriterien für die Befreiung eingehalten werden. Der Nachweis wird in der Regel mittels eines messtechnischen Verfahrens erbracht («Freimessverfahren»). Der Entscheid beziehungsweise die Befreiung liegt in der Verantwortung des Bewilligungsinhabers. Bei grösseren Mengen (mehr als 1 m³ oder mehr als 1 Tonne) ist die Befreiung von Materialien meldepflichtig: die zuständige Aufsichtsbehörde überprüft die Meldung und kann stichprobenartige Kontrollmessungen durchführen.



Bild 24: Zugang zum thermischen Zerlegecaisson. In der Schleuse zum eigentlichen Arbeitsbereich zieht ein Mitarbeiter des KKM die erforderliche Schutzausrüstung an.

Strahlenschutz- sowie Kernenergiegesetzgebung und der Stilllegungsverfügung.

Dosimetrie

Während des Berichtsjahres kamen im KKM 727 beruflich strahlenexponierte Personen in der kontrollierten Zone oder bei Transporten zum Einsatz. Die Kollektivdosis während der Berichtsperiode betrug gesamthaft 290 Pers.-mSv. Im Vergleich mit dem Planwert von 350 Pers.-mSv, fällt die demnach akkumulierte Kollektivdosis von 290 Pers.-mSv geringer aus. Dies spiegelt Verzögerungen von Arbeiten bedingt durch Befunde von Bauschadstoffen wider. Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2022 von 5,7 mSv liegt deutlich unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv.

Es wurden während der ganzen Berichtsperiode keine Kontaminationen festgestellt, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten (ein zweites Waschen der Hände oder der Wechsel der eigens für die kontrollierte Zone vorgesehenen Kleidung sind ausreichend). 2022 hat das KKM an 705 Personen (282 Eigen- und 423 Fremdpersonal) Triagemessungen durchgeführt. Das KKM hatte dabei keine Inkorporationen oberhalb der Triage-schwelle detektiert.

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

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
785	785	2

Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörperzähler	Schilddrüse
705	705

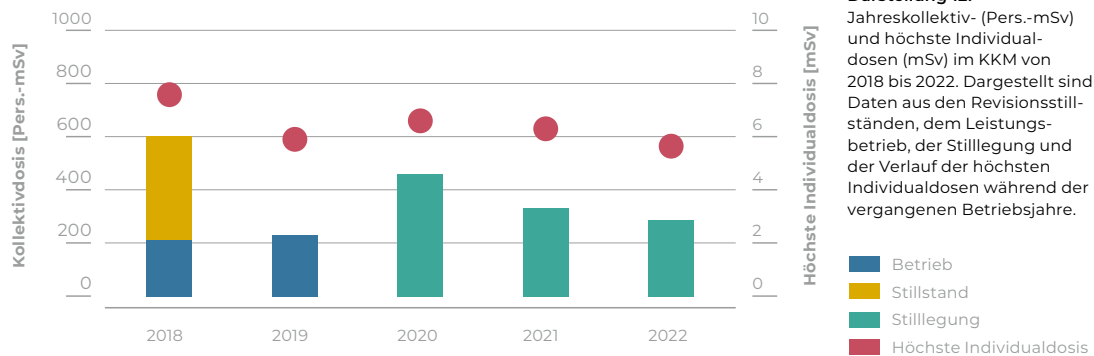
Bewertung der Strahlenexposition

Das ENSI konnte bei seinen Inspektionen sowie bei Fachgesprächen feststellen, dass im KKM grundsätzlich ein gesetzeskonformer Strahlenschutz betrieben wird.

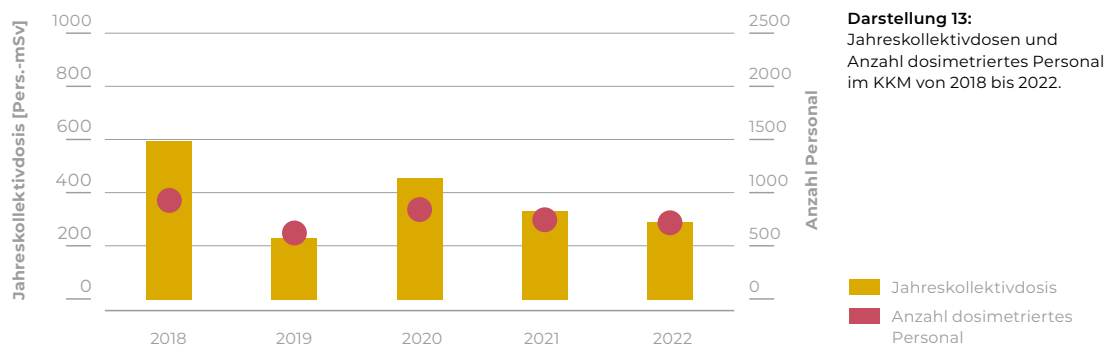
Strahlenschutzinstrumentierung

Das ENSI überprüfte die Strahlenschutzinstrumentierung im Rahmen von zwei Inspektionen. Dabei vergewisserte sich das ENSI anhand der Qualitätsmanagement-Dokumentation sowie durch Vor-Ort-Kontrollen stichprobenweise, dass das Personal die periodischen Prüfungen der Messgeräte vorschriftsmässig durchführte und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im KKM von 2018 bis 2022



Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des KKM von 2018 bis 2022



Verbesserungspotential identifizierte das ENSI bei den Prüfvorschriften der wiederkehrenden Prüfungen von mobilen Messsystemen zur Überwachung der Raumluft.

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

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

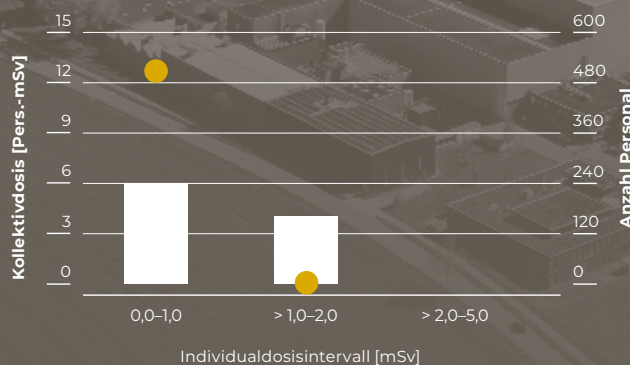
- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem Bundesamt für Gesundheit durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Iodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKM.
- Gegen Ende 2022 fand die 68. Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie statt. Dabei wurden neben der Referenzbestrahlung mit ^{137}Cs zusätzlich auch Bestrahlungen mit Röntgenstrahlung durchgeführt. Das KKM erfüllte bis auf eine Ausnahme die Anforderungen der Dosimetrieverordnung. Für niederenergetische Röntgenstrahlung lagen die Resultate über der geforderten Bandbreite. Da in einem KKW die Dosisbeiträge resultierend aus der Röntgenstrahlung nicht signifikant sind, tolerierte das ENSI im Einklang mit der Dosimetrieverordnung diese Abweichung.



3. Weitere Kernanlagen

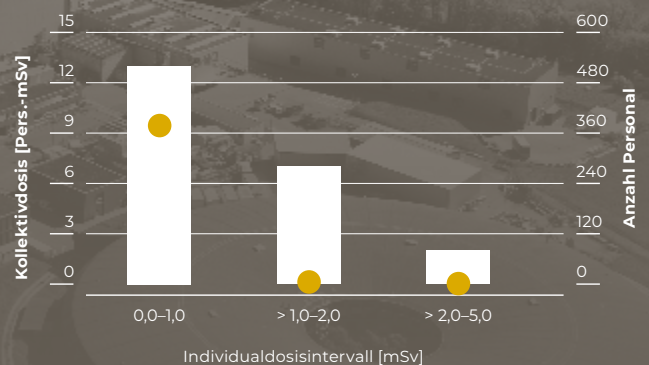
Paul Scherrer Institut
Zentrales Zwischenlager Würenlingen
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

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 erfolgreich durchgeführt. Dabei wurde eine höhere Kollektivdosis als in den Vorjahren erfasst, welche auf geplante Revisionsarbeiten zurückzuführen war. Diese ist aber noch immer in einem niedrigen Bereich. Für das Hotlabor und die anderen Kernanlagen waren zwei strahlenschutzrelevante Vorkommnisse zu verzeichnen.

ZZL: Im ZZL wurden die Planungsziele für die Kollektivdosis deutlich unterschritten. Aufgrund des Wegfalls oder der Reduktion von dosisrelevanten Arbeiten und dank Dosisoptimierungen fiel die Kollektivdosis geringer als ursprünglich geplant aus. 2022 wurden erfolgreich zwei Verbrennungskampagnen durchgeführt. Das ENSI bewertet den im ZZL praktizierten Strahlenschutz als zielführend.

EPFL: Der CROCUS-Versuchsreaktor der EPFL wird hauptsächlich für den Unterricht der Reaktorphysik, experimenteller Forschung und zur Demonstration von systemtechnischen Prozessen verwendet. Die Kollektivdosis für das Betriebspersonal war wie in den Vorjahren tief.

3.1 Paul Scherrer Institut

Allgemein

Das PSI führte im Berichtsjahr die notwendigen strahlenschutzrelevanten Arbeiten im Rahmen des Betriebs beziehungsweise der Stilllegung seiner Kernanlagen und auch in Bezug auf die Abfallbehandlung durch. Für das Hotlabor und die anderen Kernanlagen wurden zwei strahlenschutzrelevante Vorkommnisse verzeichnet.

Personenkontamination bei Arbeiten an einer Handschuhbox

Ein Mitarbeiter des Hotlabors führte am 3. März 2022 Montagearbeiten in einer Handschuhbox durch. Bei der obligatorischen Kontaminationsmessung des persönlichen Schutzhandschuhs wurde ein erhöhter Wert festgestellt. Daraufhin wurde der Schutzhandschuh entfernt und erneut eine Kontamination an der rechten Hand des Operators gemessen. Die Kontamination von 33 CS ($^{60}\text{Co}/^{137}\text{Cs}$) konnte mit herkömmlichen Mitteln nicht entfernt werden. Als Ursache für die Kontamination stellte sich ein defekter Handschuh heraus. Der Handschuh wurde vermutlich an einer scharfen Lochblechante beschädigt. Bei näherer Betrachtung stellte der PSI-Strahlenschutz am Zeigefinger des Mitarbeiters eine kleine Schnittverletzung fest.

Zwecks Inkorporationsüberwachung erfolgten in den Folgetagen Urinkontrollen und Kontaminationsmessungen des Mitarbeiters. Die letzte Kontaminationsmessung am 16. März 2022 direkt auf der inzwischen verheilten Wunde ergab eine Kontamination von 0,2 CS. Die aus den Urinproben ermittelte E_{50} -Dosis wurde auf 52 Mikrosievert geschätzt.

Ausfall der Zuluft im Gebäude ODRA (DIORIT)

Die Zuluftanlage der Anlage DIORIT fiel am 24. November 2022 infolge eines Ventilatorlagerschadens aus. Dabei wurde die Zuluftanlage automatisch in den Bypassbetrieb versetzt und die Fortluftanlage lief auf reduzierter Stufe weiter. Dadurch fiel der Unterdruck (Normalbetrieb –15 Pa) innerhalb von ca. 45 Minuten über den Schwellenwert von –5 Pa und stabilisierte sich schliesslich bei ca. –1,5 Pa. Die Arbeiten in der kontrollierten Zone

wurden eingestellt und der Zugang gesperrt. Innerhalb von fünf Tagen konnte der Schaden behoben und die Anlage wieder in den Normalbetrieb überführt werden.

Die Sicherheitsbarrieren waren nicht beeinträchtigt und es wurden keine Schutzziele verletzt. Das Ereignis hatte keine Freisetzungen und somit auch keine radiologischen Folgen für Mensch und Umwelt.

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

Jahresverlauf

Unter anderem wurden im Berichtsjahr folgende strahlenschutzrelevante Arbeiten durchgeführt:

- Bei der ehemaligen Versuchsverbrennungsanlage baute das PSI die kontaminierte und asbesthaltige Ausmauerung am Feinfilter aus und betonerte sie in Behälter ein. Das Stahlgehäuse des Feinfilters wurde vor dem Abbruch von Kontamination und Asbest befreit. Die Arbeiten zur Konditionierung der Rauchgasleitungen wurden fortgesetzt.
- Fünf Abfallcontainer wurden in der Anlage DIORIT vergossen und verdeckelt.
- Das Labor für Endlagersicherheit führte verschiedene Produktkontrollen an aktiven Proben aus aktuellen Verfestigungskampagnen durch.
- Aus der Anlage PROTEUS wurden Kleinmaterialien entfernt und befreit.
- Im SAPHIR wurden Teile der Heizung, Lüftung und der Krananlagen abgebaut und werden dem Befreiungsprozess zugeführt.
- Das Pilotprojekt zur Freimessung der Räume bei der Anlage SAPHIR wurde fortgesetzt.

Neben den Kernanlagen betreibt das PSI weitere Einrichtungen im Bereich Medizin und Forschung, welche im Aufsichtsbereich des Bundesamtes für Gesundheit liegen.



Bild 25:
Radioaktiv kontaminierte und asbesthaltige Rauchgasleitungen in der Versuchsverbrennungsanlage.

Dosimetrie

In der Berichtsperiode kamen am PSI im Aufsichtsbereich des ENSI 515 beruflich strahlenexponierte Personen in den kontrollierten Zonen oder bei Aussenarbeiten zum Einsatz. Die Kollektivdosis während des gesamten Berichtszeitraumes betrug 10 Pers.-mSv.

Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2022 betrug 1,5 mSv und lag damit deutlich unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv.

Während des ganzen Jahres trat nur eine Kontamination auf, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnte (siehe: Personenkontamination bei Arbeiten an einer Handschuhbox). Während des Berichtszeitraumes hat das PSI an 130 Personen (Eigenpersonal: 121, Fremdpersonal: 9) Triagemessungen durchgeführt. Dabei wurde eine Inkorporation oberhalb der Triageschwelle detektiert. Bei einer Person wurde eine Inkorporationsmessung durchgeführt. Die effektive Folgedosis E_{50} lag unterhalb von 1 mSv (siehe:

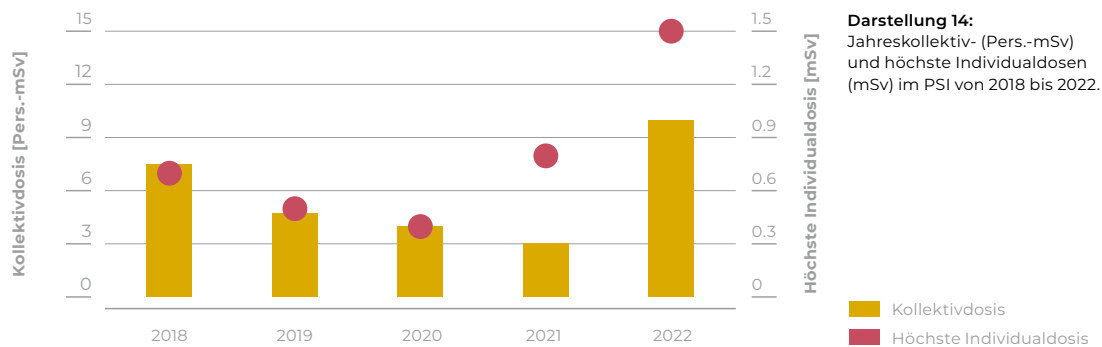
Personenkontamination bei Arbeiten an einer Handschuhbox).

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

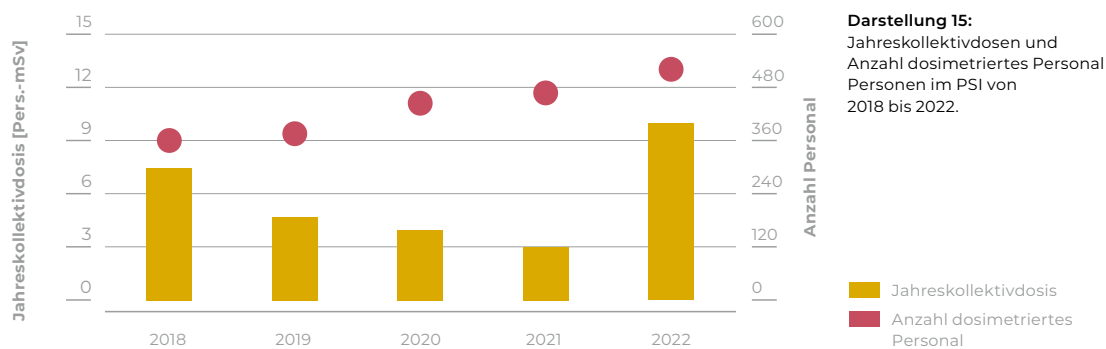
Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
824	824	43

Überwachung der Inkorporationen		
Ganzkörperzähler	Schilddrüse	Urin
–	–	1

Jahreskollektiv- und höchste Individualdosis im PSI von 2018 bis 2022



Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des PSI von 2018 bis 2022



Strahlenschutzinstrumentierung

Das ENSI überprüfte die Strahlenschutzinstrumentierung im Rahmen einer Inspektion. Dabei vergewisserte sich das ENSI anhand der Qualitätsmanagement-Dokumentation sowie durch Vor-Ort-Kontrollen stichprobenweise, dass das Personal die periodischen Prüfungen der Messgeräte vorschriftsmässig durchführte und die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

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 durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Iodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des PSI.

- Gegen Ende 2022 fand die 68. Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie statt. Dabei wurden neben der Referenzbestrahlung mit ^{137}Cs zusätzlich auch Bestrahlungen mit Röntgenstrahlung durchgeführt. Das PSI nahm mit DIS- und RPL-Dosimetern an der Vergleichsmessung teil. Beide Dosimetertypen erfüllten die Anforderungen der Dosimetrieverordnung für alle Strahlenqualitäten. Dies gilt auch für die Extremitätendosimeter (Fingerringe).
- Bei der 69. Vergleichsmessung für interne Personendosimetrie, welche im Jahr 2022 für Tritium durchgeführt wurde, erfüllte das PSI die Anforderungen ebenfalls.

Im Berichtszeitraum wurden diverse Freigaben im Bereich der Strahlenmesstechnik erstellt. Dazu gehören insbesondere die Messsysteme zur Überwachung der Raumluft in zwei Labors des Hotlabors und das Messsystem zur Überwachung der Ortsdosisleistung im neuen Bundeszwischenlager (BZL 2).

3.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen

Allgemein

Im Berichtsjahr ereigneten sich im ZZL keine strahlenschutzrelevanten Ereignisse. 2022 führte das ZZL erfolgreich zwei Kampagnen zur Abfallbehandlung mittels der Plasma-Verbrennungsanlage durch. In der Verbrennungskampagne 28-2022-F und 29-2022-H wurden innert 73 beziehungsweise 71 Tagen insgesamt 1248 Abfallfässer produziert beziehungsweise ungefähr 219 Tonnen Abfall verarbeitet (611 plus 637 davon 33 plus 29 mit inaktivem Glas und 580 plus 608 mit aktivem Abfall inklusive zwei mit flüssigem Abfall). Die Kampagnen ergaben 277 endlagerfähige Kokillen. Durch den Wegfall oder die Reduktion von Arbeiten akkumulierte das ZZL-Personal eine geringere Kollektivdosis als geplant.

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

- Behälterempfang
- Verbrennungsbetrieb (Plasmakampagnen)
- Instandhaltung Gebäude V
- Arbeiten am Abhitzekessel Gebäude V
- Ofenausmauerungsarbeiten
- Arbeiten im Gebäude H und an Lagerbehältern
- Fasshandhabung Gebäude S
- Rückbau Neukon
- Instandhaltung Gebäude H

Dosimetrie

In der Berichtsperiode kamen im ZZL 387 beruflich strahlenexponierte Personen in der kontrollierten Zone oder bei Ausseneinsätzen zum Einsatz. Die Kollektivdosis während des gesamten Berichtszeitraumes betrug 22,4 Pers.-mSv und lag ungefähr 3% unterhalb des Planwertes von knapp 23,2 Pers.-mSv. Der Planwert selbst wurde bereits aufgrund von Erkenntnissen bei den Jobdosen wie der Reduktion des Planwertes für den Verbrennungsbetrieb, der Überschätzung der Aufenthaltszeit bei der Instandhaltung des Gebäudes H oder dem Wegfallen von Arbeiten wie die Absage von Transporten auf Ende des zweiten Quartals des Berichtsjahres von 30,2 Pers.-mSv auf den aktuellen Wert angepasst. Ein Grund für die geringe Unterschreitung der angepassten

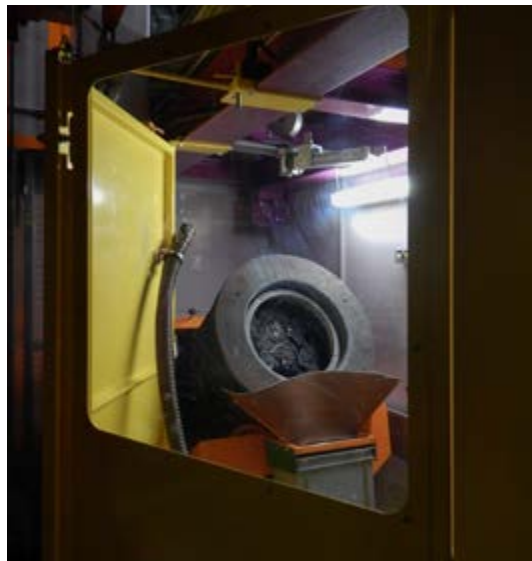


Bild 26:
Abspitzplatz
zur Nachbe-
arbeitung der
Oberfläche der
Schlacke von
Kokillen in der
Ofenhalle.

Plankollektivdosis war das Abrunden, gemäss Art. 32 Abs. 2 der Dosimetrieverordnung, von vielen kleinen Dosen unterhalb von 0,075 mSv.

Die höchste Individualdosis im Jahr 2022 betrug 2,3 mSv und lag damit deutlich unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv und dem ZZL-internen Zielwert für die Individualdosis von 5 mSv pro Jahr.

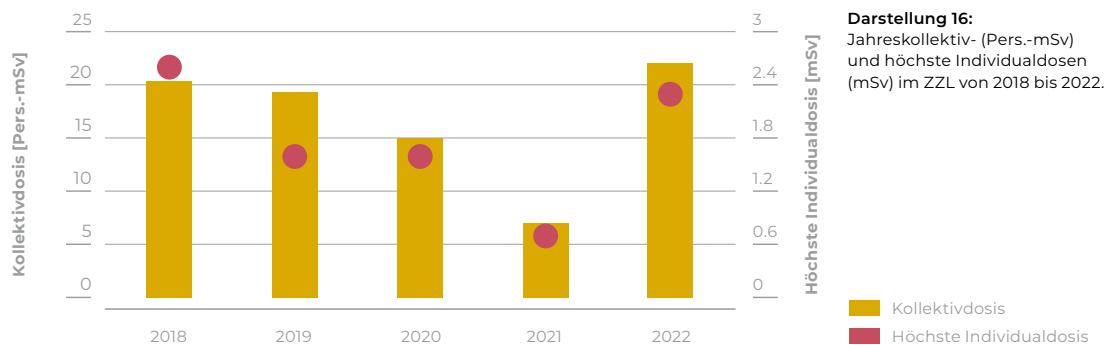
Es wurden während des ganzen Jahres keine Kontaminationen, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, festgestellt. Während des Berichtsjahres hat das ZZL 371 Triagemessungen (86 beim Eigenpersonal und 285 beim Fremdpersonal) durchgeführt. Dabei wurden keine Inkorporationen oberhalb der Triage-schwelle detektiert.

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

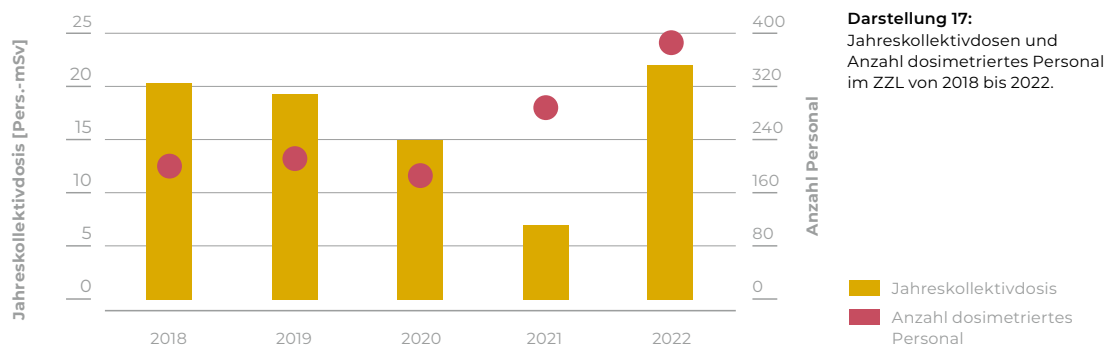
Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
455	455	–

Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörperzähler	Schilddrüse
–	–

Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im ZZL von 2018 bis 2022



Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des ZZL von 2018 bis 2022



Bewertung der Strahlenexposition

Die Tätigkeiten in allen Anlagen des ZZL wurden unter Einhaltung der gesetzlichen und internen Strahlenschutzvorgaben durchgeführt. Die Kollektivdosis war 2022 vergleichbar mit denjenigen aus den Vorjahren und entsprach den durchgeführten Arbeiten. Das ENSI stellte fest, dass im ZZL ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz angewendet wird und dadurch die Strahlenexposition geringgehalten wird.

Strahlenschutzinstrumentierung

Das ENSI überprüfte die Strahlenschutzinstrumentierung im Rahmen einer Inspektion. Dabei vergewisserte sich das ENSI anhand der Qualitätsmanagement-Dokumentation sowie durch Vor-Ort-Kontrollen stichprobenweise, dass das Personal die periodischen Prüfungen der Messgeräte vorschriftsmässig durchführte und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten. Verbesserungspotential identifizierte das ENSI bei

den Prüfvorschriften des Triage-Inkorporationsmonitors.

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 Probenentnahme, über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Quartals- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar. Zusätzlich zu den ENSI-Inspektionen wurden bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen nationale Labors beziehungsweise Messstellen teilnehmen, überprüft.

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

3.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Allgemein

Die Kernanlage der EPFL umfasst den Forschungsreaktor CROCUS, das Neutronenexperiment CARROUSEL, die Neutronenquellenkavität LOTUS und die angegliederten Labors. Diese Anlagen sind dem Laboratoire de physique des Réacteurs et de comportement des Systèmes (LRS) zugeteilt, das dem Institut de Physique (IPHYS) angehört. Im Jahr 2022 stand der CROCUS-Reaktor Ingenieur- und Physikstudierenden der EPFL und Studierenden des Swiss Nuclear Engineering Masterkurses der EPFL und der Eidgenössisch Technischen Hochschule Zürich während 281 Stunden bei kleiner Leistung (bis 50 W) für Ausbildungs- und Forschungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 308 Wh thermische Energie erzeugt. Im Vergleich zum Vorjahr bedeutet dies eine Reduktion der Betriebsdauer von 29% und eine Reduktion der erzeugten Energie von 17%. Gründe dafür sind das SAFFRON-Programm zur dreidimensionalen (3D) Kartierung des kompletten Kerns des CROCUS-Reaktors, welches die EPFL im ersten Halbjahr mit geringer Leistung fortsetzte, und die Teilmodernisierung der Systeme des Funktionspfades.

Im Berichtsjahr ereigneten sich am Forschungsreaktor CROCUS keine strahlenschutzrelevanten Ereignisse.

Dosimetrie

Die 15 beruflich strahlenexponierten Personen an der EPFL akkumulierten im Berichtsjahr eine Kollektivdosis von < 1 Pers.-mSv.

Bewertung der Strahlenexposition

Im Berichtsjahr 2022 stellte das ENSI beim Personal eine Reduktion der auf einem sehr tiefen Niveau liegenden Kollektivdosis fest. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend. Im Rahmen einer Inspektion hat das ENSI die Befreiung von Abwasser aus der kontrollierten Zone überprüft. 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.

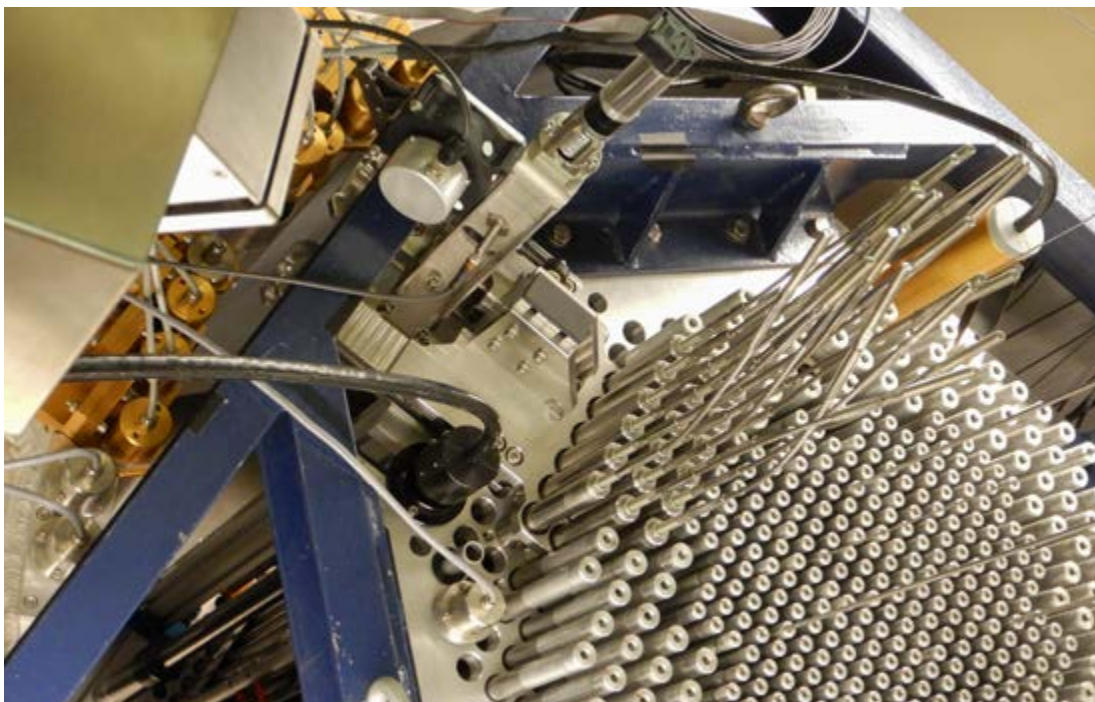


Bild 27:
Blick auf
den Reaktor-
kern des
CROCUS mit
den Brennstäben des
Experiments
«Colibri».



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 (KKW) (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

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

Die Sektion konnte einen zweiten In-Situ-Detektor fürs ENSI-Messlabor erfolgreich in Betrieb nehmen. Der neue Detektor soll in Zukunft bei der Umweltüberwachung und für Kontrollmessungen bei der Befreiung von Materialien und Räumen eingesetzt werden. Das akkreditierte Messlabor bestand im Berichtsjahr erfolgreich ein Überprüfungsaudit der Schweizerischen Akkreditierungsstelle SAS.

2022 inspizierte das ENSI als Schwerpunkt die Triage-Inkorporationsmonitore in allen Kernanlagen. Verbesserungsbedarf wurde bei Funktionsprüfvorschriften und bei der Höhe der Untergrundstrahlung bei einem Monitor vor dem Ersteintritt in die kontrollierte Zone identifiziert.

Auch bearbeitete das ENSI eine Vielzahl von Meldungen zur Befreiung von Materialien, die aus kontrollierten Zonen der konventionellen Entsor-

gung zugeführt werden. Der grösste Anteil des Materials kam aus der Stilllegung des KKW Mühleberg (KKM), gefolgt von den Rückbauprojekten des Paul Scherrer Instituts (PSI) und den Umbauarbeiten im Zentralen Zwischenlager (ZZL) der Zwiilag AG in Würenlingen.

Das Projekt zur Revision der Richtlinie ENSI-G14 «Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe und der Direktstrahlung aus Kernanlagen» wurde mit erneutem Fokus vorangetrieben: mit dem Ziel, die Richtlinie auf den Stand der Technik zu bringen, konnte das ENSI bis Ende 2022 einen ersten vollständigen Entwurf der überarbeiteten Richtlinie erstellen. Eine der wichtigsten Änderungen ist, dass gemäss dem aktuellen Stand des internationalen Regelwerks die Dosiswerte für repräsentative Personen und nicht mehr für die meistbetroffene Bevölkerungsgruppe ermittelt werden müssen.

Die Sektion betreibt das Messnetz MADUK. Die ENSI-Fachkräfte konnten das im Jahr 2018 lancierte Projekt zum Ersatz der 57 Messstationen in der Umgebung der KKW durch autarke, erdbebenfeste Messstationen, die über Mobilfunk oder Satellit die Messdaten an die Zentrale liefern können, im Jahr 2022 abschliessen.



Joachim Löhle



Bild 28:
Immissions-
messungen
des ENSI.

4. Grundlagen

«Emissions- und Immissionsüberwachung»

Radioaktive Stoffe geringer Aktivität dürfen gemäss Art. 112 der Strahlenschutzverordnung über die Abluft an die Atmosphäre beziehungsweise über das Abwasser an Oberflächengewässer abgegeben werden. Die Bewilligungsbehörde legt dabei für jede Abgabestelle die maximal zulässigen Abgaberaten 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 Abluftsystem 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, ermöglichen 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 StSV), das Teil des oben erwähnten anlagenspe-

zifischen 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 durchführt oder beauftragt hat, 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 Abluft lagen im Jahr 2022 für die vier Schweizer KKW Beznau (KKB), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) und Mühleberg (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 Millisievert (mSv) pro Jahr.

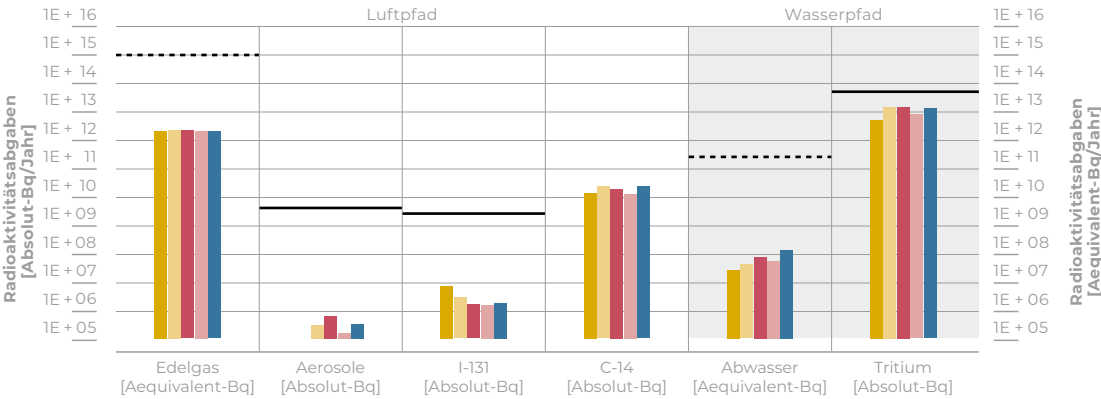
Die Abgaben von radioaktiven Stoffen mit der Abluft und dem Abwasser der schweizerischen KKW sind in der Darstellung 18 und A1 (Anhang) für die letzten fünf Jahre zusammen mit den entsprechenden Jahreslimiten dargestellt. Eine Aufschlüsselung der Abgaben der KKW nach Monat für die limitierten radioaktiven 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 2022. Die Abgaben des PSI und die daraus in gleicher Weise berechneten Dosiswerte sind in Tabelle A5 zusammengestellt. Eine nuklidspezifische Aufschlüsselung der Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser ist in Tabelle A6, mit der Abluft in den Tabellen A7 und A8 gegeben (alle Tabellen in Anhang). Darstellung 19 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.

Alle Kernanlagen haben die vorgeschriebenen Jahres- und Kurzzeitabgabelimiten eingehalten. Zur Überprüfung der Messverfahren der Kernanlagen hat das ENSI an 166 Proben eigene gammaspektrometrische Messungen durchgeführt. Dabei wurden Aerosol- und Iodfilter sowie Abwasserproben aus den Anlagen stichprobenweise analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Abgabereglemente einge-

halten 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 bei den Abgaben erkennbar. Solche Abgaben sind bei den Druckwasserreaktoren systembedingt erforderlich, um den operationellen Strahlenschutz während der Revision zu optimieren. Im Gegensatz zum KKG erfolgen die Tritiumabgaben im KKB über das ganze Jahr verteilt.

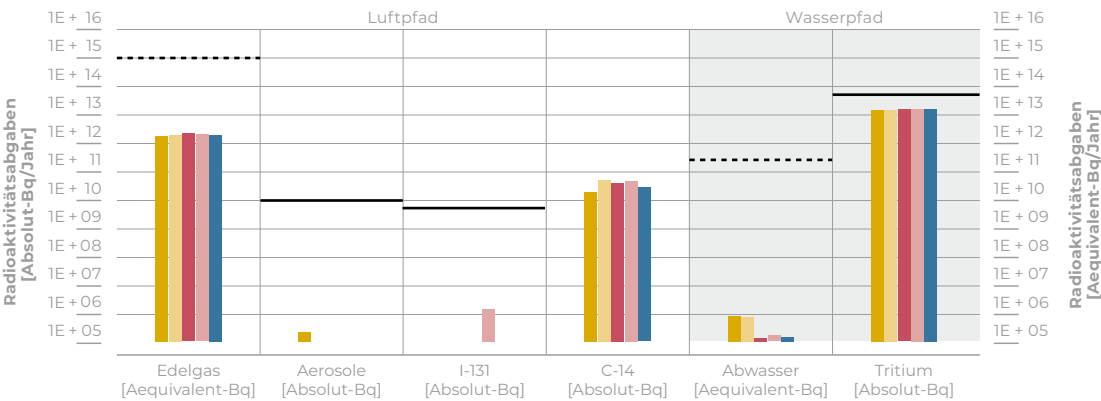
Alle Schweizer KKW haben auch 2022 die ^{14}C -Aktivität in der Abluft gemessen. Der Dosisbeitrag von ^{14}C wurde aus den Messwerten ermittelt. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die ^{14}C -Abgaben aus den schweizerischen KKW während deren Normalbetrieb über die Ingestion von Nahrungsmitteln 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 in unmittelbarer Nähe der Anlage beträgt unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren beim KKG weniger als 0,001 mSv, bei KKM und KKB etwa 0,002 mSv und beim KKL weniger als 0,005 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung betrugen somit im Jahr 2022 nur einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwerts. Das PSI ist aufgrund der Bewilligung für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung verpflichtet, sowohl für die einzelnen Anlagen als auch für die Gesamtanlage des PSI die aus den Abgaben resultierende Dosis in der Umgebung zu berechnen. Beim PSI errechnete das ENSI eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von etwa 0,008 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 zeigen, dass unter ungünstigen Annahmen die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung deutlich unterhalb des für das PSI bewilligten Anteils von 0,15 mSv pro Jahr am quellenbezogenen Dosisrichtwert für den gemeinsamen

KKB

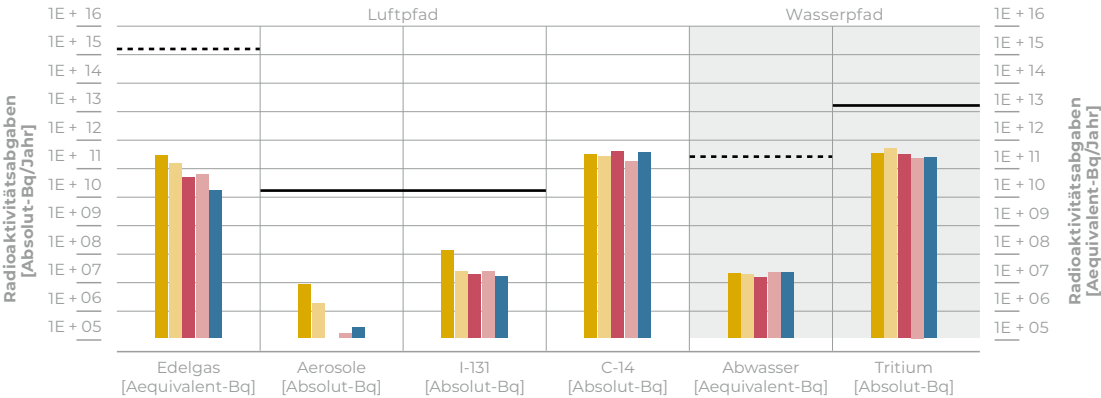


Darstellung 18: Abgaben der schweizerischen KKW an die Atmosphäre und mit dem Abwasser in den letzten fünf Jahren (2018 bis 2022) im Vergleich mit den Jahresabgabelimiten.

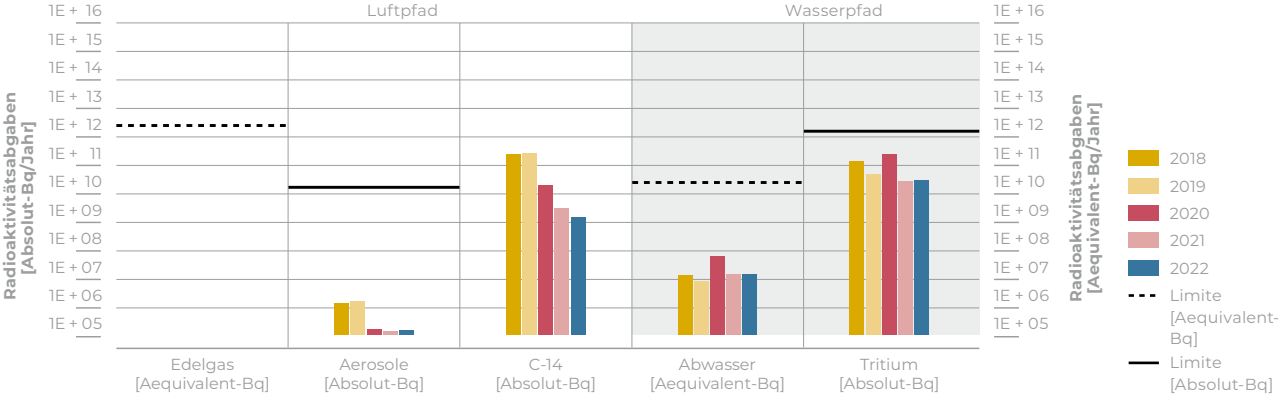
KKG



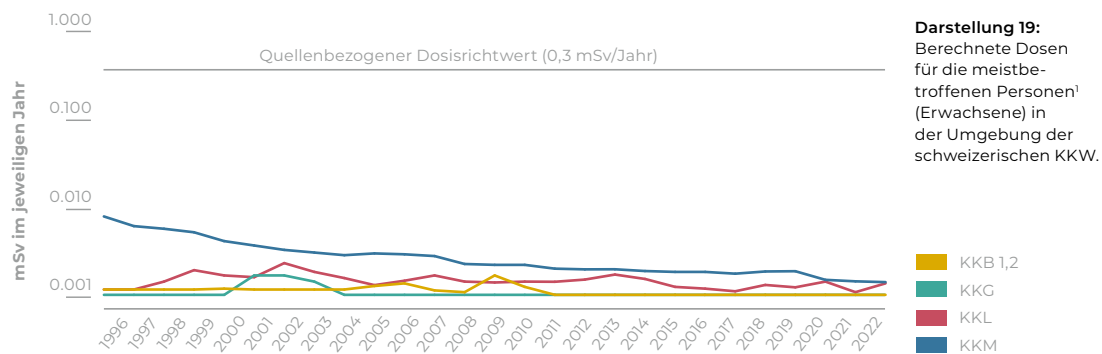
KKL



KKM



Berechnete Jahresdosen aus den erfolgten Emissionen



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

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

Die für das Jahr 2022 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 Auswertungen 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 Edelgasbilanzierung im KKB und im KKG basiert auf Beta-Totalmessungen. Für die Umrechnung in die für den Vergleich mit den Abgabelimiten notwendigen Edelgas-Abgabeäquivalente wurde in diesen Fällen ein konservatives Nuklidgemisch angesetzt. Das KKL und das KKM bilanzieren die Edelgase dagegen nuklidspezifisch mittels Gammaspektrometrie-Messungen. Die nuklidspezifischen Messungen liegen häufig unterhalb der Nachweisgrenze.

Für radioaktive Edalgase 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

Die Ortsdosis, respektive die Ortsdosisleistung durch externe Strahlung werden 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 überwacht. Zusätzlich dazu führt das ENSI vierteljährlich Dosisleistungsmessungen am Arealzaun sowie bei Bedarf spezielle Messkampagnen durch. In der Umgebung der Kernanlagen wurden dabei keine signifikanten Erhöhungen der Ortsdosis festgestellt, welche durch den Betrieb der Anlagen verursacht wurden.

Die Ortsdosisleistung ist im Nahbereich (beispielsweise am Arealzaun) des Siedewasserreaktors in Leibstadt durch Direkt- und Streustrahlung aus dem Maschinenhaus erhöht. Diese Strahlung resultiert aus dem radioaktiven Zerfall des kurzlebigen Stickstoffnuklids ^{16}N , welches im Reaktor produziert und bei Siedewasserreaktoren mit dem Dampf in die Turbine im Maschinenhaus getragen wird. Weiter können Abfalllager zu einer erhöhten Ortsdosis am Zaun beitragen. 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 resp. 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 Messungen 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 meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von etwa 0,02 mSv pro Woche. Die von 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 0,13 $\mu\text{Sv/h}$. Auf eine Woche hochgerechnet würde basierend auf dem maximalen Momentanwert am meist exponierten Ort eine Dosiserhöhung von etwa 0,008 mSv resultieren. Die vom KKM quartalsweise ausgewerteten Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun ergeben nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes eine maximale, auf eine Woche gemittelte Dosiserhöhung von etwa 0,011 mSv. Am Zaun des PSI ermittelte das ENSI bei seinen vierteljährlichen Messungen Ortsdosisleistungen zwischen 0,06 $\mu\text{Sv/h}$ (natürlicher Untergrund) und 0,09 $\mu\text{Sv/h}$. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes am meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von ca. 0,005 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 0,006 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 Strahlenschutzverordnung anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerksareals von 0,02 mSv pro Woche für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 0,1 mSv pro Woche für andere Bereiche.



Bild 29:
Messung am
Zaun des KKL.

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 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 gegenüber den natürlichen Dosiswerten ab einem vordefinierten Schwellenwert im ENSI automatisch gemeldet werden. Bei einem Störfall unterstützt MADUK die Notfallorganisation bei der Bestimmung des betroffenen Gebietes und bei der Einschätzung der möglichen Massnahmen. Zudem trägt MADUK mit einem schnellen Datenaustausch zur erfolgreichen Zusammenarbeit mit den involvierten Behörden bei.

Das MADUK-Netz zur Messung der Dosisleistungen besteht aus insgesamt 57 Immissionsmessstationen in der Umgebung der vier KKW. Die Messsonden des MADUK-Systems komplettieren und ergänzen das gesamtschweizerische Mess-

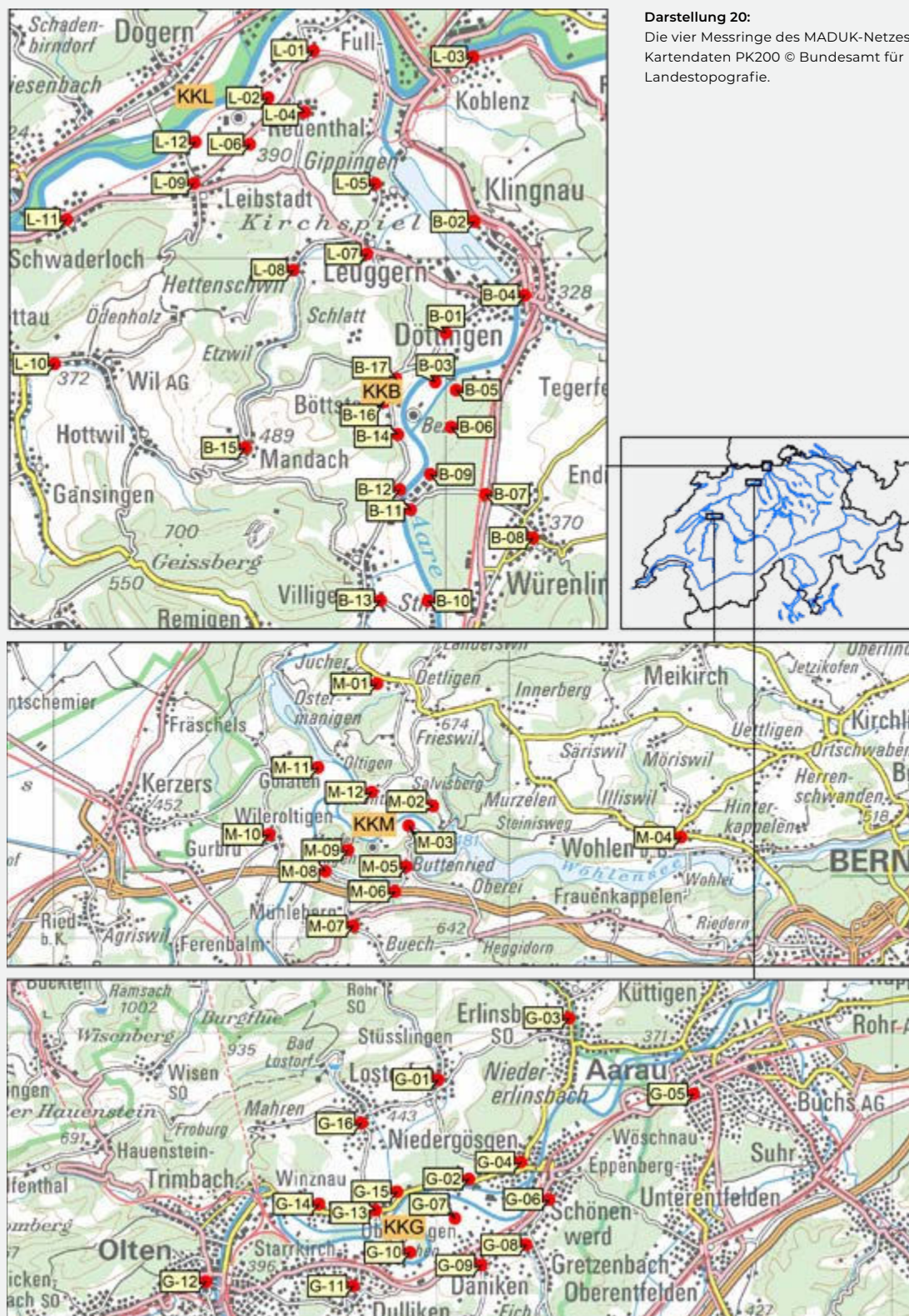
netz zur Radioaktivitätsüberwachung, das mit dem NADAM-Netz auf weitere 76 Messstationen zählen kann. Die Geiger-Müller-Zählrohre in den Sonden ermitteln die Gamma-Dosisleistung im Messbereich von 10 nSv/h (Niederdosiszählrohr) bis 10 Sv/h (Hochdosiszählrohr). Die MADUK-Zentrale des ENSI verarbeitet und archiviert die Daten, sorgt im Bedarfsfall für eine sofortige Alarmierung der ENSI-Notfallorganisation und sichert die Daten langfristig. Zudem erfolgt ein permanenter Datenaustausch mit externen Partnern wie die Nationale Alarmzentrale (NAZ) und die Kernreaktorfernüberwachung Baden-Württemberg. Die Darstellung 20 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 und in den KKW visualisiert werden. Auf der Internetseite



Bild 30:
MADUK-Mess-
sonde in der
Nähe des KKL.

MADUK Sondenstandorte



<https://www.ensi.ch/de/messwerte-radioaktivitat/> sind alle seit 1994 archivierten Tages-, Stunden- und Zehn-Minuten-Mittelwerte der MADUK-Stationen abrufbar.

6.2.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung

Im Jahr 2020 begann das ENSI mit dem Umbau der Stationen auf den neuen Sondentyp (Bild 31) und rüstete bereits 40 Stationen um. Bereits in den ersten Monaten mussten rund 20 Sonden mit defektem Hochdosiszählrohr ausgetauscht und zur Reparatur an den Lieferanten retourniert werden. Deshalb konnten nur weitere acht Stationen im Jahr 2021 auf den neuen Sondentyp umgerüstet werden, da bis Ende Jahr nur zehn reparierte Sonden wieder verfügbar, geeicht und als Reservematerial für weitere Ausfälle zur Verfügung standen. Die restlichen Sonden waren im Februar 2022 wieder verfügbar und wurden im März geeicht. Aufgrund von Problemen bei der Kontaktaufnahme mit einem privaten Standortbesitzer konnte das ENSI den Umbau erst im Juli 2022 abschliessen.



Bild 31:
GammaTracer
XL2 der Firma
Bertin GmbH.

Das ENSI migrierte die beiden Überwachungs- und Alarmierungssysteme der MADUK-Zentrale auf neue Systeme mit aktuellen Betriebs- und Datenbanksystemen. Ende 2022 konnte die erneuerte MADUK-Web-Applikation auf der ENSI-Webseite aufgeschaltet werden.

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 drei Unterbrüchen mit einer Gesamtdauer von 6,5 Stunden. Beim KKM fiel die Datenübertragung aufgrund eines Ausfalls der Spannungsversorgungen des Routers während 5,0 Stunden aus. Die Übertragung der Anlageparameter der Blöcke 1 und 2 des KKB und des KKL liefen ohne nennenswerte Unterbrüche (> 1 Stunde).

Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Störungen mit permanentem Datenverlust an den MADUK-Messstationen.

Station	Störungsdauer [h]	Permanenter Datenverlust [h]	Ursache
G-05	61,7	61,7	Defekte Batterie
B-16	96,2	96,2	Blockierter Datenlogger
G-14	16,3	16,3	Blockierte Messsonde

Tabelle 1:
Auflistung der
Störungen bei
den MADUK-
Messstationen
mit permanen-
tem Daten-
verlust.

Die Messstationen liefen auch im Jahr 2022 grösstenteils zuverlässig. Die Anzahl Kommunikationsunterbrüche gingen im Vergleich zum Vorjahr nochmals deutlich zurück. Dies war hauptsächlich auf den Einsatz des neuen Sondentyps mit redundanter Datenübertragung zurückzuführen. Aufgrund von Bauarbeiten am Standort musste die Messsonde der Station B-08 für den Zeitraum vom 4. Januar 2022 11:40 Uhr bis 17. Oktober 2022 08:20 Uhr demontiert werden. Für diesen Zeitraum liegen keine Messdaten für diese Station vor.

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

Archiv betrug 98,6% (Ausfall der Station B-08 mit 1,36% eingerechnet).

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.

Gemäss Art. 2 der Verordnung des Eidgenössischen Justiz- und Polizeidepartements über Messmittel für ionisierende Strahlung werden die MADUK-Sonden vor einem ersten Einsatz geeicht. Nach Abschluss des Umbaus der Messstationen

Datum	Station	Dauer [h]	Max. NDL [nSv/h]	Max. ODL [nSv/h]
05.05.2022 11:10	L-12	0,2	51	157
05.08.2022 20:40	M-04	0,3	54	156
05.08.2022 21:30	L-03	1,0	87	198
17.08.2022 22:00	G-07	0,2	53	196
19.08.2022 00:20	L-06	0,2	51	169
26.08.2022 16:40	M-04	1,7	143	248
26.08.2022 22:00	G-07	0,3	61	166
26.08.2022 23:00	L-06	0,7	69	226
26.08.2022 23:20	B-01	0,2	63	218
26.08.2022 23:50	L-05	0,2	62	200
26.08.2022 23:50	L-08	0,2	68	209
26.08.2022 23:00	L-10	1,2	85	261
27.08.2022 00:10	L-08	0,2	51	198
27.08.2022 00:40	G-07	0,2	52	187
30.08.2022 20:50	B-01	1,2	114	280
30.08.2022 20:50	B-03	1,5	143	313
30.08.2022 20:50	B-05	1,2	110	280
30.08.2022 21:00	B-06	0,7	62	216
30.08.2022 21:10	B-12	0,3	59	238
30.08.2022 20:50	B-14	1,0	107	274
30.08.2022 20:50	B-15	0,5	62	239
30.08.2022 20:50	B-16	1,0	98	270
30.08.2022 20:50	B-17	1,2	131	312
30.08.2022 21:40	G-03	0,5	54	207
30.08.2022 21:10	L-06	0,8	70	238
30.08.2022 20:40	L-08	0,8	112	265
30.08.2022 21:20	L-09	0,3	58	229
30.08.2022 21:10	L-12	0,2	58	203
15.09.2022 21:30	M-01	0,3	51	176
07.12.2022 23:30	L-12	0,2	1028	1128
10.12.2022 17:20	L-03	1,0	65	169
16.12.2022 05:50	G-07	0,3	50	155

Tabelle 2:
Auflistung der
Nettodosis-
leistungs-
schwellewert-
überschrei-
tung im
Jahr 2022.

auf den neuen Sondentyp erfolgte im Jahr 2022 eine Funktionsprüfung vor Ort. Bis auf eine bereits als defekt deklarierte Sonde erfüllten alle Messsonden die Kriterien.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme führt das ENSI üblicherweise Messungen mittels in-situ-Gammaspektrometrie bei den Messstationen durch. Im Jahr 2022 erfolgten die Messungen an den MADUK-Standorten der Messringe des KKG und des KKL. Bei allen Messungen konnten keine Immissionen der Kernanlagen nachgewiesen werden.

6.2.5 Messergebnisse

Im Jahr 2022 verzeichneten die Messstationen insgesamt 32 Verletzungen des Nettodosisleistungsschwellenwertes von 50 nSv/h (Tabelle 2), wovon 25 in der zweiten Augushälfte auftraten. Bis auf eine Ausnahme waren alle aufgrund von gleichzeitig registriertem Niederschlag und/oder dem

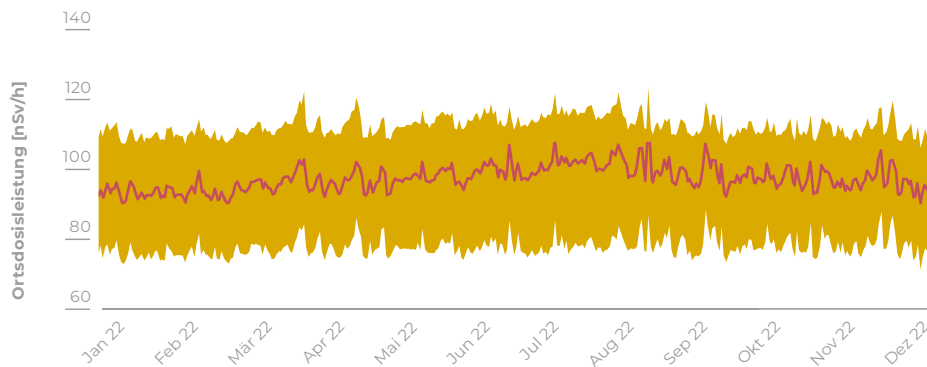
für Radonfolgeprodukte typischen Abklingverhalten auf Washout von natürlichen Radionukliden zurückzuführen.

Bei der Station L-12 wurde am 7. Dezember 2022 um 23:30 Uhr eine Ortsdosisleistung von 1128 nSv/h registriert. Die Analyse des ENSI mit der Prüfung der Zählraten des Niederdosis- und Hochdosiszählrohrs der entsprechenden Messsonde zeigte eine unplausible Erhöhung in der Zählrate des Niederdosiszählrohrs. Am 8. Dezember 2022 wurde die Messsonde deshalb ersetzt.

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

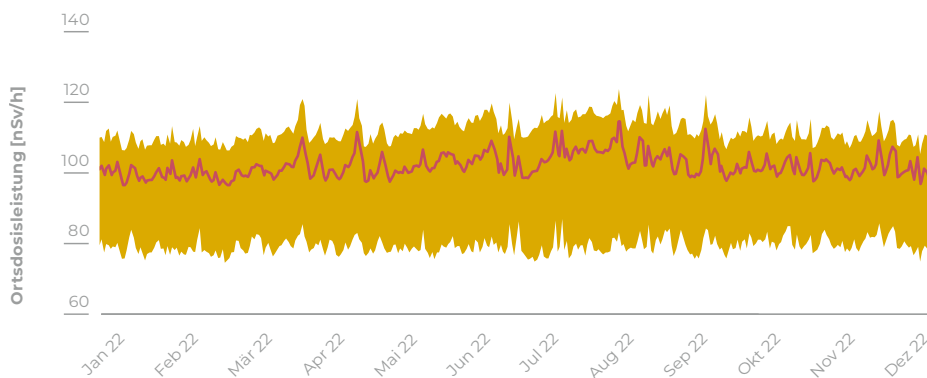
Die Darstellungen 21 und 22 zeigen die Maxima, die Minima und die Medianwerte der Tagesmittelwerte der jeweiligen Messringe im Berichtsjahr in den Umgebungen der KKW.

Maxima, Minima und Medianwerte des MADUK-Messrings des KKB für das Jahr 2022

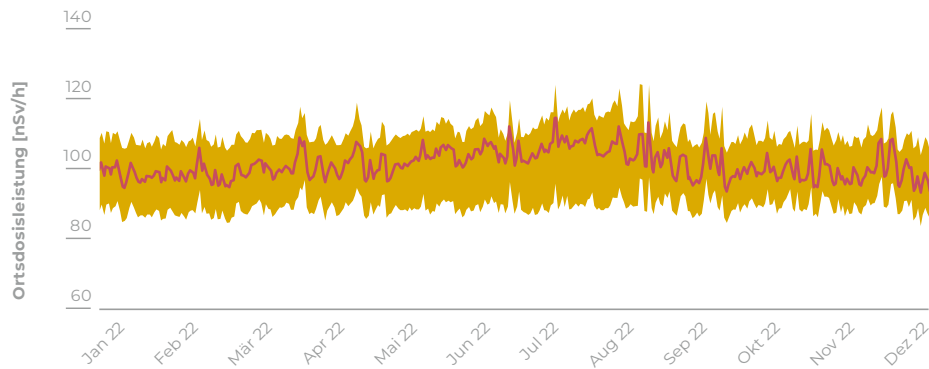


Darstellung 21:
Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe des KKB und KKG im Jahr 2022.

Maxima, Minima und Medianwerte des MADUK-Messrings des KKG für das Jahr 2022

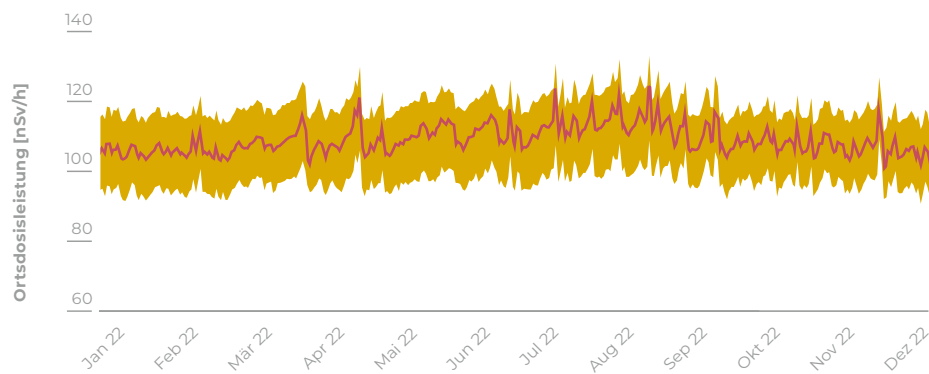


Maxima, Minima und Medianwerte des MADUK-Messrings des KKL für das Jahr 2022



Darstellung 22:
Wertebereiche
aus Tagesmittel-
werten für die
Messringe des
KKL und KKM
im Jahr 2022.

Maxima, Minima und Medianwerte des MADUK-Messrings des KKM für das Jahr 2022



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 2022 wurden diese Messungen an den MADUK-Standorten der Messringe des KKG und des KKL 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 sind konsistent mit den Ortsdosisleistungswerten an den MADUK-Standorten und zeigen auch keine nennenswerten Veränderungen.



Bild 32:
In-Situ-Mes-
sung an
MADUK-
Standort und gleichzeitig
stattfindender
Aeroradiome-
triemessflug.

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 einzelnen Sedimentproben bei Hagneck, Klingnau und Pratteln wurden Spuren von ^{54}Mn und ^{60}Co detektiert. Der maximale Wert für ^{54}Mn lag bei Hagneck bei 0,7 Bq/kg (Befreiungsgrenze LL = 100 Bq/kg), für ^{60}Co bei 0,6 Bq/kg (Befreiungsgrenze LL = 100 Bq/kg). An der Messstelle Klingnau lagen die maximalen Werte bei 0,9 Bq/kg für ^{54}Mn und 1,5 Bq/kg für ^{60}Co , an der Messstelle Pratteln bei 0,4 Bq/kg für ^{54}Mn und 1,4 Bq/kg für ^{60}Co . In allen Sedimentproben wurde ^{137}Cs gemessen. Dieses stammt hauptsächlich aus ausgewaschenem ^{137}Cs des Fallouts aus den Kernwaffentests und dem Tschernobyl-Ereignis. Der maximale Wert für ^{137}Cs im Sediment betrug 11,6 Bq/kg (Befreiungsgrenze LL = 100 Bq/kg).

In den Proben der Wasserpflanzen konnte ^{137}Cs mit Aktivitäten von rund 4 Bq/kg (Leuggern) und 3,7 Bq/kg (Möhlin) gemessen werden (Befreiungsgrenze LL = 100 Bq/kg). In Fischen wurden keine Aktivitäten von künstlichen Radionukliden über der Nachweisgrenze festgestellt.

Detaillierte Resultate zu allen Messungen des Probenahme- und Messprogramms können dem BAG-Jahresbericht 2022 über «Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz» entnommen werden.

6.5 Aeroradiometrische Messungen

6.5.1 Einleitung

Aeroradiometrische Messungen wurden in der Schweiz im Jahr 1986 mit einem geophysikalischen Projekt am Institut für Geophysik der Eidgenössisch Technischen Hochschule Zürich aufgenommen. Die grundlegende Methodik für Datenerfassung, Datenverarbeitung, Kalibrierung und Kartendarstellung wurden innerhalb dieses Projektes entwickelt. Seit 1989 wird die Umge-

bung der schweizerischen Kernanlagen mindestens im Zweijahresrhythmus vermessen.

Im Jahr 1994 wurde die Aeroradiometrie in die Einsatzorganisation Radioaktivität des Bundes integriert. Als mögliche Einsatzfälle stehen Transport- und Industrieunfälle mit radioaktivem Material, KKW-Störfälle, Abstürze von Satelliten mit Nuklearreaktoren und «Dirty Bombs» im Vordergrund. Die jährlichen Messprogramme werden durch die Fachgruppe Aeroradiometrie zusammengestellt, die sich aus Mitgliedern der beteiligten Stellen zusammensetzt. Der Einsatz erfolgt unter der Regie der NAZ.

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

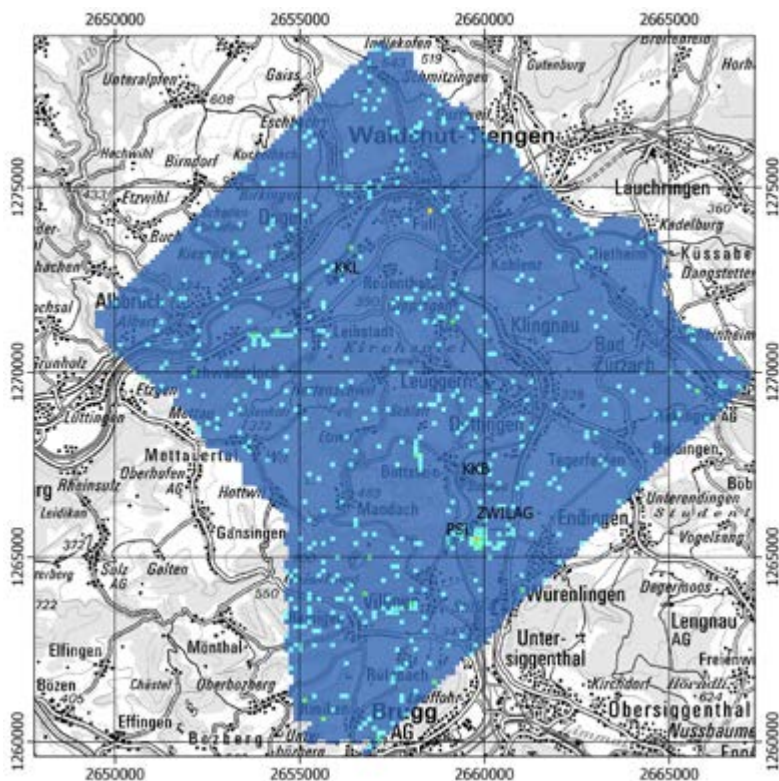
Im Jahr 2010 wurde mithilfe der Auswertung der Langzeitdaten die Nachweisgrenze der Messmethode ermittelt: 0,02 $\mu\text{Sv/h}$ werden in 95 von 100 Fällen erkannt (Vertrauensbereich 95 %). Dies entspricht ungefähr 20 % der natürlichen externen Strahlung.

6.5.2 Messungen und Messresultate 2022

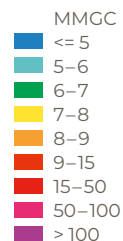
Während einer Messübung im Zeitraum vom 13. bis 17. Juni 2022 wurde turnusgemäss die Umgebung des KKB und des KKL, des PSI und des ZZL aeroradiometrisch gemessen. Im Rahmen der Messübung wurden zudem die Messungen ausserhalb der Zone 2 des KKB und des KKL in östlicher Richtung bis zu 50 Kilometer Distanz erweitert. Die detaillierten Ergebnisse sämtlicher Messungen werden in einem PSI-Bericht im Verlauf des Jahres 2023 publiziert.

Die Messresultate im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZZL zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegan-

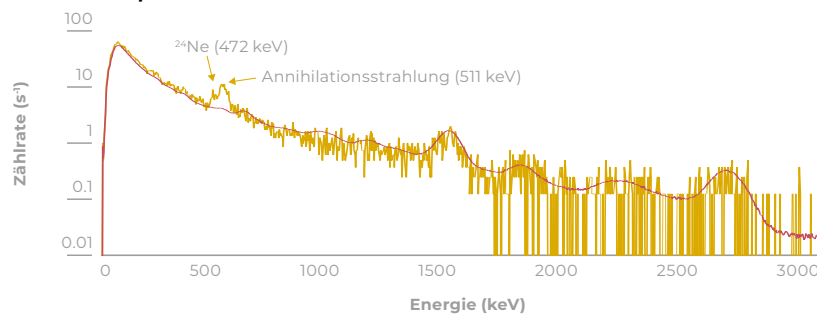
Ortsdosisleistung im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZZL



Darstellung 24:
MMGC-Verhältnis 2022 im Messgebiet KKB/ KKL/PSI/ZZL. PK200 © Bundesamt für Landestopografie.



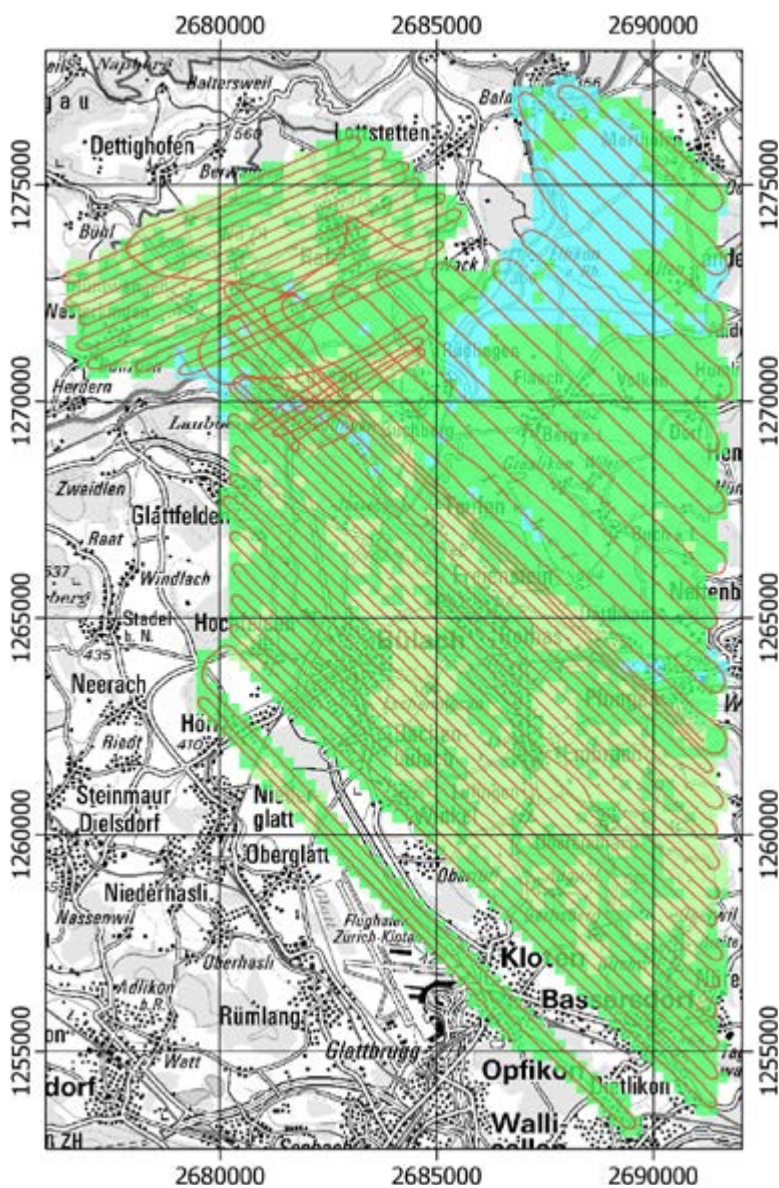
Gemittelte Spektren über dem PSI



Darstellung 25:
Gemittelte Spektren im Gebiet des erhöhten MMGC-Verhältnisses und über einem Gebiet ausserhalb der erhöhten Werte (Background).



Ortsdosisleistung im Messgebiet ausserhalb der Notfallschutzzone



Darstellung 26:

Ortsdosisleistung im Messgebiet ausserhalb der Notfallschutzzone 2 bis 50 Kilometer östlich des KKB und des KKL. PK200 © Bundesamt für Landestopografie.

Fluglinien

ODL

- ≤ 0.04
- 0.04–0.06
- 0.06–0.08
- 0.08–0.1
- 0.1–0.15
- 0.15–0.2
- 0.2–0.3
- 0.3–0.5
- 0.5–2
- 2–5
- 5–10
- > 10





Notfallschutz

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

Vorwort der Leitung der Sektion «Störfallauswirkungen und Notfallschutz»

Als im Februar 2022 die kriegesischen Auseinandersetzungen in der Ukraine auch das Kernkraftwerk (KKW) Saporischschja, das grösste KKW weltweit mit insgesamt sechs Blöcken und einer installierten Gesamtleistung von fast 6000 MWe, in Mitleidenschaft zu ziehen drohten, war die Sorge vor einer Neuauflage der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl im Jahr 1986 gross. Krisenstäbe und Arbeitsgruppen wurden gebildet. Auch in der Schweiz fanden seit Kriegsbeginn auf Bundesebene wiederkehrend Treffen zur Erörterung der Lage in der Ukraine und der sich daraus ergebenden (möglichen oder tatsächlichen) Konsequenzen statt. Bei einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen würden die radiologischen Auswirkungen in der Schweiz aufgrund der Distanz verhältnismässig gering ausfallen. Trotzdem müssten bei einer luftgetragenen Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus einer Kernanlage in der Ukraine Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung in der Schweiz, insbesondere in der Landwirtschaft, vorgesehen werden. Schweizer Vertretungen im osteuropäischen Ausland wären bei einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus einem Kernkraftwerk in der Ukraine unter Umständen auch betroffen, entsprechend waren und sind Eventualplanungen gefordert. Obgleich infolge der Abstellung der Kernreaktoren (Stand Februar 2023) das von ihnen ausgehende Gefährdungspotenzial abgenommen hat, bleibt die Situation am Standort Saporischschja unvorhersehbar und volatil. Die Ereignisse in der Ukraine zeigen einmal mehr auf, wie divers die Bedingungen ausfallen können, welche zu einem nuklearen Notfall führen können: Krieg oder dessen Folgen standen bisher wenig im Vordergrund bei Notfallbetrachtungen. Gleichfalls unterstreichen diese Ereignisse mit Nachdruck erneut den Stellenwert der Notfallvorsorge: Organisationsstrukturen, Zuständigkeiten, Kommunikationskanäle, Eventualplanungen und Massnahmen müssen im Vorfeld festgelegt werden. Dem regelmässigen Üben der Notfallschutzpartner kommt eine grosse Bedeutung zuteil.

In der Schweiz sind die Anforderungen an die Notfallvorsorge der unter Aufsicht des ENSI stehenden Kernanlagen unter anderem in den Richtlinien ENSI-B11 «Notfallübungen» und ENSI-B12 «Notfallschutz in Kernanlagen» geregelt (vgl. Kapitel 7). Die Inspektion von Notfallübungen durch die Behörde stellt hierbei eine wesentliche Komponente der Aufsicht zur Sicherstellung der Einsatzbereitschaft der Betreiber dar. In diesem Zusammenhang stand das Jahr 2022 aus Sicht der Notfallvorsorge unter dem Zeichen der im September unter Federführung des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz (BABS) durchgeführten Gesamtnotfallübung (GNU) TYCHE (vgl. Kapitel 9). An der auf drei Tage angelegten Grossübung nahmen zahlreiche Partner auf nationaler und internationaler Ebene teil. Die NFO des ENSI, welche eine unabhängige Beurteilung der Lage des verunfallten KKW, Prognosen über weitere mögliche Entwicklungen eines Notfalls und dessen Konsequenzen erstellt und seine Notfallschutzpartner berät, war am ersten Tag der Übung mit zwei Schichten über zwölf Stunden im Einsatz.

Auch diese Ausgabe der GNU erwies sich für das ENSI als vortreffliche Gelegenheit, die Schnittstellen zu den Notfallschutzpartnern zu erproben und zu festigen. Gleichermassen diente die Übung als Prüfstein für den im Juni 2022 (nach einer grundlegenden Überarbeitung) operationalisierten ENSI-Prozess **Notfallbereitschaft** sowie für die Weiterentwicklungen der digitalen Oberfläche zur Unterstützung der Abläufe in der NFO des ENSI (vgl. Kapitel 8). Zu guter Letzt sei an dieser Stelle auch auf den geleisteten Aufwand der involvierten Partner für die Vor- und Nachbearbeitung einer Übung dieses Ausmasses hingewiesen: Allein für den Einsatz der ENSI-NFO am ersten Tag wurden seitens Übungsleitung nahezu 200 Beobachtermeldungen und ca. 600 Seiten von der NFO des ENSI erstellte Dokumente ausgewertet.



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 KKW Beznau (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. Strahlenschutz-

bericht 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 für Mitte des Jahres 2024 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 zum Einsatz, die hinsichtlich räumlicher und zeitlicher Auflösung im internationalen Vergleich ihresgleichen suchen: Beim Modell COSMO-1E beträgt die horizontale räumliche Auflösung ca. 1 Kilometer und die zeitliche Auflösung zehn Minuten. MeteoSchweiz arbeitet kontinuierlich daran, die Vorhersagegüte weiter zu verbessern und die eingesetzten Modelle

nach Stand von Wissenschaft und Technik weiterzuentwickeln.

In diesem Zusammenhang erfolgt seit 2019 im Rahmen des Vertrags zwischen MeteoSchweiz, BABS und ENSI 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. Die MeteoSchweiz konnte im Berichtsjahr erfolgreich die Assimilierung der Messdaten der neuen Doppler-LIDAR-Geräte in die Wettervorhersagemodelle operationalisieren. Diese können als Ergänzung zu den bestehenden Windprofilern die planetarische Grenzschicht im Höhenbereich ab Boden bis ca. 2000 Meter besser auflösen. Die Windprofiler selber werden bis Ende 2023 ersetzt. Für die ebenfalls im Rahmen des Lebenszyklus ersetzten Radiometer erfolgte für die Mehrzahl der Geräte die Operationalisierung der Assimilierung der Messdaten in die Wettervorhersagemodelle. Dadurch wird eine Erweiterung der Datenbasis in den Eingangsgrößen der Wettermodelle erreicht, da diese Daten bislang zur Verifizierung der Vorhersageergebnisse genutzt wurden, nicht aber Eingangsgrößen der Vorhersagemodelle waren.

Im Berichtsjahr hat die MeteoSchweiz die für ihr eigenes Ausbreitungsmodell FLEXPART geschaffene Erweiterung, welche eine Ensemble-Ausbreitungsprognose auf der Basis des probabilistischen Wettervorhersagemodells COSMO-2E ermöglicht, operationalisiert. Die bisherigen Erfahrungen im Rahmen von Tests und Übungen bestätigen die bisherige Einschätzung des ENSI, dass angesichts

der Tatsache, dass die Menge und der Zeitpunkt allfälliger unfallbedingter Freisetzen radioaktiver Stoffe aus einer Kernanlage mit grossen Unsicherheiten verbunden sind, die Diskussion, inwieweit solche Ensemble-Ausbreitungsrechnungen sinnvoll zum Schutz der Bevölkerung eingesetzt werden können, unter Miteinbezug der verschiedenen Partner weitergeführt werden muss. Die Empfehlung und Anordnung von Schutzmassnahmen hat prinzipiell nicht mit Wahrscheinlichkeiten behaftet zu erfolgen, sondern muss eine klare Handlungsempfehlung darstellen.



Bild 33:
Messstation
Payerne der
MeteoSchweiz
mit Doppler-
LIDAR im
Vordergrund
und Wind-
profiler im
Hintergrund
(Quelle:
Meteo-
Schweiz).

Sofortmassnahmen	Dosis	Dosischwelle	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:
Dosismass-
nahmen-
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.

mSv: Millisievert

^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.

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 nach Möglichkeit die Krise 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 der Auswirkungen und Ereignishäufigkeit eingeteilt. Dies stellt ein wichtiges Instrument für das integrale Risikomanagement der Schweiz dar und soll helfen, die kontinuierliche Verbesserung des Notfallschutzes voranzutreiben. Für den Fall einer unfallbedingten Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus einer Kernanlage in einem für die Bevölkerung gefährdendem Umfang gibt es gesetzliche Grundlagen und Konzepte, die die Zusammenarbeit der involvierten Stellen und deren Aufgaben und Pflichten regeln.

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

- 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 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 von allen Notfallschutzpartnern richtig angewendet werden können. Die Notfallbereitschaft der Kernanlagen wird vom ENSI beaufsichtigt (vgl. Kapitel 9) und die entsprechenden Vorgaben aus Gesetz und Verordnungen werden in Richtlinien konkretisiert (vgl. Kapitel 7, Gesetzgebung und Regelwerk). Der BSTB ist verantwortlich für die Vorsorgeplanung zur Sicherstellung der Einsatzbereitschaft und überprüft diese regelmässig durch Übungen.

Das Verhindern eines Notfalls als Folge eines Störfalls, 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 ständig direkt vertreten oder in beratender Funktion tätig. Es leistet dort einen wichtigen Fachbeitrag im Zusammenhang mit dem radiologischen Notfallschutz. Im nationalen Umfeld ist das ENSI im 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 war beispielsweise 2022 wieder am Eidgenössischen Ausbildungszentrum Schwarzenburg im Rahmen des Zusatzkurses «Sachkundiger Strahlenschutz in Notfallorganisationen», welcher sich an Angehörige des Zivilschutzes und Führungsorgane der Kantone richtet, an zwei Veranstaltungen als Ausbilder per Videokonferenz vertreten. Das ENSI bietet in diesem Zusammenhang auch den von einem Unfall potenziell betroffenen Kantonen an, deren Einsatzelemente zu schulen, wie auch im Jahr 2022 im Vorfeld der GNU 2022 (vgl. Kapitel 9) in den Kantonen Zürich und Aargau geschehen.

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 2022 fand die DSK-Sitzung der Arbeitsgruppe Notfallschutz erneut als Videokonferenz statt.

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 2022 in Thun 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. Aufgrund von Personalwechseln bei den französischen Partnern sowie bei der NAZ wurde die diesjährige Sitzung der Arbeitsgruppe Crise auf das Jahr 2023 verschoben.

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 2022 zu jeweils einer Sitzung zusammengefunden, an denen aktuelle Themen hinsichtlich des Notfallschutzes diskutiert wurden. An der Sitzung im Mai diskutierten die Teilnehmenden beispielsweise der Referentenentwurf des Allgemeinen Notfallplans des Bundes (Deutschland) und stellten die Neufassung einer neuen Feuerwehrdienstvorschrift vor, welche in Deutschland die taktischen Regeln bei Einsätzen mit Gefahren durch radioaktive Stoffe und Materialien (A-Einsatz), biologische Stoffe und Materialien (B-Einsatz) und chemische Stoffe und Materialien (C-Einsatz) festlegt. Die Sitzung im November wurde gemeinsam mit dem Arbeitskreis Inkorporationsüberwachung abgehalten. Dabei wurde in einem Vortrag unter anderem auch die Organisation des Notfallschutzes in der Schweiz und die Rolle der Aufsichtsbehörde sowie die Planung und Durchführung von Notfallübungen vorgestellt.

Emergency Preparedness and Response Standards Committee der Internationalen Atomenergie-Organisation
Im Jahr 2015 wurde von der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEA) das sogenannte Emergency Preparedness and Response

Standards Committee (EPreSC) etabliert. Das EPreSC muss für neu erstellten beziehungsweise revidierten Safety Standards oder Safety Guides der IAEA die Bereiche Emergency Preparedness and Response bewerten und den Änderungen oder Revisionen zustimmen.

Die Versammlungen des EPreSC wurden 2022 nach Aufhebung der international geltenden Reisebeschränkungen wieder in Wien durchgeführt. Insbesondere wurden folgende Themen behandelt:

- Die Neuerstellung der Richtlinie («Guideline») zum Strahlenschutz und zur Sicherheit in bestehenden Expositionssituationen;
- Die Neuerstellung der Richtlinie zur Sicherheitsbewertung und -überprüfung für KKW
- Die Revision der Richtlinie zum Strahlenschutz in Gamma-, Röntgen- und Elektronenbestahlungseinrichtungen;
- Notfallspekte im Bereich Nukleare Sicherung in Zusammenarbeit mit dem Nuclear Security Guidance Committee;
- Notfallschutzzonen für kleine modulare Reaktoren («Small Modular Reactors»);
- Informationsaustausch zu Notfallvorkehrungen in anderen Mitgliedsländern (Korea, Brasilien, Australien).

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

HERCA Working Group on Emergencies

International ergeben sich immer noch Unterschiede bei den Kriterien, bei deren Erreichen in einem nuklearen oder radiologischen Notfall Schutzmassnahmen anzuordnen sind. Die Dosissschwellen 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 vorgesehenen Schutzräume, mit deutlich höherer Schutz-

wirkung, 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 2022 fanden zwei Sitzungen der Arbeitsgruppe WGE statt, eine davon virtuell, aufgrund der damals noch vorherrschenden Pandemiebedingungen.

Die WGE formierte eine Task Force zur Verfolgung der Lage der KKW in der Ukraine. Der Informationsbedarf der Bevölkerung in den Ländern der WGE-Vertreter ist seit Beginn dieser Krise deutlich gestiegen. Die meisten Länder informierten die Bevölkerung über Webseiten zur Gefährdungslage und erklärten die Funktionsweise der Iodprophylaxe. Eine Aufgabe der Task Force war zudem die Sicherstellung des Informationsaustauschs zwischen den Ländern bei einem Zwischenfall in einem KKW in der Ukraine.

Zusätzlich wurde folgendes Thema 2022 von der WGE erörtert:

- Praktische Umsetzung der EU Basic Safety Standards;
- Die HERCA Beteiligung am EU-Projekt zur Umsetzung von nuklearen und radiologischen Anforderungen im Bereich der Notfallvorsorge und der Notfallbekämpfung in den EU-Mitgliedstaaten und deren Nachbarländern.

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 2022 wieder physisch statt. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer besprachen unter anderem die Berichte der Mitgliedsländer und internationaler Organisationen zu notfallschutzbezogenen Themen mit besonderem Fokus auf die gegenwärtige Situation in der Ukraine. Darüber hinaus wurde auch der Planungsstand der internationalen Übung INEX6 vorgestellt, in welcher der Schwerpunkt auf die Übergangs- und Nachunfallphase gelegt werden wird. Die Übung wird im Jahr 2024 von Januar bis März durchgeführt. Des Weiteren wurde über den Status der Arbeiten zu den Themengebieten berichtet, die in speziellen Arbeitsgruppen behandelt werden. Diese Themengebiete umfassen derzeit unter anderem die Nutzung von Informationssystemen bei radiologischen Ereignissen (sogenannte «Real Time Platforms») und die Entwicklung eines Handbuchs, welches eine Übersicht zu vorgeplanten Schutzmassnahmen der Mitgliedstaaten enthalten soll und voraussichtlich im Jahr 2023 publiziert wird.

8. Notfallschutz im ENSI

Notfallschutz ist eine Verbundaufgabe, wie es bereits in Kapitel 7.1 beschrieben wurde. 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 Störfall-Bewertungsskala INES der IAEA ein.

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

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 aus dem Fachbereich Strahlenschutz ist damit betraut, sämtliche Vorgänge im Zusammenhang mit der ENSI-NFO zu koordinieren und zu organisieren. Dabei wird er durch weitere Mitarbeitende des ENSI nach Bedarf unterstützt.

Grundsätzlich sind alle festangestellten Mitarbeitenden des ENSI in der ENSI-NFO eingeteilt. Sie übernehmen die ihnen zugewiesenen Aufgaben und Funktionen. Die Einteilung basiert auf dem jeweiligen Erfahrungsgrad der Mitarbeitenden und der im ENSI wahrgenommenen Funktion im Tagesgeschäft. Um ein ereignisangepasstes Aufgebot sicherstellen zu können, besteht die ENSI-NFO zunächst aus einer Aufbauorganisation. Die nach einem Aufgebot eingerückten Mitarbeitenden bilden die Einsatzorganisation, welche in Einsatzgruppen gegliedert ist. Eine Übersicht über die grundsätzliche Gliederung der Einsatzorganisation gibt die Darstellung 27. Die Einsatzorganisation kann bei Bedarf angepasst werden. Insbesondere können auch weitere Verbindungspersonen eingesetzt werden, die als Fachexperten des ENSI eine beratende Funktion wahrnehmen.

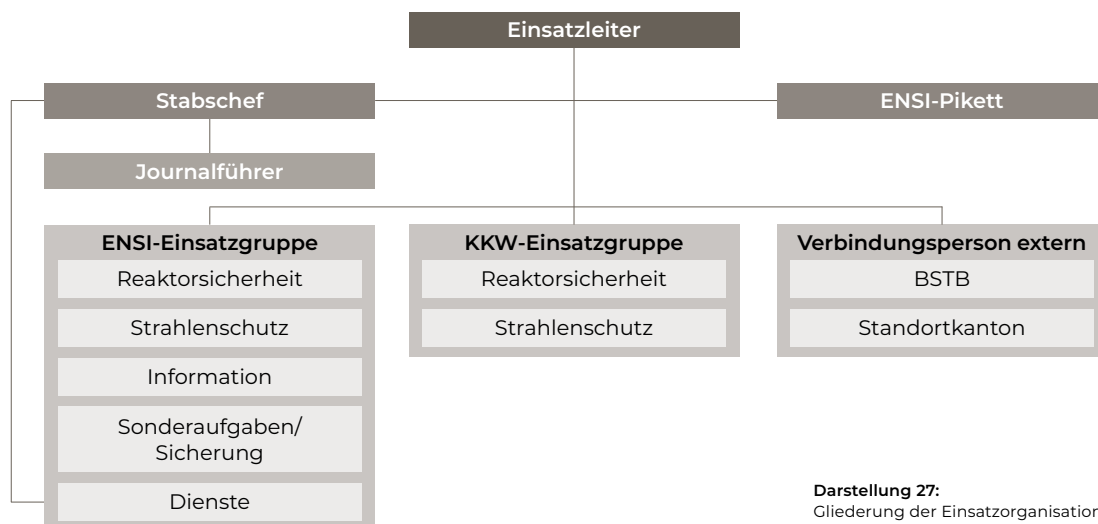
Die Aufbauorganisation der ENSI-NFO besteht aus einem diensthabenden Pikettingenieur, dem Kernteam A, dem Kernteam B und dem Unterstützungsteam. Das Kernteam A umfasst alle Einsatzleiter, alle Pikettingenieure und die Sektion Kommunikation des ENSI und unterstützt den diensthabenden Pikettingenieur bei 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 Teletype und wird durch den diensthabenden Pikettingenieur ausgelöst. Die Mitglieder des Unterstützungsteams werden telefonisch aufgeboden.

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

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

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 Pikettingenieur 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 Pikettingenieur 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 auch Kapitel 6.2 dieses Berichts).

d. JRODOS: Atmosphärisches Ausbreitungs- und Dosisberechnungsmodell

Das Java-based Realtime Online Decision Support System (JRODOS) dient der Einsatzgruppe Strahlenschutz zur Simulation der atmosphärischen Ausbreitung radioaktiver Stoffe (der sogenannte Quellterm) im Ereignisfall und der Berechnung der sich daraus potenziell ergebenden Strahldosis 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 Störfalles 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 potenziell 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). LASAT bietet ein breites Anwendungsspektrum: Unter den Anwendungsbereichen 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 dem von Meteo-Schweiz routinemässig eingesetzten Modell COSMO-1E. Dieses liefert Prognosen in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung bis zu 33 Stunden im Voraus. Bei der Verwendung dieser Wettervorhersagen werden die 3D-Daten mit einem Windfeldmodell auf die vom Ausbreitungsmodell benötigten Auflösungen heruntergerechnet, um Simulationen mit einer noch höheren räum-

lichen Auflösung als derjenigen des Wettervorhersagemodells zu ermöglichen. Das Rechengitter von JRODOS besitzt eine Schachtelung von unterschiedlich fein aufgelösten Gebieten, wobei die Anzahl Stufen wählbar ist. Dies ermöglicht Simulationen mit grossen Abwindstrecken 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 Landestopographie swiss-topo verwendet.

JRODOS-Simulation



Darstellung 28:

Beispiel einer JRODOS-Simulation für das KKM.

Ausbreitungsrechnung einer fiktiven Freisetzung für den 4. April 2022 um 4:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhen 10 und 50 Meter über Boden, Dauer der angenommenen Freisetzung zwei Stunden.

Ausbreitungssituation am 4. April 2022 um 9:00 Uhr (links oben), 10:30 Uhr (rechts oben), 12:00 Uhr (links unten) und 13:30 Uhr (rechts unten) Lokalzeit.

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

Hintergrund: Grössere Gewässer.

Beispiel einer JRODOS-Simulation

In Darstellung 28 wird beispielhaft eine JRODOS-Simulation für den Standort des KKM 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.

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 stellt 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 wird beim ENSI seit 2016 das Programm JRODOS eingesetzt.

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.

Im Berichtsjahr erfolgte die Operationalisierung der überarbeiteten digitalen Arbeitsoberflä-

sicherheit 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 anlagenspezifische Liste der für die Sicherheit der Kernanlage und die Störfallbeherrschung zentralen Systeme und Komponenten. Ausgehend von der Beurteilung der Verfügbarkeit dieser Systeme und Komponenten erfolgt die Einfärbung einer stark vereinfachten schematischen Anlagengrafik unter Verwendung von Signalfarben (vgl. Darstellung 29). Diese Anlagengrafik bietet den Notfallschutzpartnern einen vereinfachten Überblick über die Situation vor Ort.

Darstellung 29: Liste der Systeme und Komponenten (links), deren Statusbeurteilung zur automatischen Einföhrung der Anlagengrafik (rechts) föhrt, am Beispiel des Forschungsreaktors der EPFL

Darstellung 30:
Beispiel der Darstellung einer Ausbreitungssituation mit den vergangenen (links) und zukünftigen (rechts) fünf Stundenwerten als Ausbreitungsrosetten am Beispiel des KKL im Rahmen der GNU 2022.

Potenziell betroffenes Gebiet



Darstellung 31:

Beispiel einer Grafik für das Produkt «Potenziell betroffenes Gebiet der Zonen 1 und 2 in den kommenden 12 Stunden aufgrund einer fiktiven Freisetzung am Standort des KKL» im Rahmen der GNU 2022.

Seitens der Einsatzgruppe Strahlenschutz bietet die digitalen Arbeitsoberfläche zusätzlich zur teilautomatisierten Erstellung der Produkte aus JRODOS eine grafische Darstellung der Entwicklung der Wettersituation am Standort der Kernanlage (vgl. Darstellung 30), 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 «Potenziell betroffenes Gebiet» in wenigen Schritten erstellt und den Notfallschutzpartnern zur Verfügung gestellt werden (vgl. Darstellung 31). 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 32). Das Produkt visualisiert die bislang ausschliesslich in Tabellenform

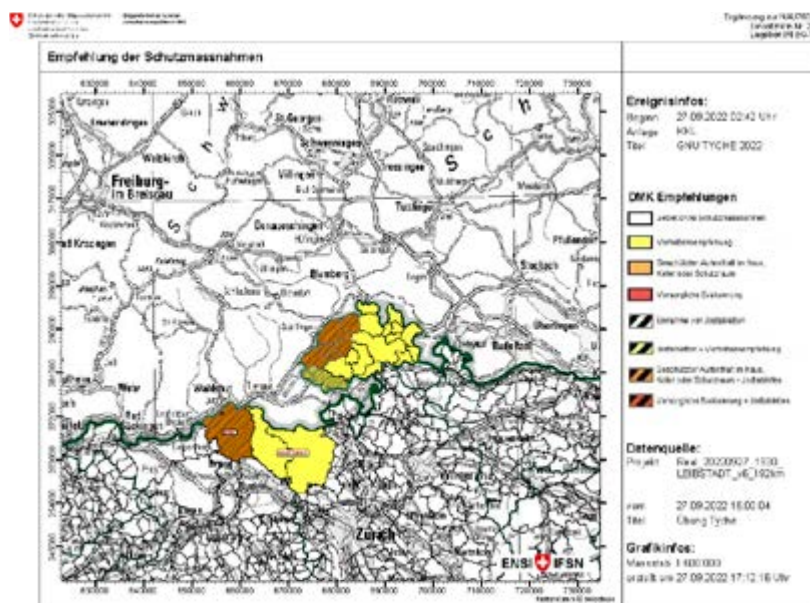
mitgeteilten Empfehlungen des ENSI für Schutzmassnahmen in einfacherer, schneller erfassbarer Form.

Die digitale Arbeitsoberfläche enthält zusätzlich einen stets aktuell gehaltenen Statusbalken (vgl. Darstellung 33), der unter anderem eine Übersichtsdarstellung in Ampelform zu den radiologischen Schutzzielen, zum MADUK-Schwellwertalarm, zur Windgeschwindigkeit am Standort und zur Notfallklasse besitzt. Dies gibt den Nutzern jederzeit einen Überblick über den aktuellen Stand der wesentlichen Kenngrössen.

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, damit bei einem Ausfall der primären Einsatzmittel auch dort unterbruchsfrei auf eine Rückfallebene zurückgegriffen werden kann.

Empfehlungen nach Dosismassnahmenkonzept



Darstellung 32: Grafische Darstellung der Empfehlung des ENSI entsprechend den Dosissschwellen nach Dosismassnahmenkonzept am Beispiel des KKL im Rahmen der GNU 2022.

Statusbalken



Darstellung 33: Statusbalken der digitalen Arbeitsoberfläche mit zentralen Beurteilungsgrößen, die automatisch aktuell gehalten werden. Beispiel des Forschungsreaktors der EPFL aus einer Schulung.



Bild 34: Impressionen vom Ausweichstandort der ENSI-NFO.

9. Notfallschutz- inspektionen

Im Rahmen der Aufsicht führt das ENSI auch im Fachgebiet Notfallschutz regelmässig wiederkehrende Inspektionen durch. So werden die Notfallkommunikationsmittel der KKW 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 des Werkes zu externen Stellen sind bei einem Notfall eine wichtige Voraussetzung für die Alarmierung der Notfallpartner, zur Bewältigung von Stör- und Notfalllagen sowie zur Vorbereitung und Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung. Die Inspektion soll zeigen, dass dokumentierte Einrichtungen für die Alarmierung externer Stellen vorhanden sind, dass Vorgaben für periodische Funktionsprüfungen existieren und Nachweise über deren Durchführungen vorliegen. Zusätzlich soll durch stichprobenweise Funktionskontrollen von Kommunikationseinrichtungen deren ordnungsgemässe Funktion verifiziert werden.

Als weiterer wichtiger Baustein der Aufsichtstätigkeit im Bereich Notfallschutz werden die gemäss Richtlinie ENSI-B11 «Notfallübungen» durchzuführenden Notfallübungen der Kernanlagen durch das ENSI inspiziert. Mit der Inspektion von Notfallübungen der Kernanlagenbetreiber verfolgt das ENSI grundsätzlich das Ziel der Überprüfung, ob die für die Notfallbereitschaft auf hohem Niveau festgelegten Erfolgskriterien in der Übung erreicht, Abweichungen davon erkannt und Optimierungsmöglichkeiten festgestellt werden. Auf Basis dieser Inspektionen bewertet und beurteilt das ENSI die 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 Notfallräumlichkeiten und das externe Lager Reitnau. Diese Inspektionen werden alle drei bis fünf Jahre durchgeführt und dienen der Überprüfung der Einsatzbereitschaft.

Im Jahr 2022 konnten alle Kernanlagen ihre geplanten Notfallübungen durchführen. Das KKL war in diesem Jahr der Ausgangspunkt und Szenariogeber für die GNU 2022, auf welche nachfolgend noch detaillierter eingegangen wird. Für das PSI waren im Jahr 2022 zwei Institutsnotfallübungen vorgesehen, da noch eine Übung aus dem Jahr 2021 nachzuholen war. Die nachzuholende Übung fand im Juni 2022 als gemeinsame Notfallübung zusammen mit dem ZZL statt. Dies stellte ein Novum dar und diente insbesondere der Überprüfung der Zusammenarbeit der beiden NFO. Eine weitere Übung des PSI wurde im November 2022 als Übung mit Schwerpunkt Feuerwehreinsatz durchgeführt und fand unter Beteiligung des zuständigen kantonalen Feuerwehrinspektorats statt. Die Anlagen KKB, KKG und KKM haben im Jahr 2022 Notfallübungen vom Typ Werksnotfallübung durchgeführt. Alle Anlagen konnten zeigen, dass sie jeweils über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete NFO verfügen.

Die Inspektionen betreffend die externen Notfallkommunikationsmittel wurden im Jahr 2022 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.

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

Tabelle 4:
An Notfall-
übungen
beteiligte
Organisa-
tionen.

Gesamtnotfallübung 2022 TYCHE

Wie in Kapitel 7.1 bereits erwähnt werden GNU alle zwei Jahre unter Federführung des BABS geplant und durchgeführt. Dabei bilden die noch in Betrieb stehenden schweizerischen KKW die Ausgangslage für die externen, an der Übung teilnehmenden Stellen. Die Teilnahme des KKL an der GNU 2022 TYCHE, welche vom 27. bis 29. September 2022 durchgeführt wurde, entsprach dem üblichen Turnus, wurde allerdings aufgrund der Covid-19-Pandemie um ein Jahr verschoben. Eine GNU dient primär der Schulung und Überprüfung der Zusammenarbeit der KKW-NFO mit externen NFO. Das ENSI und die anderen Stellen, welche bei einem solchen Ereignis eine aktive Rolle einnehmen, sind gemäss den Bestimmungen aus der Notfallschutzverordnung zur Teilnahme an der GNU verpflichtet. Neben dem beübten KKW und dem ENSI sind dies insbesondere der Standortkanton, die Kantone mit Gemeinden in der Notfallschutzzone 2, das BABS, MeteoSchweiz und die Gruppe Verteidigung. Bei den grenznahen Anlagen KKB und KKL sind auch Stellen in Deutschland in die Übung mit eingebunden. Daneben besteht bei jeder GNU grundsätzlich auch die Möglichkeit, weitere internationale Partner in die Übung einzubinden, um die entsprechenden Schnittstellen zu überprüfen, beispielsweise zur IAEA.

Mit den Vorbereitungsarbeiten für die GNU 2022 wurde bereits im Jahr 2020 begonnen. Das Szenario muss die Voraussetzungen schaffen, dass alle gemäss der Notfallschutzverordnung als verpflichtete Teilnehmer bezeichneten Stellen Notfallschutzmassnahmen treffen können. Der technische Teil wird vom beübten KKW in enger Abstimmung mit dem ENSI ausgearbeitet. Weiter zu beübende Elemente der nationalen und auch internationalen Organisationen, die mit Aufgaben bei einem Unfall in einem KKW betraut sind, werden basierend auf der vom beübten KKW gege-

benen Ausgangslage und deren eigenen Übungszielen in das Drehbuch der GNU integriert.

Die GNU 2022 TYCHE wurde als dreitägige Übung angelegt. Der erste Übungstag war geprägt durch das Notfallmanagement während der sogenannten Akutphase und die Einsatzübung der NFO des KKL, des ENSI, der NAZ und der Kantone wie auch der zuständigen Katastrophenschutzbehörde in Deutschland. Das KKL führte die GNU während der Akutphase als Vollübung durch. Nach Erreichen eines stabilen Anlagezustands wurde die Übung im KKL abgebrochen und die Einsatzkräfte wie auch der Notfallstab wurden von ihren Aufgaben entbunden. Die Erreichbarkeit des KKL bis zum offiziellen Übungsende wurde über eine Kontaktstelle weiterhin sichergestellt. Für die NFO des ENSI war dies ebenfalls zutreffend. Der zweite Übungstag stand im Zeichen des Krisenmanagements und wurde als Stabsrahmenübung durchgeführt. Beteiligt waren insbesondere die Kantone, der BSTB und die betroffenen Bundesämter. Durch die Beübung des BSTB war das ENSI auch am zweiten Übungstag als beübte Organisation vertreten, da das ENSI im BSTB mit vertreten ist.

Die Übung diente der Überprüfung der Zusammenarbeit und der für solche Fälle vorgesehenen Prozesse. Es liegt in der Natur der Sache, dass bei Übungen auch Verbesserungsbedarf identifiziert wird. Dies wurde für die GNU 2022 TYCHE in den entsprechenden Auswertungen resp. Übungsberichten der beteiligten Organisationen und übergeordnet auch im Schlussbericht des BABS festgehalten und wird nun angegangen. Die nächste GNU wird im Jahr 2024 mit dem KKG durchgeführt werden.



Bild 35:
Materialtransport durch die
Luftwaffe zum
KKL.



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	495	796	1291	520	841	1361	388	1132	1520	250	385	635	1634	2461	4095
> 1,0 - 2,0	37	63	100	19	45	64	38	145	183	18	19	37	117	246	363
> 2,0 - 5,0	25	63	88	23	18	41	43	175	218	18	37	55	115	292	407
> 5,0 - 10,0	1	1	2				7	19	26				8	28	36
> 10,0 - 15,0															
Total Personen	558	923	1481	562	904	1466	476	1471	1947	286	441	727	1874	3027	4901
Mittel pro Person [mSv]	0,4	0,5	0,4	0,2	0,2	0,2	0,6	0,8	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6

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

* Personal, das in mehreren Anlagen eingesetzt wurde, wird unter «Total KKW» nur einmal gezählt. Dadurch fallen die Summenwerte kleiner oder gleich der Summe der Werte von den einzelnen Anlagen aus.
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	323	191	514	15	529	80	301	381	4095	4808
> 1,0 - 2,0	3		3		3	5		5	363	373
> 2,0 - 5,0						1		1	407	408
> 5,0 - 10,0									36	36
> 10,0 - 15,0										
Total Personen	326	191	517	15	532	86	301	387	4901	5625
Mittel pro Person [mSv]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	0,1	0,6	0,5

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

* Personal, das in mehreren Anlagen eingesetzt wurde, wird unter «Total KKW» und «Total Kernanlagen und Forschung» nur einmal gezählt. Dadurch fallen die Summenwerte kleiner oder gleich der Summe der Werte von den einzelnen Anlagen aus.
Individualdosen können sich aus den in verschiedenen Anlagen akkumulierten Dosen zusammensetzen.
Unter «PSI» und «Total Kernanlagen und Forschung» wird jeweils nur der Beitrag aus dem Aufsichtsbereich des ENSI gezählt.

Anlage	Haut			Extremitäten*		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigenpersonal	Fremdpersonal	Total	Eigenpersonal	Fremdpersonal	Total
KKB	558	896	1454	17	26	43
KKG	583	946	1529	8	5	13
KKL	476	1471	1947	11	108	119
KKM	40	59	99	3	1	4
PSI	326	189	515	37	5	42
ZZL	86	301	387	0	0	0
Summe	2069	3862	5931	76	145	221

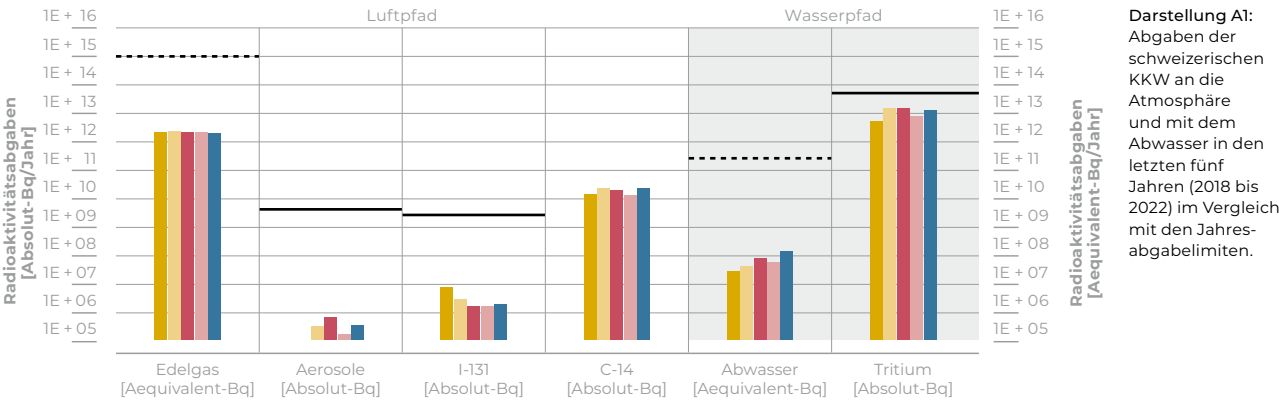
Tabelle A3: Verteilung der Anzahl Personen des Eigen- und Fremdpersonals von Haut- und Extremitätendosen [mSv] – KKW, PSI¹ und ZZL.

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

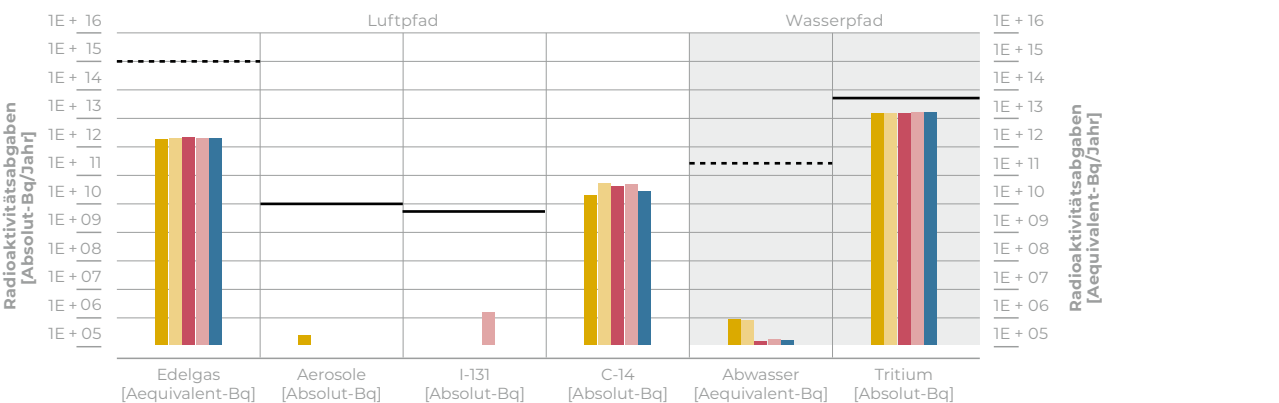
¹ Aufsichtsbereich des BAG miteinbezogen

Anhang 2 – Emissionsdaten aus den Kernanlagen

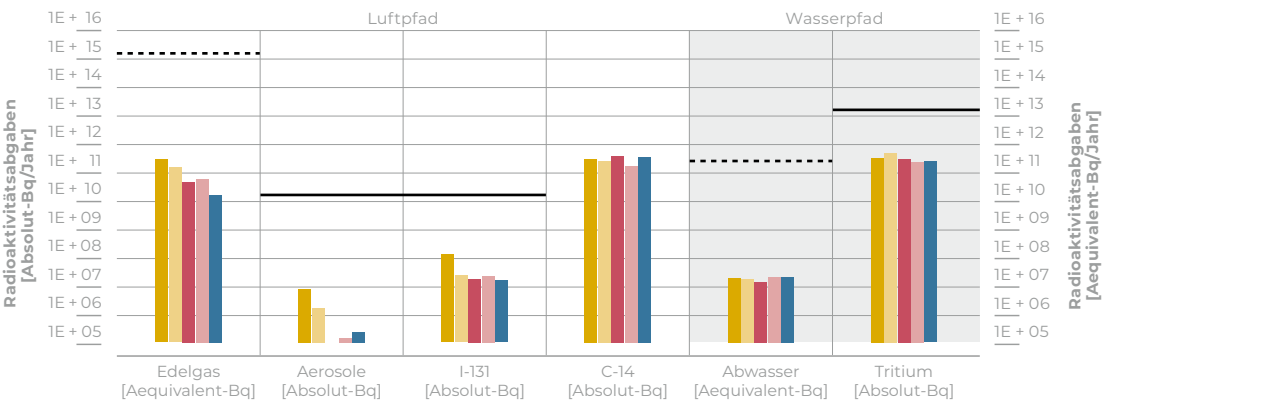
KKB



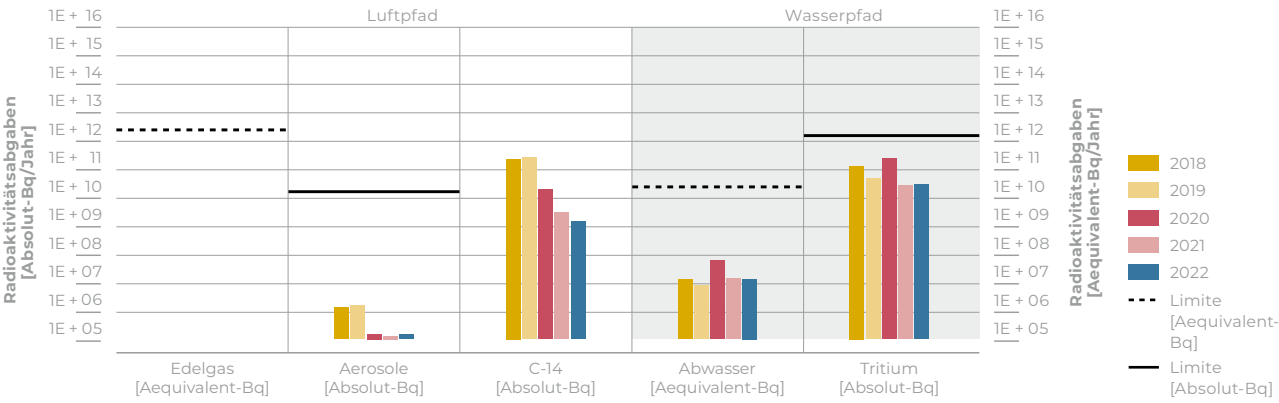
KKG



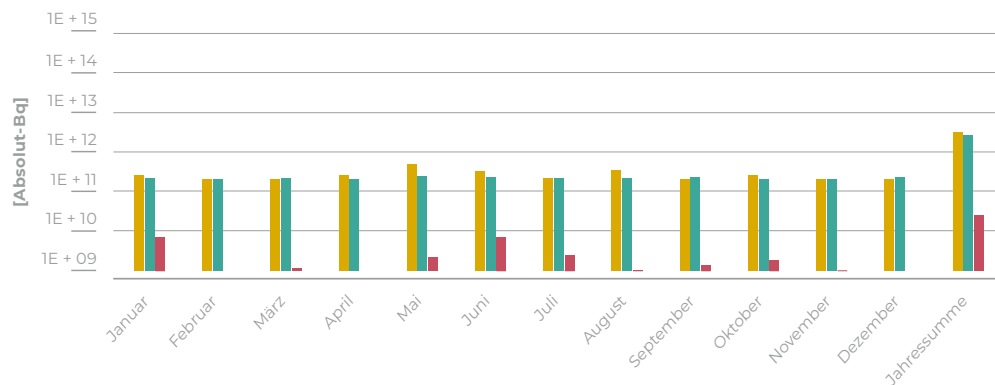
KKL



KKM



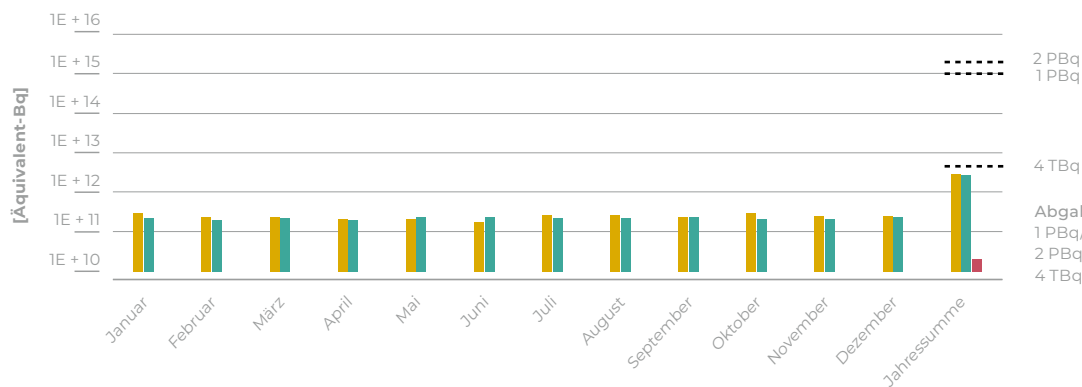
Monatliche Edelgasabgaben mit der Abluft aus den KKW und Jahressumme 2022



Darstellung A2:

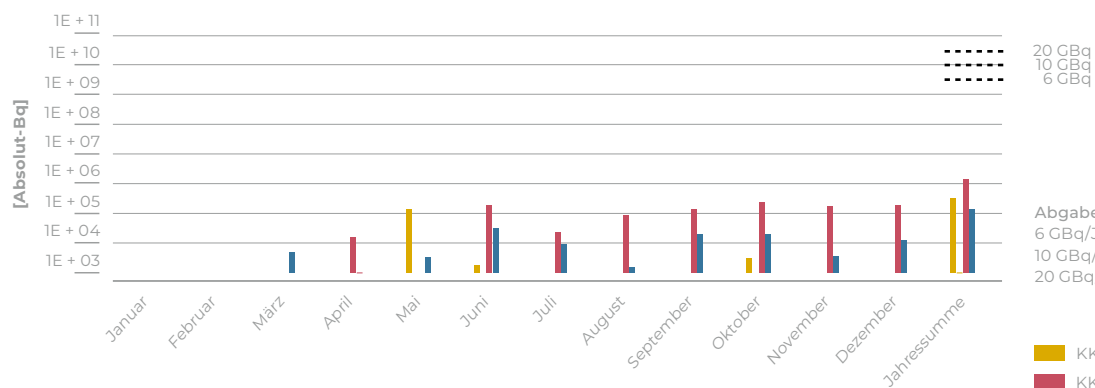
Abgaben der schweizerischen KKW an die Atmosphäre und das Abwasser im Jahr 2022, aufgeschlüsselt nach einzelnen Monaten.

Monatliche Äquivalent-Edelgasabgaben mit der Abluft aus den KKW und Jahressumme 2022



Abgabelimite:
1 PBq/Jahr für KKB und KKG
2 PBq/Jahr für KKL
4 TBq/Jahr für KKM

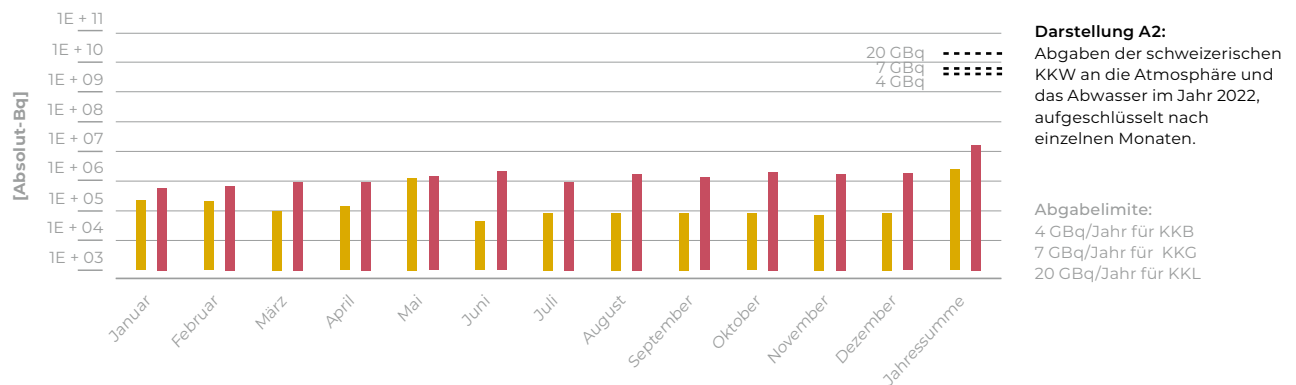
Monatliche Aerosolabgaben mit der Abluft aus den KKW und Jahressumme 2022



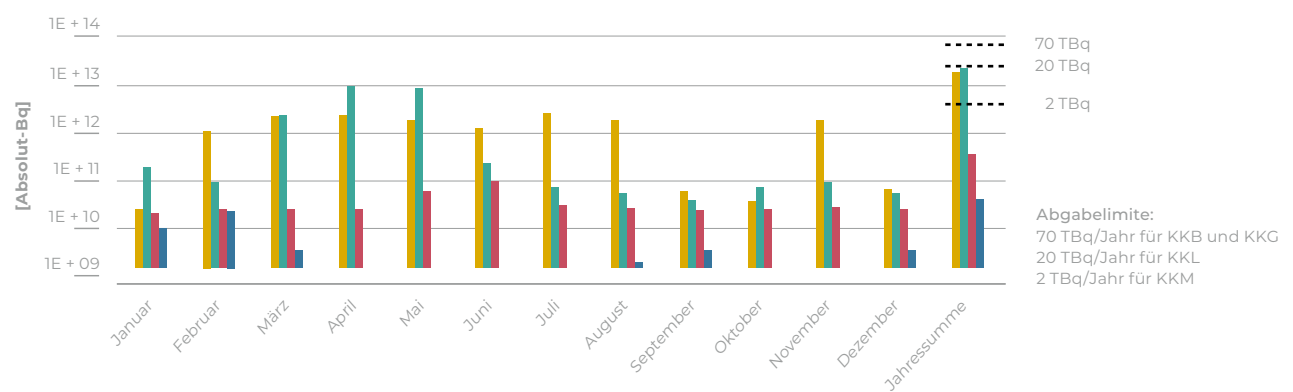
Abgabelimite:
6 GBq/Jahr für KKB
10 GBq/Jahr für KKG
20 GBq/Jahr für KKL und KKM

KKB KKG
KKL KKM

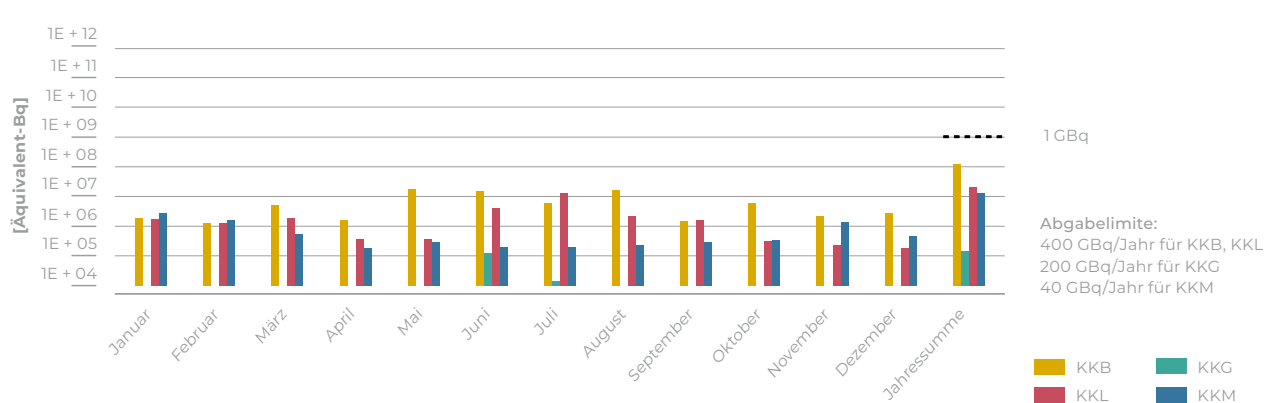
Monatliche Abgaben von Iod-131 mit der Abluft aus den KKW und Jahressumme 2022



Monatliche Abgaben von Tritium mit dem Abwasser aus den KKW und Jahressumme 2022



Monatliche Äquivalentabgaben der übrigen Nuklide mit dem Abwasser aus den KKW und Jahressumme 2022



Ort	Medium	Art der Abgaben ¹	Bilanzierte Abgaben ²				Berechnete Jahresdosis ³		
			Abgabe	Aequi- valentab- gaben ^{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 4200 m ³	Nuklidge- misch ohne Tritium	4,8·10 ⁸	1,1·10 ⁸	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,1·10 ¹³		7·10 ¹³	16 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	3,2·10 ¹²	3,0·10 ¹²	1·10 ¹⁵	0,3 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	5,1·10 ⁵		6·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	2,5·10 ⁶	2,5·10 ⁶	4·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,6·10 ¹⁰				<0,001	0,001	0,0017
	Dosis total						<0,001	0,0011	0,0018
KKG	Abwasser 7707 m ³	Nuklidge- misch ohne Tritium	1,8·10 ⁶	1,5·10 ⁵	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,9·10 ¹³		7·10 ¹³	27 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	<2,6·10 ¹²	<2,7·10 ¹²	1·10 ¹⁵	<0,3 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole			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	4,2·10 ¹⁰				<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total						<0,001	<0,001	<0,001
KKL	Abwasser 14 414 m ³	Nuklidge- misch ohne Tritium	1,6·10 ⁸	3,1·10 ⁷	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	3,8·10 ¹¹		2·10 ¹³	1,9 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	2,5·10 ¹⁰	2,0·10 ¹⁰	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	3,6·10 ⁵		2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I	1,8·10 ⁷	1,8·10 ⁷	2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	5,3·10 ¹¹				0,002	0,0026	0,0044
	Dosis total						0,002	0,0027	0,0044

Tabelle A4:
Zusammen-
stellung der
Abgaben
radioaktiver
Stoffe an die
Umgebung im
Jahr 2022 für
die KKW und
das ZZL und
die daraus be-
rechnete Dosis
für Einzel-
personen der
Bevölkerung.

Anhang 2 – Emissionsdaten aus den Kernanlagen

Ort	Medium	Art der Abgaben ¹	Bilanzierte Abgaben ²				Berechnete Jahresdosis ³		
			Abgabe	Aequi- valentab- gaben ^{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
KKM	Abwasser 2867 m ³	Nuklidge- misch ohne Tritium	5,5·10 ⁷	1,2·10 ⁷	4·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	4,5·10 ¹⁰	4,5·10 ¹⁰	2·10 ¹²	2,3 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	–	–	4·10 ¹²	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,5·10 ⁵		2·10 ¹⁰	<0,1%	0,0021	0,0021	0,0020
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	1,5·10 ⁹				<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total						0,0021	0,0021	0,0020
ZZL	Abwasser 622 m ³	Nuklidge- misch ohne Tritium	6,0·10 ⁸	1,6·10 ⁸	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	3,0·10 ¹⁰				<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	β-/γ- Aerosole	3,5·10 ⁵		1·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		α-Aerosole	1,1·10 ⁴		3·10 ⁷	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	2,3·10 ⁸		1·10 ¹²	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,3·10 ¹⁰		1·10 ¹⁴	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total						<0,001	<0,001	<0,001

	PSI Ost				
	Hochkamin	SAPHIR, PROTEUS	Forschungs-labor	Betriebs-gebäude radioaktive Abfälle	Bundes-zwischen-lager
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]					
Nuklidgemisch ohne Tritium	–	–	–	–	–
Tritium	–	–	–	–	–
Abgaben über die Abluft^{1,2} [Bq/a]					
Edelgase und andere Gase	–	–	–	–	–
β-/γ-Aerosole, ohne Iod	3,4·10 ⁴	–	–	–	–
α-Aerosole	–	–	–	–	–
Iod: Summe aller Isotope	–	–	–	–	–
Tritium als HTO	3,3·10 ⁸	–	–	7,8·10 ⁹	7,5·10 ⁹
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	1,3·10 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%

Tabelle A5:
Zusammen-
stellung der
Abgaben des
PSI im Jahr
2022 und der
daraus be-
rechneten
Dosen für
Einzel-
personen der
Bevölkerung.

	PSI West		Gesamtanlage des PSI ^{1,2}		
	Zentrale Fortluftanla-gen	C-Labor	Abwasser 996 m ³	Abluft	Äqui-valent-abgaben
Abgaben im Abwasser^{1,2} [Bq/a]					
Nuklidgemisch ohne Tritium			3,1·10 ⁷		3,4·10 ⁶
Tritium			8,4·10 ⁹		
Abgaben über die Abluft^{1,2} [Bq/a]					
Edelgase und andere Gase	2,0·10 ¹⁴	–		2,0·10 ¹⁴	8,3·10 ¹⁴
β-/γ-Aerosole, ohne Iod	3,9·10 ⁹	–		3,9·10 ⁹	–
α-Aerosole	–	–		–	–
Iod: Summe aller Isotope	–	–		7,2·10 ⁷	–
Tritium als HTO	2,1·10 ¹²	–		2,1·10 ¹²	–
Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	–	–		1,3·10 ⁷	–
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:					
Erwachsene	0,0076	<0,00015	<0,00015	0,008	
Kind 10 Jahre	0,0076	<0,00015	<0,00015	0,008	
Kleinkinder	0,0076	<0,00015	<0,00015	0,008	
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert ⁴	5,1%	<0,1%	<0,1%	<6%	

Nuklid	Abgaben [Bq im Jahr]					
β-/γ-Strahler	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
³ H	1,1·10 ¹³	1,9·10 ¹³	3,8·10 ¹¹	4,5·10 ¹⁰	8,4·10 ⁹	3,0·10 ¹⁰
²² Na					6,6·10 ⁴	8,5·10 ⁶
²⁴ Na	1,8·10 ⁶					
⁵¹ Cr	3,2·10 ⁵		1,8·10 ⁷			
⁵⁴ Mn	5,7·10 ⁶		4,8·10 ⁶	5,9·10 ⁶	4,6·10 ⁴	7,6·10 ⁵
⁵⁷ Co					1,6·10 ³	
⁵⁸ Co	1,3·10 ⁷		3,1·10 ⁶			6,4·10 ³
⁶⁰ Co	1,3·10 ⁸	1,2·10 ⁵	1,3·10 ⁸	4,3·10 ⁷	5,4·10 ⁵	9,4·10 ⁶
⁶⁵ Zn	4,9·10 ⁷					
⁶⁷ Ga					1,2·10 ⁶	
⁸⁹ Sr	9,2·10 ⁵			1,9·10 ⁶		
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	1,7·10 ⁶			8,2·10 ⁴		1,9·10 ⁵
⁹⁵ Zr	5,6·10 ⁴					
⁹⁵ Nb	5,6·10 ⁴	7,7·10 ⁴				
^{99m} Tc	2,5·10 ⁴	1,3·10 ⁵				
¹⁰³ Ru	1,1·10 ⁵					
^{110m} Ag	3,2·10 ⁶					
¹¹¹ In					9,0·10 ⁴	
¹²² Sb	2,8·10 ⁶					
¹²⁴ Sb	6,3·10 ⁷					5,1·10 ⁵
¹²⁵ Sb	2,3·10 ⁷					1,5·10 ⁷
^{123m} Te	1,5·10 ⁷	1,4·10 ⁶				
^{125m} Te					1,5·10 ⁶	
^{129m} Te	2,5·10 ⁶					
¹³² Te	3,7·10 ⁶	8,6·10 ⁴				
¹³¹ I	4,1·10 ⁶					
¹³³ I	1,9·10 ⁵					
¹³⁴ Cs	1,9·10 ⁶				1,6·10 ⁴	5,4·10 ⁶
¹³⁷ Cs	1,6·10 ⁸			4,4·10 ⁶	9,0·10 ⁶	5,6·10 ⁸
¹⁴⁰ La	3,8·10 ⁴					
¹⁵⁵ Tb					1,7·10 ⁵	
¹⁵⁶ Tb					1,2·10 ⁴	
¹⁶⁰ Tb					1,4·10 ⁴	
¹⁶¹ Tb					9,9·10 ⁶	
¹⁷⁷ Lu					8,4·10 ⁶	
α-Strahlen	*	1,5·10 ⁵	3,8·10 ⁵	1,9·10 ⁴		*
^{234/238} U						
^{239/240} Pu	4,9·10 ³					2,7·10 ³
²³⁸ Pu/ ²⁴¹ Am	2,5·10 ⁴					1,3·10 ³
²³⁹ Np						
²⁴² Cm	1,3·10 ⁴					
^{243/244} Cm	3,0·10 ⁴					

Tabelle A6:
Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2022: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.

* Angabe umfasst für das KKB und ZZL das 4. Quartal 2021 bis und mit dem 3. Quartal 2022.

Nuklid	Abgaben [Bq im Jahr]					
β -/ γ -Strahler	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
Gase, Edelgase						
Tritium	$5,7 \cdot 10^{11}$	$6,3 \cdot 10^{11}$	$4,1 \cdot 10^{11}$	$6,5 \cdot 10^9$	$2,1 \cdot 10^{12}$	$1,3 \cdot 10^{10}$
^{14}C (CO_2)	$3,6 \cdot 10^{10}$	$4,2 \cdot 10^{10}$	$5,3 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^9$	$1,6 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^8$
^{11}C					$3,1 \cdot 10^{13}$	
^{13}N					$3,2 \cdot 10^{13}$	
^{15}O					$1,3 \cdot 10^{14}$	
^{18}F					$9,7 \cdot 10^{11}$	
^{24}Ne						
^{41}Ar			$3,1 \cdot 10^8$		$3,8 \cdot 10^{12}$	
^{85}Kr						
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	$1,0 \cdot 10^{11}$					
^{88}Kr	$1,8 \cdot 10^{11}$					
^{133}Xe	$1,6 \cdot 10^{12}$		$6,4 \cdot 10^9$			
^{135}Xe	$1,3 \cdot 10^{12}$		$1,1 \cdot 10^{10}$			
$^{135\text{m}}\text{Xe}$			$7,4 \cdot 10^8$			
^{137}Xe			$6,6 \cdot 10^9$			
EC-Aequiv.						
EC: β -total		$<2,6 \cdot 10^{12}$				
Andere						
Iod						
^{123}I					$5,5 \cdot 10^6$	
^{124}I						
^{125}I					$6,6 \cdot 10^7$	
^{126}I					$1,4 \cdot 10^5$	
^{131}I	$2,5 \cdot 10^6$		$1,8 \cdot 10^7$			
^{133}I	$1,0 \cdot 10^7$					

Tabelle A7:
Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Edelgase und Iod 2022: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.

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

Tabelle A8:
Abgaben der
Kernanlagen
mit der Abluft,
Aerosole 2022:
Summe der
bei Einzel-
messungen
der Be-
treiber nach-
gewiesenen
Aktivitäts-
abgaben.

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 **Jahresdosis:** Sie 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 2023

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

ENSI-AN-11539
Web: ISSN 2813-334X
Druck: ISSN 2813-3331

