STRAHLENSCHUTZ-BERICHT 2024

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 2024

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

Rapport sur la radioprotection 2024

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

Rapporto di radioprotezione 2024

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

Radiological Protection Report 2024

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

Inhalt

Vorwort 6

Préface 6

Prefazione 8

Foreword 8

Inspektionswesen im Strahlenschutz 10

Strahlenschutz in den Kernanlagen 22

1. **Grundlagen anlageninterner Strahlenschutz 24**
   - 1.1 Allgemeines 24
   - 1.2 Grundlagen der Dosimetrie 25
   - 1.3 Dosimetrierung von Personal 26
   - 1.4 Ausbildung im Strahlenschutz 27
   - 1.5 Grundlagen für den Strahlenschutzbericht 28

2. **Kernkraftwerke 30**
   - 2.1 Kernkraftwerk Beznau, Block 1 und 2 30
   - 2.2 Kernkraftwerk Gösgen 40
   - 2.3 Kernkraftwerk Leibstadt 48
   - 2.4 Kernkraftwerk Mühleberg 56

3. **Weitere Kernanlagen 62**
   - 3.1 Paul Scherrer Institut 63
   - 3.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen 67
   - 3.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne 69

Umgebungsüberwachung und Schutz der Bevölkerung: Emissionen und Immissionen 70

4. Grundlagen Emissions- und Immissionsüberwachung 72

5. Emissionen aus den Kernanlagen 74

6. Immissionen in der Umgebung der Kernanlagen 78
6.1 Ortsdosis und Ortsdosis-leistung in der Umgebung der Kernanlagen 78
6.2 Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der KKW (MADUK) 79
6.3 Immissionsmessungen im Wasserpfad 83
6.4 Aeroradiometrische Messungen 83

Notfallschutz 88

7. Grundlagen Notfallschutz 90
7.1 Notfallschutz in der Schweiz 91
7.2 Notfallschutz international 92

8. Notfallschutz im ENSI 96
8.1 Aufgaben des ENSI 96
8.2 Die ENSI-Notfallorganisation 96

9. Notfallschutzinspektionen 104

Anhang 1 – Dosimetriedaten 108

Anhang 2 – Emissionsdaten aus den Kernanlagen 110

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser

Mit Kontrollen, Inspektionen und Messungen überwacht das ENSI die Emissionen der Schweizer Kernanlagen. Auch im Jahr 2024 vergewisserte sich das ENSI, dass alle schweizerischen Kernanlagen die Limiten für die Abgabe radioaktiver Stoffe an die Umwelt mit grossen Margen einhielten. Die Immissionsmessungen der Umweltradioaktivität in der Umgebung der Kernkraftwerke mittels **MADUK**-Sonden werden in Echtzeit, die monatlichen **Emissionen** der Kernkraftwerke zu Beginn des Folgemonats auf der ENSI-Webseite veröffentlicht. Aus den Kernanlagen resultierten im Jahresmittel mögliche Dosen für die Bevölkerung, die kleiner als 0,01 Millisievert sind (unter «Übrige» in der nachfolgenden Grafik dargestellt). Das ENSI bestätigt, dass im Berichtsjahr alle gesetzlichen Anforderungen an die Strahlenexposition des Kernanlagen-Personals eingehalten wurden.

2024 führte das ENSI zahlreiche Inspektionen in Kernanlagen durch, um deren ordnungsgemässen Betrieb aus Sicht des Strahlenschutzes und der Notfallbereitschaft zu überprüfen. Speziell wurden Kältemaschinen in den Kernkraftwerken und Freimessanlagen im Rahmen einer Kampagne inspiziert. Bei Instandhaltungsarbeiten mit signifikanten Dosen für das Personal, bei den Jahresrevisionen der Kernkraftwerke sowie beim Brennelementwechsel waren ENSI-Inspektoren regelmässig anwesend, um sich zu vergewissern, dass die Arbeiten nach den Regeln der Technik und unter Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften durchgeführt wurden.

Bei den Kernanlagen in Stilllegung kontrollierte das ENSI die konforme Durchführung des Rückbaus mit einer dem Gefährdungspotenzial für Mensch und Umwelt angepassten Aufsicht. Die sich dabei immer ändernde Anlagenkonfiguration stellt eine Herausforderung dar. Der Fokus des Strahlenschutzes richtet sich auf den Schutz des beim Rückbau eingesetzten Personals vor einer Strahlenexposition, bis in der stillgelegten Anlage keine kontrollierten Zonen mehr erforderlich sind. Das Bundesverwaltungsgericht bestätigte

Préface

Chères lectrices, chers lecteurs



Rosa Sardella

Grâce à des contrôles, des inspections et des mesures, l'IFSN surveille les émissions des installations nucléaires suisses. En 2024 l'IFSN s'est assuré que toutes les installations nucléaires en Suisse ont respecté, avec des marges importantes, les limites d'émission de substances radioactives dans l'environnement. Les mesures d'immissions **MADUK** de la radioactivité de l'environnement autour des centrales nucléaires sont publiées en temps réel sur le site Internet de l'IFSN. Sur ce même site peuvent être consultées les mesures mensuelles d'**émissions** des centrales nucléaires qui sont publiées en début du mois suivant. Les installations nucléaires ont généré une dose annuelle moyenne pour la population inférieure à 0,01 millisievert (inclus sous « Autres » dans le graphique ci-dessous). L'IFSN confirme que toutes les exigences légales concernant l'exposition aux radiations du personnel des installations nucléaires ont été respectées en 2024.

L'IFSN a mené de nombreuses inspections afin de vérifier la radioprotection sur place et la préparation aux situations d'urgence. On peut en particulier mentionner l'inspection des systèmes de réfrigération dans les centrales nucléaires et des moniteurs de libération lors de campagnes dédiées. Lors des travaux de maintenance impliquant des doses significatives pour le personnel, lors des révisions annuelles des centrales et du renouvellement du combustible, les inspecteurs sont régulièrement présents afin de s'assurer que les opérations sont menées conformément aux règles de la technique et dans le respect des exigences légales.

Concernant les installations nucléaires en désaffectation, l'IFSN a contrôlé avec une surveillance adaptée au potentiel de danger pour l'être humain et l'environnement que le démantèlement est mené de façon conforme. La configuration changeante des installations représente un défi. Jusqu'à la levée des zones de contrôle dans les installations en désaffectation, la radioprotection se focalise sur la protection des travailleurs contre

2024 die Verfügung des ENSI, welche Nachrüstungen an einer Nassdekontaminationseinrichtung im Kernkraftwerk Mühleberg forderte, um den Schutz des Personals vor Strahlung sicherzustellen und somit die nukleare Sicherheit zu stärken.

2024 hat wiederum eine Gesamtnotfallübung mit dem Szenario eines schweren Nuklearunfalls im Kernkraftwerk Gösgen stattgefunden, an der die Notfallorganisationen der Schweiz teilgenommen haben. Das ENSI engagierte sich dabei bereits in der Übungsvorbereitung mit Fachbeiträgen und bot Schulungen für die Notfallpartner an. Während der Gesamtnotfallübung kam für das ENSI erstmals die neue digitale Arbeitsoberfläche zum Einsatz, welche die Arbeit der eigenen Notfallorganisation mit einer ergonomisch verbesserten Darstellung unterstützt.

Bei der Weiterentwicklung des Regelwerks wurde die neue Richtlinie ENSI-B09 zur Ermittlung und Aufzeichnung der Dosen strahlenexponierter Personen mit ergänzten Anforderungen vom ENSI definitiv erlassen. Die Neuauflage der Richtlinie ENSI-G14 für die Berechnung der Dosen in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe und der Direktstrahlung aus Kernanlagen stand Ende 2024 kurz vor der Verabschiedung. Diese beiden angepassten Richtlinien erlauben es dem ENSI den Empfehlungen, welche die Internationale Atomenergie-Agentur IAEA bei der internationalen Überprüfungsmission in der Schweiz im Jahr 2021 festhielt, nachzukommen und Lücken im Regelwerk zu schliessen.

Diese und weitere Themen sind im Strahlenschutzbericht 2024 zu finden. Ich wünsche Ihnen eine angenehme Lektüre!

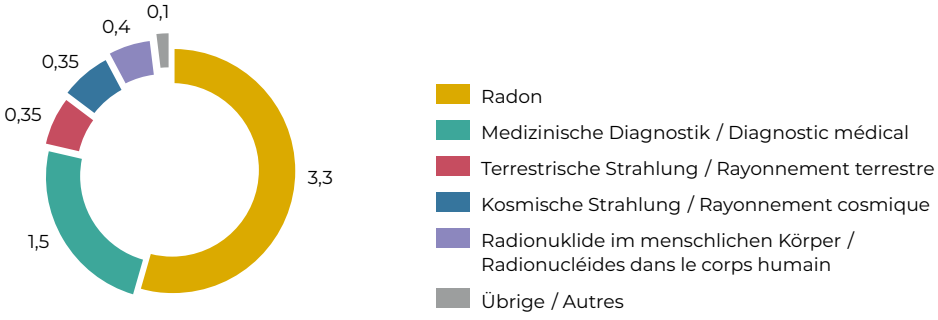
les risques liés aux rayonnements ionisants. Dans ce contexte, le tribunal administratif fédéral a confirmé la décision de l'IFSN qui demandait un rééquipement d'une unité de décontamination par voie humide à la centrale de Mühleberg afin de garantir la radioprotection du personnel et, par de même, le renforcement de la sécurité nucléaire.

Sur la base d'un scénario d'accident nucléaire grave à la centrale de Gösgen, un exercice général d'urgence a eu lieu en 2024 avec la participation des organisations d'urgence de Suisse. L'IFSN s'était déjà impliquée dans la préparation de cet exercice à travers des contributions techniques et en proposant des formations pour les partenaires d'urgence. Pendant l'exercice, l'IFSN a pu utiliser avec succès la nouvelle plateforme numérique qui assiste sa organisation d'urgence avec une présentation améliorée de la situation.

Concernant le développement de la réglementation, l'IFSN a publié la nouvelle directive ENSI-B09 pour le calcul et l'enregistrement des doses des personnes exposées aux radiations. La nouvelle édition de la directive ENSI-G14, relative au calcul des doses pour la population suite à des émissions de substances radioactives et à la radiation directe des installations nucléaires, se trouvait sur le point d'être adoptée à la fin de l'année 2024. Ces deux directives révisées nous permettent de répondre aux recommandations identifiées lors de la mission d'évaluation menée en Suisse en 2021 par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) et de combler des lacunes réglementaires.

Ces sujets, ainsi que d'autres, sont abordés dans le présent rapport de radioprotection 2024. Je vous souhaite une bonne lecture !

Mittlere Jahresdosis / Dose annuelle moyenne [mSv]



Prefazione

Cari lettori e care lettrici

tramite continui controlli, ispezioni e misurazioni l'IFSN sorveglia le emissioni dagli impianti nucleari svizzeri. In tal modo l'IFSN si è assicurato che nel 2024 tutti gli impianti nucleari in Svizzera abbiano rispettato con ampi margini i limiti di emissione di sostanze radioattive nell'ambiente. I dati delle sonde **MADUK,** che misurano la radioattività ambientale all'intorno delle centrali nucleari, sono pubblicati in tempo reale sul sito internet dell'IFSN così come mensilmente le **emissioni** delle stesse centrali. Il funzionamento degli impianti nucleari comporta (potenzialmente) una dose media annuale alla popolazione inferiore a 0,01 millisievert (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.

Anche nel 2024 sono state condotte numerose ispezioni sulle installazioni nucleari per accertarsi del loro corretto funzionamento dal punto di vista della radioprotezione e preparazione alle emergenze. Sono da evidenziare le ispezioni condotte su sistemi refrigeranti utilizzati nelle centrali e sulle apparecchiature per la liberazione dei materiali nell'ambito di campagne dedicate. Durante i lavori di manutenzione con dosi rilevanti per il personale, e specialmente in corrispondenza degli arresti programmati delle centrali per il rinnovo del combustibile, la presenza degli ispettori dell'IFSN è assidua per potersi assicurare che le operazioni vengano condotte secondo le regole dell'arte nel rispetto delle esigenze di legge.

Per ciò che concerne gli impianti nucleari in smantellamento l'IFSN ha condotto le proprie attività di sorveglianza adeguandole al residuo potenziale di rischio per l'uomo e l'ambiente. La configurazione negli impianti che varia in continuazione durante lo smantellamento richiede un focus particolare nell'ambito del controllo: l'attenzione si sposta sempre più sulla protezione dei lavoratori a fronte dell'esposizione alle radiazioni fino a che nell'impianto dismesso non v'è più zona control-

Foreword

Dear Readers,



Rosa Sardella

ENSI (the Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate) employs inspections, monitoring, and measurements to oversee emissions from Swiss nuclear facilities. In the reporting year 2024, ENSI ensured that all Swiss nuclear facilities adhered to the limits for the release of radioactive substances into the environment by large margins. The environmental radioactivity measurements in the vicinity of the nuclear power plants, conducted using **MADUK** probes as well as the monthly **emissions** from the plants, are published on the ENSI website, the former even in real time. The annual average of the doses for the population resulting from the operation of the nuclear plants was below 0,01 millisieverts (shown as "Others" in the following graph). ENSI also confirms that all legal requirements concerning radiation exposure for the nuclear facility personnel were met in the reporting year.

In the reporting year, ENSI again carried out numerous inspections at nuclear facilities to verify their proper operation in terms of radiation protection and emergency preparedness. Specifically, refrigeration systems of the nuclear power plants and clearance monitors were inspected as part of dedicated campaigns. ENSI inspectors are regularly present during maintenance work involving significant doses for personnel, during planned annual outages of the nuclear power plants, and during refueling, to ensure that the work is carried out according to technical standards and in compliance with statutory provisions.

ENSI also oversaw the proper implementation of the decommissioning process for shut-down nuclear facilities, with oversight adapted to the potential hazards for humans and the environment. The ever-changing plant configuration during decommissioning presents a challenge for the supervisory authority: the focus of radiation protection is specifically on protecting the decommissioning workers from radiation exposure, until the facility no longer requires radiologically controlled zones. The Federal Administrative Court confirmed the ENSI order, which required retrofitting of a wet de-

lata. Il Tribunale amministrativo federale ha in tale ambito confermato l'ordine emesso dall'IFSN che richiedeva migliorie per una unità di decontaminazione ad acqua nella centrale di Mühleberg, al fine di rinforzare la radioprotezione del personale e quindi la sicurezza nucleare.

Le organizzazioni di emergenza svizzere hanno partecipato nel 2024 all'esercitazione di emergenza generale con uno scenario di incidente nucleare grave sulla centrale di Gösgen. In fase di preparazione l'IFSN si è impegnato con input specialistici e proposte di formazione per i partner della protezione della popolazione. Durante l'esercitazione l'IFSN ha potuto utilizzare con risultati positivi la nuova piattaforma digitale con un'ergonomia migliorata quale supporto ai processi della propria organizzazione di emergenza.

Per ciò che concerne lo sviluppo della regolamentazione l'IFSN ha emanato la nuova direttiva ENSI-B09 per il calcolo e la registrazione delle dosi delle persone esposte alle radiazioni, completata con requisiti derivati dalla prassi. La nuova edizione della direttiva ENSI-G14 relativa al calcolo delle dosi per la popolazione dovute a rilasci e a radiazione diretta dagli impianti nucleari è stata portata avanti nel 2024 cosicché a fine anno risultava essere prossima alla definitiva pubblicazione. Le due direttive aggiornate ci permettono di rispondere ai miglioramenti identificati durante la missione di verifica condotta in Svizzera nel 2021 dall'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (AIEA) e di colmare eventuali lacune normative.

Questi e altri temi potrete trovare nel presente Rapporto di radioprotezione 2024, buona lettura!

contamination facility at the Mühleberg nuclear power plant to ensure long-term protection from radiation for personnel and thus maintain nuclear safety.

Switzerland's emergency organizations participated in the national emergency exercise in 2024, simulating a severe nuclear accident at the Gösgen nuclear power plant. In preparation for the exercise, ENSI contributed with technical expertise and provided training for the emergency partners. During the national emergency exercise, ENSI employed its new digital interface, with improved ergonomics, significantly enhancing the efficiency of its emergency operations.

In terms of regulatory development, the new guideline ENSI-B09 for determining and recording the doses of radiation-exposed individuals, with additional requirements derived from previous practices, was definitively issued. The revised version of guideline ENSI-G14, which deals with the calculation of doses in the environment due to emissions of radioactive substances and direct radiation from nuclear facilities, was drafted to the point where it was almost ready for adoption at the end of 2024. These two updated guidelines ensure compliance with the recommendations issued by the International Atomic Energy Agency (IAEA) following its 2021 review mission in Switzerland, while also addressing gaps in the regulatory framework.

These and other topics can be found in the 2024 Radiation Protection Report. I wish you an enjoyable read!

Dose media annuale / Average annual dose [mSv]



Inspektionswesen im Strahlenschutz

Die Frage nach der Devise «Vertrauen ist gut, Kontrolle ist besser» stellen wir uns nicht. Es gehört zum ureigenen gesetzlichen Auftrag des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats zu inspizieren. Inspektionen sind ein wirksames Mittel, sich vor Ort zu vergewissern, dass die gesetzlichen Anforderungen von den Betreibern der Kernanlagen erfüllt werden. Das ENSI unterscheidet zwischen angemeldeten und unangemeldeten Inspektionen. Bei angemeldeten Inspektionen gibt man dem Beaufsichtigten die Gelegenheit sich vorzubereiten, um beispielsweise alle notwendigen Unterlagen bereitzustellen, geeignete Ansprechpersonen aufzubieten oder Anlagenbereiche zugänglich zu machen. Im Gegensatz dazu stehen unangemeldete Inspektionen, welche zum Ziel haben, einen authentischen Zustand der Anlage anzutreffen.

Eine Inspektion stellt immer eine Momentaufnahme dar und eine Stichprobe kann nie den Gesamtzustand erfassen. Gleichwohl ergeben sich über die etwa 500 Inspektionen, die das ENSI im Jahr durchführt, belastbare Anhaltspunkte, ob die Betreiber ihrer Verantwortung nachkommen, ihre Kernanlagen sicher zu betreiben.

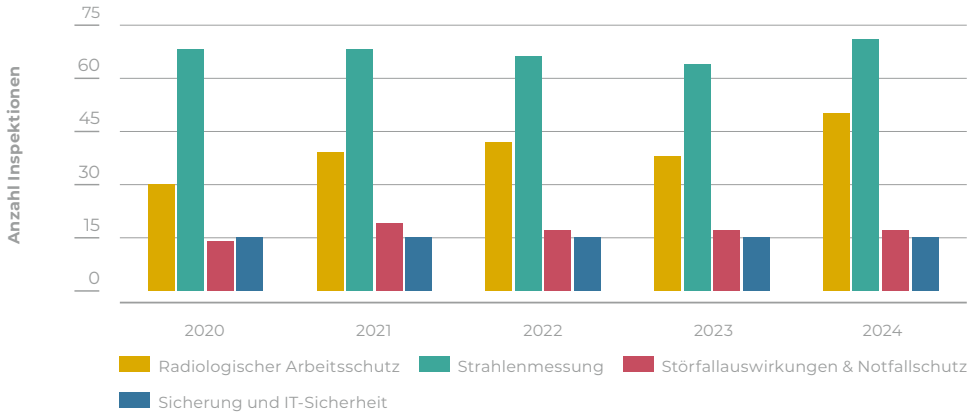
Der Strahlenschutz als integraler Bestandteil der nuklearen Sicherheit umfasst administrative, organisatorische, technische und menschliche Aspekte. Die ganzheitliche Betrachtung dieser Aspekte steht bei Inspektionen zum Strahlenschutz im Zentrum. So untersucht man bei einer festgestellten unzulässigen Kontamination in der Anlage nicht nur den Grund für den Zustand, sondern man überprüft, ob Prozesse und menschliche Faktoren eine Rolle dabei gespielt haben. 2024 hat das ENSI insgesamt 156 Inspektionen mit dem Hauptthema Strahlenschutz durchgeführt. Ferner hat es auch die Sicherung von radioaktivem Material kontrolliert. Letzteres zeigt, dass der Strahlenschutz nicht an der Pforte einer Kernanlage aufhört. Dies unterstreichen auch die Analysen von Umweltproben. Darstellung 1 zeigt die Anzahl durchgeführter Inspektionen verteilt auf die unterschiedlichen Fachsektionen (Radiologischer Arbeitsschutz, Sicherung & IT-Sicherheit, Strahlenmessung sowie Störfallauswirkungen & Notfallschutz) des ENSI.

Die Inspektionsstelle des ENSI ist durch die Schweizerische Akkreditierungsstelle (SAS) akkreditiert. Sie richtet sich nach den Vorgaben der SN EN ISO/IEC 17020:2012 (Konformitätsbewertung – Anforderungen an den Betrieb verschiedener Typen von Stellen, die Inspektionen durchführen). Eine Inspektion läuft somit nach einem festen, vordefinierten Prozess ab, der nebst der Vorbereitung auch die Durchführung und die Erstellung eines Inspektionsberichts beinhaltet. Damit eine gleichbleibende Qualität gewährleistet werden kann, müssen alle, die in ihrer Funktion am ENSI inspizieren wollen, ein ausführliches Aus- und Weiterbildungsprogramm absolvieren. So werden die verschiedenen Aspekte des Inspektionswesens geschult und die Anlagenkenntnisse ausgebaut. Am Ende der Ausbildung müssen sich die angehenden Inspektorinnen und Inspektoren, als Basis für ihre Ernennung, einer Prüfungsinspektion unterziehen. Danach sind sie verpflichtet, an der jährlichen Weiterbildung teilzunehmen und werden zudem alle fünf Jahre einer Überwachungsinspektion unterzogen.

In der Darstellung 1 sind nur jene Inspektionen abgebildet, bei welchen eine Fachsektion aus dem Bereich Strahlenschutz die Leitung innehatte. Da das ENSI aber interdisziplinäre Aufsicht betreibt und entsprechend auch fachübergreifend inspiziert, gibt es eine Vielzahl weiterer Inspektionen mit Beteiligung von Spezialisten aus dem Fachbereich Strahlenschutz. Zu diesen fachübergreifenden Inspektionen gehören beispielsweise die so genannten Schwerpunktinspektionen. Diese werden einmal jährlich in allen für das Thema relevanten Kernanlagen durchgeführt.

Inspektionswesen im Strahlenschutz

Anzahl der ENSI-Inspektionen aus dem Fachbereich Strahlenschutz



Darstellung 1: Anzahl durchgeführter Inspektionen der vergangenen fünf Jahre der Fachsektionen aus dem Fachbereich Strahlenschutz des ENSI.

Der Grossteil der den Strahlenschutz betreffenden Inspektionsgegenstände wurde in den vergangenen Jahren mit dem Prädikat «Normalität» bewertet. Im tiefen zweistelligen Bereich gab es Inspektionen, welche mit «Verbesserungsbedarf» oder, bei einer relevanten Auswirkung auf die nukleare Sicherheit, eine Stufe höher mit «Abweichung» bewertet wurden. Diese beiden Stufen kommen zur Anwendung, wenn ein nicht regelkonformer Zustand angetroffen wird. Aufgrund von festgestellten Nichtkonformitäten werden anschliessend Forderungen an den Betreiber gestellt.

Inspektionen der Sektion Radiologischer Arbeitsschutz

Die Sektion Radiologischer Arbeitsschutz inspiziert den operationellen Strahlenschutz, die Personendosimetrie, die Betriebssanität, die Wasserchemie in den Kernkraftwerken, die Ausbildung des Strahlenschutzpersonals, die Strahlenquellen und Röntgenanlagen sowie die Fluchtwege in den kontrollierten Zonen der Kernanlagen. Dieses breite Spektrum wird durch ein interdisziplinäres Team, bestehend aus Chemikern, Physikern, einem Techniker und einer Epidemiologin abgedeckt. Dabei sind alle Inspektorinnen und Inspektoren im Fachgebiet Strahlenschutz ausgebildet.

Operationeller Strahlenschutz

Der operationelle Strahlenschutz umfasst generell die Überprüfung und die Wirkung der getroffenen Strahlenschutzmassnahmen in der Kernanlage. Dabei liefert der radiologische Anlagenzustand bezüglich Kontaminations- und Ortsdosisleistungswerten einen wichtigen Anhaltspunkt. Treffen die Inspektorinnen und Inspektoren auf einen nichtkonformen Zustand, so wird der Sachverhalt aufgenommen und ergründet. Dabei ist es unerlässlich das Zusammenspiel zwischen Mensch, Organisation und Technik zu verstehen, um eine möglichst ganzheitliche Bewertung vornehmen und zielgerichtete Forderungen stellen zu können.

Beim operationellen Strahlenschutz werden unter anderem die radiologische Situation vor Ort (Bild 1), Arbeitsabläufe im Strahlenfeld oder die Strahlenexposition aufgrund von erfassten Kollektiv-, Job- und Individualdosen, Personenkontaminationen oder Inkorporationen kontrolliert. Zudem begehen die Inspektoren die Kernanlage und überprüfen stichprobenartig anhand von Messungen die radiologische Situation. Die Inspektionen finden teilweise unangemeldet statt.



Bild 1: ENSI-Inspektor bei der Kontrolle der Ortsdosisleistung an der Grenze einer kontrollierten Zone.

Im Detail werden beim operationellen Strahlenschutz folgende Aspekte adressiert:

- Begehung der Anlage und Messung von Dosisleistungen sowie Kontrolle der Anlagenkontamination anhand von Wischtests;
- Kontrolle strahlenschutztechnischer Journale auf Vollständigkeit, Aktualität und Visierung;
- Kontrolle des ordnungsgemässen Verhaltens von Eigen- und Fremdpersonal in der kontrollierten Zone und an Zonenübergängen sowie die Anwendung von geeigneten Schutzmitteln;
- Kontrolle der festen und mobilen Strahlenschutzmessmittel auf Funktionalität, Prüf- und Eichzeitraum;
- Kontrolle von Strahlenquellen und Röntgenanlagen;
- Kontrolle der korrekten Unterdruckstaffelung und Druckdifferenzen an mobilen Luftfilteranlagen;
- Beurteilung der eingerichteten Arbeitsplätze in Bezug auf Ordnung, Sauberkeit (Housekeeping) und Strahlenschutzaspekte;
- Kontrolle von Arbeitsaufträgen auf Plausibilität und Gültigkeit;
- Präsenzkontrolle des Strahlenschutzpersonals gemäss Einsatzplanung und dessen Qualifikation (Stand der Aus- und Fortbildung);
- Aufnahme von Sachverhalten in Bezug auf die konventionelle Arbeitssicherheit, Hinterfragen der Anzahl von Arbeitsunfällen in der kontrollierten Zone.

Die Strahlenüberwachung des Personals, welches in den kontrollierten Zonen eingesetzt wird, trägt neben den praktischen bzw. operationellen Strahlenschutzmassnahmen allgemein auch zur Arbeitssicherheit bei. Zusätzlich zu einem passiven Personendosimeter besteht die Tragpflicht auch für ein aktives bzw. elektronisches Personendosimeter. Diese Tragepflicht wird konsequent überprüft. Gerade bei sogenannten Zonenwechseln, bei denen das Schutztenue gewechselt wird, besteht das Risiko, dass ein Personendosimeter im alten Tenue zurückgelassen wird.

Betriebssanität

Die Betriebssanität als Element der Notfallorganisation einer Kernanlage hat eine wesentliche Schnittstelle zum Strahlenschutz. Hierbei stellen sich konkrete Fragen, wann lebensrettende Massnahmen Vorrang vor Strahlenschutzmassnahmen haben müssen. Diese und andere Fragestellungen werden regelmässig in Übungen der Betriebssanität, welche von der Sektion Radiologischer Arbeitsschutz inspiziert werden, adressiert.

Wasserchemie

In den Kernkraftwerken im Leistungsbetrieb muss das Wasser, welches den Reaktor kühlt und zur Moderation der Neutronen beiträgt, bestimmte chemische Anforderungen erfüllen. Die Kontamination des Wassers mit Fremdstoffen ist so weit wie möglich zu reduzieren, so dass eine unerwünschte Aktivierung minimiert wird. Gleichzeitig muss das elektrochemische Potenzial des Wassers anhand von Zusatzstoffen in einer gewissen Bandbreite gehalten werden, um Spannungsrisskorrosion zu vermindern. Während dedizierter Inspektionen kontrollieren Chemiker des ENSI die Analysen von Wasserproben sowie die dazugehörigen Prozesse und bewerten die Entwicklung von Messgrössen. Sie achten insbesondere darauf, ob die Aktivität der im Wasser aufgelösten Spaltprodukte steigt. Dies würde auf einen Schaden an einem Brennstab hinweisen.

Ausbildung des Strahlenschutzpersonals

Die anerkannte Ausbildung des Strahlenschutzpersonals bildet das Fundament eines soliden Strahlenschutzes in den Kernanlagen. Inspektionen von Ausbildungslektionen zielen auf die Lerninhalte, die Fachkompetenz und Methodik ab. Prüfungen der Ausbildungsinstitution werden mit Blick auf die konforme Durchführung gemäss Prüfungsreglement inspiziert.

Fluchtwege

Fluchtwege in der kontrollierten Zone müssen neben der Sicherstellung einer schnellen Evakuation auch die Anforderungen des Strahlenschutzes erfüllen. Die Verschleppung von Kontamination ist möglichst zu verhindern, ohne dass die sichere Evakuation behindert wird. Bei ihren zahlreichen Anlagebegehungen inspizieren die Fachleute des ENSI die hierbei vom Betreiber ergriffenen Massnahmen.

Inspektionswesen im Strahlenschutz

Fazit

Zusammenfassend trägt die Sektion Radiologischer Arbeitsschutz durch ihre fachübergreifende Inspektionstätigkeit zur nuklearen Sicherheit von Kernanlagen bei. Strahlenschutz ist die Aufgabe aller und das Zusammenspiel der verschiedenen Akteure ist laufend zu überprüfen und anzupassen. Dabei spielt der Faktor Mensch die wichtigste Rolle. Dies spiegelt sich in der gelebten Sicherheitskultur wider.

Inspektionen der Sektion Strahlenmessung

Die Aufgaben der Sektion Strahlenmessung umfassen sowohl die Kontrolle und Bewertung der Abgabe radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen, die Überwachung der radiologischen Umweltauswirkungen als auch die Sicherstellung geeigneter messtechnischer Ausrüstung zum Schutz von Personal und Umgebung. Inspektionen sind ein wichtiges und wertvolles Instrument dafür. Ein Grossteil der Inspektionen beinhaltet das Durchführen von Strahlenmessungen. Um höchste Standards für diese Messungen im Rahmen von Inspektionen zu gewährleisten, betreibt die Sektion ein akkreditiertes Messlabor.

Die Inspektionen zielen mehrheitlich darauf ab, die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben bezüglich Emission und Immission der Schweizer Kernanlagen gemäss der Strahlenschutzverordnung sicherzustellen oder Freimessungen von Materialien und Räumen zu überprüfen und damit die Sicherheit von Kernanlagen und deren Umgebung zu gewährleisten.

Inspektionsablauf

Für den Inspektionsablauf werden die fachspezifischen Grundlagen herangezogen. Sie geben die zu inspizierenden Gegenstände und den dazugehörigen Ablauf einer Inspektion zu verschiedenen Themen vor. Eine Besonderheit bei vielen Inspektionen der Sektion Strahlenmessung ist der Beizug der Expertise des akkreditierten Messlabors des ENSI. Häufig werden durch Messungen des Messlabors die Bewertungsgrundlagen für die Inspektion geprüft oder gar erst geschaffen.

Während systematische Überwachungsinspektionen, wie die sogenannte Zaunmessung (Ortsdosisleistungsmessung am Arealzaun entlang) oder die Emissionsüberwachungsinspektionen mit Probenahme, vorausschauend geplant werden können, sind andere Inspektionen, wie zum Beispiel solche zum Thema Befreiung oder Abklinglagerung grundsätzlich reaktiver Natur. Das heisst, sie werden aufgrund eingegangener Meldungen veranlasst, was wiederum eine flexible Planung der vorhandenen Ressourcen wie Personal und Messmittel erfordert.

Ein anderes Inspektionsthema ist die Bewertung der radioaktiven Abgaben und deren Immissionen. Dazu werden jährliche Berichte erstellt, welche die Strahlenbelastung der Bevölkerung im Umfeld von Kernanlagen dokumentieren. Die Berichte basieren auf umfangreichen Stichproben und Messungen, die im Rahmen von Inspektionen durchgeführt werden.

Folgende Themen werden durch die Sektion regelmässig inspiziert:

- **Emissionsüberwachung mit Beprobung:** Systematische Inspektion mit Messung von Luftfilter- und Abwasserproben, um die Messtätigkeit der Kernanlagen zu überprüfen und die darauf basierende Bilanzierung der radioaktiven Abgaben zu belegen.
- **Befreiung und Abklinglagerung von Materialien:** Inspektion zur Überprüfung der von Kernanlagen getätigten Messungen zur Befreiung von Material aus der Strahlenschutzgesetzgebung und der durchgeführten Entscheidungsmessungen, um den weiteren Entsorgungsweg des gemessenen Materials zu definieren.
- **Befreiung von Kontrollbereichen:** Inspektion zur Überprüfung der durch die Kernanlagen durchgeführten Messungen zur Befreiung von Räumlichkeiten aus der Strahlenschutzgesetzgebung.
- **Bilanzierung der Abgaben von radioaktiven Stoffen:** Inspektion zur Überprüfung der Bilanzierung von radioaktiven Abgaben, welche auf den gemessenen Abgaben über die Fortluft und das Abwasser basiert.
- **Strahlenmessmittel in den Anlagen:** Inspektion zur Beurteilung von Messsystemen, die der Überwachung der Dosisleistung und der Aktivitätskonzentration dient, oder auch den ortsfesten Freimesseinrichtungen in Anlagen.

- **Anerkennung der Personendosimetriestellen:** Inspektion zur Überprüfung der Prozesse und Infrastruktur von Dosimetriestellen, um die Übereinstimmung mit den gesetzlichen Voraussetzungen zu kontrollieren.
- **Immissionsüberwachung Grasproben:** Systematische Inspektion nach dem Öffnen eines Reaktordruckbehälters – meist aufgrund einer Revisionsabstellung oder eines Brennelementwechsels – mittels Beprobung von Gras aus der Umgebung der betroffenen Kernanlage, zur Überprüfung, ob eine Freisetzung anthropogener Radionuklide stattgefunden hat.
- **Immissionsüberwachung In-situ-Spektrometrie:** Mit Hilfe von In-situ-Spektrometrie werden verschiedene Inspektionen zu folgenden Themengebieten durchgeführt:
  - Beweissicherungsmessungen bei MADUK-Sonden (mehr zu MADUK in Kapitel 6.2) zur Qualitätssicherung und bei unerklärlichen Abweichungen vom Erwartungswert;
  - Beweissicherungsmessungen bei TLD-Umgebungsdosimetern (mehr zu den Umgebungsdosimetern in Kapitel 6.1) zur Qualitätssicherung und bei unerwarteten Abweichungen vom langjährigen Erwartungswert;
  - Messungen nach grösseren radioaktiven Abgaben, wenn Ausbreitungsrechnungen eine Bodenkontamination über der Nachweisgrenze der In-situ-Gammaspektrometrie erwarten lassen.
- **Immissionsüberwachung Ortsdosisleistung:** Systematische Inspektion zur Überwachung der Ortsdosisleistung an der Grenze des Betriebsareals der Kernanlagen.

Fazit

Die Sektion Strahlenmessung überwacht durch umfassende Inspektionen die Sicherheit von Kernanlagen und deren Umgebung. Mit systematischen, geplanten und reaktiven Inspektionen trägt die Sektion entscheidend zum Strahlenschutz und zur Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben bei.

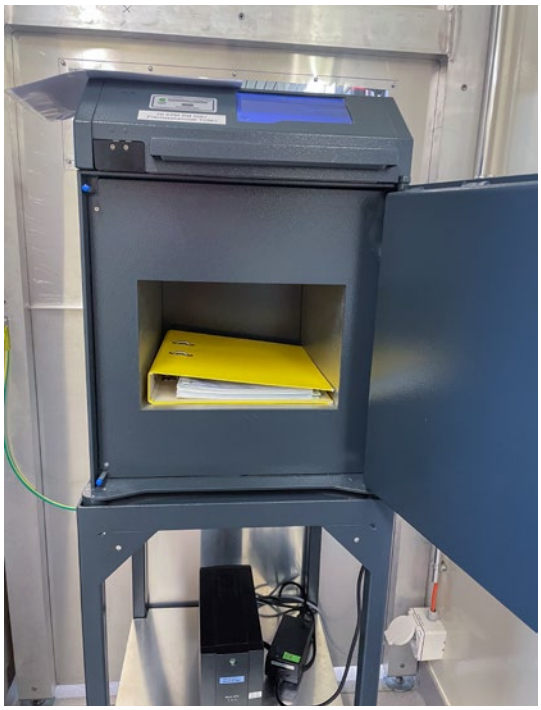


Bild 2: Freimessschrank für Kleinteile im Kernkraftwerk Beznau, der im Rahmen einer Inspektion überprüft wurde.

Inspektionen der Sektion Störfallauswirkungen & Notfallschutz

Da im Falle eines schweren Unfalls nicht ausgeschlossen werden kann, dass grosse Mengen an radioaktiven Stoffen aus einer Kernanlage an die Umgebung abgegeben werden, müssen die Kernanlagenbetreiber durch geeignete Massnahmen möglichst verhindern, dass ein solcher Fall eintritt. Sollte es dennoch zu einem Unfall kommen, sind die Auswirkungen auf die Bevölkerung und die Umwelt möglichst klein zu halten. Hierfür benötigen die Kernanlagenbetreiber unter anderem geeignetes Material in ausreichender Menge, gut ausgebildetes Personal und vordefinierte Prozesse, die regelmässig geübt werden. Für die Kontrolle der Einhaltung dieser Vorgaben ist die Sektion Störfallauswirkungen & Notfallschutz zuständig.

Das ENSI führt hinsichtlich des radiologischen Notfallschutzes im Rahmen der Planung und Vorbereitung Inspektionen in verschiedenen Bereichen durch. Der Sollzustand leitet sich dabei aus den regulatorischen Vorgaben der Strahlenschutz-, Bevölkerungsschutz- und Kernenergiegesetzgebung ab. Weitere Vorgaben sind in Richtlinien des ENSI definiert, zum Beispiel in der Richtlinie ENSI-B12 «Notfallschutz in Kernanlagen».

Inspektionswesen im Strahlenschutz

Notfallübungen

Notfallübungen haben den Zweck, die Ausbildung und Zusammenarbeit aller in Notfallorganisationen eingeteilten Personen zu fördern und den Einsatz der organisatorischen und technischen Mittel unter möglichst realistischen Bedingungen zu üben. Die Anforderungen an die Planung, Durchführung und Nachbereitung von Notfallübungen sind in der Richtlinie ENSI-B11 definiert.

Das ENSI inspiziert während den Notfallübungen die korrekte Durchführung der Alarmierung und die zeitgerechte Orientierung der Behörden, die zeitgerechte Einsatzbereitschaft der anlageninternen Notfallorganisation sowie die Arbeit des Notfallstabs mit Blick auf die technische und radiologische Beurteilung des beübten Szenarios. Weiter wird die fortlaufende Information der Mitarbeitenden und der Öffentlichkeit beobachtet. Abhängig vom Übungstyp wird auch die Schnittstellenarbeit zu externen Partnern inspiziert, zum Beispiel bei Werksnotfallübungen mit Schwerpunkt Polizeieinsatz.

Notfallkommunikationsmittel

Geeignete Kommunikationsmittel des Werkes zu externen Stellen sind bei einem Notfall eine wichtige Voraussetzung für die Alarmierung der Notfallpartner (ENSI, NAZ, Standortkanton), zur Bewältigung von Stör- und Notfalllagen sowie zur Vorbereitung und Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung. Das ENSI überprüft das Vorhandensein der dokumentierten Einrichtungen sowie der Vorgaben und Nachweise über die durchgeführten periodischen Funktionsprüfungen. Zusätzlich führt es stichprobenweise Funktionskontrollen durch.

Notfallräume

In der Richtlinie ENSI-B12 werden die Anforderungen an die Räumlichkeiten für die Notfallorganisation geregelt. Dies umfasst auch Notfallräume abseits des Anlagenareals, in den sogenannten externen Notfallzentren. Mit periodischen Inspektionen überprüft das ENSI, ob die gestellten Anforderungen an die Notfallräume erfüllt werden und die Prozesse für eine allfällige Nutzung in den Notfallunterlagen der Anlagen eingebunden sind. Zudem wird überprüft, ob die Voraussetzungen für länger dauernde Einsätze mit Blick auf die Atemluftqualität und den Schutz gegen ionisierende Strahlung gegeben sind.



Bild 3: Materialtransport durch die Luftwaffe im Rahmen einer Notfallübung.



Bild 4: Gelagertes Notfallmaterial im zentralen Lager der schweizerischen Kernkraftwerksbetreiber.

Externes Lager Reitnau

Nach dem Unfall in Fukushima haben die schweizerischen Kernkraftwerksbetreiber ein zentrales Lager für zusätzliche Notfallausrüstungen eingerichtet. Das ENSI führt dort periodisch Inspektionen durch und überprüft damit, ob das dort gelagerte Material regelmässig gewartet wird und somit einsatzbereit ist.

Herausforderungen während Inspektionen

Inspektionen von Notfallübungen zeichnen sich durch eine lange Vorbereitungsphase aus, die bereits unmittelbar nach Bekanntwerden des Übungstermins beginnt. Insbesondere Übungen mit externen Partnern, zum Beispiel der Kantonspolizei oder der kantonalen Gebäudeversicherung haben in der Vorbereitungsphase einen erhöhten Koordinationsbedarf. Während der Notfallübungen werden unterschiedliche Teile der anlageninternen Notfallorganisation durch unterschiedliche Inspektorinnen und Inspektoren beobachtet und bewertet. Die Ergebnisse dieser Beobachtungen müssen unmittelbar nach dem Ende der Übung in einer kurzen Besprechung zusammengefasst werden, um dem Betreiber nach Möglichkeit eine erste Einschätzung zum Ergebnis der Inspektion geben zu können. Die Detailauswertung erfolgt dann später im Rahmen des Inspektionsberichts.

Herausragende Inspektionen

Nach dem Unfall in Fukushima hat das ENSI die Einsatzstrategien für die Notfallorganisationen der Kernkraftwerke bei auslegungsüberschreitenden Ereignissen überprüft. Im Fokus standen dabei die Notfallräume und die Ersatznotfallräume der Betreiber. Dazu wurden im Jahr 2012 Inspektionen in allen Kernkraftwerken durchgeführt. Folgendes hatte das ENSI im Detail inspiziert: Die Strahlenschutzvorkehrungen mit Blick auf die Langzeitoperabilität, die Zugänglichkeit der Räume, die bauliche und lüftungstechnische Auslegung sowie die Stromversorgung, die Verfügbarkeit der Kommunikationsmittel sowie die Ausstattung der Räume und die Arbeitsbedingungen im Hinblick auf das Unfallmanagement und die Aufgaben im Notfallschutz. Die Inspektionen führten zu umfangreichen Massnahmen in den Kernkraftwerken. So wurden zum Beispiel externe Notfallzentren eingerichtet und, wo notwendig, technische Nachrüstungen zur Ausdehnung der Nutzbarkeit der Notfallräume realisiert. Im Zuge der Überarbeitung der Richtlinien ENSI-B11 und ENSI-B12 sind diese Erkenntnisse ebenfalls im Regelwerk abgebildet worden.

Inspektionen der Sektion Sicherung und IT-Sicherheit

Die Sektion Sicherung & IT-Sicherheit begutachtet und überwacht die nukleare Sicherung in den Schweizer Kernanlagen. Sie inspiziert Themen zu baulichen, technischen, organisatorischen, personellen und administrativen Sicherungsmassnahmen zur Verhinderung von Sabotage an Kernanlagen oder der Entwendung von radioaktivem Material. Dabei stehen, beispielsweise im Bereich des physischen Schutzes gegen unbefugte Einwirkungen, die Auslegung, die Ausführung, das Betriebsverhalten sowie der Zustand der sicherungstechnischen Einrichtungen im Zentrum. Gegenstand der Aufsicht bei der IT-Sicherheit sind die Auslegung und Umsetzung aller Massnahmen zur Sicherstellung von Verfügbarkeit und Integrität sowie die Vertraulichkeit von Informationen und die Informationstechnik.

Die Aufsicht der Sektion hat etliche Berührungspunkte zum Strahlenschutz, da das Ziel dasselbe ist: Der Schutz von Mensch und Umwelt vor Expositionen durch radioaktives Material. Allerdings steht bei der Sicherung nicht der technische Ausfall, sondern das böswillige Handeln von Menschen als Auslöser eines radiologischen Ereignisses im Fokus. Vor diesem Hintergrund werden Informationen mit Bezug zum Sicherungskonzept, die umgesetzten Massnahmen und die Schnittstellen zu den Einsatzkräften des Staates klassifiziert und folglich aus offensichtlichen Gründen nicht publiziert. Gleichwohl seien nachfolgend konkrete Beispiele aus der Inspektionspraxis dargelegt.

Ausweiswesen und Zutritte

Ein Prozess zur Vergabe von Zutrittsberechtigungen in die vitalen Zonen der Kernanlage legt die administrativen und organisatorischen Schritte fest. Der Schutz vor Entwendung von radioaktivem Material sowie vor Sabotage der technischen Systeme steht im Vordergrund. Mögliche Gefährdungen, beispielsweise ausgehend von Innentätern, Besuchern oder externen Angreifern, sind zu minimieren. Flankiert wird dieser Berechtigungsprozess durch bewährte technische Massnahmen, wie beispielsweise die Erfassung von biometrischen Personendaten und weiteren Identifikationsmassnahmen. Anhand von Inspektionen wird überprüft, ob der Istzustand der vom

Inspektionswesen im Strahlenschutz

Bewilligungsinhaber ergriffenen Massnahmen dem Sollzustand entspricht und ob die Praxistauglichkeit gewährleistet ist.

Zutrittskontrollen

Verlässt eine Person eine Kernanlage, so hat der Betreiber anhand von Kontrollen die mögliche Entwendung von radioaktivem Material festzustellen und so möglichst zu verhindern. Dies wird mittels Monitoren zur Strahlenüberwachung an den Austrittsorten einer Kernanlage sichergestellt. Dabei gilt es auch zu verhindern, dass diese Überwachung umgangen oder manipuliert werden kann.

Mit Inspektionen wird überprüft, wie der Prozess der Zutrittskontrollen gelebt wird und ob die Weisungen und Vorschriften der Betriebswache eingehalten werden. Dafür kommen teils auch unangemeldete Inspektionen zum Einsatz.

Strahlenüberwachung und elektronische Personendosimeter

Die IT-Sicherheit muss überall in der Anlage gewährleistet sein. Jeder Zugang zu einem elektronischen, programmierbaren Gerät oder System stellt eine potenzielle Gefährdung für die Integrität oder Verfügbarkeit der IT-Systeme dar. So müssen die Instrumente und Systeme der Strahlenüberwachung hinsichtlich einer digitalen Gefährdung stufengerecht geschützt werden. Kompromittierte Systeme können ein Schlupfloch öffnen und den Schutz vor Sabotage oder Entwendung von radioaktivem Material schwächen.

Elektronische Personendosimeter dienen im Strahlenschutz sowohl der Überwachung als auch der Alarmierung einer im Strahlenfeld arbeitenden Person, wenn eine erlaubte Dosisleistung oder ein Dosisrichtwert überschritten wird. Da diese Personendosimeter bei jedem Zoneneintritt eine Verknüpfung zur Identität der Person sicherstellen müssen, besteht eine mögliche Gefahr insbesondere darin, dass ein kompromittiertes Personendosimeter gehackte Codebestandteile ins System einspielt und damit die Integrität der Programmierung verändert. Vor diesem Hintergrund wird die IT-Sicherheit dediziert vom ENSI inspiziert.



Bild 5: Beispielbild einer Schleusenüberwachung.



Bild 6: Zufahrtsschutz des Kernkraftwerks Leibstadt.

Fazit

Inspektionen zur Sicherung von Kernanlagen umfassen neben dem physischen Schutz auch die IT-Sicherheit. Sie dienen dazu, die Verfügbarkeit und Wirksamkeit zweckdienlicher Massnahmen unabhängig zu überprüfen und tragen so dazu bei, den Strahlenschutz zu stärken.

Operationeller Strahlenschutz im Kernkraftwerk Leibstadt

Ein operationell effektiver Strahlenschutz ist eine wichtige Voraussetzung für die Gesundheit der Mitarbeitenden in Kernanlagen. René Hoffmeister, Ressortleiter Strahlenschutz des Kernkraftwerks Leibstadt (KKL), erklärt, wo überall der Strahlenschutz eine Rolle spielt und auf welche Sicherheitsvorkehrungen im KKL besonderen Wert gelegt wird.



Bild 7: René Hoffmeister, Ressortleiter Strahlenschutz im Kernkraftwerk Leibstadt.

René Hoffmeister, welcher Stellenwert hat der Strahlenschutz im KKL?

Egal, ob in der regulären Arbeitsplatzüberwachung, für Instandhaltungstätigkeiten in der kontrollierten Zone oder projektbezogen bei der Bewertung von radiologischen Konsequenzen im Rahmen einer geplanten Anlageänderung, der Strahlenschutz ist stets in allen Arbeitsphasen involviert, bringt sich aktiv ein und stellt den Schutz von Mensch und Umwelt sicher.

Wie nimmt das KKL seine Verantwortung im Strahlenschutz wahr und wo werden Schwerpunkte gesetzt?

Oberstes Ziel ist es, die Individual- und Kollektivdosen unserer Mitarbeitenden so tief wie möglich zu halten. Dafür tut das KKL einiges – auch im internationalen Vergleich: Weltweite Anerkennung aus der Nuklearbranche erhalten wir zum Beispiel für die chemischen Systemdekontaminationen und Wasser-Höchstdruckdekontaminationen vor geplanten Instandhaltungsarbeiten. Der Erfolg in diesen Verfahren zur Aktivitätsreduktion basiert unter anderem auf hohen Investitionen und unserer jahrelangen Erfahrung. Grosse Bedeutung hat auch die Reduktion des sogenannten «Quellterms» unter anderem durch den Ersatz von Komponenten mit niedrigerem Anteil an aktivierbarem Material. Des Weiteren optimieren wir Arbeitsabläufe durch eine exakte, strukturierte Planung und vermeiden so unerwartete Expositionen. In der Arbeitsplanung sehen wir mit der Verwendung künstlicher Intelligenz (KI) grosses Potenzial. Nicht zuletzt gehört der gezielte Einsatz von Drohnen und Roboterhunden für Abklärungen in hohen Strahlenfeldern zu den relevanten Instrumenten bei der Minimierung von Dosis. Das KKL gehört zu den Vorreitern und ist innovativen Lösungen gegenüber stets offen.

Mit welchen Massnahmen sensibilisiert und unterstützt das KKL seine Mitarbeitenden bei der Umsetzung?

Sowohl unsere Festangestellten als auch die externen Fachkräfte durchlaufen jährlich die Schulungsprogramme bezüglich der Anforderungen für das Arbeiten mit ionisierender Strahlung. Zusätzlich besuchen unsere Mitarbeitenden je nach Berufskategorie die Strahlenschutzschule des Paul Scherrer Instituts (PSI). In der Anlage selbst wird, abhängig von der Risikobewertung, jeweils vor Tätigkeitsbeginn, ein Briefing mit allen Beteiligten und dem Strahlenschutzpersonal durchgeführt, in dem detailliert auf Risiken und Massnahmen eingegangen wird. Nicht zuletzt wird die gesamte Belegschaft über verschiedene Kommunikationskanäle mit monatlich wechselnden, sicherheitsbezogenen Themen sensibilisiert und das Thema Sicherheitskultur anlässlich von fest verankerten Weiterbildungstagen vertieft.

René Hoffmeister (48) ist doppelter Staatsbürger Schweiz-Deutschland und auf der dem Kernkraftwerk Leibstadt (KKL) gegenüberliegenden Seite des Rheins aufgewachsen. Der Strahlenschutz-Sachverständige kam über studentische Einsätze während den Semesterferien mit den Schweizer Kernkraftwerken in Kontakt und liess sich für eine Karriere in der Nuklearindustrie begeistern. Nach Stationen in Deutschland und im Kernkraftwerk Beznau (KKB) ist er seit 2017 für das KKL tätig. René Hoffmeister ist verheiratet, Vater von zwei Kindern und wohnt mit seiner Familie im Kanton Aargau.

Inspektionswesen im Strahlenschutz

«Es braucht niemand zu erschrecken, wenn das ENSI kommt»

Um die 45 Inspektionen führt die Sektion Radiologischer Arbeitsschutz des ENSI jährlich in den Schweizer Kernanlagen durch. Mit ihrer Präsenz trägt sie dort massgeblich zur Sicherheit des operationellen Arbeitsschutzes bei. Bei jeder Inspektion ist zudem auch die konventionelle Arbeitssicherheit ein Thema. Hierbei habe ein Kulturwandel stattgefunden, erzählt Strahlenschutzinspektor Rainer Ahlfänger im Interview.



Bild 8: ENSI Strahlenschutzinspektor Rainer Ahlfänger: «Die Menschen in den Werken passen heute besser aufeinander auf. In meinem Lernprozess hatte ich persönlich grossartige Vorbilder, insbesondere den kürzlich im Alter von 86 Jahren verstorbenen Peter Andrée, seit der Pionierzeit der Kerntechnik ein leidenschaftlicher Strahlenschützer».

Rainer Ahlfänger, Du blickst auf rund 250 Inspektionen zurück, die Du für das ENSI geleistet hast. Tust Du dabei immer wieder dasselbe?

Im Gegenteil, jede Inspektion ist anders, weil wir es mit vielen unterschiedlichen Menschen und ihren kreativen Handlungen zu tun haben. Im Fokus steht bei mir meistens der operationelle Strahlenschutz sowie der Zustand und das Verhalten der Anlage aus Sicht des Strahlenschutzes. Weiter machen wir Wischtests und Dosisleistungsmessungen. Zusätzlich schaue ich auf den Arbeitsschutz. Hierfür arbeitet das ENSI auch mit der Suva zusammen.

Wie beurteilst Du die Sicherheitsstandards im Bereich radiologischer Arbeitsschutz in den Schweizer Kernanlagen?

Die Standards sind sehr hoch. Das ist erfreulich. Es wird viel Wert auf die Ausbildung der Strahlenschutzfachkräfte, -techniker und -Sachverständigen gelegt. Das merkt man an der Qualität der Arbeit, die sie leisten. Sie sind innerhalb der Werke für die radiologische Arbeitssicherheit zuständig. Wir Inspektoren schauen darauf, dass sich alle Mitarbeiter in den Kernanlagen an das Regelwerk halten, und das tun sie zu 99,9 % auch. In der Schweiz wird zudem sehr auf Sauberkeit in den Anlagen geachtet.

Wenn sich die Werke so gut an die Vorgaben halten, braucht es dann überhaupt so viele Inspektionen?

Doch, die braucht es. Weil es eben auch wichtig ist, dass die Menschen in den Werken spüren, dass wir da sind. Ich glaube, die aktuellen hohen Standards haben wir gerade deshalb erreicht, weil wir so häufig inspizieren, wie wir es tun. Auch in Zeiten, in denen der persönliche Kontakt eingeschränkt war, haben wir unser geplantes Programm durchgezogen. Aber natürlich braucht es das richtige Mass. Zu viele Inspektionen wären kontraproduktiv. Denn wenn wir inspizieren, greifen wir in die Abläufe eines Werks ein, ziehen Arbeitszeit und Arbeitskraft der Leute ab.

Kommt es vor, dass Du vor Ort Personen zurechtweisen musst, wenn es um den radiologischen Arbeitsschutz geht?

Ja, hin und wieder passiert es, dass beispielsweise jemand in der falschen Schutzkleidung in der Kontaminationszone ist. Dann mache ich diese Person sofort darauf aufmerksam und nehme sie aus der Situation heraus.

Wie bereitest du dich auf eine Inspektion vor?

Mit der ENSI-Inspektionsberichtsvorlage. Dabei überlegen wir uns zu zweit zuerst die Ziele, die wir für die Inspektion setzen wollen. In der Regel sind dies der operationelle Strahlenschutz sowie der Zustand und das Verhalten der Anlage aus Sicht des Strahlenschutzes. Dann geht es im Rahmen der Inspektion um einen Vergleich von Soll- und Istzustand. Manchmal sind auch Freigaben ein Thema, dann bereitet man sich gezielt auf eine Überprüfung der massgeblichen Vorgaben vor.

Rund vier bis sechs Wochen vor den Inspektionen während den Jahres-Revisionen findet ein Fachgespräch zum Strahlenschutz mit dem jeweiligen Betreiber statt, die Inspektionsthemen und -termine werden festgelegt und in einem Protokoll dokumentiert. Während der übrigen Zeit des Jahres werden die Inspektionen per Brief angekündigt. Bei unangekündigten Inspektionen ent-

fällt dieser Teil. Pro Anlage machen wir jährlich mindestens eine unangekündigte Inspektion.

Wie viele Inspektionen machst Du pro Jahr?
Ich gehe ungefähr 10-mal jährlich auf Inspektion. Die meisten davon finden während der Jahresrevision eines Werkes statt. Da sind wir einmal wöchentlich präsent. In der Regel gehen wir zu zweit zur Inspektion – einer leitet und der andere unterstützt. Nebst dem radiologischen Arbeitsschutz schaue ich mir immer auch die konventionelle Arbeitssicherheit vor Ort an. Ich habe hierfür eine Ausbildung als Arbeitssicherheitsassistent und führe manchmal auch gemeinsame Inspektionen mit der Suva durch.

Welche Hilfsmittel nimmst du mit?
Ich nehme eigene Messgeräte mit, eine Kamera zur Dokumentation des Istzustands, ein kleines Notizbuch und einen Kugelschreiber.

Wie empfindest Du die Atmosphäre während einer Inspektion?
Es ist eine sehr professionelle Begegnung zwischen ENSI-Inspektoren und den Betreibern, die geprägt ist von gegenseitigem Verständnis der Aufgaben und fachlich hohem Niveau. Es braucht niemand zu erschrecken, wenn das ENSI kommt. Die Werke wissen, dass das ENSI neutral und professionell mit einer ergebnisoffenen Haltung unterwegs ist.

Was hat sich verändert in den 20 Jahren, in denen Du Inspektionen machst?
Heute sind wir formalisierter. Es ist klarer vorgegeben, wie der Ablauf einer Planung und die Durchführung einer Inspektion zu sein hat. Zudem gibt es viel mehr Tools für die Beurteilung einer Inspektion. Wir haben das Regelwerk verdichtet und die rechtlichen Grundlagen sind detaillierter geworden. Die Soll-Zustände sind zudem ausformulierter und präziser geworden.

Welche Entwicklung beobachtest Du auf Seiten der Werke?
Einer der grössten Erfolge unserer Inspektionen ist, dass die in den Werken tätigen Menschen besser aufeinander aufpassen als früher. So wird zum Beispiel die persönliche Schutzausrüstung ganz selbstverständlich getragen und wenn etwas fehlt, erinnern sich die Mitarbeitenden gegenseitig daran. Die Betreiber haben viel in die Ausbildung der Leute im konventionellen Arbeitsschutz investiert, als sie gemerkt haben, dass wir vermehrt auch darauf schauen. Vor 15 Jahren gab es dies so noch nicht. Man sieht diese Veränderung auch beim Strahlenschutz, dass beispielsweise der eine zum andern sagt: Hier solltest Du Dich nicht zu lange aufhalten, die Strahlung ist hoch. Dieser Kulturwandel, der stattgefunden hat, freut mich persönlich sehr.

Binnen eines Jahres gehst Du in Pension – wie transferierst Du Dein grosses Know-how?
Dieses Jahr werde ich den Schwerpunkt darauf legen, dass ich unsere neuen Mitarbeitenden mitnehmen und ins Inspektionswesen einführen werde. Um auch den komplexen Bereich der Wasserchemie abdecken zu können, habe ich bereits seit einigen Jahren einen Tandemstellen-Partner, der mich dann Ende Jahr ganz ersetzen wird.

Welchen Tipp gibst Du jüngeren Kollegen, die als Inspektoren nachrücken?
Geht so oft wie möglich inspizieren. Begleitet eine Kollegin oder einen Kollegen auf Inspektion und lernt voneinander.

Zu guter Letzt: Hast Du schon Pläne für Deine Pension?
Noch keine konkreten. Meine Frau und ich überlegen uns eine grössere Reise nach Japan zu machen. Daneben gibt es im Haus und im Garten immer etwas zu tun. Langweilig wird es mir sicher nicht!

Rainer Ahlfänger (63) ist Chemiker und seit 23 Jahren als Fachspezialist Radiologischer Arbeitsschutz im ENSI tätig. Dort ist er thematisch in den Bereichen Operationeller Strahlenschutz und Wasserchemie tätig. In seiner langjährigen Berufskarriere hat Rainer Ahlfänger rund 250 Inspektionen geleistet.



Bild 9: Die Zukunft ist ein Wechselspiel von Licht und Schatten. Der Blick geht nach oben. Foto: Rainer Ahlfänger



Strahlenschutz in den Kernanlagen

Die Sektion «Radiologischer Arbeitsschutz» nimmt eine tragende Rolle in der Aufsicht vor Ort in den Kernanlagen ein. Sie 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»



Giuseppe Testa

Das ENSI ist verpflichtet während den unterschiedlichen Betriebsphasen einer Kernanlage Inspektionen durchzuführen. Die Sektion Radiologischer Arbeitsschutz überprüft dabei die Planung, Vorbereitung und Durchführung von Strahlenschutz- und Überwachungsmassnahmen, die Dosisabschätzung, die radiologischen Auswirkungen inklusive Kollektiv- und Individualdosen, Personenkontaminationen sowie Inkorporationen. Zudem werden Aspekte bezüglich Flucht- und Rettungswege, Sanität und Wasserchemie inspiziert sowie Fragestellungen zur konventionellen Arbeitssicherheit adressiert.

Dieses breite Spektrum an Themen beaufsichtigte die Sektion Radiologischer Arbeitsschutz im Jahr 2024 bei ihrer Inspektionstätigkeit federführend mittels 50 Inspektionen. Dabei wurde in den meisten Fällen ein Istzustand angetroffen, der den gesetzlichen Vorgaben entspricht. Für die festgestellten Nichtkonformitäten wurden Forderungen zu deren Behebung gestellt, beziehungsweise Massnahmen angeordnet.

Weiter sind im Berichtsjahr der Rückbau des Kernkraftwerks Mühleberg und der Rückbau der Versuchs- und Verbrennungsanlage des Paul Scherrer Instituts (PSI) vorangetrieben worden. Die Fortschritte in Mühleberg sind beachtlich, auch wenn sich hier zeigt, dass die vorgängig erstellte strahlenschutztechnische Planung aufgrund der realen radiologischen Bedingungen vor Ort fallweise revidiert werden muss. Es ist daher umso wichtiger, dass das ENSI die Beachtung des Optimierungsgrundsatzes beaufsichtigt.

Ein Highlight im Berichtsjahr stellten die Schwerpunktinspektionen in allen Kernkraftwerken (KKW) dar. Sie hatten die Überprüfungen ausgewählter Kältemaschinen in den Kernkraftwerken zum Ziel. Vornehmlich ging es um die Berücksichtigung von Änderungen der Rahmenbedingungen bezüglich der verwendeten Hilfsstoffe sowie um Änderungen im Regelwerk und bei der Beschaffung. Da Kältemittel oder Anlagen, welche Kältemittel enthalten, die Umwelt gefährden können, werden hohe Anforderungen beispielsweise an die Wartung gestellt. Das ENSI hat bei den Schwerpunktinspektionen auch Instandhaltungs- und Wartungsdokumentationen, die verwendeten Kältemittel, deren chemische Zusammensetzung und Haltbarkeit sowie bautechnische Verankerungen, statische Nachweise und deren Übereinstimmung mit der As-Built-Situation vor Ort kontrolliert.

Am Puls gefühlt: Die Entwicklung der Individual- und Kollektivdosen des Personals in allen KKW wird engmaschig beaufsichtigt. Die Dosen werden durch den Umfang der Arbeiten in den kontrollierten Zonen während des Leistungsbetriebs und vor allem während den Jahresrevisionen bestimmt. Die Strahlung aus der Aktivität des Aktivierungsproduktes ^{60}Co ist hierbei ein wesentlicher Faktor für die Strahlenexposition. Zu diesem Sachverhalt hat sich das ENSI mit der spanischen Aufsichtsbehörde im Jahr 2024 zweimal getroffen. Gegenstand der Treffen war der Informationsaustausch über das KKW Leibstadt und dessen «Schwesteranlage», das Kernkraftwerk Cofrentes in Spanien. Dank diesem Austausch lässt sich die während der Jahresrevisionen anfallende Strahlenexposition noch besser einordnen. Zukünftig sollen auch typische zerstörungsfreie Prüfungen an Komponenten mit hohen Dosisleistungen in den beiden Anlagen miteinander verglichen werden.

Ferner haben die vergangenen brennstoffschadenfreien Jahre in den KKW auch dazu beigetragen, dass die Aktivität der Spaltprodukte im Primärkühlmittel im Durchschnitt stetig abnimmt, was sich günstig auf die Strahlenexposition des Personals auswirkt.

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

1. Grundlagen anlagen-interner Strahlenschutz

1.1 Allgemeines

Die Betreiber der Kernanlagen haben im Jahr 2024 in allen Betriebsphasen einen gesetzeskonformen und zweckmässigen Strahlenschutz durchgeführt. In den Kernkraftwerken im Leistungsbetrieb wirken sich die Betriebszyklen der vergangenen Jahre ohne Brennstoffschäden zusätzlich positiv auf die radiologische Situation in den Anlagen aus.

Das Strahlenschutzpersonal in den Kernanlagen verfügt über die notwendige fachspezifische Anerkennung und hat die von der Strahlenschutz-Ausbildungsverordnung geforderten Fortbildungen absolviert. Das bestätigten die vom ENSI vor Ort durchgeführten Kontrollen.

Fortbildungen sind für den Erhalt der Fachkompetenz sehr wichtig. Sie gewährleisten, dass das Know-how auf dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik gehalten wird. Das ENSI leistet dazu seinen Beitrag, indem es jährlich ein Strahlenschutzseminar veranstaltet. Dieses dient der Weiterbildung und dem Austausch zwischen Strahlenschutzfachleuten der ganzen Schweiz. Da für den Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung präzise Messungen erforderlich sind, wurde für das Seminar 2024 das Thema «Messmittel im Strahlenschutz» bestimmt. Um die Dosis nach dem ALARA-Prinzip («As Low As Reasonably Achievable», «so niedrig wie vernünftigerweise möglich») gering zu halten, aber auch um die akkumulierte Dosis präzise zu erfassen, kommen im Alltag in den Kernanlagen und beim ENSI diverse Messmittel und -geräte zum Einsatz. Am sehr gut besuchten Strahlenschutzseminar haben Strahlenschutzexperten der Schweizer Kernanlagen, des Eidgenössischen Instituts für Metrologie (METAS), des Messgeräteherstellers MIRION sowie des ENSI teilgenommen.

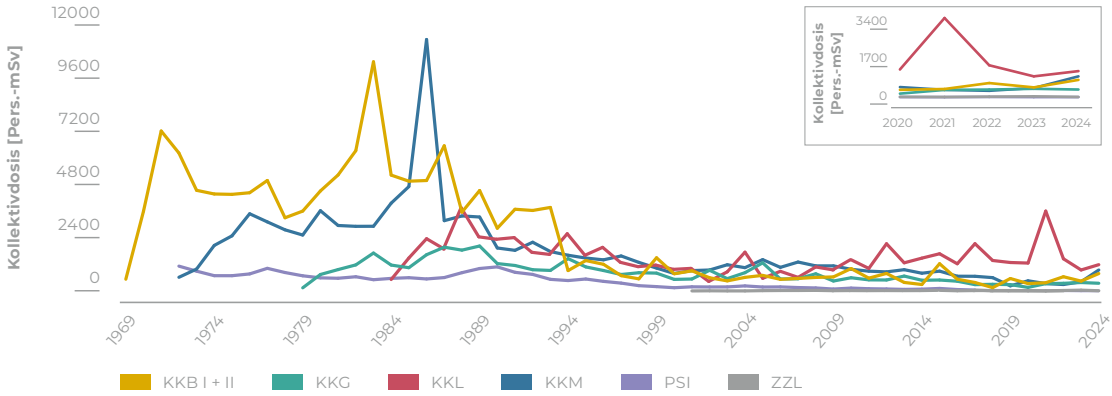
Im Berichtsjahr stand die Schnittstelle zwischen Strahlenschutz und Arbeitssicherheit im Fokus. Denn Schutzmassnahmen für die Arbeitenden vor Ort sind oft für beide Gebiete relevant und die Aspekte des Arbeitsschutzes und des Strahlenschutzes können sich gegenseitig beeinflussen. 2024 wurden deshalb mehrere gemeinsame Inspektionen mit der Suva in verschiedenen Kernanlagen durchgeführt. Diese fördern nicht nur die Achtsamkeit in den jeweiligen Gebieten, sondern stärken auch die effiziente Kooperation der Aufsichtsbehörden.

Generell kann festgehalten werden, dass die Überwachungs- und Strahlenschutzmassnahmen im Jahr 2024 für die Kernkraftwerke Beznau 1 und 2 (KKB Block 1 und 2), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL) korrekt umgesetzt worden sind. Die Optimierungsmassnahmen zur Senkung der Kollektiv- und Individualdosen in den Kernkraftwerken sind mit regelmässigen Inspektionen überprüft worden. Bei den Revisionen wurde insbesondere die Strahlenschutzplanung der Betreiber beurteilt. Die Wirksamkeit des operationellen Strahlenschutzes ist zudem aus den eingereichten Dosimetriedaten ersichtlich. Hier zeigt sich: Die Grenzwerte für die Individualdosen aus der Strahlenschutzverordnung wurden mit grossen Margen eingehalten.



Bild 10:
Die Demontage der Druckabbaukammer («Torus») im Kernkraftwerk Mühleberg wird weiter vorangetrieben.

Jahreskollektivdosen 1969 bis 2024



Darstellung 2: Entwicklung der Kollektivdosen (Pers.-mSv) in den Kernanlagen von 1969 bis 2024.

Der Rückbau des Kernkraftwerks Mühleberg (KKM) schritt auch im Berichtsjahr voran. Seit dem Abtransport der letzten Brennelemente vom Areal im September 2023 befindet sich das KKM in der sogenannten Stilllegungsphase 2. Während der Rückbauarbeiten steigen die Anforderungen an den radiologischen Arbeitsschutz und die Arbeitssicherheit, da sich die Gegebenheiten vor Ort in einem ständigen Wandel befinden und nun auch mit dem Rückbau von stark aktivierten und kontaminierten Systemen, Strukturen und Komponenten begonnen wurde. Der Fortschritt im Rückbau zeigt sich auch in einer Erhöhung der Kollektivdosis.

Weitere Stilllegungsprojekte von Kernanlagen des Paul Scherrer Instituts weisen ebenfalls Fortschritte auf.

Insgesamt stellt das ENSI fest, dass die Betreiber der Kernanlagen ihre Verantwortung wahrnehmen, die Individual- und Kollektivdosen des Personals tief zu halten und weiter zu optimieren.

1.2 Grundlagen der Dosimetrie

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

Die Strahlenschutzverordnung schreibt vor, dass die maximale Exposition jeder beruflich strahlenexponierten Person 20 Millisievert (mSv) pro Kalenderjahr nicht überschreiten darf. In der Richtlinie ENSI-B03 «Meldungen der Kernanlagen» ist festgelegt, dass für geplante Stillstände oder Arbeiten mit einer erwarteten Jobdosis von über 50 Personen-Millisievert (Pers.-mSv) die ausgearbeiteten Strahlenschutzplanungen der Aufsichtsbehörde vorgängig vorgelegt werden müssen. Das ENSI prüft die Strahlenschutzplanungen und nimmt bei Bedarf mit den Betreibern Kontakt auf. Mit diesen Planungen und deren Kontrollen werden wichtige Beiträge zur Optimierung der radiologischen Schutzmassnahmen gemäss Strahlenschutzverordnung geleistet.

Zur Ermittlung der Dosen und zum Nachweis der Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben betreiben alle 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 Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG übernimmt die Personendosimetriestelle des 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.

Individualdosis, Kollektivdosis und Jobdosis

Im Kontext des Strahlenschutzes ist die Dosis ein Mass für die durch die ionisierende Strahlung auf das Gewebe übertragene Energie. Für die Beurteilung des gesundheitlichen Risikos wird die «effektive Dosis» verwendet. Wo nicht ausdrücklich anders spezifiziert, bezieht sich der Begriff auf die effektive Dosis.

Die Individualdosis ist die effektive Dosis einer Person während eines bestimmten Zeitraums, z. B. ein Jahr, ein Monat oder die Dauer einer Jahresrevision. Sie wird in Millisievert (mSv) angegeben.

Die Kollektivdosis ist die Summe der Individualdosen aller Personen eines Betriebs, einer Organisationseinheit oder eines Arbeitsschrittes während eines vorgegebenen Zeitraums. Zur besseren Abgrenzung von individuellen Personendosen wird die Kollektivdosis in Personen-Millisievert (Pers.-mSv) angegeben.

Die Jobdosis ist ein in der Fachwelt oft verwendeter Begriff für die Individual- oder Kollektivdosis, die während der Vorbereitung, der Durchführung und dem Abschluss einer Arbeit (auf Englisch «Job»), eines Arbeitsschrittes oder eines Arbeitspakets akkumuliert wird.

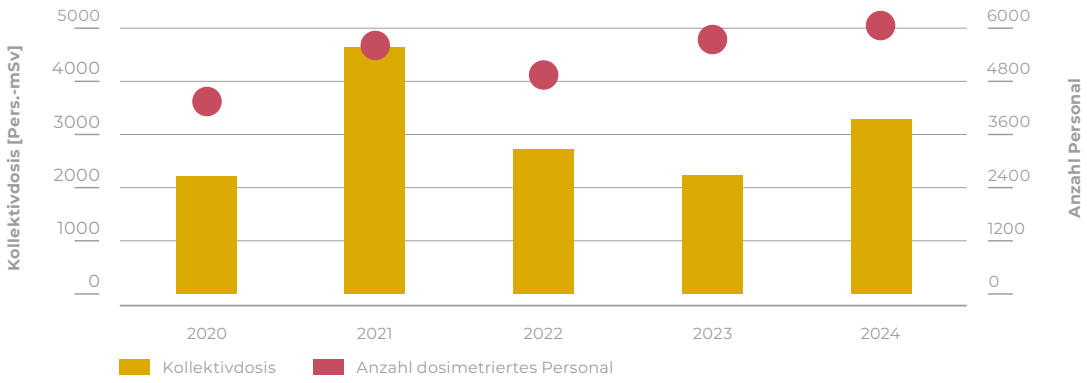
1.3 Dosimetrierung von Personal

Das dosimetrierte Personal in den Kernanlagen wird in Eigen- und Fremdpersonal eingeteilt. Ferner wird das Personal auch in Arbeiter/in (auf Englisch «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 Strahlenschutzstatistiktabellen numerische Unterschiede zu den Rohdaten der Personendosimetriestellen ergeben, die für die Strahlenschutzbewertung jedoch nicht relevant sind.

Für das Jahr 2024 haben die fünf vom ENSI anerkannten Personendosimetriestellen (KKB, KKG, KKL, KKM und PSI) insgesamt 6056 beruflich strahlenexponierte Personen mit einer Kollektivdosis von 3274 Pers.-mSv gemeldet (Mehrfachbuchungen bereinigt). Diese Werte schliessen auch 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 Aufsichtsbereich des ENSI. Die vom PSI für alle Kernanlagen der Schweiz zur Verfügung gestellten und ausgewerteten Neutronen-Dosimeter

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal der KKW



Darstellung 3: Summe der Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen in den KKW in den letzten fünf Jahren.

des Typs PADC werden im Aufsichtsbereich des ENSI von den einzelnen Personendosimetriestellen der Kernanlagen abgegeben und die Resultate ebendort entsprechend verbucht.

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

1.4 Ausbildung im Strahlenschutz

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

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

Während der Jahresrevisionen sind in einem KKW zum Schutz des Personals deutlich mehr Strahlenschutzfachleute erforderlich als während des regulären Leistungsbetriebs. Um diesen temporär erhöhten Bedarf zu decken, findet ein länderübergreifender Austausch von Fachpersonal statt. Dabei ist es unerlässlich, länderspezifische Unterschiede, vor allem bezüglich der Vorgaben der Strahlenschutzgesetzgebung, gezielt zu schulen. Zu diesem Zweck hat die Gruppe der schweizerischen Kernkraftwerksleiter (GSKL) eine Zusatzausbildung entwickelt, die vom ENSI im Jahr 2021 anerkannt worden ist. Der Einsatzbereich dieser Strahlenschutzfachkräfte ist auf die KKW beschränkt; Tätigkeiten an Beschleunigeranlagen sowie an Röntgenanlagen sind nicht erlaubt.

Der Kurs der GSKL fand im April 2024 am KKL statt. Acht Personen haben diesen Kurs erfolgreich abgeschlossen und wurden anschliessend neu für Aufgaben als Strahlenschutzfachkraft in schweizerischen Kernanlagen anerkannt. 25 weitere Personen besuchten diesen Kurs im Rahmen ihrer Fortbildungspflicht.

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 Strahlenschutztechnikerinnen und -techniker (K2) sowie für Strahlenschutzfachkräfte (K3) an.

Der sechswöchige Ausbildungskurs für Strahlenschutz-Sachverständige wurde vom PSI-Bildungszentrum im Jahr 2024 überarbeitet und erhielt im Dezember 2024 vom ENSI die erneute Anerkennung mit einer Gültigkeit über zehn Jahre. Er findet in seiner neuen Form erstmalig im Januar 2025 statt.

Die im Dezember 2023 neu vom ENSI anerkannten Kurse K333 (Zusatzausbildung für IHK-Strahlenschutz-Fachkräfte mit auf KKW eingeschränkten Einsatzbereich) sowie K334 (Zusatzausbildung für IHK-Strahlenschutz-Fachkräfte für uneingeschränkten Einsatz als Strahlenschutzfachkraft) fanden erstmalig im März 2024 statt und wurden von vier (K333) bzw. neun (K334) Personen erfolgreich abgeschlossen.

Im Januar, April und Juli 2024 fanden am PSI-Bildungszentrum insgesamt drei Fortbildungskurse für Strahlenschutzpersonal in Kernanlagen der Berufsgruppen K1, K2, und K3 statt. Sie wurden von 35 Personen aus schweizerischen KKW, fünf Personen vom PSI und 23 Personen aus schweizerischen und deutschen Dienstleistungsunternehmen besucht.

Im vierten Quartal 2024 fand der Ausbildungskurs zur Strahlenschutzfachkraft (K314) statt, dessen Prüfung von 15 Personen erfolgreich abgeschlossen wurde. Für den Erhalt der Diplome müssen noch die obligatorischen Praktika absolviert werden.

Insgesamt hielt das Bildungszentrum des PSI im Berichtsjahr sechs Aus- und Fortbildungskurse für die schweizerischen Kernanlagen ab, an denen insgesamt 93 Personen teilnahmen. An sieben Kursen mit Bezug zu Transporten radioaktiver Gefahrgüter nahmen insgesamt 52 Personen teil.

1.5 Grundlagen für den Strahlenschutzbericht

Die Kernkraftwerke verwenden für die Planung und die Darstellung der Jobdosimetrie der während der Revisionen anfallenden Kollektivdosen APD-Werte (aktive Personendosimeter-Werte). In der Praxis werden als APD elektronische Personendosimeter (EPD) verwendet. Um die geplanten Revisionskollektivdosen mit den tatsächlich akkumulierten Revisionskollektivdosen vergleichen zu können und um die Ergebnisse nachvollziehbar zu bewerten, werden in diesem Bericht korrigierte APD-Werte beziehungsweise korrigierte EPD-Werte angegeben, sofern dies möglich ist. Die Revisionskollektivdosen können nicht mit den anerkannten Dosimetern (üblicherweise Thermolumineszenz-Dosimeter und Direct-Ion-Storage-Dosimeter) gemessen werden, weil die Revisionsperiode nicht mit der Auswertungsperiode der anerkannten Dosimeter von einem Monat übereinstimmt. Zudem kann eine nachvollziehbare und korrekte Jobdosimetrie, also die Erfassung und Zuordnung arbeits- und ortspezifischer Strahlendosen, aufgrund ihrer Programmierbarkeit nur mit APD erfolgen. Damit am Ende des Dosimetriejahres eine Gesamtkollektivdosis (Summe aus Leistungsbetriebs- und Revisionskollektivdosen) gebildet werden kann, müssen die APD-Dosen aus physikalischen Gründen mithilfe eines Umrechnungsfaktors an die Werte der anerkannten Dosimeter angepasst werden.

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

Grundlagen anlageninterner Strahlenschutz

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

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

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

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



Bild 11: 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.

Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD), Optically Stimulated Luminescent Dosimeter (OSL) 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. Ähnlich funktionieren OSL Dosimeter, bei denen allerdings statt Hitze Licht einer bestimmten Wellenlänge verwendet wird, um wie beim TLD die Emission anzuregen. In DIS-Dosimetern ionisiert die Strahlung ein Gas in einer kleinen Kammer und die entstehende elektrische Ladung wird erfasst.

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 Funkdosismeter 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 sowie die Aufenthaltszeit optimieren. An ein Überwachungsgerät können üblicherweise fünf bis zehn Funkdosimeter angeschlossen werden. Dank einem oder mehreren Repeatern, die in der Anlage an geeigneten Orten montiert werden, kann die Reichweite der Funkdosimeter erhöht werden. Dies betrifft beispielsweise Räume und Bereiche in Kernanlagen, in denen sich massive Betonwände oder grosse Komponenten aus Stahl befinden, die als Abschirmung dienen.

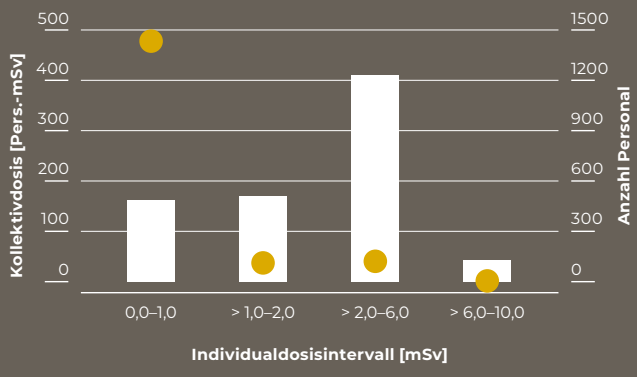


2. Kernkraftwerke

2.1 Kernkraftwerk Beznau, Block 1 und 2

	Block 1	Block 2
Betrieb am Netz [%]	76,2	94,6
Erzeugter Strom [GWh]	2542	3157
Dauer der Stillstände [d]	55	13
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	691	94
Kollektivdosis im Leistungsbetrieb [Pers.-mSv]	43	47
Kollektivdosis während der Stillstände [Pers.-mSv]	648	47
Höchste Individualdosis [mSv]	7,4	7,4
Errechnete Dosis für die Bevölkerung aufgrund von Emissionen [mSv/Jahr]		< 0,002

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal im KKB



Verhältnis der Kollektivdosen Leistungsbetrieb gegenüber Stillstand



Zusammenfassung

Das Betriebsjahr 2024 des Kernkraftwerkes Beznau (KKB) verlief im Strahlenschutz insgesamt erfolgreich. Der radiologische Anlagenzustand war in Ordnung, wobei punktuell erhöhte Dosisleistungen auftraten. Die Revisionsabstellung von Block 1 dauerte zehn Tage länger als in der ersten Revisionsplanung veranschlagt, was zu einer etwas höheren Kollektivdosis führte. Die Arbeiten während des Brennelementwechsels in Block 2 konnten planmässig erledigt werden. Die Leistungsbetriebsphasen der beiden Blöcke verliefen weitgehend ohne bedeutsame radiologische Ereignisse. Die durch das KKB geplanten und ergriffenen Massnahmen im Strahlenschutz, sowohl für die Stillstände als auch für den Leistungsbetrieb, haben sich als wirkungsvoll erwiesen.

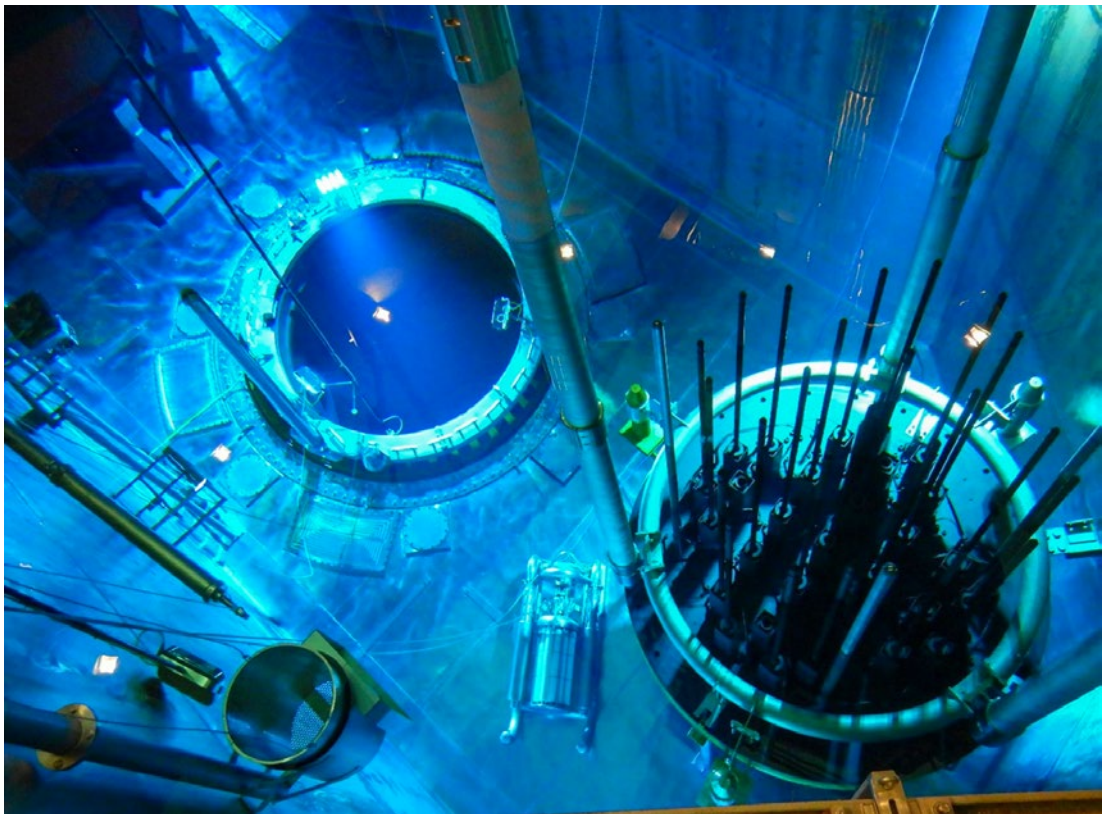


Bild 12: Geflutete Reaktorgrube mit offenem Reaktordruckbehälter im KKB Block 1.

Betriebsgeschehen

Das KKB hat mit einer Verfügbarkeit des Blocks 1 von 76,2 % und des Blocks 2 von 94,6 % ein erfolgreiches Betriebsjahr absolviert. Ausserhalb der Revision wurden keine grösseren strahlenschutzrelevanten Arbeiten durchgeführt. Der Bestand des Strahlenschutzpersonals hat sich 2024 nicht verändert und beträgt weiterhin 26 Personen.

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

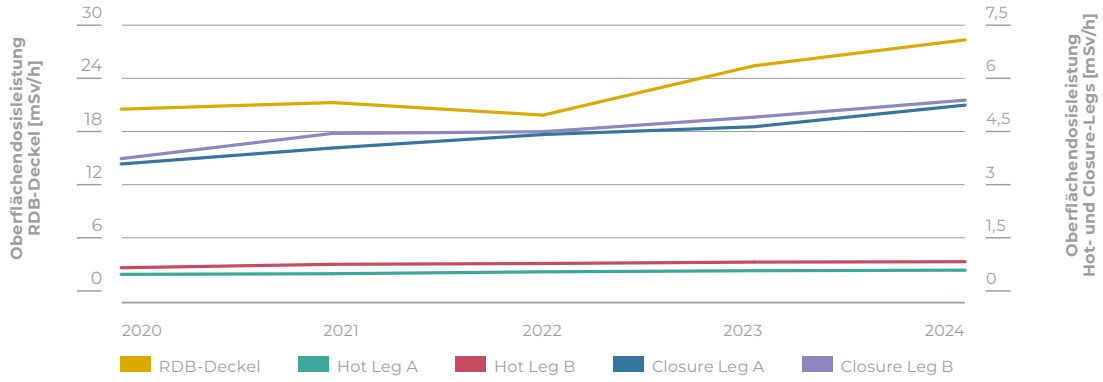
Die Kontamination der Primärsysteme mit Alphastrahlenden Nukliden war im Berichtsjahr in beiden Blöcken im Vergleich zu anderen Kernkraftwerken (KKW) verhältnismässig hoch. Das KKB überwachte die Alpha-Kontaminationen und traf ergänzende Massnahmen zum Schutz des Personals.

KKB Block 1

Der seit einigen Jahren anhaltende Anstieg der Oberflächendosisleistungen an den Closure- und Hot-Legs konnte nicht gestoppt werden. Der Grund ist noch nicht abschliessend eruiert. Beim Closure-Leg A lag der Anstieg bei 13,2 % und beim Closure-Leg B bei 9,8 %. Die Oberflächendosisleistung ist beim Hot-Leg A um 2,6 % und beim Hot-Leg B um 1,2 % gestiegen.

Weiterhin verfolgt das KKB die Oberflächendosisleistung an den Dampferzeugern und am Reaktordruckbehälter-Deckel (RDB-Deckel). Die Oberflächendosisleistungen an den beiden Dampferzeugern sind im Vergleich zum Vorjahr um 2,8 % bzw. 5,4 % gestiegen. Die gemittelte Oberflächendosisleistung der fünf Messpunkte am RDB-Deckel erlebte einen Anstieg von 11,5 %.

Oberflächendosisleistungen an Komponenten des Primärkreislaufs des KKB Block 1



Darstellung 4: Verlauf der gemessenen Oberflächendosisleistung im KKB Block 1 am Reaktordruckbehälter-Deckel (linke Achse) und an den Hauptkühlmittelleitungen der Hot- und Closure-Legs (rechte Achse).



Bild 13: Turbogenerator des KKB Block 1 in der Maschinenhalle.

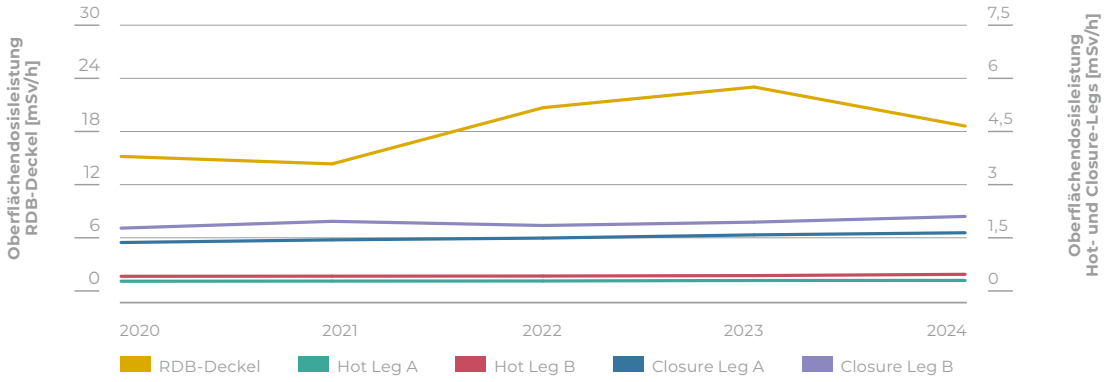
KKB Block 2

Auch in Block 2 setzte sich bei den Closure- und Hot-Legs der Trend von zunehmenden Oberflächendosisleistungen der Vorjahre fort, wobei der Anstieg beim Closure-Leg A bei 3,8 % und beim Closure-Leg B bei 8,0 % liegt. Beim Hot-Leg A war der Anstieg der Oberflächendosisleistung nicht signifikant. Beim Hot-Leg B wurde ein Anstieg von 8,3 % festgestellt..

Die Oberflächendosisleistung an einem der beiden Dampferzeuger ist im Vergleich zum Vorjahr konstant geblieben. Am anderen Dampferzeuger ist die Dosisleistung um 3,9 % gesunken. Am RDB-Deckel sank die Dosisleistung um 19,1 % (gemittelt über fünf Messpunkte).

Die Oberflächendosisleistungen führten zu keinen besonderen Herausforderungen für den operationellen Strahlenschutz. Die für die Blöcke 1 und 2 aus den langjährigen Erfahrungen abgeschätzte Kollektivdosis für den Leistungsbetrieb betrug je 70 Pers.-mSv. Tatsächlich wurden 43 bzw. 47 Pers.-mSv akkumuliert.

Oberflächendosisleistungen an Komponenten des Primärkreislaufs des KKB Block 2



Darstellung 5: Verlauf der gemessenen Oberflächendosisleistung im KKB Block 2 am Reaktordruckbehälter-Deckel (linke Achse) und an den Hauptkühlmittelleitungen der Hot- und Closure-Legs (rechte Achse).

Revisionsstillstand im Block 1

Das KKB stellte den Block 1 vom 26. April bis zum 19. Juni 2024 zur Revision für insgesamt 55 Tage ab. Die akkumulierte Kollektivdosis von 648 Pers.-mSv lag 17 % über dem ursprünglichen Dosisplanungswert von 556 Pers.-mSv, aber innerhalb des Toleranzbereichs von +/- 20 %. Die Abweichung ist auf die Verlängerung des Revisionsstillstandes um 10 Tage zurückzuführen. Auch längere Aufenthaltszeiten im Strahlenfeld, der Auf- und Abbau von Gerüsten sowie zusätzliche mechanische Prüfungen trugen zu der höheren Kollektivdosis bei. Die Kollektivdosis verteilt sich zu 24 % auf das Eigen- und zu 76 % auf das Fremdpersonal.

Die höchste Individualdosis für das Eigenpersonal während des Revisionsstillstandes betrug 6,7 mSv und für das Fremdpersonal 7,2 mSv. Beide Werte lagen damit weit unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr für beruflich strahlenexponierte Personen. Das KKB stellte über das ganze Jahr keine Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln (waschen und duschen) entfernt werden konnten, und keine Inkorporationen fest. Gesamthaft wurden 58 712 Arbeitsstunden in der kontrollierten Zone geleistet.

Während des Revisionsstillstands führte das KKB unter anderem folgende Tätigkeiten mit geplanter, signifikanter Strahlenexposition aus:

- Öffnen und Schliessen des RDB
- Reinigung der Reaktorgrube und des Transferkanals
- Dampferzeuger A und B öffnen und schliessen sowie Prüfungen
- Gerüstbau für Abschirmungen
- Armaturenrevisionen
- Brennelementwechsel
- Prüfungen an den Hauptkühlmittelleitungen

Die Anlage wurde vom ENSI in einem radiologisch und konventionell sauberen Zustand angetroffen. Zudem konnte während des ganzen Stillstandes ein niedriger Kontaminationsgrad beibehalten werden.

Leicht erhöhte Luftkontaminationen wurden beim Abheben des RDB-Deckels, beim Absenken des Wassers in der gefüllten Reaktorgrube sowie bei deren beiden Grobreinigungen und während Arbeiten an der RDB-Deckeldichtung detektiert.

Im Berichtsjahr wurde während der zweiten Grobreinigung ^{241}Am in sehr niedriger Konzentration (1,8 mBq/m^3) gemessen. Die betroffenen Anlagenbereiche waren beim Heben des RDB-Deckels und bei der Reinigung der Reaktorgrube temporär als Zonentyp IV ausgewiesen.

Während des Revisionsstillstands kam es zu keiner Kontaminationsverschleppung aus den temporär eingerichteten Zonentypen III und IV. Bei einigen

Arbeiten, wie beispielsweise der Feinreinigung in der Reaktorgrube, bei Dampferzeugerarbeiten oder Arbeiten in der Sumpfrinne wurden abwischbare Alpha-Kontaminationen festgestellt. Diese lagen zwischen 0,1 und 40 Bq/cm². Das Verhältnis von Beta/Gamma- zu Alpha-strahlenden Nukliden lag zwischen 90 zu 1 und 3500 zu 1, abhängig vom Probeentnahmeort der jeweiligen Komponente und der Art der Arbeiten.

Für die Arbeitsplatzüberwachung führte das KKB regelmässig Wischtest-Screenings zur Bestimmung der Kontamination durch Alpha- und Betastrahler durch. Zusätzlich wurden Aerosolfilter hinsichtlich der Beta-strahlenden Nuklide ausgewertet, wobei der Alpha-Anteil rechnerisch berücksichtigt wurde. Die Messungen wurden mit stationären und mobilen Messgeräten durchgeführt. Weiter führte das KKB Triagemessungen der Raumluft durch. Bei Werten über 7,8 Bq/m³ erfolgte eine gammaspektrometrische Auswertung.

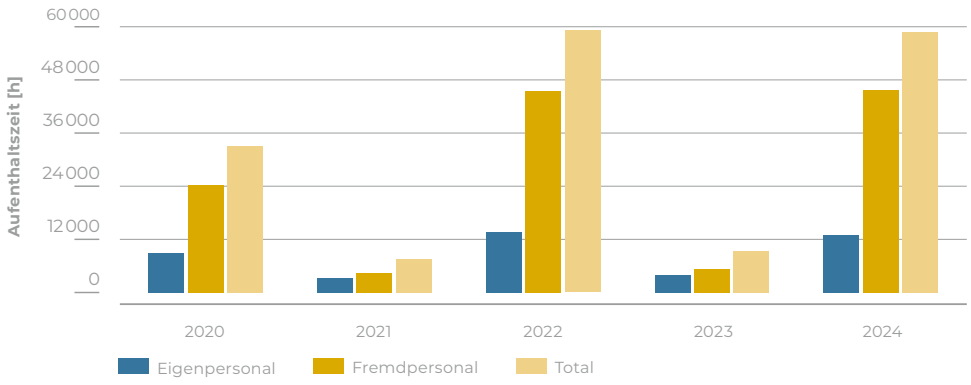
Während des Revisionsstillstandes waren im Sicherheitsgebäude und im Brennelementlager mobile Aerosolmonitore im Einsatz. Mobile Aerosolsammler wurden auch während den Dampferzeugerinspektionen eingesetzt. Des Weiteren betrieb das KKB auf allen Ebenen im Sicherheitsgebäude, wie auch im Brennelementlager, permanent laufende Hochvolumensammler. Die Filter wurden einmal pro Schicht gammaspektrometrisch ausgewertet. Ein mobiler Iod- und Edelgasmonitor ergänzte die permanente Luftüberwachung auf dem Beckenflur. Für die Radioanalytik setzte das KKB zwei Reinstgermanium-Detektoren ein. Diese dienten zur Auswertung von Wischtests und Aerosolfiltern auf Gamma-Strahler im Energiebereich von 5 Kiloelektronenvolt (keV) bis 2,6 Megaelektronenvolt (MeV). Damit kann auch der Anteil der Gammastrahlung beim Zerfall des hauptsächlich Alpha-strahlenden ^{241}Am gemessen werden.

Zu der insgesamt noch guten radiologischen Situation trug der Einsatz der Balduff-Filteranlage in der gefluteten Reaktorgrube und die Reinigung des Wassers in den Borwasser-Vorrattanks bei.

Die maximalen Aktivitätskonzentrationen im Primärkühlmittel während der Abfahr- und Reinigungsphase waren für ^{58}Co und ^{122}Sb im Vergleich zum Vorjahr um 42 % bzw. 131 % gestiegen. Die Höchstwerte für ^{60}Co und ^{124}Sb lagen um 13 % respektive 144 % höher als im Vorjahr. Die Aktivitätswerte im Primärkühlmittel wiesen im Vergleich zu den letzten Jahren somit eine steigende Tendenz auf.

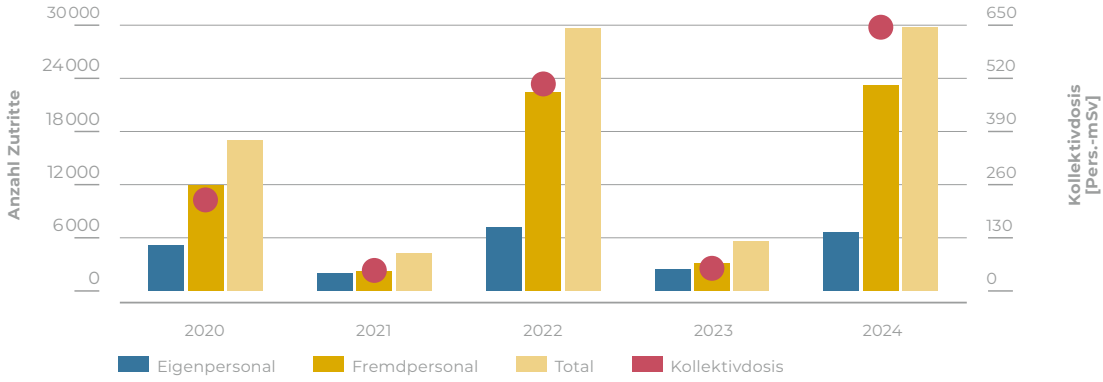
Für die mechanische Bearbeitung von Komponenten mit Alpha-Kontamination dient die sogenannte Alphawerkstatt. Hier ist eine festinstallierte Auskleidestation eingerichtet, die über eine Bodenabsaugung verfügt. Die Schleuse zur Alphawerkstatt verfügt über Schiebetüren und sorgt für einen gestaffelten Unterdruck.

Aufenthaltszeit in der kontrollierten Zone während den geplanten Stillständen im KKB Block 1



Darstellung 6: Aufenthaltszeiten von Fremd- und Eigenpersonal in der kontrollierten Zone während der geplanten Stillstände im KKB Block 1 in den letzten fünf Jahren.

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



Darstellung 7: Kollektivdosen und Gesamtanzahl der Zutritte in die kontrollierte Zone während der geplanten Stillstände im KKB Block 1 in den letzten fünf Jahren.

Als Vorbereitung für die Arbeiten in den beiden Dampferzeugern haben Mitarbeitende Mock-Up-Trainings mit Schutzanzug und Atemschutzmaske (Tenue für Zonentyp IV) durchgeführt. Ziel dieser Trainings war es, die Einsatzzeiten und somit die Strahlenexposition beim Setzen und Entfernen der Loopschachtdeckel zu reduzieren.

Weitere Mock-Up-Trainings zur Abdichtung der Cavity-Leckage, vor allem mit dem Fokus auf die korrekte Durchführung der Arbeit unter erschwerten Bedingungen, wurden durchgeführt. Auch in diesem Fall wurde mit Tenue für den Zonentyp IV trainiert.

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

Brennelementwechsel im Block 2

Das KKB stellte den Block 2 vom 6. August bis zum 19. August 2024 für den Brennelementwechsel während insgesamt 14 Tagen (inkl. Abschalttag) ab. Die akkumulierte Kollektivdosis lag mit 47 Pers.-mSv 4,1 % unter dem ursprünglichen Dosiszielwert von 49 Pers.-mSv. Sie lag innerhalb des für die Planung tolerierten Bereichs von +/- 20 %. Die Kollektivdosis verteilt sich zu 52 % auf das Eigen- und zu 48 % auf das Fremdpersonal.

Die höchste Individualdosis, die während des Brennstoffwechsels akkumuliert wurde, betrug für das Eigenpersonal 1,7 mSv und für das Fremdpersonal 1,2 mSv. Beide Werte lagen damit deutlich unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes für beruflich strahlenexponierte Personen. Das KKB stellte über das ganze Jahr keine Inkorporationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, und keine Inkorporationen fest. Gesamthaft wurden 7768 Arbeitsstunden in der kontrollierten Zone geleistet.

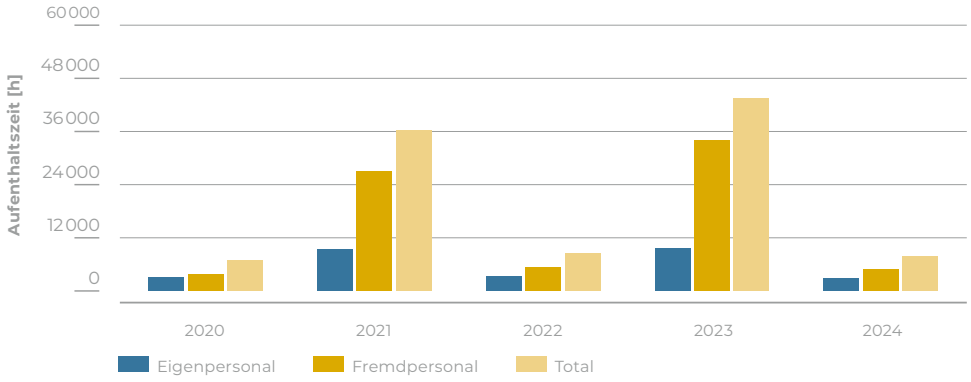
Während der Abstellung wurden folgende Tätigkeiten mit erwarteter, signifikanter Strahlenexposition ausgeführt:

— Öffnen und Schliessen des RDB
— Reinigung der Reaktorgrube und des Transferkanals
— Brennelementwechsel

Die Anlage befand sich während des Brennelementwechsels in einem radiologisch und konventionell sauberen Zustand. Zudem konnte während des ganzen Stillstandes ein niedriger Kontaminationsgrad beibehalten werden.

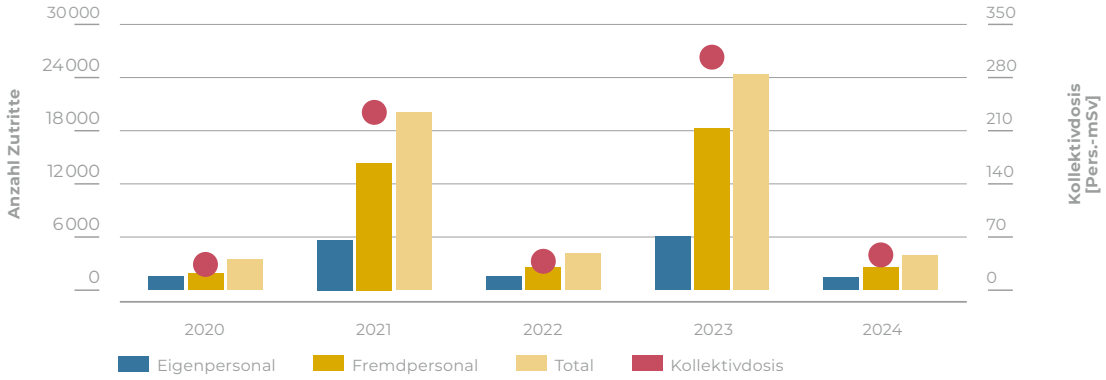
Während des Abhebens des RDB-Deckels detektierte das KKB eine leicht erhöhte Luftkontamination, wobei keine Gefahr für das Personal bestand. Im Berichtsjahr wurden während der Grobreinigung der Reaktorgrube leicht erhöhte Luftkontaminationen gemessen. Die betroffenen Anlagenbereiche beim Heben des RDB-Deckels und bei der Reinigung der Reaktorgrube waren als Zonentyp IV ausgewiesen.

Aufenthaltszeit in der kontrollierten Zone während den geplanten Stillständen im KKB Block 2



Darstellung 8: Aufenthaltszeiten von Fremd- und Eigenpersonal in der kontrollierten Zone während der geplanten Stillstände im KKB Block 2 in den letzten fünf Jahren.

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



Darstellung 9: Kollektivdosen und Gesamtanzahl der Zutritte in die kontrollierte Zone während der geplanten Stillstände im KKB Block 2 in den letzten fünf Jahren.

Zu keinem Zeitpunkt kam es zu einer signifikanten Kontaminationsverschleppung ausserhalb der Zonentypen III und IV. Bei Arbeiten im Borsäure-Tankraum, beim Montieren des Transferflansches sowie bei Arbeiten im Brennelementlager und nach der Feinreinigung der Reaktorgrube wurden abwischbare Alpha-Kontaminationen festgestellt. Insgesamt lagen die Verhältnisse von Beta/Gamma- zu Alpha-strahlenden Nukliden der abwischbaren Kontaminationen in der Anlage zwischen 333 bis 667 zu 1.

Während des Brennstoffwechsels waren im Sicherheitsgebäude und im Brennelementlager jeweils ein mobiler Aerosolmonitor in Betrieb. Im Brennelementlager wurde unter anderem ein permanent laufender Hochvolumensammler eingesetzt. Die Filter wurden einmal pro Schicht gewechselt und gammaspektrometrisch ausgewertet.

Im Bereich des Beckens kam die bewährte Balduff-Filteranlage in der gefluteten Reaktorgrube zum Einsatz. Die Reinigung des Wassers im Borsäuretank erfolgte über Ionentauscher vor der Abstellung.

Die maximalen Aktivitätskonzentrationen im Primärkühlmittel während der Abfahr- und Reinigungsphase lagen für ^{58}Co und ^{122}Sb im Vergleich zum Vorjahr um 50 % bzw. 185 % höher. Die Höchstwerte für ^{60}Co und ^{124}Sb lagen um 35 % respektive 149 % höher als die Maximalwerte aus dem Vorjahr.

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

Weitere Stillstände

In Block 1 musste die Anlage am 28. September 2024 infolge von Materialuntersuchungen an einem der beiden Speisewasserbehälter abgefahren werden. Der mehrere Wochen andauernde Stillstand hatte keine Bedeutung für den Strahlenschutz, da sich der Speisewasserbehälter im nicht nuklearen Teil der Anlage befindet. In Block 2 kamen keine weiteren Stillstände vor.

Vorkommnisse

Es gab keine meldepflichtigen Vorkommnisse betreffend den Strahlenschutz. Gleichwohl sind die Vorkommnisse in Zusammenhang mit Leckagen des Chemie- und Volumenregelsystems in Betracht zu ziehen. Dies vor dem Hintergrund, dass das Schutzziel des Einschlusses radioaktiver Stoffe in der Anlage teilweise verletzt war. Eine detaillierte Bewertung der Vorkommnisse ist dem Aufsichtsbericht des ENSI zu entnehmen.

Strahlenmessung

Anlässlich einer Inspektion überprüfte das ENSI die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser. Dabei konnte festgestellt werden, dass der Weg von der Probenerhebung, über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Monats- und Jahresberichten für die überprüften Stichproben nachvollziehbar und korrekt war. Die Messwerte des KKB wurden im Rahmen der vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und der halbjährlichen Vergleichsmessungen von Aerosolfiltern, Iodfiltern und Abwasserproben, die gemeinsam mit dem Bundesamt für Gesundheit BAG durchgeführt wurden, verglichen. Das ENSI konnte bestätigen, dass die KKB-Messwerte mit den Messwerten der akkreditierten Labore der Aufsichtsbehörden übereinstimmen.

Im Rahmen einer Inspektionskampagne hatte das ENSI die Kalibrierungen und Einstellungen der Freimessanlagen oder Kleinteilemonitore für die Befreiung von Materialien des täglichen Gebrauchs (bis ca. 20 kg) inspiziert. Dazu führte es eigene Prüfmessungen mit realistischen Messgütern und radioaktiven Quellen mit verschiedenen Nukliden (^{60}Co, ^{152}Eu, ^{57}Co) durch. Die Quellen wurden spezifisch für diese Inspektionskampagne durch das IRA (Institut de radiophysique, Centre hospitalier universitaire vaudois (CHUV), Lausanne) entwickelt und hergestellt. Das ENSI konnte sich anhand der Inspektionsergebnisse und der geführten Gespräche überzeugen, dass das Fachwissen für diese Messtechnik beim KKB auf einem hohen Niveau vorhanden ist. Die Freimessschränke und deren Einstellungen sind im Allgemeinen für die definierten Messziele (Freimessung von Abfallsäcken, Dokumenten, kleinere Werkzeuge) geeignet.

Dosimetrie

Während des Berichtsjahres kamen in der kontrollierten Zone oder bei Transporteinsätzen 1674 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz. Die Kollektivdosis während der Berichtsperiode betrug gerundet 785 Pers.-mSv. Die Aufteilung der Kollektivdosis zwischen Leistungsbetrieb und Stillständen stellte sich folgendermassen dar:

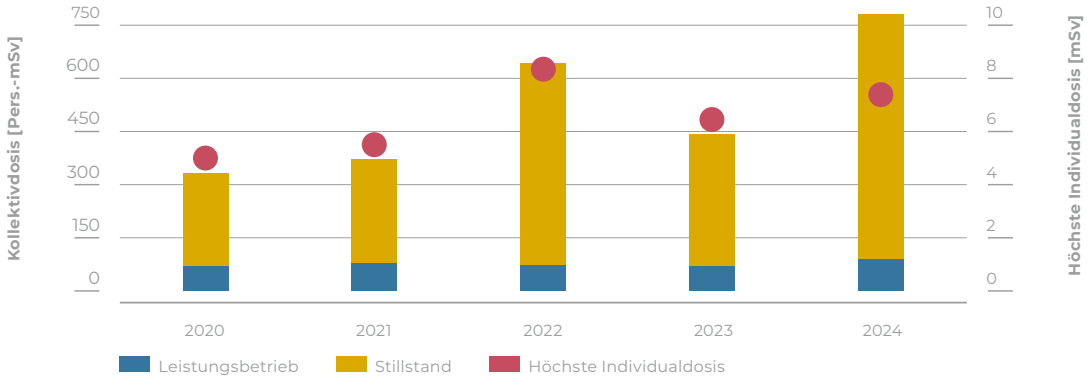
KKB Block 1/2	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
Revisionsstillstand/ Brennelementwechsel	648/47
Leistungsbetrieb	43/47
Gesamte Jahreskollektivdosis	785

Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2024 betrug 7,4 mSv. Diese Dosis lag, bedingt durch den Arbeitsumfang, oberhalb des Vorjahreswertes (6,4 mSv), aber deutlich unterhalb des für beruflich strahlenexponierte Personen festgelegten gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr.

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

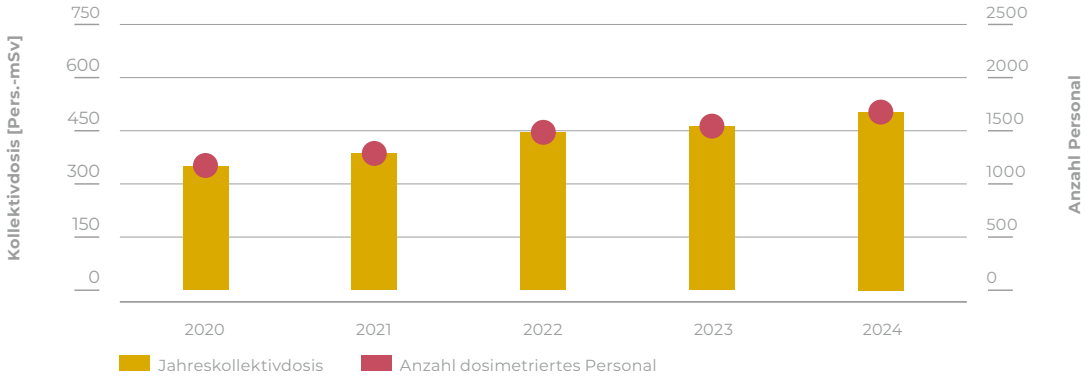
Im Berichtsjahr wurde die Anerkennung der Personendosimetriestelle des KKB um fünf Jahre verlängert. Zu diesem Zweck hat das ENSI eine Inspektion der Dosimetriestelle mit einem externen Fachexperten durchgeführt. In diesem Rahmen wurden sowohl die technischen wie auch die fachlichen Aspekte des Betriebs der Dosimetriestelle beurteilt.

Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im KKB



Darstellung 10: Jahres-kollektiv-(Pers.-mSv) und höchste Individual-dosen (mSv) im KKB in den letzten fünf Jahren. Dar-gestellt sind Daten aus den Revisionsstill-ständen, dem Leistungs-betrieb und der Verlauf der höchsten Individual-dosen wäh-rend der vergangenen Betriebsjahre.

Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des KKB



Darstellung 11: Jahres-kollektivdosen und Anzahl dosimetrierte Personen im KKB in den letzten fünf Jahren.

An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des KKB den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

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

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
1719	1719	28

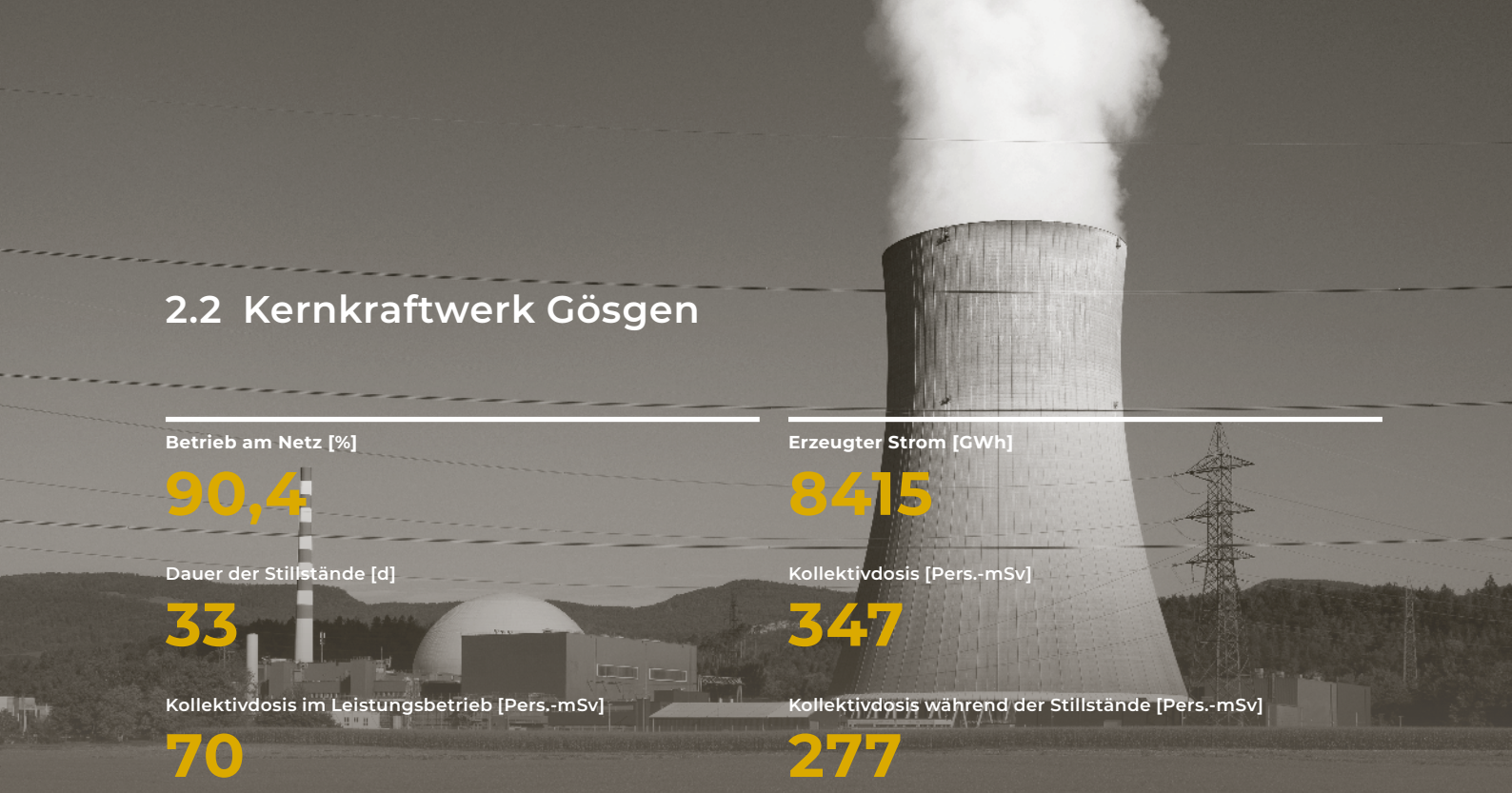
Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörperzähler	Schilddrüse
–	–

Bewertung der Strahlenexposition

Das KKB vollzieht einen der Wissenschaft und Technik entsprechenden Strahlenschutz, indem es unter anderem Strahlenschutzplanungen erstellt und Optimierungsmassnahmen ein- und umsetzt. Obwohl im Betriebsjahr 2024 ein insgesamt deutlich erhöhter Arbeitsaufwand zu verzeichnen war, ist im Vergleich zu den Vorjahren die Kollektivdosis nur leicht gestiegen.

Das ENSI führte 2024 insgesamt 24 strahlenschutzbezogene Inspektionen im KKB durch. Dabei konnte festgestellt werden, dass im KKB ein gesetzlich konformer und effizienter Strahlenschutz betrieben und sämtliche Abgabewerte eingehalten wurden.

Der Quotient aus der Kollektivdosis pro erzeugte elektrische Energie verdoppelte sich im KKB mit 0,13 Pers-mSv pro GWh(e) im Vergleich zum Vorjahr, blieb aber weiterhin tief (Vorjahr: 0,076 Pers.-mSv/GWh(e)).



2.2 Kernkraftwerk Gösgen

Betrieb am Netz [%]

90,4

Dauer der Stillstände [d]

33

Kollektivdosis im Leistungsbetrieb [Pers.-mSv]

70

Höchste Individualdosis [mSv]

5,1

Erzeugter Strom [GWh]

8415

Kollektivdosis [Pers.-mSv]

347

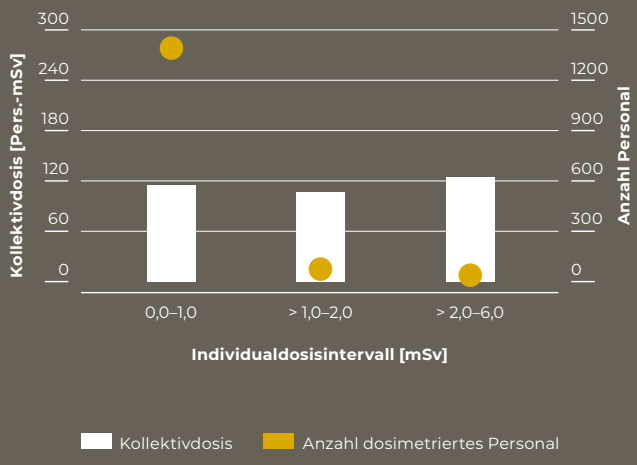
Kollektivdosis während der Stillstände [Pers.-mSv]

277

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

< 0,001

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal im KKG



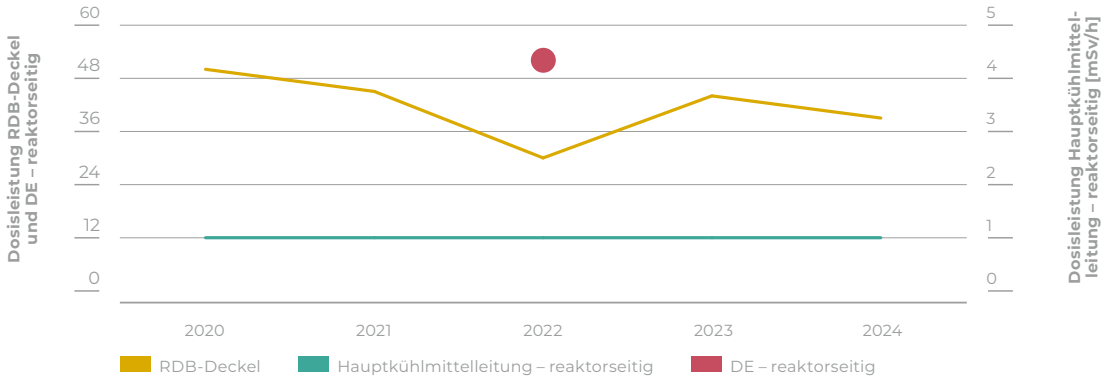
Verhältnis der Kollektivdosen Leistungsbetrieb gegenüber Stillstand



Zusammenfassung

Das Betriebsjahr 2024 des KKG verlief aus strahlenschutztechnischer Sicht sehr zufriedenstellend. Ende Mai bis Ende Juni führte das Werk eine 33-tägige, umfangreiche Jahresrevision durch. Bei dieser resultierte eine Kollektivdosis, welche gemessen am Arbeitsumfang ähnliche Werte wie in den vergangenen Jahren aufwies. Der Leistungsbetrieb verlief weitgehend ohne relevante strahlenschutztechnische Ereignisse oder Vorkommnisse. Die durch das KKG geplanten und ergriffenen Massnahmen im Strahlenschutz, sowohl während des Stillstands als auch während des Leistungsbetriebs, haben sich als wirkungsvoll erwiesen.

Oberflächendosisleistungen an Komponenten des Primärkreislaufs des KKG



Darstellung 12: Verlauf der gemessenen Oberflächendosisleistung am RDB-Deckel sowie einem Dampferzeuger (DE) reaktoseitig (beide linke Achse) und der Hauptkühlmittelleitung reaktorseitig (rechte Achse) der letzten fünf Jahre.

Betriebsgeschehen

Das KKG hat mit einer Verfügbarkeit von 90,4 % ein erfolgreiches Betriebsjahr absolviert. Die produzierte Menge an Strom ist mit derjenigen aus den Vorjahren vergleichbar. Ausserhalb der Jahresrevision wurden keine grösseren strahlenschutzrelevanten Arbeiten durchgeführt. Der Bestand des zulassungspflichtigen Strahlenschutzpersonals hat sich 2024 um zwei Personen verringert und beträgt 17 Personen.

Der radiologische Anlagenzustand stellte sich weiterhin als gut dar. Die mittlere Oberflächendosisleistung an den gemessenen Komponenten des Primärkreislaufes blieb dank der kontinuierlichen Zinkeinspeisung konstant. So hatte sich auf tiefem Niveau ein Gleichgewichtszustand eingestellt.

Sowohl im endenden Zyklus 45 als auch im Berichtsjahr angelaufenen Zyklus 46 gab es keine Anzeichen für Brennelementschäden. Deswegen und weil sich die lüftungstechnischen Massnahmen bewährt haben, ergaben sich 2024 keine aussergewöhnlichen Luftkontaminationen.

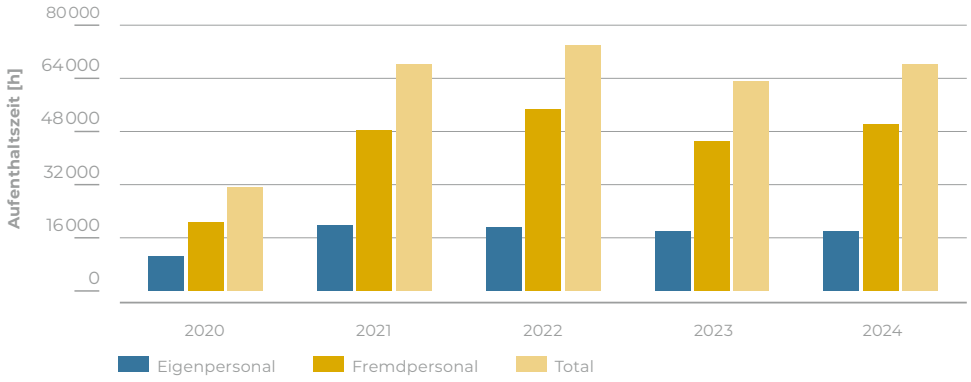
Die geplante Kollektivdosis für den Leistungsbetrieb von 62 Pers.-mSv wurde mit 70 Pers-mSv leicht überschritten.

Revisionsstillstand

Das KKG stellte die Anlage vom 25. Mai bis zum 26. Juni 2024 für die Jahresrevision mit Brennelementwechsel während eines Zeitraums von insgesamt 33 Tagen ab. Die akkumulierte Kollektivdosis fiel dabei mit 277 Pers.-mSv (korrigierter EPD-Wert) niedriger als im Vorjahr aus und entsprach dem Umfang der Arbeiten, lag aber um 11 % über dem ursprünglichen Planwert von 250 Pers.-mSv. Die Abweichung vom Planwert ist vorwiegend auf die aufwändiger als erwartet ausgefallenen Schweissnahtprüfungen an einer Primärkühlmittelleitung und am RDB-Deckel sowie auf die Arbeiten in den Bereichen Elektrotechnik und Armaturen zurückzuführen. Der Planwert lag innerhalb des Toleranzbereichs von +/- 20 % der effektiven Kollektivdosis. Die höchste Individualdosis beim Fremdpersonal lag mit 5,1 mSv weit unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr für beruflich strahlenexponierte Personen. Gleiches gilt für die höchste Individualdosis des Eigenpersonals mit 4,8 mSv. Die Kollektivdosis verteilt sich zu 33 % auf das Eigen- und zu 67 % auf das Fremdpersonal. Die mittlere Dosis betrug im Revisionszeitraum 0,22 mSv/Person. Gesamthaft wurden 68 188 Arbeitsstunden in der kontrollierten Zone geleistet. Insgesamt verzeichnete das KKG als Maximalwert 763 Zutritte von 479 verschiedenen Personen pro Tag.

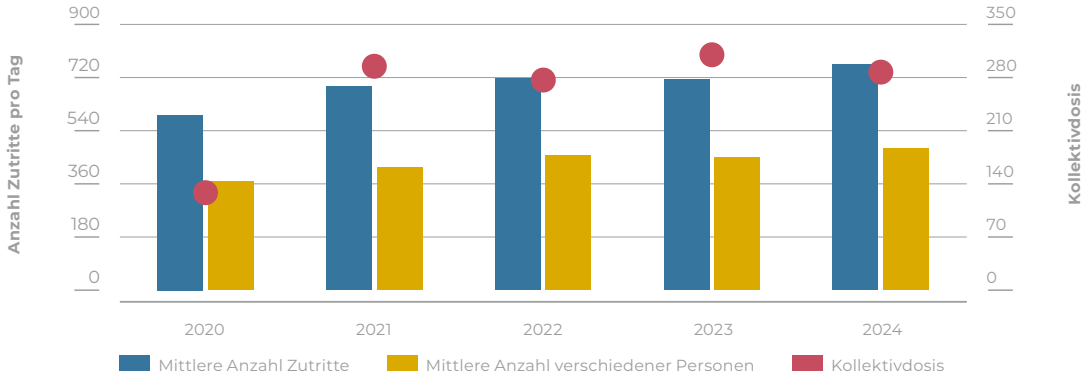
Das Abfahren der Anlage für die Jahresrevision wurde ähnlich wie in den vergangenen Jahren durchgeführt und durch das Ressort Chemie anhand von Analysen begleitet. Während des Abfahrens wurden im Primärwasser Anstiege der Aktivitätskonzentrationen von ^{60}Co und weiteren Aktivierungsprodukten wie Chrom-,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

Aufenthaltszeit in der kontrollierten Zone während der Revision im KKG



Darstellung 13: Aufenthaltszeiten von Fremd- und Eigenpersonal in der kontrollierten Zone während der Revisionen im KKG in den letzten fünf Jahren.

Kollektivdosen und Zutritte in die kontrollierte Zone des KKG



Darstellung 14: Kollektivdosen und maximale Zutritte pro Tag in die kontrollierte Zone während der Revisionen im KKG in den letzten fünf Jahren.

Der Anstieg der Aktivitätskonzentrationen der Aktivierungsprodukte im Primärkühlmittel wurde durch die Filter der Primärkühlmittelreinigung abgebaut.

Die Aktivitätskonzentrationen von radioaktiven Edelgasen und von Iod-Nukliden wurden während des Abfahrens engmaschig überwacht. Sowohl bei der Leistungsreduktion als auch bei der Druckentlastung wurde keine Erhöhung der Edelgas- oder Iod-Konzentrationen gemessen.

Beim Abfahren vollzieht das KKG für das Primärkühlmittel einen Wechsel von der sogenannten «Reduzierenden Fahrweise» zur «Oxidierenden Fahrweise». Zu Beginn des Abfahrens wird das Primärkühlmittel mit zusätzlicher Borsäure angereichert, um die Reaktivität des Reaktorkerns mit zusätzlicher Marge zu kontrollieren. 24 Stunden später beginnt die Einspeisung von Wasserstoffperoxid, wodurch sich oxidierende Eigenschaften des Primärkühlmittels einstellen.

Die kontrollierte Zone in der Anlage stellte sich während der Jahresrevision in einem radiologisch und konventionell sauberen Zustand dar. Die Dosierung von Zink in den Primärkreis wirkte sich über die Jahre positiv auf den Dosisleistungspegel und die akkumulierten Personendosen aus. Seit Beginn der Zinkdosierung im Jahr 2005 nahm die Dosisleistung an den Primärkreislaufkomponenten durchschnittlich um circa 78 % ab. Die Dosisleistung im Innern des Reaktordruckbehälter-Deckels nahm stärker ab und betrug mit 30 mSv/h noch knapp 11 % des ursprünglichen Wertes von 2006 (280 mSv/h). Die regelmässigen Ortsdosisleistungs-Messungen zeigten, an den während der Revision zugänglichen Komponenten, eine in etwa konstante Gamma-Dosisleistung gegenüber dem Vorjahr.



Bild 14: Sicherung von Werkzeugen gegen Fremdmitteleintrag während der Jahresrevision.

Das Verhältnis von Beta/Gamma- zu Alpha-strahlenden Nukliden nahm gegenüber dem Vorjahr ab und betrug für den Reaktordruckbehälter-Deckel ungefähr 900 zu 1. Dies liess einen Beta/Gamma-Strahler-basierten Strahlenschutz zu.

Im Mittel lagen die Luftkontaminationen auf einem niedrigen Niveau unterhalb von 0,1 Richtwerten (CA). So war beim Abheben des Reaktordeckels kein Anstieg der Luftkontamination bezüglich Aerosole festzustellen. Auch die dabei gemessene Edelgaskontamination von 0,002 CA war gering. Ferner wurden nur geringfügige Aktivitätskonzentrationen von ^{131}I und ^{132}I gemessen. Die tiefen Kontaminationswerte begründen sich mit den zurückliegenden, defektfreien Betriebszyklen.

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

Während der ganzen Jahresrevision traten keine Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln beseitigt werden konnten, und keine Inkorporationen auf.

Insgesamt wurden in der kontrollierten Zone 20,7 t Blei für Abschirmungszwecke verwendet. Dadurch wurden Abschirmfaktoren von 1,3 bis 20 und eine geschätzte Dosisreduktion von 101 Pers.-mSv erreicht.

Des Weiteren wurden für den Strahlenschutz die regulären, zusätzlichen Massnahmen getroffen. Darunter fallen das Erstellen einer gerichteten Absaugung anhand der Spülluftstränge der betrieblichen Lüftung, das gezielte Absaugen mittels Filtermobil oder die Verwendung eines Schutzhemdes beim Ziehen des Reaktordruckbehälterdeckels. Dadurch werden das Inkorporationsrisiko und die Strahlenbelastung während der Arbeiten für das Personal reduziert. Beim Ziehen des Reaktordruckbehälterdeckels wurde der Aufenthalt des Personals sicherheitsgerichtet auf Personen beschränkt, die für die Ausführung dieser Tätigkeit notwendig waren.

Das KKG griff zur Optimierung der Strahlenexposition auf das Training an einem Mock-Up zurück. So wurde ein Mock-Up ausserhalb der kontrollierten Zone errichtet, an dem die Schweiss- und Montagearbeiten trainiert wurden.

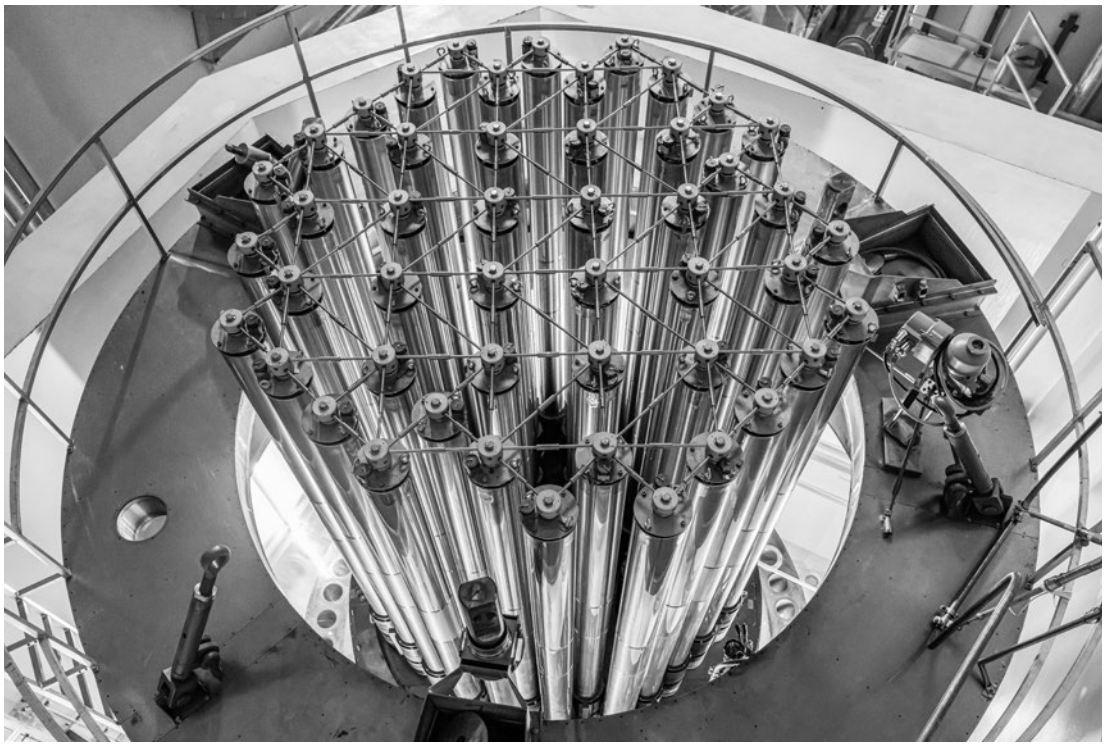


Bild 15: Reaktordeckel am Abstellplatz. Gut sichtbar sind hier die Steuerstabführungsrohre.

Zu erwähnen sind zwei Arbeiten, bei denen der Planwert für die Kollektivdosis deutlich überschritten wurde. Bei den Schweissnahtprüfungen an den Primärkühlmittelleitungen wurde mit 34,4 Pers.-mSv fast doppelt so viel Dosis akkumuliert wie geplant (18,2 Pers.-mSv). Eine Naht musste zweimal geprüft werden, was zu einem Mehraufwand und letztlich zu einer zusätzlichen Strahlenexposition führte. Generell sind die Dosen für solche Arbeiten sehr stark vom Prüfungsumfang und dem tatsächlichen Aufenthalt im Strahlenfeld abhängig. Diese sind im Vorfeld schwer abschätzbar. Die zweite Arbeit mit einer Überschreitung des Planwerts der Jobdosis ergab sich bei Schweissnahtprüfungen am RDB-Deckel. Aufgrund von Verzögerungen bei der Anlieferung der RDB-Deckel Prüfeinrichtung konnte diese nicht wie gewohnt vom Lieferanten vor Beginn der Prüfungen ausgetestet werden. Zusätzlich musste für einige Arbeitsschritte vermehrt im unteren Bereich des Deckels gearbeitet werden. Entsprechend fiel bei der Arbeit eine Jobdosis von 12,9 Pers.-mSv anstatt der geplanten 3,9 Pers.-mSv an. Mit 107,4 Pers.-mSv wiesen Personen aus der Maschinen- und Schweisstechnik die höchste Kollektivdosis auf.

Demgegenüber stehen mehrere Arbeiten, bei denen der Planwert teilweise deutlich unterschritten wurde. So wurden für die Arbeiten an Erstabsperrungen des Nach-/Notkühlsystems nur 5,4 Pers.-mSv anstatt 17,5 Pers.-mSv akkumuliert. Bei den Arbeiten an einem Sprühventil des Druckhalters resultierten insgesamt 2,2 Pers.-mSv statt der geplanten 3,9 Pers.-mSv.

Aufgrund der Optimierungsmassnahmen, welche vom KKG getroffen wurden, der vorgenommenen Planungs- und Vorbereitungsarbeiten sowie der Kontrolle und Begleitung der relevanten Arbeiten durch den Strahlenschutz ereigneten sich bei der Jahresrevision keine strahlenschutzrelevanten Ereignisse.

Die Anlage wurde nach dem Anfahren auf 100 % Leistung an neuralgischen Orten radiologisch ausgemessen. Der in der Revision 2023 gemessene Hotspot an einer Loop-Entwässerungsleitung war nicht mehr vorhanden.

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

Weitere Stillstände

Es gab keine weiteren Stillstände.

Vorkommnisse

Im KKG ereignete sich im Berichtsjahr kein Vorkommnis mit Relevanz für den Strahlenschutz.

Strahlenmessung

Anlässlich einer Inspektion überprüfte das ENSI die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser. Dabei konnte festgestellt werden, dass der Weg von der Probenerhebung über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Monats- und Jahresberichten nachvollziehbar und korrekt war. Die Messwerte des KKG wurden im Rahmen der vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und der halbjährlichen Vergleichsmessungen von Aerosolfiltern, Iodfiltern und Abwasserproben, die gemeinsam mit dem Bundesamt für Gesundheit BAG durchgeführt wurden, verglichen. Das ENSI konnte bestätigen, dass die KKG-Messwerte mit den Messwerten der akkreditierten Labore der Aufsichtsbehörden übereinstimmen.

Im Rahmen einer Inspektionskampagne hatte das ENSI, die Kalibrierungen und Einstellungen der Freimessanlagen oder Kleinteilemonitore für die Befreiung von Materialien des täglichen Gebrauchs (bis ca. 20 kg) inspiziert. Dazu führte es eigene Prüfmessungen mit realistischen Messgütern und radioaktiven Quellen mit verschiedenen Nukliden (^{60}Co, ^{152}Eu, ^{57}Co) durch. Die Quellen wurden spezifisch für diese Inspektionskampagne durch das IRA (Institut de radiophysique, CHUV, Lausanne) entwickelt und hergestellt. Das ENSI konnte sich anhand der Inspektionsergebnisse und der geführten Gespräche überzeugen, dass das Fachwissen für diese Messtechnik auf einem hohen Niveau beim KKG vorhanden ist. Die Freimessschränke und deren Einstellungen sind im Allgemeinen für die definierten Messziele (Freimessung von Abfallsäcken, Dokumenten, kleinere Werkzeuge) geeignet.

Dosimetrie

Während des Berichtsjahres kamen in der kontrollierten Zone oder bei Transporteinsätzen 1505 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz. Die Kollektivdosis während der Berichtperiode betrug 347 Pers.-mSv, sie liegt damit in einem tiefen Bereich und ist mit dem Planwert von 312 Pers.-mSv- grundsätzlich konsistent. Die Aufteilung der Kollektivdosis zwischen Leistungsbetrieb und Revisionsstillstand stellte sich folgendermassen dar:

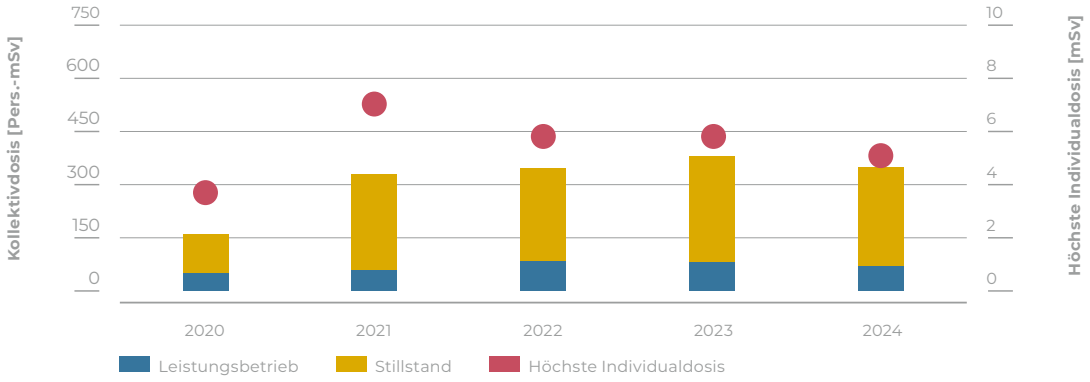
KKG	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
Revisionsstillstand	277
Leistungsbetrieb	70
Gesamte Jahreskollektivdosis	347

Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2024 betrug 5,1 mSv (Revisionszeitraum 4,6 mSv). Diese lag, bedingt durch den Arbeitsumfang, im Bereich des Vorjahreswertes (5,8 mSv) und damit deutlich unterhalb des für beruflich strahlenexponierte Personen festgelegten gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr.

Es wurden während der ganzen Berichtsperiode keine Kontaminationen festgestellt, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten. Im Jahr 2024 hat das KKG keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle detektiert.

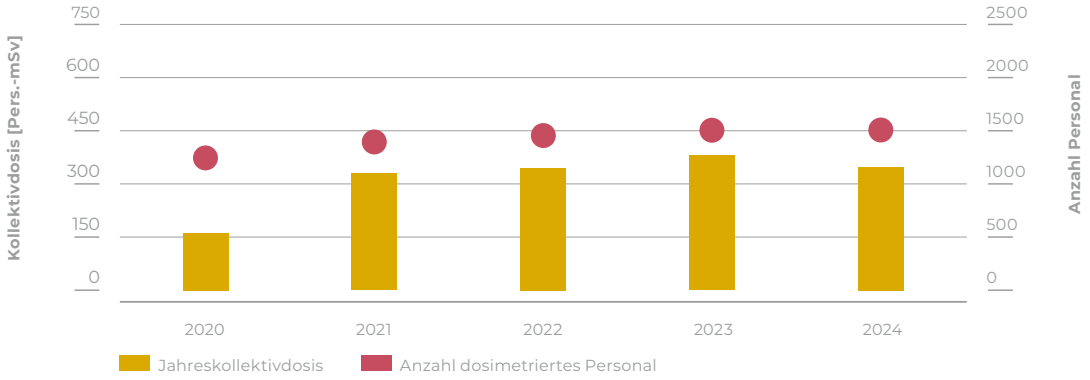
Im Berichtsjahr wurde die Anerkennung der Personendosimetriestelle des KKG um fünf Jahre verlängert. Zu diesem Zweck hat das ENSI eine Inspektion der Dosimetriestelle mit einem externen Fachexperten durchgeführt. Dabei wurden sowohl die technischen wie auch die fachlichen Aspekte des Betriebs der Dosimetriestelle beurteilt.

Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im KKG



Darstellung 15: Jahres-kollektiv-(Pers.-mSv) und höchste Individual-dosen (mSv) im KKG. Dar-gestellt sind Daten aus den Revisionsstill-ständen, dem Leistungs-betrieb und der Verlauf der höchsten Individual-dosen in den letzten fünf Jahren.

Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des KKG



Darstellung 16: Jahres-kollektivdosen und Anzahl dosimetrierte Personen im KKG in den letzten fünf Jahren.

An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des KKG den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

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

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
1578	1578	16

Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörperzähler	Schilddrüse
1321	1321

Bewertung der Strahlenexposition

Die Kollektivdosis im KKG konnte aufgrund der im Jahr 2024 kontinuierlich fortgeführten Zinkeinspeisung der letzten Jahre sowie dem konsequenten Umsetzen von Optimierungsmassnahmen gegenüber dem Vorjahr reduziert werden. Das KKG betreibt einen der Wissenschaft und Technik entsprechenden Strahlenschutz, indem es unter anderem Erfahrungswerte aus den Vorjahren zur Optimierung heranzieht und neue Verbesserungsmassnahmen ein- und umsetzt.

Das ENSI führte 2024 insgesamt 25 strahlenschutzbezogene Inspektionen im KKG durch. Dabei konnte festgestellt werden, dass im KKG ein gesetzlich konformer und effizienter Strahlenschutz betrieben wird und sämtliche Abgabewerte eingehalten wurden.

Der Quotient von Kollektivdosis zu erzeugter elektrischer Energie betrug im KKG 0,041 Pers-mSv pro $GWh_{(e)}$ und blieb somit weiterhin tief (Vorjahr: 0,045 Pers.-mSv/$GWh_{(e)}$).

Das Zonenkonzept in einer Kernanlage bezieht sich auf die Einstufung der Betriebsareale, Gebäude, Räume oder Bereiche aufgrund des tatsächlichen oder erwarteten radiologischen Zustands. Die von der Strahlenschutzverordnung definierten Überwachungs- und Kontrollbereiche werden im Aufsichtsbereich des ENSI als kontrollierte Zonen bezeichnet. Anlagenbereiche mit existierenden oder potenziellen Kontaminationswerten werden anhand von Zonentypen gekennzeichnet. An Orten mit erhöhter oder möglicherweise erhöhter Dosisleistung weisen Gebietstypen auf die radiologische Gefahr hin. Die radiologische Zone dient dazu, die Strahlenexposition von Menschen zu kontrollieren und das Risiko sowohl für das Personal als auch für die Umwelt zu überwachen. In der Schweiz kommen fünf verschiedene Zonentypen von 0 bis IV mit ansteigenden Flächen- als auch Luftkontaminationswerten vor. In Bezug auf die Ortsdosisleistung (ODL) werden so genannte Gebietstypen von V bis Z definiert, wobei die ODL für den Gebietstyp Z nach oben offen ist. Anhand der Einstufung von Gebiets- oder Zonentypen werden die Anforderungen an den Strahlenschutz definiert, Massnahmen abgeleitet und implementiert. Das Zonenkonzept ist ein wichtiger Bestandteil des Strahlenschutzes und der Sicherheitskultur in Kernanlagen. Für Labore gibt der so genannte Arbeitsbereich (A, B oder C) zusätzlich Auskunft über die radiologische Gefahr. In einem Arbeitsbereich A wird radioaktives Material mit einer Aktivität von mehr als 10 000 Bewilligungsgrenzen (LA) gehandhabt.



Bild 16: Übergang zu einem höheren Zonentyp innerhalb einer kontrollierten Zone.

2.3 Kernkraftwerk Leibstadt

Betrieb am Netz [y]

89,2

Dauer der Stillstände [d]

33

Kollektivdosis im Leistungsbetrieb [Pers.-mSv]

256

Höchste Individualdosis [mSv]

7,3

Erzeugter Strom [GWh]

9636

Kollektivdosis [Pers.-mSv]

1184

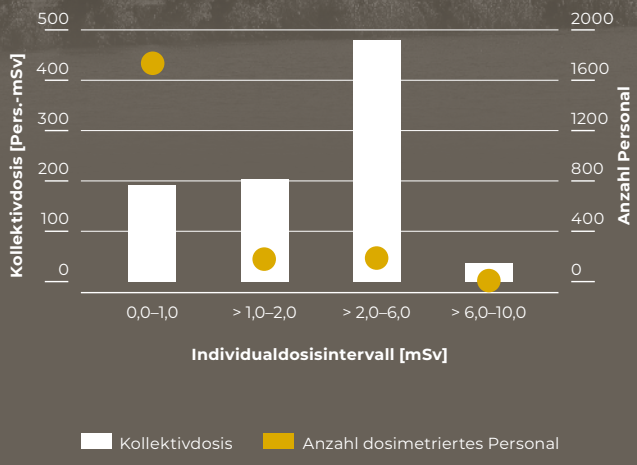
Kollektivdosis während der Stillstände [Pers.-mSv]

928

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

< 0,004

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal im KKL



Verhältnis der Kollektivdosen Leistungsbetrieb gegenüber Stillstand



Zusammenfassung

Die durch das KKL ergriffenen Massnahmen im Strahlenschutz, sowohl für die 33 Tage dauernde Jahreshauptrevision als auch für den Leistungsbetrieb, bewertet das ENSI als zielführend. Der radiologische Anlagenzustand wird durch die ^{60}Co-Aktivitätskonzentration im Primärwasser dominiert.

Dank den brennstoffschadensfreien, vergangenen Betriebszyklen ist die Aktivitätskonzentration der Spaltprodukte im Primärkühlmittel auch im Berichtsjahr leicht gesunken.

Betriebsgeschehen

Das KKL hat mit einer Verfügbarkeit von 89,2 % ein erfolgreiches Betriebsjahr absolviert. Die produzierte Menge an Strom ist mit 9636 GWh mit derjenigen aus den Vorjahren vergleichbar.

Der radiologische Anlagenzustand wird durch eine im Vergleich zu anderen BWR-6-Anlagen des Herstellers General Electric höhere ^{60}Co-Aktivitätskonzentration im Primärkühlmittel und damit höheren Dosisleistungen in der Anlage dominiert. Durch den Austausch der Umwälzschleifen im Jahr 2021 wurde die Situation verbessert. Die mittlere Oberflächendosisleistung an den Umwälzschleifen lag im Jahr 2020 bei 1,8 mSv/h und nach dem Austausch im Jahr 2021 bei unter 0,2 mSv/h. Inzwischen hat eine Rekontamination und damit ein Anstieg der Oberflächendosisleistung stattgefunden. Die Ortsdosisleistung im Drywell ist mit gleichem Trend nur in geringem Masse gestiegen.

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

Die geplante Kollektivdosis für den Leistungsbetrieb von 270 Pers.-mSv wurde mit 256 Pers.-mSv eingehalten.

Revisionsstillstand

Die Jahreshauptrevision 2024 dauerte 33 Tage, vom 29. April bis zum 31. Mai 2024. Sie war mit einer Kollektivdosis von 760 Pers.-mSv geplant. Akkumuliert wurden 928 Pers.-mSv, womit sie um ca. 22 % höher ausfiel. Die während der Revision registrierte, maximale Individualdosis für das Eigenpersonal lag bei 4,1 mSv. Jene für das Fremdpersonal bei 6,9 mSv. Davon waren Personen betroffen, die bei Instandhaltungsarbeiten eingesetzt wurden.

Während der Jahreshauptrevision wurden insgesamt rund 53 294 Zoneneintritte registriert. Die Kontaminationsrate beim Austritt aus der kontrollierten Zone lag bei 0,81 % und erfüllte damit das KKL-interne Ziel von ≤ 1 %. In 431 Fällen wurden mit einfachen Mitteln zu entfernende Personenkontaminationen festgestellt. Während der Revision trat eine hohe Personenkontamination auf, die eine Ermittlung der Hautdosis auslöste. Insgesamt trugen insbesondere die obligatorischen Personenkontaminationskontrollen («Frisking»-Verfahren) mit einer grossflächigen Messsonde an neuralgischen Orten in der Anlage zu einer guten Vorsorge bei. Das Personal ist beim Verlassen von Orten mit erhöhter Kontamination angewiesen, sich auszumessen.

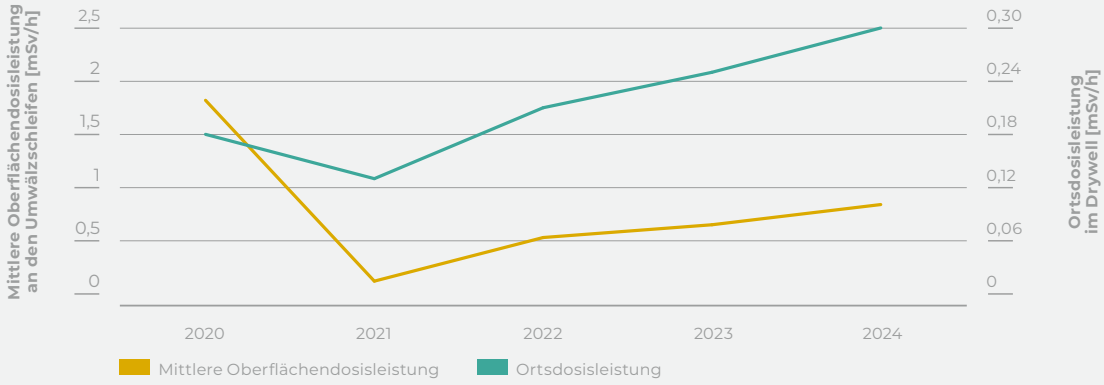
Beim Abfahren der Anlage zur Jahreshauptrevision kam es während der Trennung des Generators infolge eines ungeplanten Öffnens des Blockleistungsschalters zu einem Loss Of Offsite Power (LOOP) und dies löste ordnungsgemäss eine Reaktorschnellabschaltung bei geringer Restleistung aus. Das Drywell wie auch der Dampftunnel wurden auf Leckagen kontrolliert und anschliessend für in Ordnung befunden.

Während der Druckentlastung beim Abfahren wurde ein erwarteter Anstieg der Aktivitätskonzentration von ^{60}Co beobachtet. Die Druckreduktion im Primärsystem hat nicht zu einem Anstieg der Aktivitätskonzentration von ^{131}I, geführt. Damit wurde die Schadensfreiheit der Brennelementhüllrohre bestätigt.

Die Wasserstoffverfügbarkeit im nach der Revision gestarteten 40. Zyklus lag bei 98,96 %. Das heisst, der EPRI-OLNC-Mitigation-Performance-Indikator für eine gute Wasserstoffverfügbarkeit von grösser als 95 % wurde erreicht. Die Einspeisung von Wasserstoff in den Wasser-Dampfkreislauf ist ein Teil der «reduzierenden Fahrweise» und dient durch die Absenkung des elektrochemischen Potenzials der Vorbeugung vor Spannungsrisskorrosion.

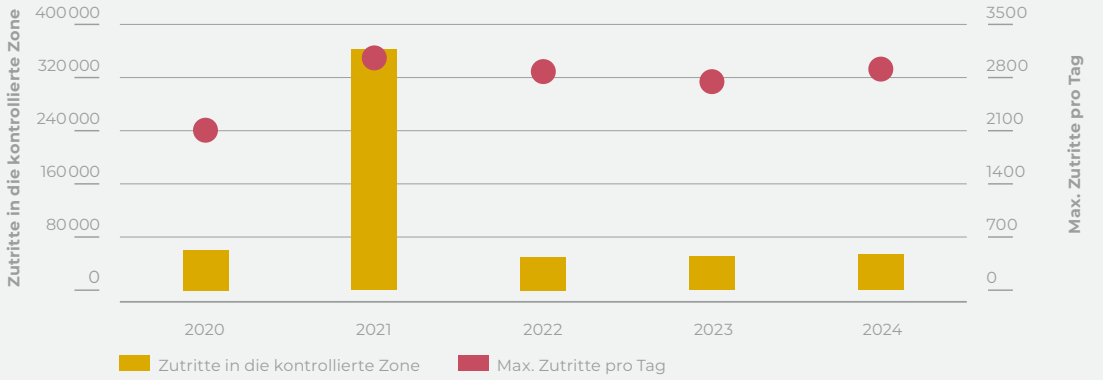
Das Abfahren zur Jahreshauptrevision erfolgte mit dem etablierten und bewährten Soft-Shutdown-Verfahren. Die Ortsdosisleistung an der Pumpe B des Nachwärmeabfuhrsystems lag bei ca. 1,4 mSv/h und damit etwas unterhalb der Messergebnisse aus dem Jahr 2023. Die Ortsdosisleistung am Mantel des Wärmetauschers A des Nachwärmeabfuhrsystems stieg von 0,3 mSv/h auf maximal 0,6 mSv/h, fiel aber innerhalb kurzer Zeit auf weniger als 0,4 mSv/h ab.

Oberflächendosisleistungen an Komponenten des Primärkreislaufs des KKL



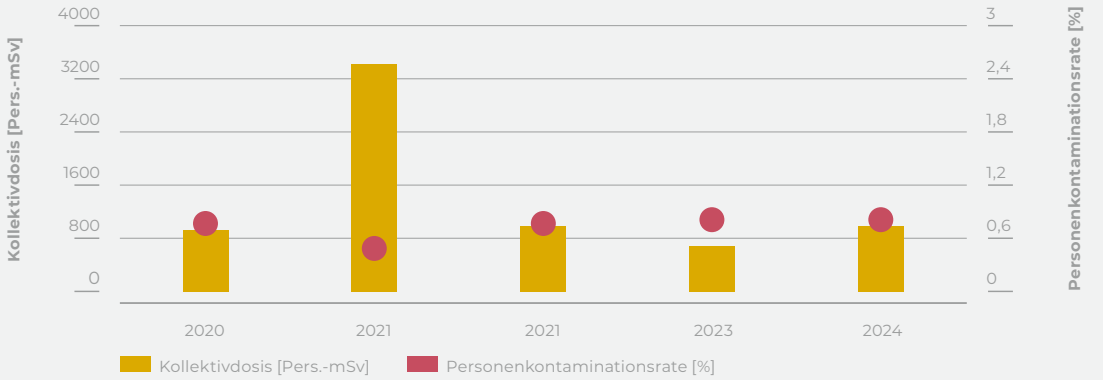
Darstellung 17: Verlauf der gemessenen mittleren Oberflächendosisleistung an den Umwälzschleifen und der Ortsdosisleistung unteren Teil des Drywells in den letzten fünf Jahren.

Zutritte zur kontrollierten Zone während der Revisionsstillstände des KKL



Darstellung 18: Gesamtanzahl der Zutritte zur kontrollierten Zone des KKL während der Revisionsstillstände und maximale Zutritte pro Tag in den letzten fünf Jahren.

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



Darstellung 19: Kollektivdosen und Personenkontaminationsraten beim Austritt aus der kontrollierten Zone des KKL während den Revisionen der letzten fünf Jahre.

An den Umwälzschleifen wurde nach dem Abfahren eine mittlere Dosisleistung von 0,84 mSv/h gemessen. Im Vergleich mit dem Vorjahrswert von 0,65 mSv/h wurde somit eine Zunahme um 30 % festgestellt. Im Drywell wurde nach dem Abfahren die Ortsdosisleistung an 16 repräsentativen Messpunkten bestimmt. Im unteren Bereich des Drywells erhöhte sich die gemittelte Ortsdosisleistung im Vergleich zum Vorjahr von 0,24 mSv/h auf 0,29 mSv/h. Die Rekontamination der Umwälzschleifen und der während der Jahreshauptrevision 2021 dekontaminierten Komponenten des Primärsystems setzte sich erwartungsgemäss fort. Auch stieg die Ortsdosisleistung im oberen Drywell-Bereich und wies einen Wert von 0,07 mSv/h auf.

Das Verhältnis von Beta-/Gamma- zu Alpha-strahlenden Nukliden, das mit Proben von Oberflächen, die in Kontakt mit dem Primärwasser stehen, bestimmt wird, lag beim Reaktordruckbehälter-Deckel bei ca. 450 zu 1 und bei den Isolationsventilen des Frischdampfsystems bei 5537 zu 1. Die Überwachung der Alpha-Luftkontamination war an neuralgischen Orten permanent gewährleistet.

Es fanden zwei Arbeiten mit einer zu erwartenden Kollektivdosis von über 50 Pers.-mSv statt. Einerseits waren dies manuelle zerstörungsfreie Prüfungen am Reaktorwasserreinigungssystem, an den Nach- und Notkühlsystemen sowie am nuklearen Dampferzeugungssystem im Drywell. Andererseits waren es zerstörungsfreie Prüfungen an den Umwälzschleifen. Das KKL hat dem ENSI gemäss der Richtlinie ENSI-B03 für beide Arbeiten eine detaillierte Strahlenschutzplanung eingereicht. Für 30 weitere Arbeiten mit jeweils erwarteten Kollektivdosen kleiner als 50 Pers.-mSv hat der KKL-Strahlenschutz ebenfalls Strahlenschutzplanungen erstellt. 70 % der Plandosis war durch Strahlenschutzplanungen für Arbeiten mit einer Kollektivdosis über 10 Pers.-mSv oder über 1 Pers.-mSv abgedeckt. Das ENSI konnte sich zudem vor Ort von den umgesetzten Optimierungsmassnahmen überzeugen.

Eine weitere wichtige Arbeit war die Jet-Pump-Riser Reparatur. Diese verlief erfolgreich. Allerdings wurden hierbei durch eine Fehlfunktion der Unterwasserfiltereinheiten Erosionsprodukte in das Beckenwasser freigesetzt. Danach wurde das Wasser gereinigt. Das KKL wird die dabei gewonnenen Erkenntnisse bei allfälligen zukünftigen Projekten dieser Art berücksichtigen.

Die geplanten Kollektivdosen wurden insgesamt um 22 % überschritten. Die Abweichungen von den Planwerten wurden vom KKL analysiert und begründet. Eine Verbesserung der Jobüberwachung soll in Zukunft mit der Einführung eines Strahlenschutzservices, welcher die Arbeitsplanung wirksamer mit dem Dosimetriesystem verknüpft, erreicht werden. Das ENSI verfolgt das Thema der Datenbasis für die Strahlenschutzplanungen im Rahmen der laufenden Aufsicht.

Weitere Beispiele für Optimierungsmassnahmen, die das KKL bei den Strahlenschutzplanungen berücksichtigt, sind das Anbringen von temporären Abschirmungen, das Errichten von Wartebereichen mit niedrigen Ortsdosisleistungen sowie Orientierungshilfen und die Videoüberwachung im Drywell.

Die Revisionsarbeiten wurden von 105 Strahlenschutzfunktionsträgerinnen und -trägern überwacht und begleitet. Davon waren 20 Personen dem Eigenpersonal zuzuordnen und 85 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. Am Ende des Berichtsjahres gehörten 25 Personen dem anerkannten Strahlenschutzpersonal an.

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



Bild 17:
Montage des Hebegerüsts am Reaktordruckbehälter-Deckel in der Reaktorgrube.

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

Weitere Stillstände

Es gab keine weiteren Stillstände.

Vorkommnisse

Zu hohe Dosisleistung ausserhalb des Kontroll- und Überwachungsbereiches

Am 4. Juli 2024 wurde eine zu hohe Ortsdosisleistung an der Aussenseite einer Fluchttür ausserhalb der kontrollierten Zone festgestellt. Als Sofortmassnahme hat das KKL im Bereich vor der Tür eine kontrollierte Zone vom Typ 0 eingerichtet. Die Überprüfung anderer Türen im Rahmen der Sofortmassnahmen des KKL ergab keine weitere Auffälligkeit. Laut dem Betreiber wird die zu hohe Ortsdosisleistung an der Aussenseite der Fluchttür von der höheren Ortsdosisleistung im Maschinenhaus verursacht. Aktuell wird diese radiologische Situation mit einer Veränderung der Wasserstoff-Konzentration im Reaktorwasser in Verbindung gebracht. Eine Strahlenexposition einer Person über die gesetzlichen Dosisjahresgrenzwerte hinaus wird aufgrund der vorliegenden Erkenntnisse ausgeschlossen.

Einsatz von externem Personal in der kontrollierten Zone ohne BAG-Bewilligung

Im KKL wurde in den Jahren 2021 bis 2023 ein Mitarbeiter einer externen Firma als beruflich strahlenexponierte Person der Kategorie A in der kontrollierten Zone eingesetzt, wobei eine nachträglich durchgeführte Überprüfung ergab, dass für die entsendende Firma im fraglichen Zeitraum keine gültige BAG-Bewilligung für eine «Personalvermittlung in Kontroll-/ Überwachungsbereichen» vorlag. Das ENSI kommt in seiner Vorkommnisbearbeitung zum Schluss, dass eine Überschreitung des Dosisgrenzwertes für Personen aus der Bevölkerung für den betroffenen externen Mitarbeiter ausgeschlossen werden kann.

Strahlenmessung

Anlässlich einer Inspektion überprüfte das ENSI die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser. Dabei wurde festgestellt, dass der Weg von der Probenerhebung, über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Monats- und Jahresberichten für die überprüften Stichproben nachvollziehbar und korrekt war. Die Messwerte des KKL wurden im Rahmen der vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und der halbjährlichen Vergleichsmessungen von Aerosolfiltern, Iodfiltern und Abwasserproben, die gemeinsam mit dem Bundesamt für Gesundheit BAG durchgeführt wurden, verglichen. Das ENSI konnte bestätigen, dass die KKL-Messwerte mit den Messwerten der akkreditierten Labore der Aufsichtsbehörden übereinstimmen.

Im Rahmen einer Inspektionskampagne hat das ENSI die Kalibrierungen und Einstellungen der Freimessanlagen oder Kleinteilemonitoren für die Befreiung von Materialien des täglichen Gebrauchs (bis ca. 20 kg) inspiziert. Dazu führte es eigene Prüfmessungen mit realistischen Messgütern und radioaktiven Quellen mit verschiedenen Nukliden (^{60}Co, ^{152}Eu, ^{57}Co) durch. Diese Quellen waren spezifisch für diese Inspektionskampagne durch das IRA (Institut de radiophysique, CHUV, Lausanne) entwickelt und hergestellt worden. Das ENSI konnte sich anhand der Inspektionsergebnisse und der geführten Gespräche überzeugen, dass das Fachwissen für diese Messtechnik beim KKL auf einem hohen Niveau vorhanden ist. Die Freimessschränke und deren Einstellungen sind im Allgemeinen für die definierten Messziele (Freimessung von Abfallsäcken, Dokumenten, kleineren Werkzeugen) geeignet.

Dosimetrie

Im Berichtsjahr kamen 2109 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz. Sie akkumulierten eine Kollektivdosis von 1184 Pers.-mSv.

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

KKL	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
Revisionsstillstand	928
Leistungsbetrieb	256
Gesamte Jahreskollektivdosis	1184

Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2024 betrug 7,3 mSv. Diese lag unterhalb des Vorjahreswertes (9,2 mSv) und unterhalb des für beruflich strahlenexponierte Personen festgelegten gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr.

Während der ganzen Berichtsperiode wurden keine Kontaminationen, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, festgestellt. Im Jahr 2024 hat das KKL keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle detektiert.

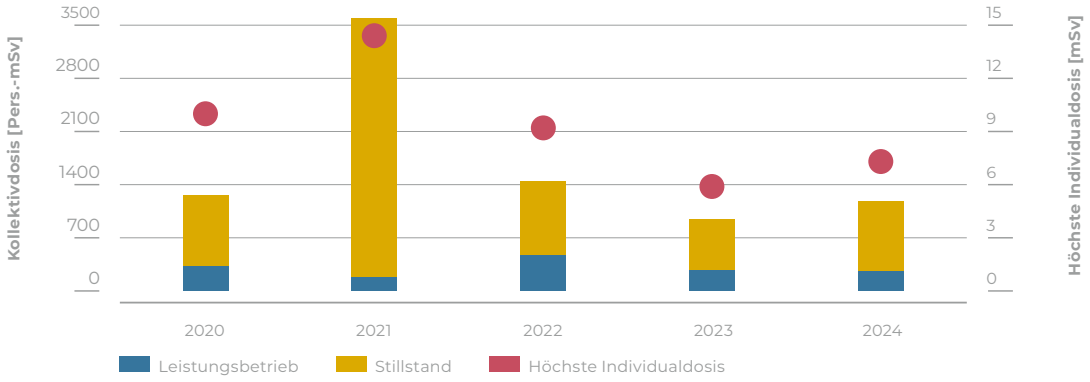
Folgende Anzahl Dosisermittlungen wurden von der anerkannten Personendosimetriestelle des KKL durchgeführt:

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
2170	2170	159

Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörperzähler	Schilddrüse
2019	2019

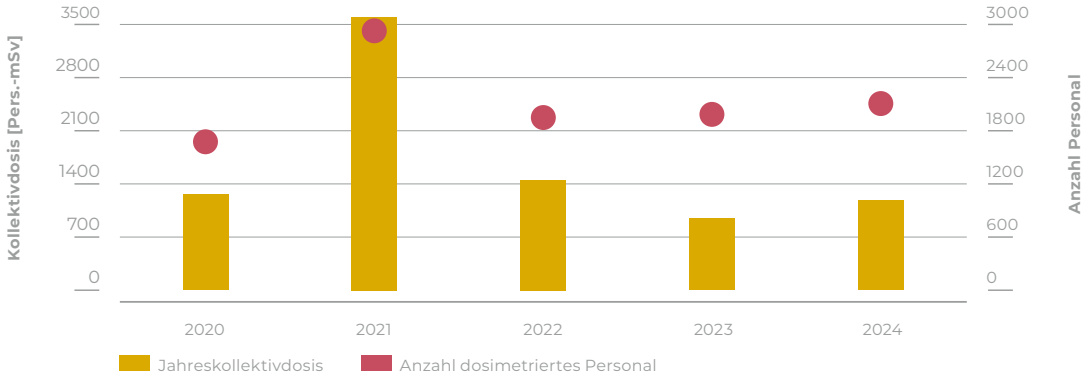
An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des KKL den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im KKL



Darstellung 20: Jahres-kollektiv- (Pers.-mSv) und höchste Individual-dosen (mSv) im KKL. Dar-gestellt sind Daten aus den Revisionsstill-ständen, dem Leistungs-betrieb und der Verlauf der höchsten Individual-dosen wäh-rend der vergangenen Betriebsjahre.

Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des KKL



Darstellung 21: Jahres-kollektivdosen und Anzahl dosimetrier-tes Personal im KKL in den letzten fünf Jahren.

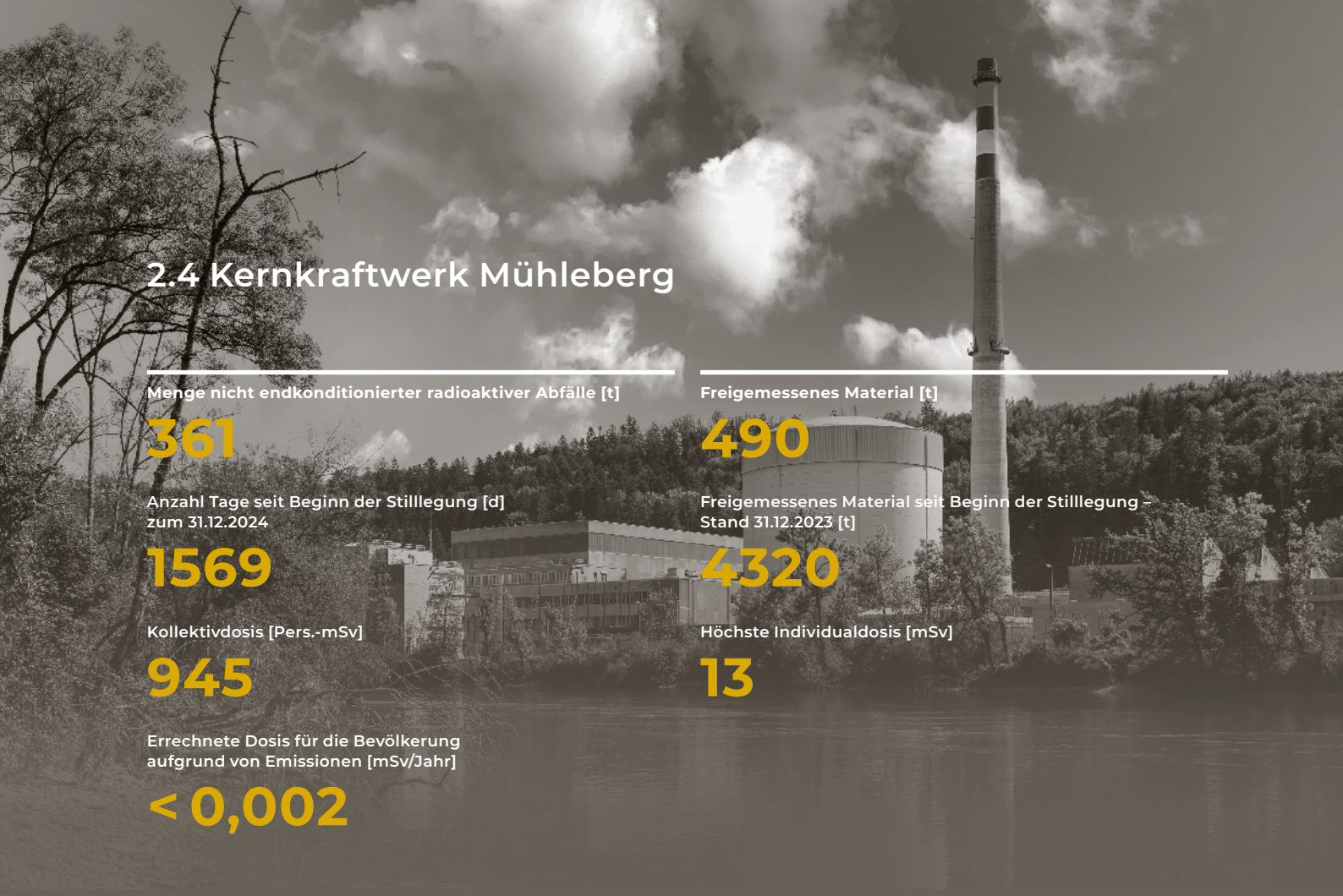
Bewertung der Strahlenexposition

Das ENSI erachtet die vom KKL umgesetzten Strahlenschutzmassnahmen als vorgabenkonform und sicherheitsgerichtet. Dem Optimierungsgrundsatz wird Rechnung getragen. Die Strahlenexposition des Gesamtpersonals sowie die radiologische Situation in der Anlage, insbesondere während der Jahreshauptrevision, wurde vom Strahlenschutz dauernd sowie auch arbeitsbedingt situativ verfolgt. Die akkumulierten Kollektiv- und Individualdosen entsprachen grundsätzlich den Planwerten, wobei Abweichungen nachvollziehbar begründet wurden.

Das ENSI konnte 2024 bei seinen 25 strahlenschutzbezogenen Inspektionen sowie bei Aufsichtsgesprächen feststellen, dass im KKL in allen Betriebsphasen ein gesetzeskonformer und effizienter Strahlenschutz betrieben wird und sämtliche Abgabewerte eingehalten wurden.

Der Quotient aus Kollektivdosis und erzeugter elektrischer Energie betrug im KKL 0,1228 Pers.-mSv pro GWh(e) und ist somit höher als 2023 (Vorjahr: 0,093 Pers.-mSv/GWh(e)).





2.4 Kernkraftwerk Mühleberg

Menge nicht endkonditionierter radioaktiver Abfälle [t]

361

Freigemessenes Material [t]

490

Anzahl Tage seit Beginn der Stilllegung [d] zum 31.12.2024

1569

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

4320

Kollektivdosis [Pers.-mSv]

945

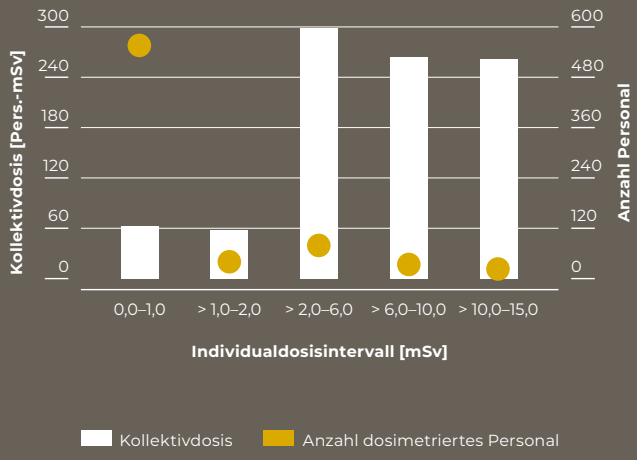
Höchste Individualdosis [mSv]

13

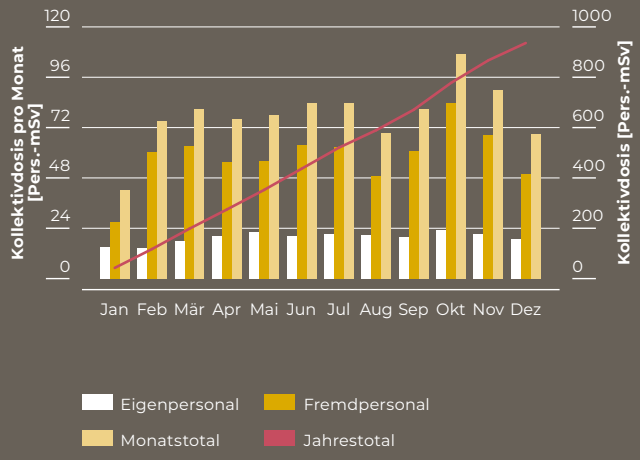
Errechnete Dosis für die Bevölkerung aufgrund von Emissionen [mSv/Jahr]

< 0,002

Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal im KKM



Kollektivdosis Eigen- und Fremdpersonal des KKM in 2024



Zusammenfassung

Trotz der vielfältigen und komplexen Arbeiten während des Rückbaus eines Kernkraftwerks, wie beispielsweise der Zerlegung der Kerneinbauten oder der Kondensatoren, hat das KKM einen radiologisch konformen Anlagenzustand aufrechterhalten. Radiologische Situationen, die von Planungen abwichen, wurden adressiert und strahlenschutztechnisch optimiert. Einzelne unerwartete Abweichungen wie etwa Kontaminationen wurden erkannt und behoben. Die Abgaben von radioaktiven Stoffen lagen deutlich unter den bewilligten Limiten. Das ENSI hat die Sicherheit der Tätigkeiten, insbesondere von dosisintensiven Arbeiten, im Rahmen von Inspektionen und Rundgängen überprüft.

Betriebsgeschehen während der Stilllegung

Mit dem Abtransport der Brennelemente und dem Übergang in die Stilllegungsphase 2 im Jahr 2023 waren die Voraussetzungen für den Rückbau im Berichtsjahr 2024 auch für weitere Komponenten, wie beispielsweise die Kühlwasserversorgung oder die Brennelementlagergestelle, gegeben. Die Arbeiten auf der Reaktorgrubenebene zur Zerlegung der Kerneinbauten konnten ebenfalls fortgeführt werden. Diese waren aus Sicherheitsgründen während des Abtransports der Brennelemente pausiert worden.

Mit dem Fortschreiten der Zerlegung der Kerneinbauten wurden weitere, dafür notwendige Hilfseinrichtungen in Betrieb genommen. So wurde unter anderem eine Hilfsbühne über dem Reaktordruckbehälter (RDB) sowie ein Spezialwerkzeug für die Zerlegung derjenigen Kerneinbauten, die im RDB fest verbaut sind, installiert. Das ENSI hat die Inbetriebnahmen jeweils im Rahmen von Inspektionen begleitet und dabei auch die strahlenschutztechnische Optimierung beim Umgang mit den Hilfseinrichtungen bewertet. Bis auf wenige Verbesserungsmassnahmen konnten diese wie geplant in Betrieb genommen werden. Die Zerlegearbeiten finden aus strahlenschutztechnischen Gründen grundsätzlich unter Wasser statt, da dieses die ionisierende Strahlung abschirmt und der Kontaminationsausbreitung entgegenwirkt.

Im Laufe der Zerlegung der Kerneinbauten im Berichtsjahr hat sich in einer der Hilfseinrichtungen unerwartet Aktivität akkumuliert, was zu höheren Ortsdosisleistungen im Arbeitsbereich geführt hat. Nach Information durch das KKM hat das ENSI im Rahmen einer Inspektion die strahlenschutztechnische Situation vor Ort inspiziert und als Resultat weitere Optimierungsmassnahmen zur Reduktion der Ortsdosisleistung gefordert. Diese sind zusammen mit der angepassten Strahlenschutzplanung in Umsetzung. Deswegen, aber auch aufgrund weiterer technischer Herausforderungen mit den Hilfseinrichtungen, verzögerte sich der Abschluss der Arbeiten. Bis Ende des Berichtsjahres wurde für diese Tätigkeit eine Kollektivdosis von 460 Pers.-mSv akkumuliert.



Bild 18: ENSI-Inspektor macht sich bereit für den Zugang in die Reaktorgrube.

Im ehemaligen Brennelementlagerbecken, das sich neben der Reaktorgrube befindet, wurden die Brennelementkästen, die alten Steuerstäbe und Messlanzen zerlegt. Das Brennelementlagerbecken war dabei aus strahlenschutztechnischen Gründen mit Wasser gefüllt. Diese Arbeiten, die im Berichtsjahr abgeschlossen werden konnten, ergaben eine Kollektivdosis von 72 Pers.-mSv.

Auch die Demontagearbeiten im Primärcontainment, im KKM als Drywell bezeichnet, wurden fortgeführt. Der Drywell umschliesst den Reaktordruckbehälter und beinhaltet unter anderem Komponenten des Reaktorkühlsystems. Trotz der engen Platzverhältnisse im Drywell konnte das KKM unter herausfordernden Bedingungen weitere Systeme, Strukturen und Komponenten (SSK) demontieren. Hierbei kamen etablierte strahlenschutztechnische Optimierungsmassnahmen zum Einsatz und es ergab sich eine Kollektivdosis von 110 Pers.-mSv.

Der Abschluss der Zerlegearbeiten der Kerneinbauten, aber auch der Demontage der Strukturen, Systeme und Komponenten (SSK) im Drywell, gehören zu den Voraussetzungen, um in Zukunft den Reaktordruckbehälter selbst zerlegen zu können. Die zugehörige Planung seitens KKM läuft.



Bild 19: Hilfseinrichtungen in der Reaktorgrube für die Zerlegung der Kerneinbauten im Reaktordruckbehälter.

Der erste Freigabeantrag wurde beim ENSI zur Bewertung eingereicht und die Freigabe, bei welcher der radiologische Arbeitsschutz ebenfalls Gegenstand der Bewertung ist, wurde erteilt.

Im Untergeschoss des Reaktorgebäudes, wo von der einstigen Druckabbaukammer (dem «Torus») mittlerweile nicht mehr viel übrig ist, hat das KKM mit den Vorbereitungen für die Zerlegung des Kühlers des Abfahr- und Toruskühlsystems begonnen. Darin haben sich über die Betriebsjahre radioaktive Kontaminationen angesammelt. Da der Kühler aufgrund seines Aufbaus nicht einfach gespült und dekontaminiert werden kann, hat das KKM auf alternative strahlenschutztechnische Optimierungsmassnahmen zurückgegriffen. Der Kühler wurde mit Beton ausgegossen. Das bindet die Kontaminationen und schirmt die ionisierende Strahlung ab. Im Folgejahr wird der Kühler dann, inklusive dem ausgehärteten Beton, mittels Seilsägeverfahren zerlegt.

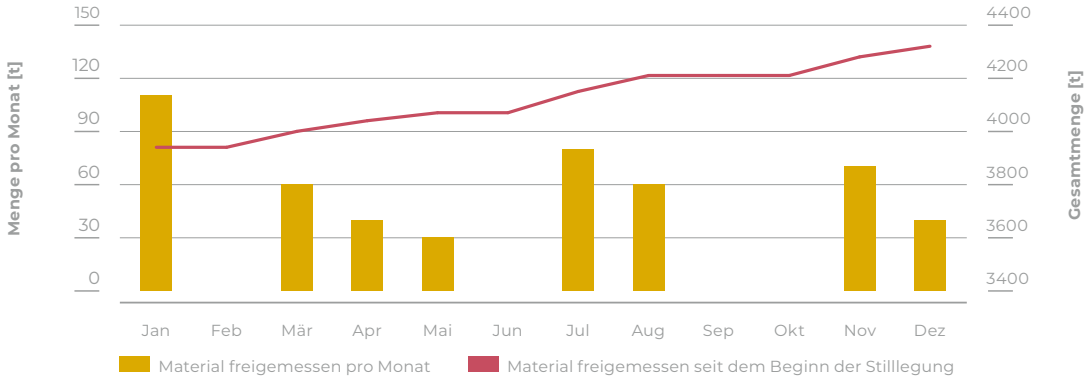
Auch im Bereich der Kondensation im Maschinenhaus wurden die Arbeiten fortgesetzt. Dabei hat sich im Berichtsjahr die Zerlegung der Kondensatoren als herausfordernd herausgestellt. Beim Ausbau der vielen Rohre der Rohrbündel im Kondensator musste die Werkzeugwahl angepasst werden, was zu Verzögerungen und damit zu höheren Kollektivdosen geführt hat. Das ENSI bewertete dies im Rahmen der laufenden Aufsicht.

Diese und andere radiologisch relevanten Arbeiten wurden seitens des KKM-Strahlenschutzes eng begleitet und vom ENSI inspiziert. Dabei wurden vom KKM diverse Massnahmen zur Reduktion der Dosis umgesetzt. Dazu gehören beispielsweise die Installation von Bleiabschirmungen, verfahrenstechnische Optimierungen, das vorgängige Spülen von Leitungen oder, wo möglich, die Verlagerung von Arbeiten in Bereiche mit geringerer Dosisleistung.

Beim Rückbau werden die demontierten Anlagenteile in eigens dafür vorgesehenen Materialbehandlungseinrichtungen zerlegt und dekontaminiert. Dies mit dem Ziel, möglichst viel Material freizumessen und als konventionellen Abfall zu entsorgen. Auf diese Weise konnten im Berichtsjahr ca. 490 t Material konventionell entsorgt werden. Demgegenüber stehen 361 t prozessierte beziehungsweise endkonditionierte radioaktive Abfälle.

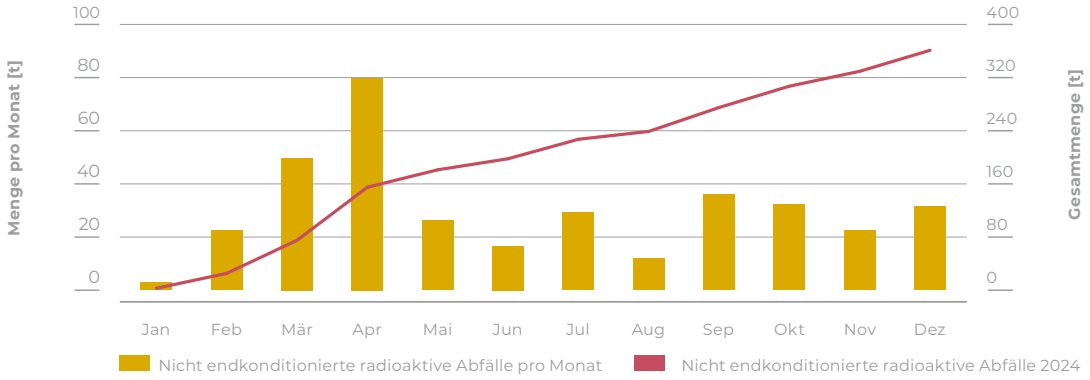
Bei einer dieser Materialbehandlungseinrichtungen, einer aus den frühen 1990er Jahren stammenden Nassdekontaminationsanlage, die das KKM für die Verwendung im Rückbau aufgerüstet hat, forderte das ENSI Nachrüstungen in Zusammenhang mit der Sicherheitstechnik. 2022 verfügte es den Stopp von Arbeiten unter Verwendung von Nassstrahlverfahren in dieser Anlage und verlangte für den Fall eines geplanten Weiterbetriebs den Angleich der Anlage an den Stand

Freigemessenes Material im KKM in 2024



Darstellung 22: Materialmenge in Tonnen, die das KKM im Berichtsjahr durch Befreiungsmessungen aus der Strahlenschutzgesetzgebung entlassen konnte. Demgegenüber stehen 361 t prozessierter bzw. endkonditionierter radioaktiver Abfall.

Nicht endkonditionierte radioaktive Abfälle im KKM in 2024



Darstellung 23: Materialmenge der im KKM angefallenen nicht endkonditionierten radioaktiven Abfälle.

der Technik. Dagegen legte das KKM Beschwerde beim Bundesverwaltungsgericht ein. Im Berichtsjahr verkündete das Bundesverwaltungsgericht seine Entscheidung: Es gab dem ENSI in allen Punkten Recht und wies die Beschwerde ab. Das Urteil bestätigt, dass der radiologische Arbeitsschutz als Teil des Strahlenschutzes im rechtlichen Sinne Bestandteil der nuklearen Sicherheit ist. Daher sind bezüglich des Strahlenschutzes auch im Rahmen der Stilllegung kernenergierechtliche Anforderungen einzuhalten. Das Urteil bestätigt weiter die Aufsichtspraxis des ENSI im Strahlenschutz für zukünftige Fälle in Mühleberg und für spätere Stilllegungsprojekte.

Trotz der vielfältigen und komplexen Rückbauarbeiten konnte das KKM einen radiologisch konformen Anlagenzustand aufrechterhalten. Unerwartete radiologische Situationen wurden adressiert und strahlenschutztechnisch optimiert. Der Bestand des Strahlenschutzpersonals stieg im Jahr 2024 auf 31 Personen an.

Vorkommnisse

Am 30. September 2024 waren die Aerosolmonitore der Fortluftüberwachung des KKM für eine begrenzte Zeit von zwei Stunden nicht verfügbar. Der Ausfall war einerseits auf einen mechanischen Defekt am Seitenkanalverdichter und andererseits auf einen zeitgleichen Defekt am Messumformer des zweiten Aerosolmonitors zurückzuführen. Die Überwachung während des Ausfalls der normalen radiologischen Kaminfortluftüberwachung wurde über die Systeme der Raumluft-

Die Druckabbaukammer «Torus» des Kernkraftwerks Mühleberg:
Das Kernkraftwerk Mühleberg gehört zur Baureihe BWR-4 Mark I von General Electric. Mark I steht dabei für die Bauart des Containments. Dieses besteht insbesondere aus einer birnenförmigen Umschliessung aus Stahl und einer torusförmigen Druckabbaukammer. Während des Betriebs war diese Druckabbaukammer zum Grossteil mit Wasser gefüllt. Über Verbindungsrohre konnte im Bedarfsfall ein allfälliger Dampfüberdruck in die Druckabbaukammer abgelassen werden, wo er kondensierte.

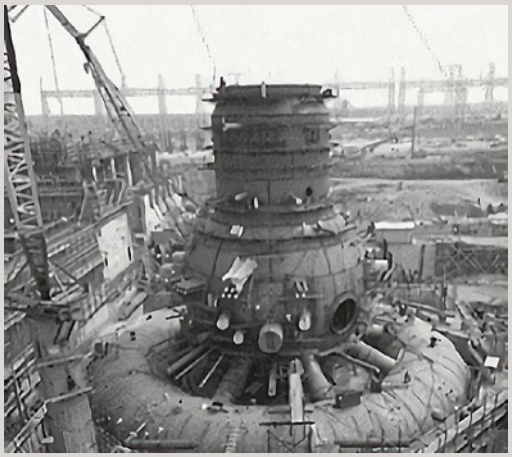


Bild 20: Primärcontainment und Druckabbaukammer «Torus» bei der Errichtung des Kernkraftwerks Mühleberg.

überwachung und der Not-Fortluftmessung sichergestellt. Eine nicht-bilanzierte Abgabe kann ausgeschlossen werden.

Strahlenmessung

Anlässlich einer Inspektion überprüfte das ENSI die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser. Dabei konnte festgestellt werden, dass der Weg von der Probenerhebung über die Messung, die Bilanzierung und die Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Monats- und Jahresberichten nachvollziehbar und korrekt war. Die Messwerte des KKM wurden im Rahmen der vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und der halbjährlichen Vergleichsmessungen von Aerosolfiltern und Abwasserproben, die gemeinsam mit dem Bundesamt für Gesundheit BAG durchgeführt wurden, verglichen. Das ENSI konnte bestätigen, dass die KKM-Messwerte mit den Messwerten der akkreditierten Labore der Aufsichtsbehörden übereinstimmen.

Im Rahmen einer Inspektionskampagne hatte das ENSI die Kalibrierungen und Einstellungen der Freimessanlagen oder Kleinteilemonitoren für die Befreiung von Materialien des täglichen Gebrauchs (bis ca. 20 kg) inspiziert. Dazu führte es eigene Prüfmessungen mit realistischen Messgütern und radioaktiven Quellen mit verschiedenen Nukliden (^{60}Co, ^{152}Eu, ^{57}Co) durch. Die Quellen wurden spezifisch für diese Inspektionskampagne durch das IRA (Institut de radiophysique, CHUV, Lausanne) entwickelt und hergestellt. Das ENSI konnte sich anhand der Inspektionsergebnisse und der geführten Gespräche überzeugen, dass das Fachwissen für diese Messtechnik beim KKM auf einem hohen Niveau vorhanden ist. Die Freimessschränke und deren Einstellungen sind im Allgemeinen für die definierten Messziele (Freimessung von Abfallsäcken, Dokumenten, kleinere Werkzeuge) geeignet.

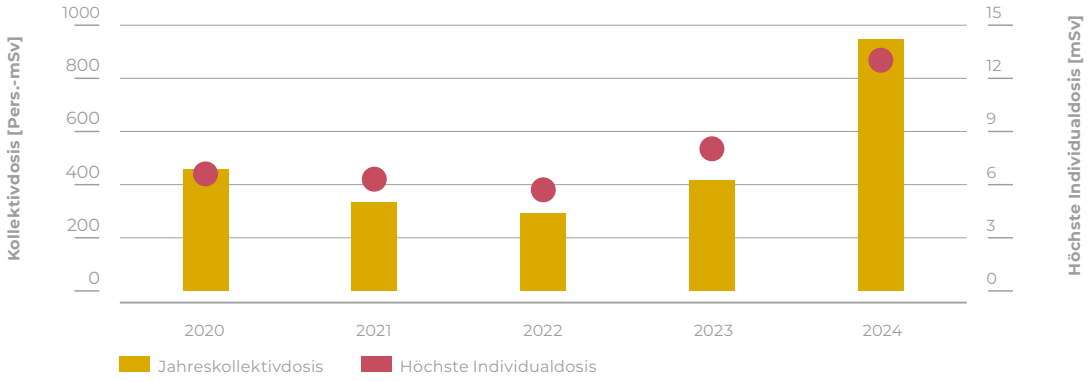
Dosimetrie

Während des Berichtsjahres kamen in der kontrollierten Zone oder bei Transporteinsätzen 731 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz. Die Kollektivdosis während der Berichtperiode betrug 945 Pers.-mSv (Vorjahr: 415 Pers.-mSv). Aufgrund umfangreicher und dosisintensiver Arbeiten liegt diese deutlich höher als im Vorjahr. Zudem ergaben sich, wie beispielsweise bei der Zerlegung der Kerneinbauten, höhere Ortsdosisleistungen in den Arbeitsbereichen als zuvor angenommen.

Die höchste Individualdosis lag im Berichtsjahr bei 13 mSv und somit deutlich über dem Vorjahreswert (8 mSv). Der gesetzliche Grenzwert von 20 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen wurde deutlich unterschritten.

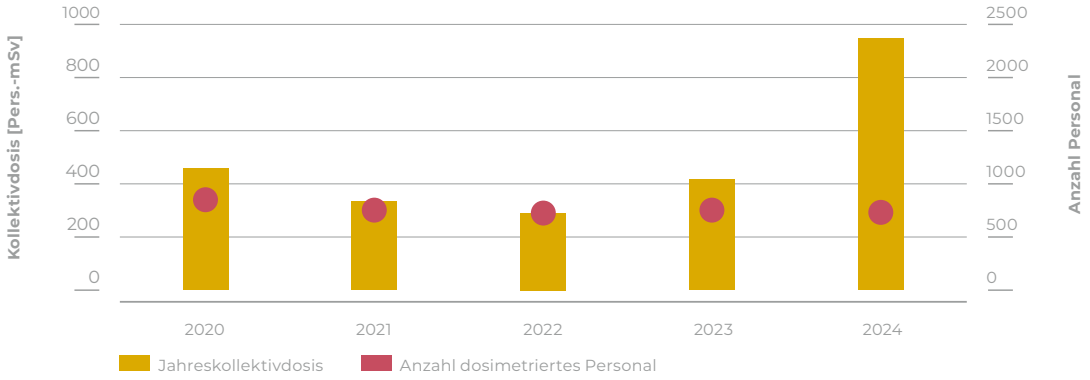
Die anerkannte Personendosimetriestelle des KKM führte folgende Anzahl an Dosisermittlungen durch:

Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im KKM



Darstellung 24: Jahres-kollektiv- (Pers.-mSv) und höchste Individual-dosen (mSv) im KKM in den letzten fünf Jahren.

Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des KKM



Darstellung 25: Summe der Kollektiv-dosen und Anzahl beruf-lich strahlen-exponierter Personen im KKM in den letzten fünf Jahren.

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
769	769	3

Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörperzähler	Schilddrüse
712	712

Im Berichtsjahr wurde die Anerkennung der Personendosimetriestelle des KKM um fünf Jahre verlängert. Zu diesem Zweck hat das ENSI eine Inspektion der Dosimetriestelle mit einem externen Fachexperten durchgeführt. In diesem Rahmen wurden sowohl die technischen wie auch die fachlichen Aspekte des Betriebs der Dosimetriestelle beurteilt.

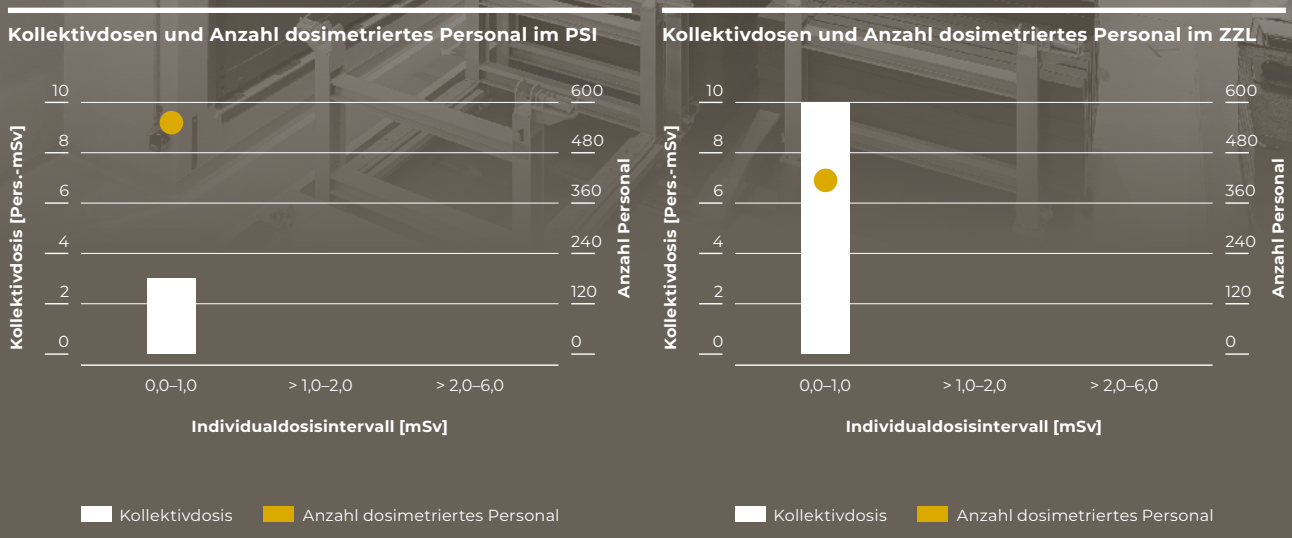
An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie, hat die Dosimetriestelle des KKM den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

Bewertung der Strahlenexposition

Das ENSI konnte unter anderem bei 24 strahlenschutzbezogenen Inspektionen feststellen, dass im KKM ein zielgerichteter Strahlenschutz betrieben wird und sämtliche Abgabewerte eingehalten werden. Die Inspektionen deckten insbesondere die grossen Gewerke ab, wie beispielweise die Arbeiten im Drywell und auf der +29 m-Ebene im Reaktorgebäude (Ebene der Reaktorgrube) oder die Zerlegung des Wasserabscheider-Zwischenüberhitzers im Maschinenhaus. Bis auf wenige Ausnahmen, bei denen Verbesserungsbedarf erkannt wurde, konnte das ENSI die inspizierten Sachverhalte mit Normalität bewerten. Das KKM setzte die vom ENSI angeordneten Korrekturmassnahmen um. Die höhere Kollektivdosis im Vergleich zum Vorjahr begründet sich in umfangreichen und dosisintensiven Arbeiten sowie in höheren Ortsdosisleistungen in gewissen Arbeitsbereichen als angenommen.

3. Weitere Kernanlagen

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



Zusammenfassung

PSI: Am PSI wurden die Arbeiten in den Kernanlagen unter der notwendigen strahlenschutztechnischen Aufsicht durchgeführt. Die erfasste Kollektivdosis der PSI-Kernanlagen, die sich alle im Aufsichtsbereich des ENSI befinden, liegt im niedrigen Bereich der Vorjahre. Es ereigneten sich keine strahlenschutzrelevanten Vorkommnisse.

ZZL: Die Tätigkeiten in allen Anlagen des ZZL wurden unter Einhaltung der gesetzlichen und internen Strahlenschutzvorgaben durchgeführt. Die Kollektivdosis war 2024 vergleichbar mit denjenigen aus den Vorjahren und entsprach den durchgeführten Arbeiten. Ein Vorkommnis mit einer Rauchentwicklung in der Ofenhalle hatte geringe radiologische Auswirkungen zur Folge. Das ENSI stellte fest, dass im ZZL ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz angewendet und dadurch die Strahlenexposition gering gehalten wird.

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

3.1 Paul Scherrer Institut

Unter PSI sind nachfolgend die Kernanlagen des Paul Scherrer Instituts zusammengefasst. Die Einrichtungen im Bereich Medizin und Forschung liegen im Aufsichtsbereich des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) und sind nicht Gegenstand dieser Berichterstattung.

Betriebsgeschehen

Das PSI setzte im Berichtsjahr unter anderem die nachfolgend dargelegten strahlenschutzrelevanten Arbeiten fort.

Versuchsverbrennungsanlage

In der Versuchsverbrennungsanlage (VVA) wurde 2024 der Teilschritt 3 des Rückbaus erfolgreich abgeschlossen. Die letzten vier KC-T-Behälter mit Abfällen aus der VVA wurden vergossen und im Bundeszwischenlager eingestellt. Somit wurden, mit Ausnahme der beim Rückbau entstandenen Sekundärabfälle, alle radioaktiven Abfälle aus dem Rückbau der VVA konditioniert. Mit der thermischen Umwandlung der Sekundärabfälle in der Plasmaanlage des ZZL wurde begonnen. Zum Abschluss des Teilschritts 3 inspizierte das ENSI die Anlagenräume.

Im Teilschritt 4 wurden die Demontagearbeiten (Wasserleitungen, Handwaschbecken, Warenaufzug und Pumpensumpf) abgeschlossen und es wurde mit ersten radiologischen Freimessungen des Gebäudes begonnen. Diese Voruntersuchungen wurden verdachtsorientiert, zum Beispiel im Gebäudesumpf und dem ehemaligen Standort des Verbrennungsofens durchgeführt. Des Weiteren entspricht der beim Rückbau der VVA volumenmässig angefallene radioaktive Abfall den früheren Prognosen.

Proteus

Beim Rückbau des Forschungsreaktors Proteus wurde die Demontage von Zuluftkanälen ausgeführt. Von den 48 ausgebauten Abschirmblöcken wurden im Berichtsjahr 20 Blöcke zu einer Deponie abtransportiert. Die Entsorgung der restlichen 28 Blöcke wird im 1. Quartal des Jahres 2025 erfolgen.

Gemäss PSI werden Ende 2025 alle Kernmaterialien aus der Anlage entfernt sein, weshalb die Freimessarbeiten auch erst danach beginnen können.

Die akkumulierte anlagenspezifische Kollektivdosis durch Direktstrahlung wird vom PSI mit 0 Pers.-mSv angegeben.

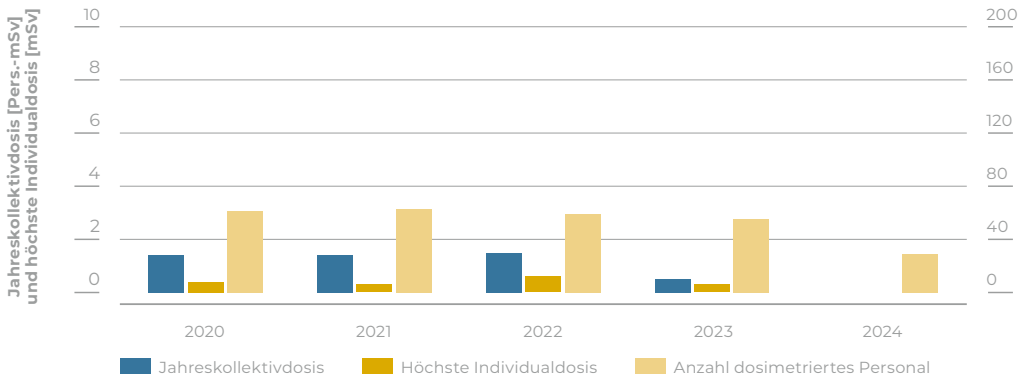
Diorit

In der Anlage Diorit wurden im Berichtsjahr zwölf Abfallcontainer konditioniert. Die akkumulierte anlagenspezifische Kollektivdosis betrug 0,8 Pers.-mSv und die höchste Individualdosis betrug 0,2 mSv.

Ein Konzept für den Abbruch des Gebäudes (Teilschritt 5) wurde seitens PSI erarbeitet und ein Antrag für das erweiterte Stilllegungsprojekt gestellt.

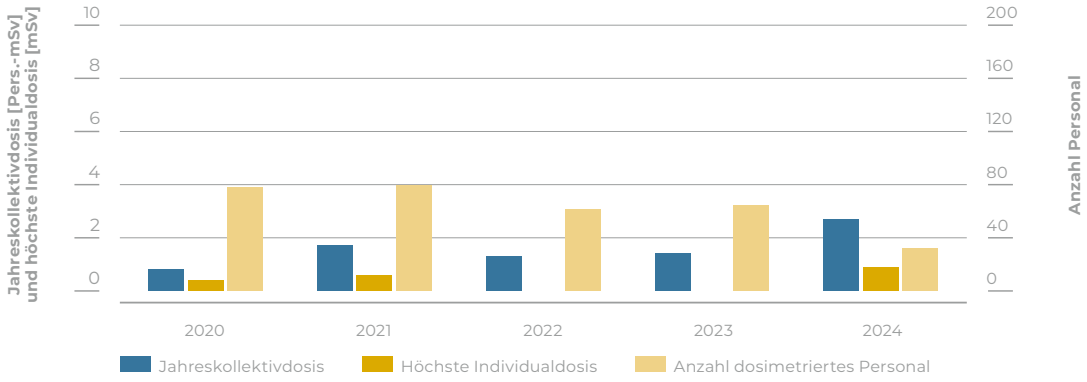
Im Berichtsjahr wurde mit Triagearbeiten von radioaktiven Aluminiumabfällen aus dem Saphir und Diorit begonnen.

Anlagenbezogene Jahreskollektivdosis, Anzahl dosimetriertes Personal und höchste Individualdosis – VVA



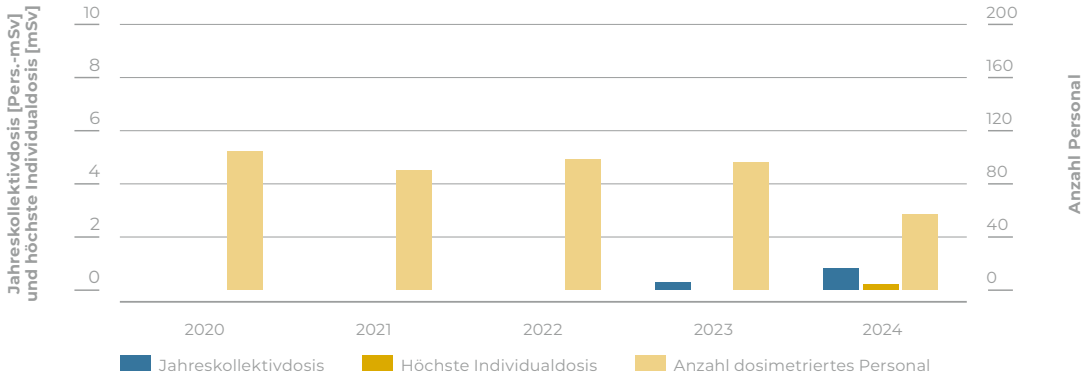
Darstellung 26: Verlauf der anlagenbezogenen Jahreskollektivdosis, der Anzahl von dosimetriertem Personal und der höchsten Individualdosis in der VVA in den letzten fünf Jahren.

Anlagenbezogene Jahreskollektivdosis, Anzahl dosimetriertes Personal und höchste Individualdosis – Proteus



Darstellung 27: Verlauf der anlagenbezogenen Jahreskollektivdosis, der Anzahl von dosimetriertem Personal und der höchsten Individualdosis im Proteus in den letzten fünf Jahren.

Anlagenbezogene Jahreskollektivdosis, Anzahl dosimetriertes Personal und höchste Individualdosis – Diorit



Darstellung 28: Verlauf der anlagenbezogenen Jahreskollektivdosis, der Anzahl von dosimetriertem Personal und der höchsten Individualdosis im Diorit in den letzten fünf Jahren.

Saphir

Der Schwerpunkt der Arbeiten bei der Anlage Saphir lag im Berichtsjahr auf dem Freimessen der Reaktorhalle und Teilen der angrenzenden Räume. Zum Ende des Berichtsjahres waren noch der Boden der Reaktorhalle sowie die Bodenfläche im Bereich des ehemaligen Reaktorpools zu messen. Zusätzlich wurden Rückbauarbeiten an der Hallenbeleuchtung sowie der Rückbau verbliebener Heizungsrohre und eines Stranges der Abluftanlage durchgeführt.

Die akkumulierte anlagenspezifische Kollektivdosis durch Direktstrahlung wurde mit 0,0 Pers.-mSv bestimmt. Da die EPD-Dosimetrierung aufgrund des fortgeschrittenen Stands des Rückbaus des Saphir im Jahr 2024 eingestellt wurde, wird für den Saphir kein Dosis-Diagramm mehr erstellt.

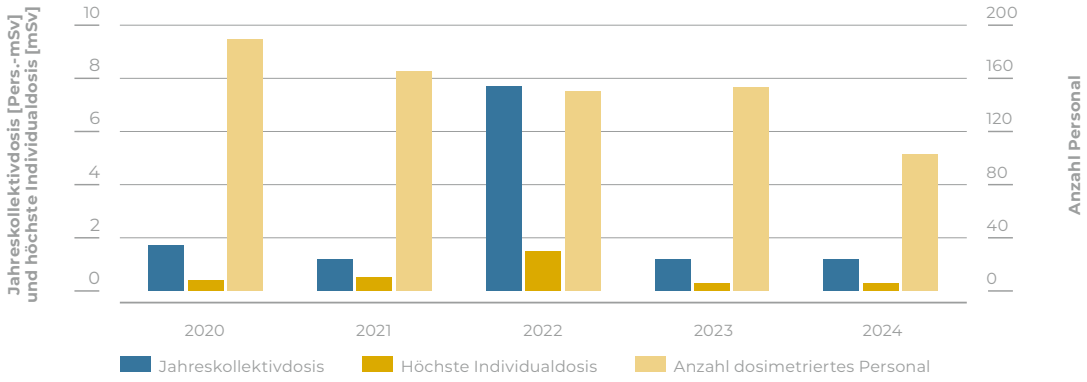
Hotlabor

Das Hotlabor beschäftigt sich hauptsächlich mit wissenschaftlichen Untersuchungen an (hoch-) radioaktiven Materialien, welche nur mit den entsprechenden Einrichtungen des Hotlabors bearbeitet werden können. Es erfüllt verschiedene wissenschaftliche Dienstleistungen für die Nuklearindustrie sowie für das PSI selbst und für internationale Auftraggeber. Dabei erledigen verschiedene Gruppen des PSI Arbeiten mit radioaktiven Materialien zum grossen Teil selbständig, sind aber aus sicherheitstechnischer Sicht dem Anlageleiter des Hotlabors unterstellt.

Benutzer des Hotlabors sind das Labor für Nukleare Materialen (LNM), das Labor für Endlagersicherheit (LES) und einige weitere.

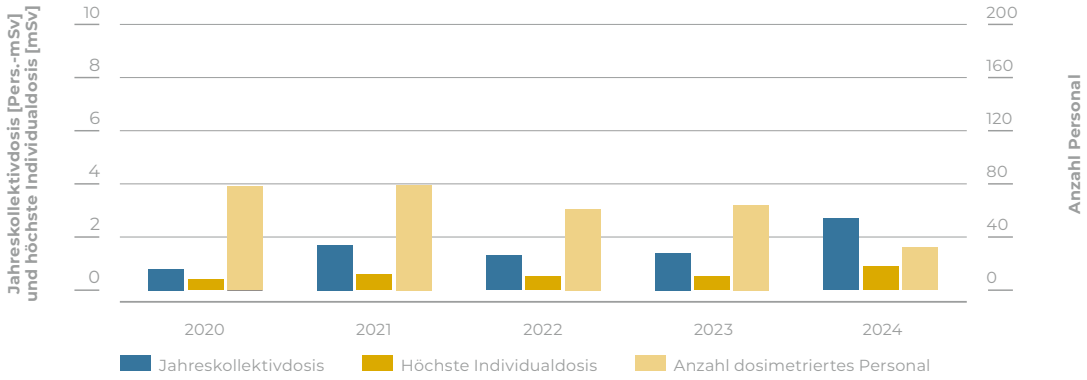
Das LNM untersucht im Hotlabor hauptsächlich das Verhalten von Strukturwerkstoffen und nu-

Anlagenbezogene Jahreskollektivdosis, Anzahl dosimetriertes Personal und höchste Individualdosis – Hotlabor



Darstellung 29: Verlauf der anlagenbezogenen Jahreskollektivdosis, der Anzahl von dosimetriertem Personal und der höchsten Individualdosis im Hotlabor in den letzten fünf Jahren.

Anlagenbezogene Jahreskollektivdosis, Anzahl dosimetriertes Personal und höchste Individualdosis – AERA



Darstellung 30: Verlauf der anlagenbezogenen Jahreskollektivdosis, der Anzahl von dosimetriertem Personal und der höchsten Individualdosis in der AERA in den letzten fünf Jahren.

klearen Brennstoffen für die Anwendung in zukünftigen Reaktortypen. Weiter beschäftigt sich das Labor mit der Entwicklung von neuen Brennstoffkonzepten, der Erkennung, Charakterisierung und Beurteilung von Alterungs- und Schädigungsmechanismen in Strukturwerkstoffen im Primärkreislauf von Leichtwasserreaktoren sowie dem Verhalten heutiger und zukünftiger nuklearer Brennstoffe in- und ausserhalb des Reaktors.

Das LES führt im Hotlabor ein breites Experimentalprogramm durch, um zu einem besseren Verständnis der Rückhaltung und des Transports von Radionukliden in porösen Materialien und der geochemischen Wechselwirkungen in geologischen Tiefenlagern zu gelangen.

Die akkumulierte anlagenspezifische Kollektivdosis betrug 1,2 Pers.-mSv und die höchste Individualdosis betrug 0,3 mSv.

Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (AERA)

Im Betriebsgebäude (OBGA) wurden die Umbauarbeiten der Übergänge zu den radiologisch kontrollierten Zonen in den angrenzenden Hallen abgeschlossen.

In den Gebäuden des Bundeszwischenlagers (ORAA) und des Abfalllabors (OALA) verlief im Berichtsjahr ein normaler Lagerbetrieb.

Die akkumulierte anlagenspezifische Kollektivdosis lag bei 2,7 Pers.-mSv und die höchste Individualdosis betrug 0,9 mSv.

Vorkommnisse

Im Berichtsjahr gab es keine strahlenschutzrelevanten Vorkommnisse. Die Schutzziele wurden zu jeder Zeit eingehalten.

Strahlenmessung

Anlässlich einer Inspektion überprüfte das ENSI die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser. Dabei konnte festgestellt werden, dass der Weg von der Probenerhebung, über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Monats- und Jahresberichten nachvollziehbar und korrekt war. Die Messwerte des PSI wurden im Rahmen der vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und der halbjährlichen Vergleichsmessungen von Aerosolfiltern, Iodfiltern und Abwasserproben, die gemeinsam mit dem Bundesamt für Gesundheit BAG durchgeführt wurden, verglichen. Das ENSI konnte bestätigen, dass die PSI-Messwerte mit den Messwerten der akkreditierten Labore der Aufsichtsbehörden übereinstimmen

Dosimetrie

In der Berichtsperiode kamen am PSI im Aufsichtsbereich des ENSI 552 beruflich strahlenexponierte Personen in den kontrollierten Zonen oder bei Aussenarbeiten zum Einsatz. Die Kollektivdosis während des gesamten Berichtszeitraumes betrug 3,0 Pers.-mSv (amtlicher Dosiswert; dieser unterscheidet sich von der Summe der EPD-Werte der einzelnen Anlagen aufgrund der Nachweisgrenze).

Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2024 betrug 1,0 mSv und lag damit deutlich unterhalb des für beruflich strahlenexponierte Personen festgelegten gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr.



Bild 21: Freimessungen an nicht aktivierten Betonblöcken aus dem Rückbau des Forschungsreaktors Saphir.

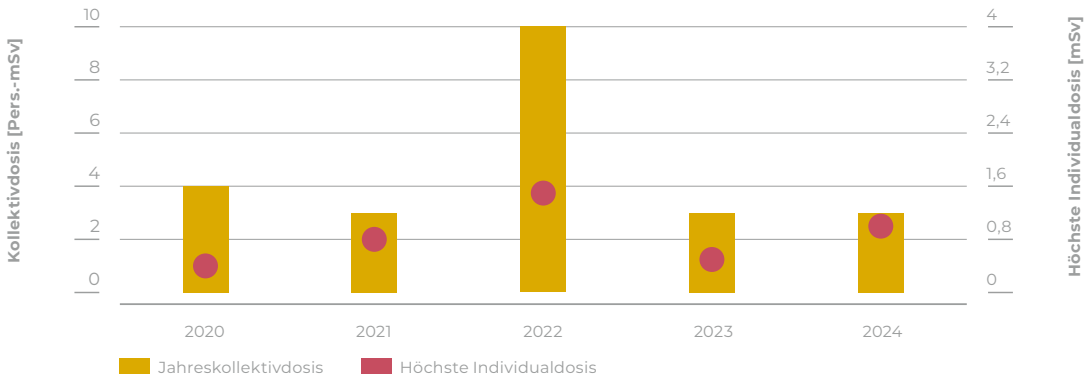
Während des ganzen Jahres traten keine Kontaminationen auf, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten. Während des Berichtszeitraumes hat das PSI an 122 Personen (Eigenpersonal: 111, Fremdpersonal: 11) Triagemessungen durchgeführt. Dabei wurde keine Inkorporation oberhalb der Triageschwelle detektiert.

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

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
914	914	43

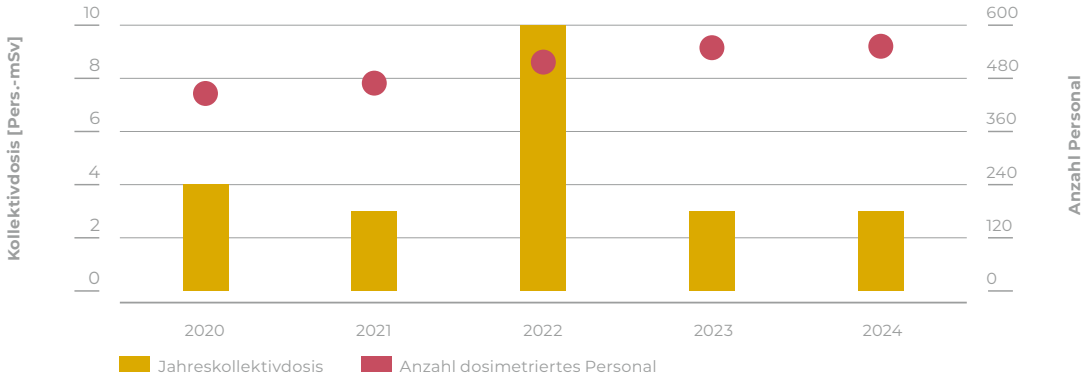
Überwachung der Inkorporationen		
Ganzkörperzähler	Schilddrüse	Urin
–	–	–

Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im PSI



Darstellung 31: Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im PSI in den letzten fünf Jahren.

Jahreskollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des PSI



Darstellung 32: Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im PSI in den letzten fünf Jahren.

An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie, hat die Dosimetriestelle des PSI den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

Bewertung der Strahlenexposition

Das PSI verfügt über verschiedene Kernanlagen, die unter anderem zu Forschungszwecken betrieben wurden beziehungsweise werden. Der überwiegende Teil der Anlagen befindet sich im Rückbau und ist bereits längere Zeit weitgehend frei von Kernbrennstoff. Dementsprechend sind die im aktuellen Berichtsjahr angefallen Personendosen vergleichsweise gering. Hauptursachen für die angefallenen Dosen sind Zerlegearbeiten sowie die Abfallbewirtschaftung. Das ENSI führte verschiedene Inspektionen mit dem Ziel der Überprüfung der gesetzlichen Konformität und der strahlenschutztechnischen Optimierung der Aufbewahrung diverser Abfälle durch. Die Errichtung eines Abschirmschrankes für flüssige, radioaktive Abfälle im Hotlabor stellt diesbezüglich eine zielorientierte Massnahme zur Dosisoptimierung dar.

3.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen

Betriebsgeschehen

Am 7. Oktober 2024 wurde die Kampagne 32-2024-H der Plasma-Anlage planmässig gestartet. Aufgrund einer starken Rauchentwicklung und der damit einhergehenden Verschmutzung der Ofenhalle musste die Kampagne am 9. Dezember vorzeitig beendet werden.

Insgesamt verarbeitete das ZZL im Betriebsjahr 437 Fässer (davon 19 mit inaktivem Glas und 418 mit aktivem Abfall) und produzierte 87 endlagerfähige Kokillen. Die Kampagnen-Vorgabe von 550 verarbeiteten Fässern wurde nicht erreicht.

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

— Behälterempfang
— Konditionierung
— Zentrifugenrevision
— Instandhaltung im Gebäude V
— Fasshandhabung im Gebäude S
— Verbrennungsbetrieb (Plasma-Anlage)

Vorkommnisse

Im Berichtszeitraum ereignete sich ein meldepflichtiges strahlenschutzrelevantes Vorkommnis. In der Ofenhalle der Plasmaanlage kam es zu einer starken Rauchentwicklung, weshalb die laufende Plasmakampagne vorzeitig beendet werden musste.

Am 6. Dezember 2024 schlossen sich ungeplant die Rauchgasklappen des zum Drehherdofen gehörenden Saugzuggebläses. Dies führte zu einem Verlust des Unterdrucks im Ofen. Zusammen mit dem Einblasen von Stickstoff zur Kühlung des Zentrifugenlagers entstand ein Überdruck, welcher zum Entweichen von Rauchgas in die Ofenhalle führte. Mittels der kontinuierlichen Fortluft- und Rauchgasüberwachung konnte keine Auswirkung auf die Abgaben an die Umwelt aufgrund der Rauchentwicklung festgestellt werden. Die Anlagenräume betreffend konnte keine Kontamination grösser als 1 Richtwert festgestellt werden, wobei kurzzeitig anhand der radiologischen Raumüberwachung ein Anstieg der Luftaktivität zu verzeichnen war. Es kam zu keiner Kontamination des Personals.

Strahlenmessung

Anlässlich einer Inspektion überprüfte das ENSI die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser. Dabei konnte festgestellt werden, dass der Weg von der Probenerhebung, über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Monats- und Jahresberichten nachvollziehbar und korrekt war. Die Messwerte des ZZL wurden im Rahmen der vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und der halbjährlichen Vergleichsmessungen von Aerosolfiltern und Abwasserproben, die gemeinsam mit dem Bundesamt für Gesundheit BAG durchgeführt wurden, verglichen. Das ENSI konnte bestätigen, dass die ZZL-Messwerte mit den Messwerten der akkreditierten Labore der Aufsichtsbehörden übereinstimmen.

Im Rahmen einer Inspektionskampagne hatte das ENSI die Kalibrierungen und Einstellungen der Freimessanlagen oder Kleinteilemonitoren für die Befreiung von Materialien des täglichen Gebrauchs (bis ca. 20 kg) inspiziert. Dazu führte es eigene Prüfmessungen mit realistischen Messgütern und radioaktiven Quellen mit verschiedenen Nukliden (^{60}Co, ^{152}Eu, ^{57}Co) durch. Die Quellen wurden spezifisch für diese Inspektionskampagne durch das IRA (Institut de radiophysique, CHUV, Lausanne) entwickelt und hergestellt. Das ENSI konnte sich anhand der Inspektionsergebnisse und der geführten Gespräche überzeugen, dass das Fachwissen für diese Messtechnik beim ZZL auf einem hohen Niveau vorhanden ist. Die Freimessschränke und deren Einstellungen sind im Allgemeinen für die definierten Messziele (Freimessung von Abfallsäcken, Dokumenten, kleinere Werkzeuge) geeignet.

Dosimetrie

In der Berichtsperiode kamen im ZZL 414 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz. Die Kollektivdosis für den gesamten Berichtszeitraum betrug 10 Pers.-mSv und lag ca. 38 % unterhalb des Planwerts von knapp 17 Pers.-mSv.

Als höchste Individualdosis wurden 0,9 mSv bestimmt. Dieser Wert liegt deutlich unterhalb des für beruflich strahlenexponierte Personen festgelegten gesetzlichen Grenzwertes vom 20 mSv pro Jahr sowie dem ZZL-internen Schutzziel für die Individualdosis von höchstens 5 mSv pro Jahr.

Das ZZL führte insgesamt 380 Triagemessungen durch, davon 93 bei ihrem Eigenpersonal sowie 287 bei Fremdpersonal. Dabei wurden keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle detektiert.

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

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
531	531	–

Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörperzähler	Schilddrüse
–	–

Bewertung der Strahlenexposition

Die Tätigkeiten in allen Anlagen des ZZL wurden unter Einhaltung der gesetzlichen und internen Strahlenschutzvorgaben durchgeführt. Die Kollektivdosis war 2024 vergleichbar mit denjenigen aus den Vorjahren und entsprach den durchgeführten Arbeiten. Ein Vorkommnis mit einer Rauchentwicklung in der Ofenhalle hatte geringe radiologischen Auswirkungen auf das ZZL und keine für das Personal und die Umwelt. Das ENSI stellte fest, dass im ZZL ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz angewendet und dadurch die Strahlenexposition tief gehalten wird.

3.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Betriebsgeschehen

Die Kernanlagen der EPFL umfassen 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 2024 stand der CROCUS-Reaktor den Studierenen der Ingenieurswissenschaften- und Physik der EPFL, Kursteilnehmenden der Reaktorschule des PSI und Studierenden des Swiss Nuclear Engineering Masterkurses der ETHZ/EPFL während 461 Stunden bei kleiner Leistung (bis 60 W) für Ausbildungs- und Forschungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden insgesamt 412 Wh thermische Energie erzeugt. Im Vergleich zum Vorjahr bedeutet dies eine Erhöhung der Betriebsdauer um 140 % und eine Erhöhung der erzeugten Energie von 4 %. Hauptgrund für die im Vergleich zum Vorjahr mehr als doppelt so lange Betriebsdauer ist das Experiment «BLOOM», für welches zahlreiche, sehr lange Messungen im zweiten Halbjahr 2024 durchgeführt wurden.

Vorkommnisse

Im Jahr 2024 kam es zu keinen gemäss Richtlinie ENSI-B03 meldepflichtigen Vorkommnissen.

Dosimetrie

Die 12 beruflich strahlenexponierten Personen an der EPFL akkumulierten im Berichtsjahr eine Kollektivdosis von < 1 Pers.-mSv.

Bewertung der Strahlenexposition

Im Berichtsjahr 2024 stellte das ENSI beim Personal eine Kollektivdosis fest, die wie im Vorjahr auf sehr tiefem Niveau im Bereich des Untergrunds lag. Weiter lagen aufgrund von Dosisoptimierungen alle Individualdosen im Bereich des Untergrunds. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend. Im Rahmen einer Inspektion hat das ENSI den operationellen Strahlenschutz sowie den Zustand und die Dokumentation der Einrichtungen der kontrollierten Zone überprüft. Die Ergebnisse der Inspektion bestätigen die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben durch die EPFL und die Anwendung eines konsequenten und gesetzeskonformen Strahlenschutzes.

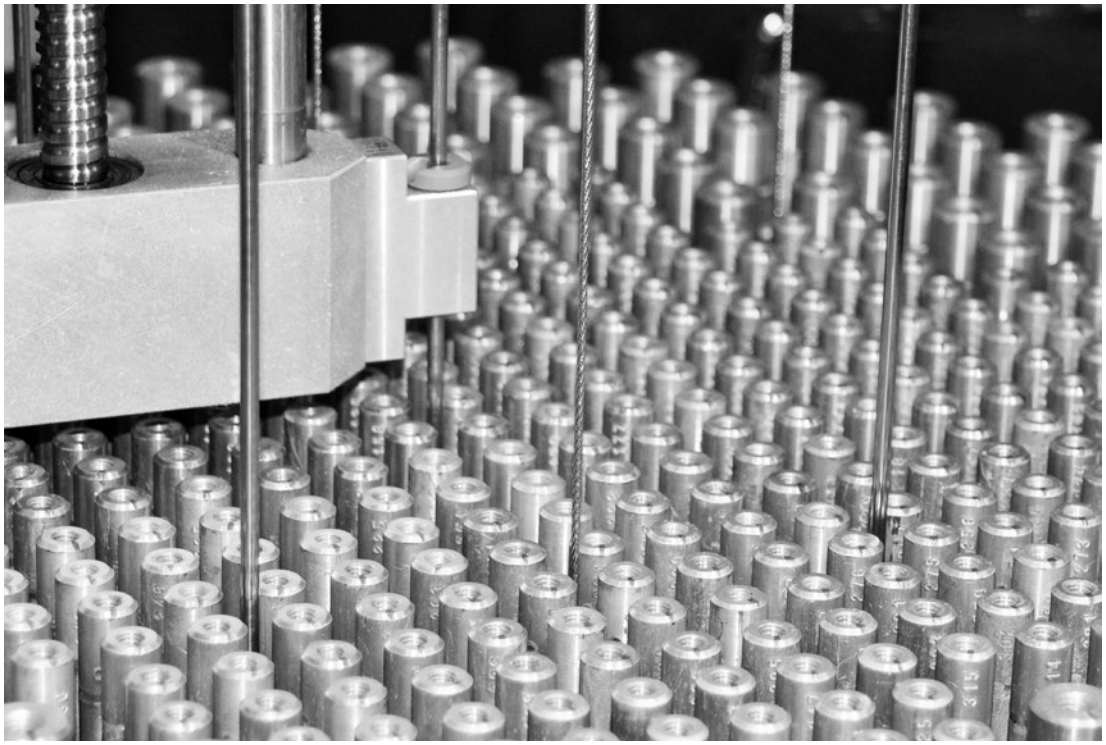


Bild 22: Nahaufnahme des Reaktorkerns des CROCUS mit dem TRAX-System (Translation RAdial aXial) zum Einfahren einer Spaltkammer in den Reaktor.



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 mit deren Auswirkungen auf die Umwelt und mit der Freimessung von Materialien und Räumen aus Kontrollbereichen zur konventionellen Nutzung oder Entsorgung. Zur Erfüllung dieser Aufgaben betreibt die Sektion das Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) und eine akkreditierte Prüfstelle, die Messungen an Umwelt- und Materialproben, an Fortluft- und Abwasserproben sowie Messungen innerhalb der Kernanlagen und in deren Umgebung durchführt.

Vorwort der Leitung der Sektion Strahlenmessung

Die Gewährleistung eines umfassenden Strahlenschutzes erfordert den Einsatz von modernen Technologien und Fachkompetenz. Die Sektion Strahlenmessung trägt seit vielen Jahren massgeblich zu dieser Aufgabe bei, indem sie ein breites Tätigkeitsfeld im Bereich der Strahlenmessung abdeckt. Im vorliegenden Bericht für das Jahr 2024 werden Einblicke in die Arbeit der Sektion gegeben. Zudem werden der Einsatz und die Weiterentwicklungen der verwendeten Methoden und Systeme vorgestellt.

Ein wesentlicher Bestandteil der Tätigkeit der Sektion ist der Betrieb eines akkreditierten Messlabors, das die höchsten Qualitätsstandards erfüllt. Dieses Labor bildet die Grundlage für zuverlässige und präzise Messungen in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen, darunter auch In-situ-Gammaspektrometrie. Diese Methode erlaubt, radiologische Kontaminationen direkt vor Ort zu analysieren und so zeitnah fundierte Entscheidungen, zum Beispiel im Rahmen einer Inspektion, zu treffen. Im Spätsommer hat eine Messequipe des ENSI an einer Vergleichsmessung im Tessin teilgenommen, um ^{137}Cs in der Umwelt zu messen. Solche Vergleichsmessungen sind relevant, um die eigenen Messverfahren und -techniken zu überprüfen und damit den Qualitätsstandard hochzuhalten.

Aufgrund des Rückbaus des Kernkraftwerks Mühleberg (KKM) und der Rückbauprojekte des Paul Scherrer Instituts (PSI) haben die Meldungen zur Befreiung von Material deutlich zugenommen. Entsprechend haben Materialfreimessungen, beziehungsweise deren Beurteilung, einen festen Platz im Tätigkeitsfeld der Sektion. Freimessungen stellen sicher, dass Materialien aus Kernanlagen nach einer potenziellen Exposition gegenüber radioaktiven Stoffen aus der Aufsicht des ENSI befreit werden können.

Kernanlagen benutzen zum Freimessen von Kleinmaterial für das Verlassen der kontrollierten Zone Freimessschränke mit speziell darauf abgestimmten Freimessverfahren. Die Sektion Strahlenmessung untersuchte im Berichtsjahr den Einsatz dieser Geräte, indem alle Kernanlagen, die solche Freimessanlagen einsetzen, inspiziert wurden. Im Rahmen dieser Inspektionskampagne konnte das ENSI grundsätzlich eine ausgeprägte Kompetenz für den Betrieb und die Handhabung solcher Geräte feststellen.

Die Kernkraftwerke und das PSI betreiben eigene Personendosimetriestellen. Die Anerkennung dieser Dosimetriestellen muss alle fünf Jahre erneuert werden. 2024 wurden die Anerkennungsverfügungen von drei Kernanlagen zum Betreiben ihrer Dosimetriestellen um weitere fünf Jahre verlängert. Dies geschah mittels Prüfung der Antragsdokumente und einer darauffolgenden Inspektion.

Die kontinuierliche Überwachung der Umgebung spielt eine entscheidende Rolle bei der Arbeit der Sektion. Hierbei kommt eine Vielzahl moderner Technologien und Methoden zum Einsatz, die helfen, mögliche radiologische Gefahren frühzeitig zu erkennen und entsprechende Massnahmen einzuleiten. Nebst dem Einsatz des Messnetztes MADUK und der Immissionsüberwachung mit stationären Thermolumineszenzdosimetern (TLD) wurden auch insgesamt 57 Inspektionen zur Thematik der Umgebungsüberwachung in der Nähe der Kernanlagen durchgeführt.

Mit diesem Bericht möchten wir unsere Tätigkeiten transparent und nachvollziehbar darstellen und zugleich aufzeigen, wie wir den Herausforderungen des Strahlenschutzes mit wissenschaftlicher Expertise und technologischer Innovation begegnen.



David Wittwer



Bild 23: Immissionsmessung des ENSI.

4. Grundlagen Emissions- und Immissions-überwachung

Radioaktive Stoffe geringer Aktivität dürfen gemäss Art. 112 der Strahlenschutzverordnung (StSV) über die Fortluft 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 regelt die Aufsichtsbehörde in sogenannten anlagenspezifischen Abgabereglementen die Kontrollmassnahmen zur Überwachung der Emissionen und der Immissionen (Umgebungsüberwachungsprogramm). In der Schweiz liegt die Kontrolle der Abgaben in der Verantwortung der Betreiber von Kernanlagen. Sie hat im Einvernehmen mit der Aufsichtsbehörde zu erfolgen. Das ENSI hat wiederum die Aufgabe, sich davon zu überzeugen, dass die Kontrolle der Abgaben durch den Betreiber einwandfrei geschieht und die Abgabevorschriften eingehalten werden. Es 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. Die für die Bilanzierung herangezogenen Messungen der Betreiber werden durch das ENSI mittels Vergleichsmessungen von Proben aus dem Abwasser- und Fortluftsystem überprüft. Das ENSI kontrolliert zudem die Berichterstattung und Buchführung der radioaktiven Abgaben mit jährlichen Bilanzierungsinspektionen. Dieses Zusammenspiel von eigenen Messungen, den beschriebenen Inspektionen und den Beurteilungen zu den freigabepflichtigen Arbeiten an den Messsystemen zur Überwachung von Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt, ermöglicht eine zuverlässige Kontrolle der Emissionsüberwachung des Betreibers.

Die Überwachung der Direktstrahlung und der Radioaktivität in der Umgebung der Kernanlagen ist nebst 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). Dieses Programm wird jährlich vom Bundesamt für Gesundheit BAG und vom ENSI überprüft. Im Umgebungsüberwachungsprogramm sind die zu überwachenden Umgebungsparameter, Probeentnahmeorte, Messhäufigkeiten, Verfahren zur Probenerhebung und Messungen sowie die zu erreichenden Messempfindlichkeiten festgelegt. Beteiligt sind, nebst den Kernanlagen selbst, das Bundesamt für Gesundheit (BAG), das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs (Eawag), das Institut de radiophysique (IRA) in Lausanne, die Universität Bern sowie kantonale Labore 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 im Jahr 2024 selbst durchführte oder beauftragte, sind in diesem Bericht dargestellt. Im Jahresbericht «Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz» veröffentlicht das BAG zudem sämtliche Ergebnisse der Umweltüberwachung sowohl für die Umgebung der Kernanlagen wie auch für die gesamte Schweiz.



5. Emissionen aus den Kernanlagen

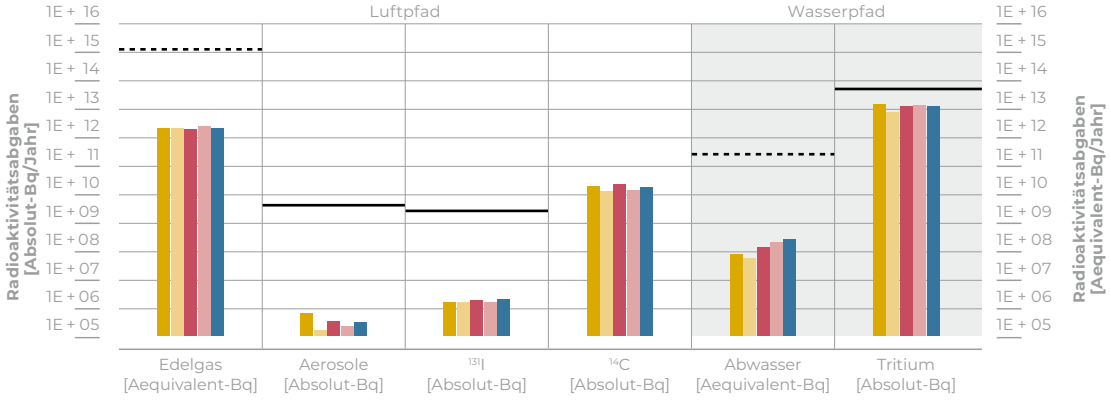
Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser und der Fortluft lagen im Jahr 2024 für die vier Schweizer Kernkraftwerke (KKW) Beznau (KKB), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) und Mühleberg sowie für das PSI und das am gleichen Standort gelegene Zentrale Zwischenlager Zwilag (ZZL) deutlich unterhalb der Jahres- und Kurzzeit-Abgabelimiten. Die errechnete Strahlenexposition aus den tatsächlichen Abgaben und der Direktstrahlung aus der jeweiligen Anlage liegt selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren für Erwachsene, zehnjährige Kinder und Kleinkinder weit unterhalb des für Standorte von Kernanlagen festgelegten quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr.

Die Abgaben von radioaktiven Stoffen mit der Fortluft und dem Abwasser der schweizerischen KKW sind in der Darstellung 33 und A1 im Anhang für die letzten fünf Jahre zusammen mit den entsprechenden Jahreslimiten dargestellt. Eine Aufschlüsselung der Abgaben der KKW nach Monat für die limitierten radioaktiven Abgaben ist in den Darstellungen A2 und A3 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 von Kernanlagen infolge emittierter radioaktiver Stoffe und Direktstrahlung» errechneten Personendosen für Erwachsene, zehnjährige Kinder und Kleinkinder in der Umgebung der betreffenden Anlage im Jahr 2024. Die Abgaben des PSI und die daraus in gleicher Weise berechneten Dosiswerte sind in Tabelle A5 zusammengestellt. Eine nuklidspezifische Aufschlüsselung der Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser ist in Tabelle A6, mit der Fortluft in den Tabellen A7 und A8 gegeben (alle Tabellen in Anhang). Darstellung 34 zeigt für die vier schweizerischen KKW den Verlauf der in der Umgebung berechneten Dosen für die meistbetroffenen Personen (nur Erwachsene) über die letzten 28 Jahre.

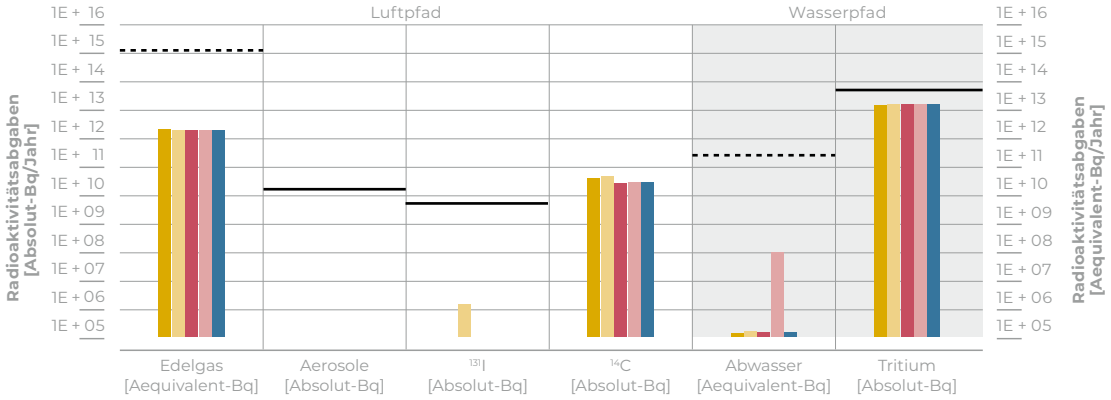
Zur Überprüfung der Messverfahren der Kernanlagen hat das ENSI an 161 Proben eigene gammaspektrometrische Messungen durchgeführt. Dabei wurden Aerosol- und Iodfilter sowie Abwasserproben aus den Anlagen stichprobenweise analysiert. Die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen den Messwerten des ENSI und jenen der Beaufsichtigten. Bei der monatlichen Aufschlüsselung der radioaktiven Abgaben aus den KKW (vgl. Darstellung A2 im Anhang) ist bei den flüssigen Abgaben beim KKG die jährlich jeweils vor dem Revisionsstillstand durchgeführte Verwerfungsaktion für tritiumhaltiges Wasser erkennbar. Solche Abgaben sind bei den Druckwasserreaktoren systembedingt erforderlich, um den operationellen Strahlenschutz während der Revision zu optimieren. Im Gegensatz zum KKG erfolgen die Tritiumabgaben im KKB über das ganze Jahr verteilt.

Alle Schweizer KKW haben auch 2024 die ^{14}C-Aktivität in der Fortluft gemessen. Der Dosisbeitrag von ^{14}C wurde aus den Messwerten ermittelt. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die ^{14}C-Abgaben aus den nicht-stillgelegten schweizerischen KKW während deren Normalbetrieb über die Ingestion von Nahrungsmitteln den grössten Beitrag zur Dosis in der Umgebung der Anlagen liefern. Dieser Beitrag liegt aber bei wenigen Prozenten des quellenbezogenen Dosisrichtwertes und ist somit radiologisch nicht relevant. Die aus den Emissionen der KKW errechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren in unmittelbarer Nähe des KKG weniger als 0,001 mSv, beim KKB weniger als 0,0015 mSv sowie in unmittelbarer Nähe des KKM etwa 0,002 mSv und des KKL etwa 0,004 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung betrugen somit im Jahr 2024 nur einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwerts. Das PSI ist aufgrund der Bewilligung für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung

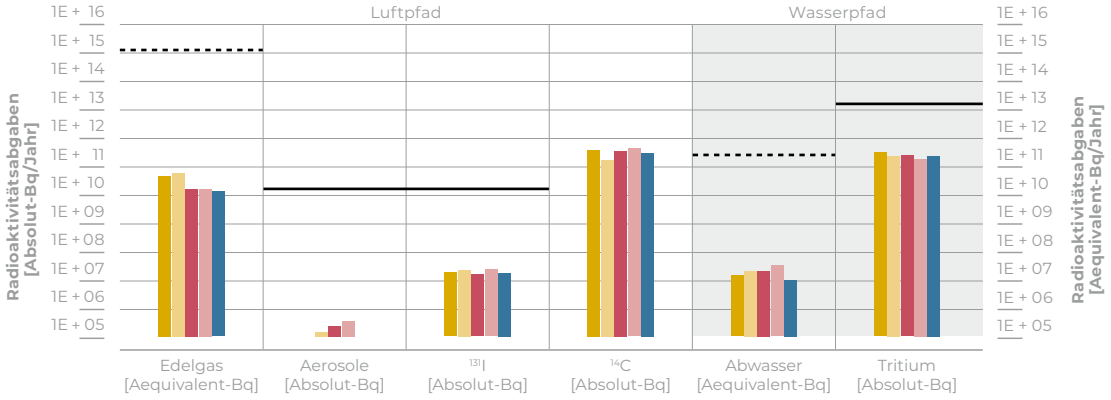
KKB



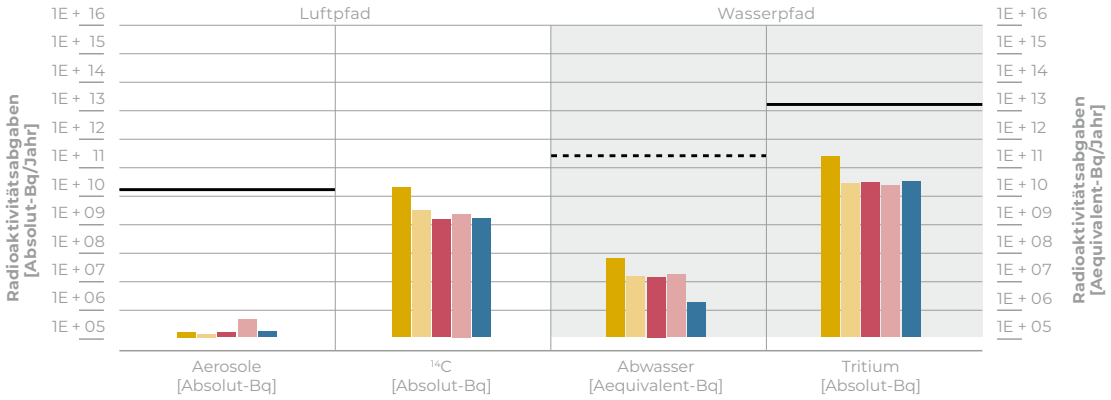
KKG



KKL

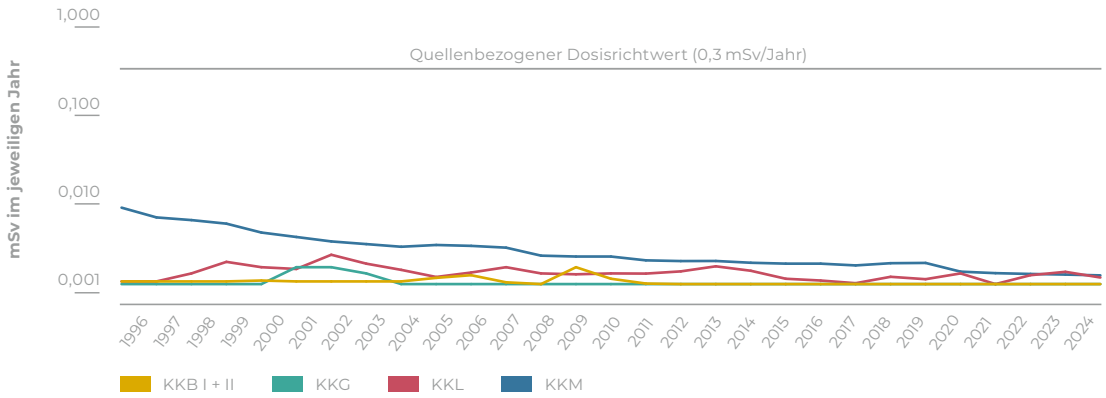


KKM



Darstellung 33: Abgaben der schweizerischen KKW an die Atmosphäre und über das Abwasser in den letzten fünf Jahren im Vergleich mit den Jahresabgabelimiten.

Berechnete Jahresdosen aus den erfolgten Emissionen



Darstellung 34: Berechnete Dosen für die meistbetroffenen Personen[1] in der Umgebung der schweizerischen KKW.

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

verpflichtet, sowohl für die einzelnen Anlagen als auch für die Gesamtanlage des PSI die aus den Abgaben resultierende Dosis in der Umgebung zu berechnen. Das ENSI errechnete beim PSI eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von etwa 0,004 mSv. Beinahe die gesamte Dosis ergibt sich durch die Abgabe von kurzlebigen radioaktiven Gasen aus den Teilchenbeschleunigern im West-Areal des Institutes. Die vom PSI und vom ENSI unabhängig voneinander durchgeführten Berechnungen zeigten, dass unter ungünstigen Annahmen die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung im Berichtsjahr deutlich unterhalb des für das PSI bewilligten Anteils von 0,15 mSv pro Jahr am quellenbezogenen Dosisrichtwert für den gemeinsamen Standort des PSI und des ZZL lag. Für das ZZL beträgt der bewilligte Anteil 0,05 mSv pro Jahr.

Die für das Jahr 2024 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).

Nach dem Übergang zur Stilllegungsphase 1 hat das KKM, im Einverständnis mit dem ENSI, die Iodabgabemessung eingestellt. Aufgrund des Zeitpunkts, zu dem der Leistungsbetrieb eingestellt wurde und der Halbwertszeiten der Iodnuklide war das übriggebliebene Iod bereits grösstenteils zerfallen. Seit September 2023 werden vom KKM auch keine Edelgasabgaben mehr gemessen, weil die Anlage seit diesem Zeitpunkt keinen Brennstoff mehr vor Ort hat und somit die Quelle für diese Nuklidgruppe wegfällt.

Die komplette Datensammlung und deren grafische Auswertung sind in Anhang 2 abgebildet.

Für radioaktive Edelgase und Abwasser aus den KKW sind die Emissionen bezogen auf sogenannte Äquivalentabgaben begrenzt. Dies bedeutet, dass neben der eigentlichen Abgabemenge aus dem Werk auch die radiologische Gefährlichkeit, das heisst die Radiotoxizität der abgegebenen Stoffe, berücksichtigt wird. Diese Normierung der Abgaben auf die Gefährlichkeit führt dazu, dass von einem Stoff, welcher zehnmal radiotoxischer ist als ein anderer, auch zehnmal weniger an die Umgebung abgegeben werden darf.

6 8

29 30 31

12 11

15 14

46

45

58 59

6. Immissionen in der Umgebung der Kernanlagen

6.1 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen

Das ENSI überwacht die Ortsdosis, respektive die Ortsdosisleistung durch externe Strahlung, bei den Kernkraftwerken und beim PSI mit dem MADUK-Messnetz (siehe Kapitel 6.2) und mit passiven Dosimetern (Thermolumineszenz-Dosimeter, TLD und Environmental Direct Ion Storage-Dosimeter – EDIS) in der Umgebung sowie am Arealzaun. Zusätzlich dazu führt das ENSI vierteljährlich Dosisleistungsmessungen am Arealzaun sowie bei Bedarf spezielle Messkampagnen zur Bestimmung der Ortsdosisleistung durch. Die Messungen aller Betreiber und des ENSI gaben 2024 keinen Hinweis auf eine Verletzung der nach Art. 79 Absatz 2 StSV anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Betriebsareals von 0,02 mSv pro Woche für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 0,1 mSv pro Woche für andere Bereiche.

Die Ortsdosisleistung ist im Nahbereich (beispielsweise am Arealzaun) des Siedewasserreaktors im KKL durch Direkt- und Streustrahlung aus dem Maschinenhaus erhöht. Diese Strahlung resultiert aus dem radioaktiven Zerfall des kurzlebigen Stickstoffnuklids ^{16}N, welches im Reaktor produziert und bei Siedewasserreaktoren mit dem Dampf in die Turbine im Maschinenhaus getragen wird. Weiter können Abfalllager zu einer erhöhten Ortsdosis am Zaun beitragen. Rückbauarbeiten, wie sie im KKM stattfinden, können zu temporären Erhöhungen der Ortsdosis am Zaun führen.

Beim KKB und KKG wurde am Zaun weder mittels TLD respektive EDIS noch bei den vierteljährlichen Messungen des ENSI eine signifikante Erhöhung der Ortsdosis über dem natürlichen Untergrund festgestellt. Am Zaun des KKL ermittelte das ENSI bei seinen vierteljährlichen Messungen während des Leistungsbetriebes Ortsdosisleistungen zwischen 0,06 Mikrosievert pro Stunde (µSv/h) (natürlicher Untergrund) und 0,155 µSv/h. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes am meistexponierten Ort einer Erhöhung der Ortsdosis von etwa 0,016 mSv pro Woche. Die vom KKL quartalsweise ausgewerteten EDIS am Zaun ergeben nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes eine maximale, auf eine Woche gemittelte Erhöhung der Ortsdosis von etwa 0,017 mSv. Am Zaun des KKM ermittelte das ENSI bei seinen vierteljährlichen Messungen Dosisleistungen zwischen 0,08 µSv/h (natürlicher Untergrund) und 0,11 µSv/h. Auf eine Woche hochgerechnet würde, basierend auf dem maximalen Momentanwert am meistexponierten Ort, eine Erhöhung der Ortsdosis von etwa 0,005 mSv resultieren. Die vom KKM quartalsweise ausgewerteten TLD am Zaun ergeben nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes eine maximale, auf eine Woche gemittelte Erhöhung der Ortsdosis von etwa 0,008 mSv. Am Zaun des PSI ermittelte das ENSI bei seinen vierteljährlichen Messungen Ortsdosisleistungen zwischen 0,06 µSv/h (natürlicher Untergrund) und 0,09 µSv/h. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes am meistexponierten Ort einer Erhöhung der Ortsdosis 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 Erhöhung der Ortsdosis 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 Ortsdosis festgestellt werden. Die Messungen aller

Betreiber und des ENSI gaben keinen Hinweis auf eine Verletzung der nach Art. 79 Absatz 2 der StSV anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerksareals von 0,02 mSv pro Woche für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 0,1 mSv pro Woche für andere Bereiche.

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

6.2.1 Übersicht

Das MADUK-System inklusive der Einrichtungen zur Übernahme von Anlageparametern (ANPA) und Kaminemissionswerten (EMI) aus den KKW wurde im Laufe des Jahres 1993 aufgebaut und ab Frühling 1994 in den operationellen Betrieb überführt. Das System, das die Dosisleistung in der Umgebung der KKW ganzjährig rund um die Uhr misst und überwacht, dient der Beweissicherung für die Behörden und gegenüber der Öffentlichkeit. Zudem ermöglicht es das Erkennen von Betriebsstörungen und Unfällen, da Erhöhungen über den natürlichen Dosiswerten ab einem vordefinierten Schwellenwert dem ENSI automatisch gemeldet werden. Bei einem Störfall unterstützt MADUK die Notfallorganisation bei der Bestimmung des betroffenen Gebietes und bei der Einschätzung für mögliche Massnahmen. Zudem trägt MADUK mit einem schnellen Datenaustausch zur erfolgreichen Zusammenarbeit mit den involvierten Behörden bei.

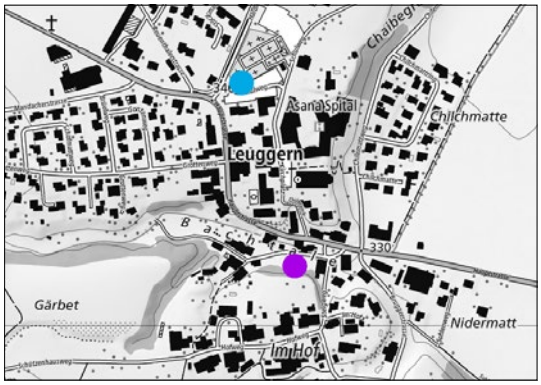
Das MADUK-Netz zur Messung der Dosisleistungen besteht aus insgesamt 57 Immissionsmessstationen in der Umgebung der vier KKW. Die Messsonden des MADUK-Systems komplettieren und ergänzen das gesamtschweizerische Messnetz zur Radioaktivitätsüberwachung, das mit dem NADAM-Netz auf weitere 76, über die ganze Schweiz verteilte, 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 der NAZ und der Kernreaktorfernüberwachung Baden-Württemberg. Die Darstellung 36 zeigt die Standorte der Messsonden in der Umgebung der KKW.

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

6.2.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung

Im Mai 2024 wurde die Station L-07 (Leuggern) in Zusammenarbeit mit der Gemeinde an einen neuen Standort beim Friedhof Leuggern verschoben. Der Wechsel wurde aufgrund eines Umbaus des Gebäudes nötig, auf dessen Dach sich bisher die Sonde befand.

Im 3. Quartal wurden die Rechner der MADUK-Zentrale auf die Virtualisierungsumgebung der Notfallorganisation migriert, die im Rahmen des Projektes «Digitalisierung der Arbeitsweise in der Notfallorganisation (DANFO)» aufgebaut worden ist. Die Migration konnte aufgrund der vorhandenen Redundanzen ohne Unterbruch des Betriebs von MADUK durchgeführt werden.

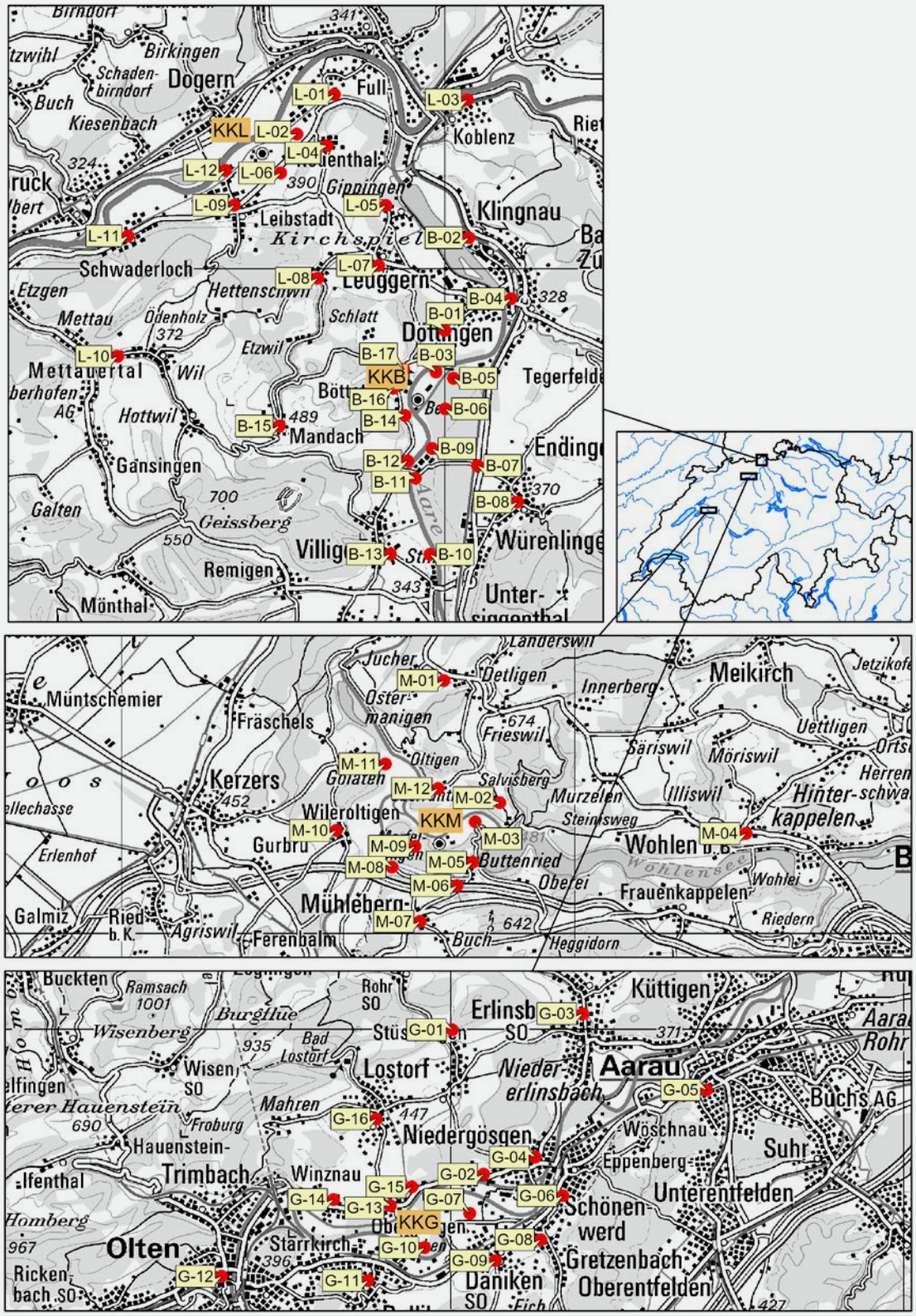


Darstellung 35: Alter (lila) und neuer (blau) Standort der Station L-07 in Leuggern.

6.2.3 Systemverfügbarkeit und Störungen

Die System- und Datenverfügbarkeit ist bei MADUK von besonderer Bedeutung, da das System eine kontinuierliche Überwachung ge-

MADUK Sondenstandorte



Darstellung 36: Die vier Messringe des MADUK-Netzes. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.

währleisten muss, die auch von der Öffentlichkeit wahrgenommen wird. Die entsprechenden Kenngrössen wurden auf den 1. Januar 2024 neu definiert. Mit der Kenngrösse «Systemverfügbarkeit» (Zielwert 100 %) wird die Verfügbarkeit der MADUK-Zentrale beurteilt, mit der Kenngrösse «Datenverfügbarkeit» (Zielwert 99 %) die Verfügbarkeit der verschiedenen, in MADUK erfassten Daten. Im Jahr 2024 lag die Kenngrösse «Systemverfügbarkeit» bei 100 %, die Kenngrösse «Datenverfügbarkeit» bei 98,9 %. Die Resultate sind auf folgende Ereignisse zurückzuführen:

Am Wochenende vom 12. Mai führte ein Dateiüberlauf (> 65 536 Dateien) in einem Rechnerverzeichnis zu einem Ausfall der Meteodaten und der ANPA-/EMI-Daten während rund 24 Stunden. Die Daten der MADUK-Stationen waren von dieser Störung nicht betroffen.

Ein Kabelschaden ausserhalb des Werkareals führte im Juni zu einem Ausfall der Datenübertragung aus dem KKB während insgesamt 51,4 Stunden. Zudem war ein weiterer Unterbruch von 1,0 Stunden zu verzeichnen. Beim KKG führten angekündigte Wartungsarbeiten zu vier weiteren Unterbrüchen mit einer Gesamtdauer von 8,1 Stunden. Die Übertragung der Anlageparameter des KKL liefen ohne nennenswerte (> 1 Stunde) Unterbrüche. Insgesamt erreichte die Übertragung der Anlageparameter aus den KKW wiederum eine sehr hohe Verfügbarkeit.

Die Immissionsmessungen des MADUK-Netzes liefen im Jahr 2024 störungsfrei. Lediglich die Standortverschiebung der Station L-07 führte zu einem permanenten Datenverlust von 96 Stunden. Die Verfügbarkeit der Dosisleistungsdaten aller MADUK-Stationen im Archiv betrug 99,97 %.

6.2.4 Qualitätssicherung

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

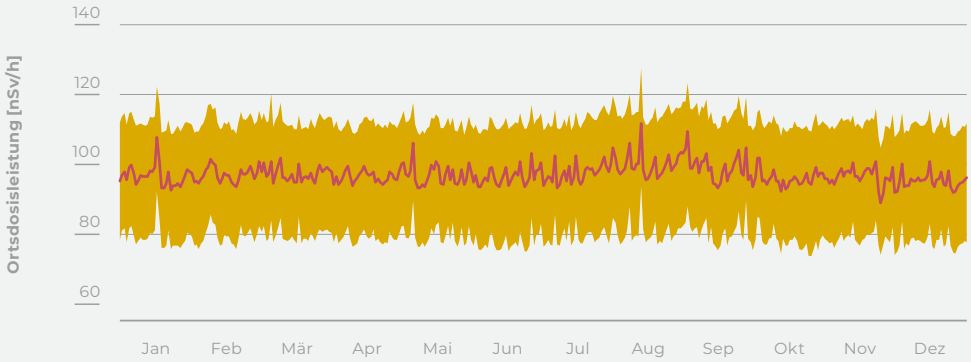
Im dritten Quartal 2024 erfolgte, wie üblich, eine jährliche Funktionsprüfung der Messsonden mit Hilfe einer radioaktiven Quelle. Alle Messsonden erfüllten die Prüfkriterien.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme führt das ENSI üblicherweise Messungen mittels In-situ-Gammaspektrometrie bei den Messstationen durch. Im Jahr 2024 erfolgten die Messungen an den MADUK-Standorten der Messringe des KKG und des KKL. Bei allen Messungen konnten keine Immissionen der Kernanlagen nachgewiesen werden.

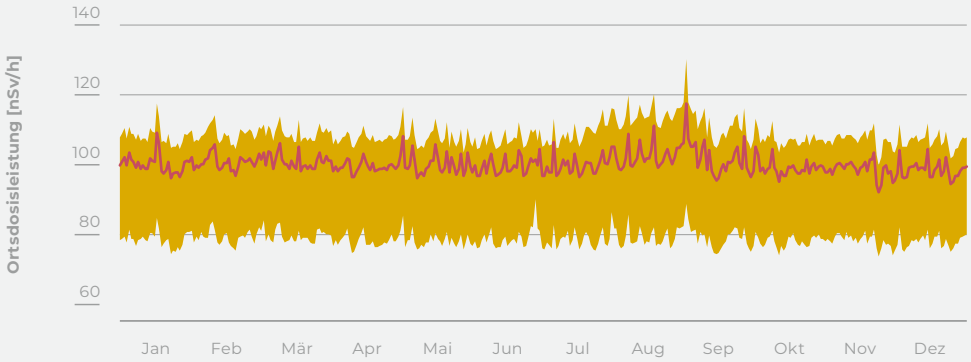
Datum	Station	Dauer [h]	Max. NDL [nSv/h]	Max. ODL [nSv/h]
17.02.2024 10.20	L-12	0,2	60	179
12.08.2024 22.10	L-02	0,3	54	206
12.08.2024 21.50	L-05	0,5	53	206
12.08.2024 22.00	L-06	1,0	68	243
12.08.2024 21.40	L-07	0,7	66	209
12.08.2024 21.30	L-08	1,5	107	263
01.09.2024 21.30	B-08	0,8	81	240
01.09.2024 22.00	B-10	0,3	57	214
01.09.2024 21.20	G-11	0,8	75	246
01.09.2024 21.20	G-14	0,8	77	252
01.09.2024 22.10	L-09	0,3	56	187
01.09.2024 22.00	L-10	0,8	79	217
01.09.2024 21.40	L-11	0,8	83	212
01.09.2024 22.00	L-12	0,3	57	177
08.09.2024 16.30	G-08	0,5	57	183

Tabelle 1: Auflistung der Schwellenwertüberschreitungen durch die Nettodosisleistung im Jahr 2024.

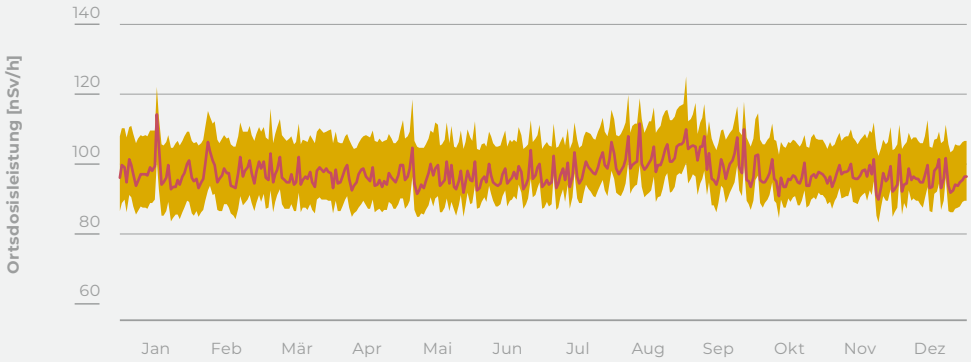
Maxima, Minima und Medianwerte des MADUK-Messrings des KKB für das Jahr 2024



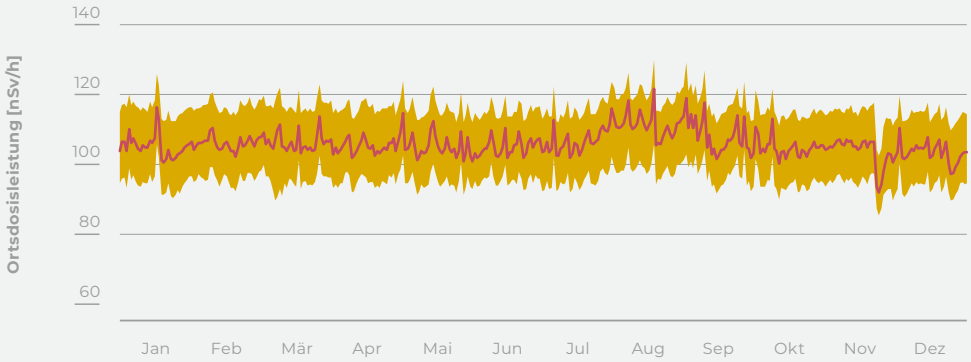
Maxima, Minima und Medianwerte des MADUK-Messrings des KKG für das Jahr 2024



Maxima, Minima und Medianwerte des MADUK-Messrings des KKL für das Jahr 2024



Maxima, Minima und Medianwerte des MADUK-Messrings des KKM für das Jahr 2024



Darstellung 37: Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe des KKB, KKG, KKL und KKM im Jahr 2024.

6.2.5 Messergebnisse

Im Jahr 2024 verzeichneten die Messstationen insgesamt fünfzehn Verletzungen des Nettodosisleistungsschwellenwertes von 50 nSv/h (Tabelle 1). Alle Erhöhungen waren auf Washout von natürlichen Radionukliden zurückzuführen.

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

Die Darstellung 37 zeigt die Maxima, die Minima und die Medianwerte der Tagesmittelwerte der jeweiligen Messringe im Berichtsjahr in den Umgebungen der KKW.

6.3 Immissionsmessungen im Wasserpfad

Die Eawag führt im Auftrag des ENSI Immissionsmessungen im Wasserpfad stromabwärts der Kernanlagen durch. Gemessen werden Wasser-, Grundwasser-, Sediment-, Wasserpflanzen- und Fischproben gemäss den Abgabereglementen.
In den Wasserproben aus Aare und Rhein konnten keine Radionuklide aus dem Betrieb der Kernanlagen nachgewiesen werden. Entsprechend wurden die Immissionsgrenzwerte und die Untersuchungsschwelle gemäss Strahlenschutzverordnung eingehalten. In den Monaten Januar bis Juni konnten bei der Probenahme-Station Pratteln (Rhein) aufgrund des Umbaus der Pumpen keine Proben erhoben werden. In den Grundwasserproben von Aarberg, Schönenwerd, Böttstein und Pratteln wurden keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen.

In diversen Sedimentproben bei Hagneck, Klingnau und Pratteln wurden Spuren von ^{54}Mn detektiert. In einer Sedimentprobe bei Klingnau wurde auch ^{131}I mit einem Wert von 5,1 Bq/kg (Befreiungsgrenze LL = 10'000 Bq/kg) nachgewiesen. Der maximale Wert für ^{54}Mn lag bei Hagneck bei 0,4 Bq/kg (Befreiungsgrenze LL = 100 Bq/kg). An der Messstelle Klingnau lagen die maximalen Werte für ^{54}Mn bei 0,8 Bq/kg und an der Messstelle Pratteln bei 0,2 Bq/kg. 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 4,4 Bq/kg (Befreiungsgrenze LL = 100 Bq/kg).

In den Proben von Wasserpflanzen konnte ^{137}Cs mit maximalen Aktivitäten von 6,2 Bq/kg (Möhlin) gemessen werden (Befreiungsgrenze LL = 100 Bq/kg). In den Wasserpflanzenproben von Hagneck und Böttstein wurden ^{137}Cs-Aktivitäten von 2,8 bzw. 1,8 Bq/kg registriert. In der Fischprobe von Kaiseraugst wurden ^{137}Cs-Aktivitäten von 5,7 Bq/kg festgestellt (Höchstgehalt 1250 Bq/kg gemäss Kontaminantenverordnung SR 817.022.15, Anhang 10). In den anderen Fischproben von Aarberg, Lüscherz, Wöschnau und Beznau wurden keine Aktivitäten von künstlichen Radionukliden über der Nachweisgrenze festgestellt.

Detaillierte Resultate zu allen Messungen des Probenahme- und Messprogramms können dem BAG-Jahresbericht 2024 über «Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz» entnommen werden.

6.4 Aeroradiometrische Messungen

6.4.1 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 wurde innerhalb dieses Projektes entwickelt. Seit 1989 wird die Umgebung 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.

Mit den Messflügen 2018 erfolgte die Ablösung der alten Messsysteme durch ein Messsystem der Firma Mirion. Dieses wurde durch die Rüstungsunternehmen-Aktiengesellschaft (RUAG) in den Super-Puma-Helikopter der Schweizer Luftwaffe integriert. 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 erfolgen durch die Lieferanten.

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

Im Rahmen einer 2024 abgeschlossenen Doktorarbeit wurden die Grundlagen für die rechnerische, Monte-Carlo-Kalibrierung der Aeroradiometriesysteme in der Schweiz geschaffen. Zudem wurde eine auf dieser Kalibrierung basierende Methodik für die Auswertung der gemessenen Spektren entwickelt. Damit sollen in Zukunft quantitative Aussagen zu allen möglichen Radionukliden und Quellgeometrien ermöglicht werden. Die entsprechenden Arbeiten werden im Rahmen einer Forschungsvereinbarung mit dem Paul Scherrer Institut weitergeführt.

6.4.2 Messungen und Messresultate

Während der Messübung unter der Leitung der NAZ im Zeitraum vom 29. Mai bis 7. Juni 2024 wurden turnusgemäss die Umgebung des KKB, des KKL, des ZZL und des PSI aeroradiometrisch gemessen. Die detaillierten Ergebnisse sämtlicher Messungen werden in einem PSI-Bericht im Verlauf des Jahres 2025 publiziert.

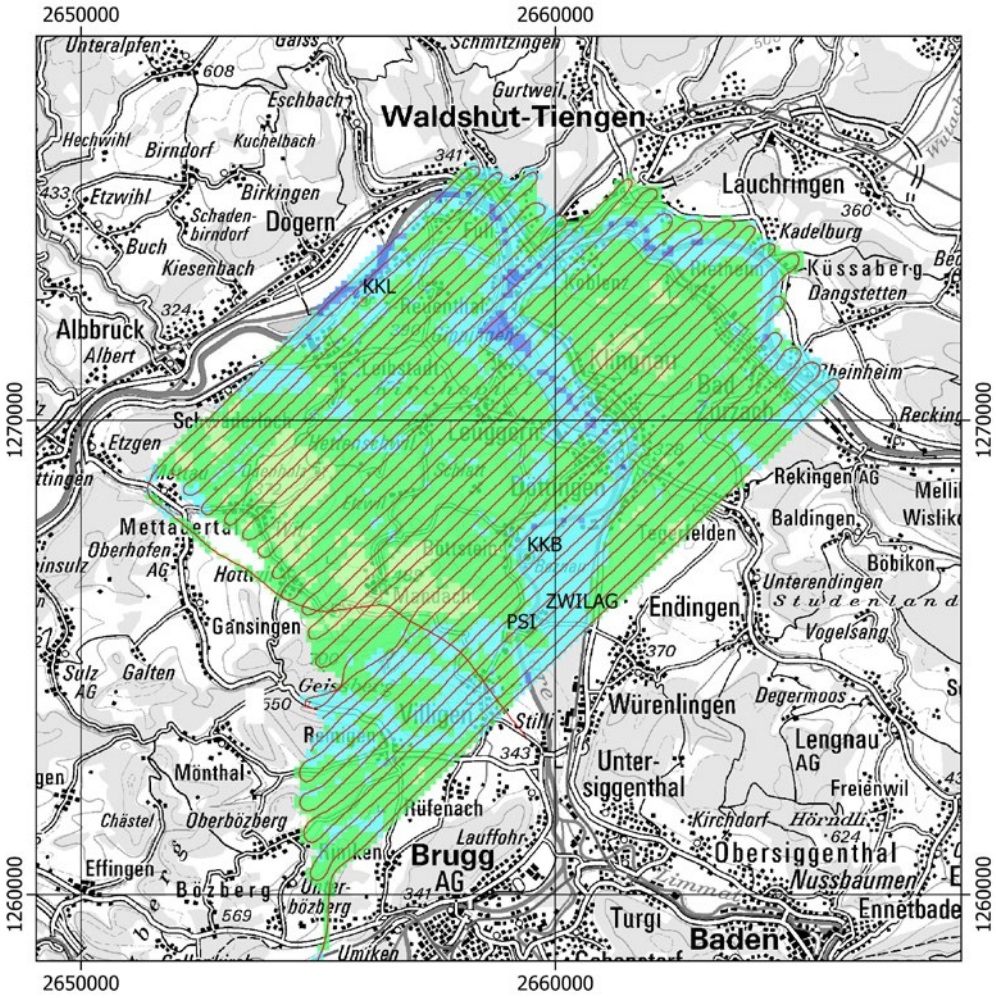
Die Messresultate im Messgebiet KKB, KKL, ZZL und PSI zeigten ein ähnliches Bild wie in den vorangegangenen Messkampagnen. Im Bereich des KKB sind keine besonderen Werte bei der Ortsdosisleistung (Darstellung 38) zu erkennen. Das KKB mit seinem Druckwasserreaktor konnte aeroradiometrisch weder aufgrund der Ortsdosisleistung (Darstellung 38) noch aufgrund des Man Made Gross Count (MMGC) Verhältnisses (Darstellung 39) erkannt werden. Das MMGC-Verhältnis steht für den Quotienten der Zählraten im Energiebereich von 400–1400 Kiloelektronenvolt [keV] und 1400–3000 keV. Da die meisten Spaltprodukte Gammalinien im Energiebereich unterhalb von 1400 keV aufweisen, stellt das MMGC-Verhältnis ein empfindliches Instrument zur Lokalisierung künstlicher Radionuklide dar. Im Bereich des KKL sind ebenfalls keine besonderen Werte bei der Ortsdosisleistung (Darstellung 38) wie auch beim MMGC-Verhältnis (Darstellung 39) festzustellen. Das KKL befand sich zum Zeitpunkt der Messungen im Stillstand (29. Mai) beziehungsweise beim Hochfahren (30. Mai), wobei die Reaktorleistung beim Zeitpunkt der Messungen am 30. Mai bei unter 10 % lag. Deshalb war bei den diesjährigen Messungen die ^{16}N-Strahlung aus dem Maschinenhaus des KKL nicht zu erkennen.

Das ZZL war weder bei der Ortsdosisleistung noch beim MMGC-Verhältnis zu erkennen. Hingegen wurde beim PSI-West im Bereich der Fortluftanlage im MMCG-Verhältnis ein deutliches Signal sichtbar. Dieses ist hauptsächlich auf Annihilationsstrahlung durch kurzlebige Positronenstrahler in der Fortluft zurückzuführen (Darstellung 40).

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

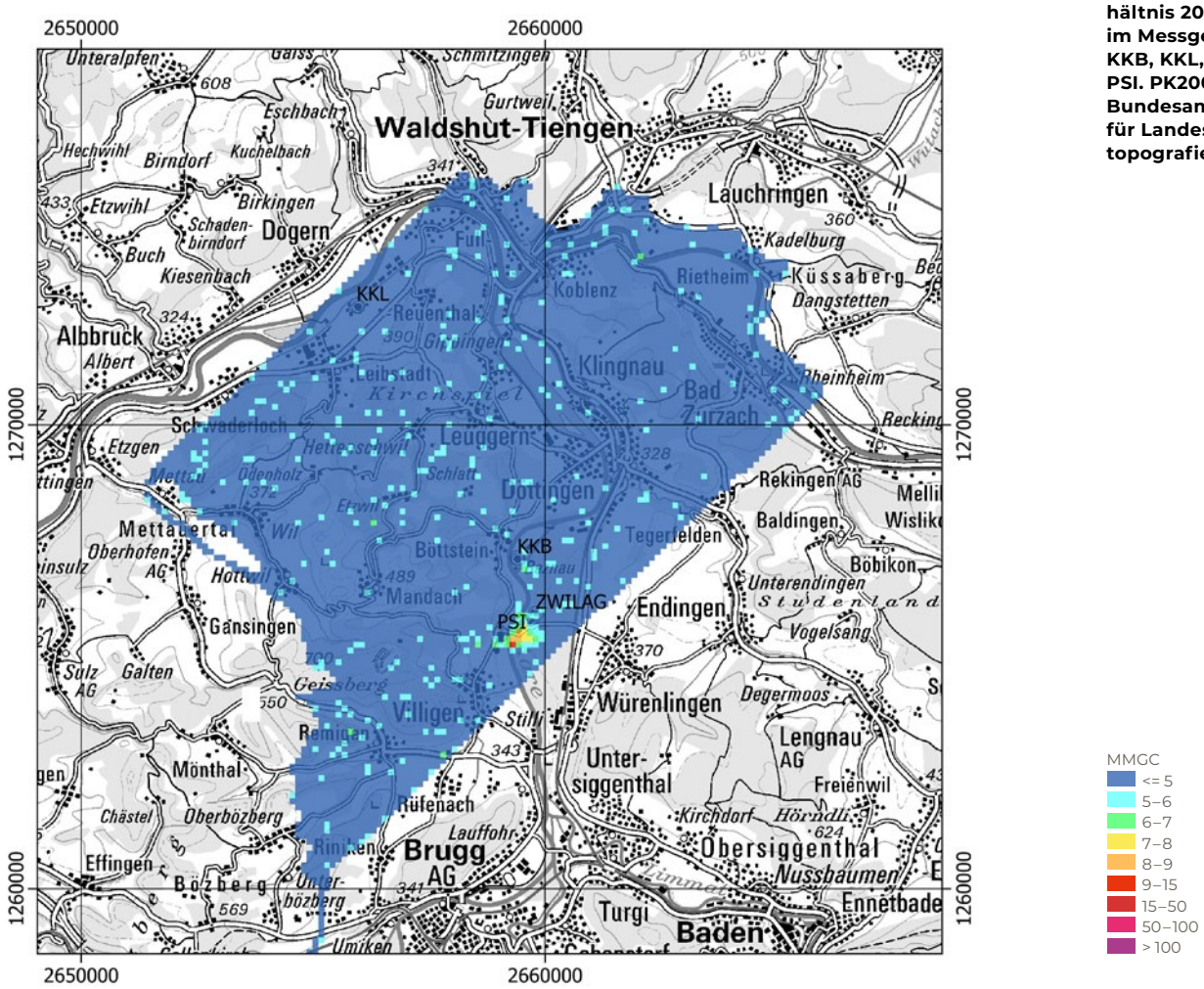
Immissionen in der Umgebung der Kernanlagen

Ortsdosisleistung im Messgebiet KKB, KKL, ZZL und PSI



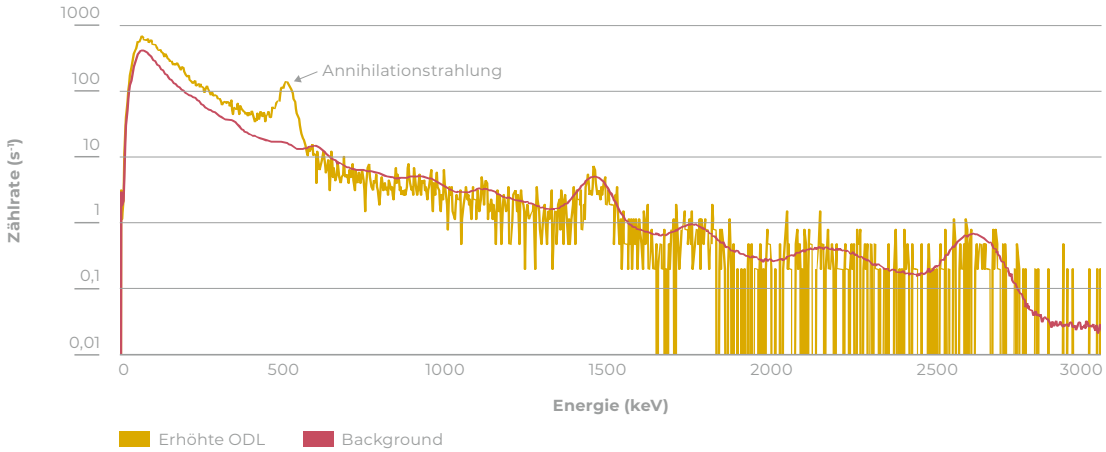
Darstellung 38: Ortsdosis-leistung 2024 im Messgebiet KKB, KKL, ZZL und PSI. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landes-topografie.

MMGC-Verhältnis im Messgebiet KKB, KKL, ZZL und PSI



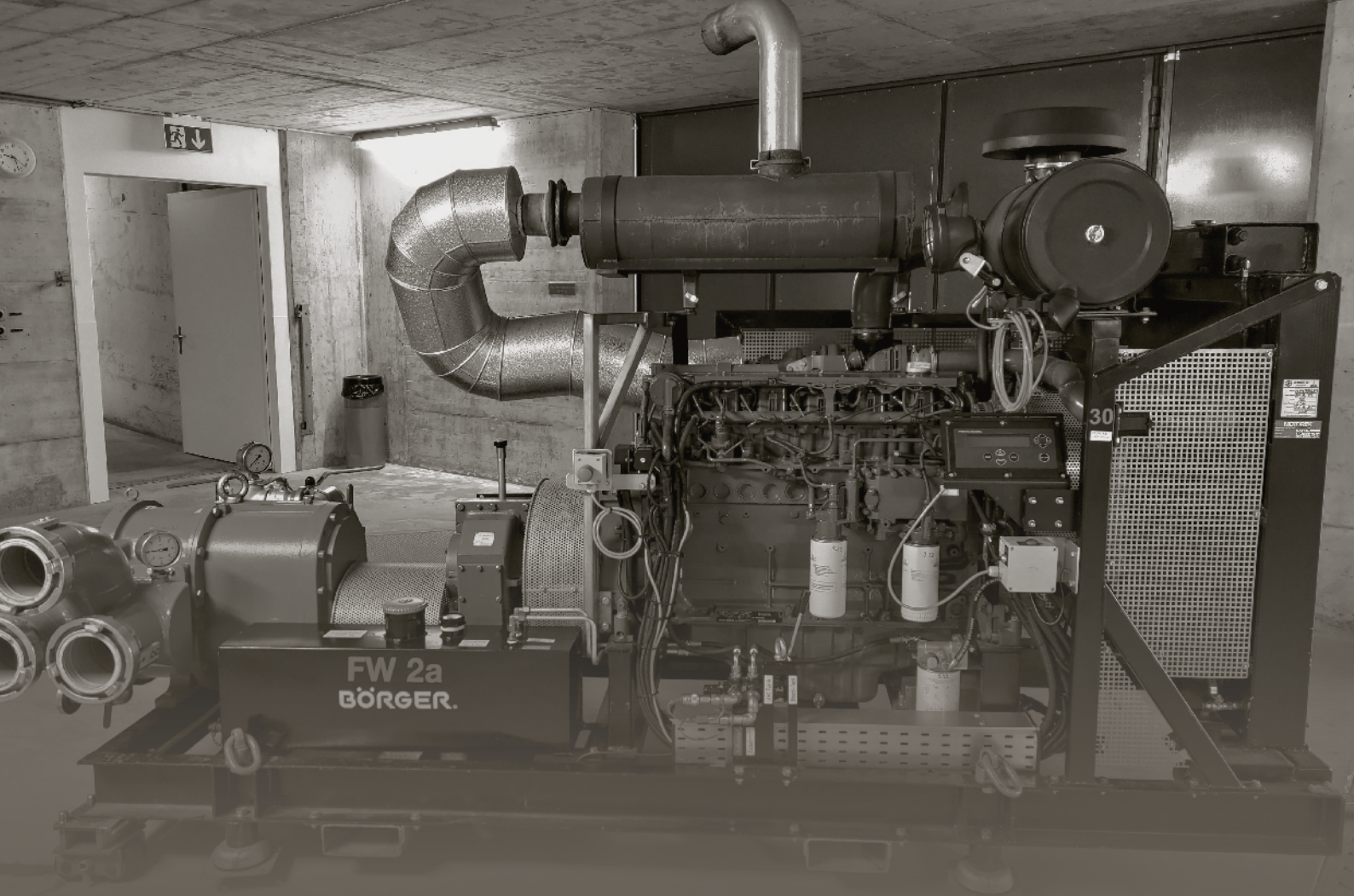
Darstellung 39: MMGC-Verhältnis 2024 im Messgebiet KKB, KKL, ZZL, PSI. PK200 © Bundesamt für Landestopografie.

Gemittelte Spektren über dem PSI-West



Darstellung 40: Gemittelte Spektren im Gebiet der erhöhten MMGC-Verhältnisse und über einem Gebiet ausserhalb der erhöhten Werte.


006
019
018
017
016
029
028
027
026
039
038
037
036
049
048
047
046
059
058
057
056
069
068
067
066
077
076



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). Zudem 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»



Ronald Rusch

Wie alle zwei Jahre war auch das Jahr 2024 geprägt von den Vorbereitungen zur anstehenden Gesamtnotfallübung, welche turnusgemäss mit dem Kernkraftwerk Gösgen durchgeführt wurde. Zahlreiche Organisationen aus dem In- und Ausland und insgesamt rund 800 Personen waren an der auf 3 Tage angelegten Übung beteiligt. Zur Sicherstellung, dass die festgelegten organisationsspezifischen Übungsziele auch erreicht werden können, fanden im Vorfeld der Übung zahlreiche Abstimmungsveranstaltungen mit den Partnern in der Übungsleitung statt. Gesamtnotfallübungen bilden für alle beteiligten Organisationen eine hervorragende Gelegenheit das erworbene Wissen und Fähigkeiten anzuwenden und Prozesse zu optimieren. So auch für die Notfallorganisation des ENSI: Im Vorfeld zur Gesamtnotfallübung wurden Abläufe, der Umgang mit den im Notfall verwendeten Werkzeugen wie JRODOS, MADUK, ADAM und der digitalen Arbeitsoberfläche im Rahmen von spezifischen Schulungen beübt. In diesem Zusammenhang war die erstmalige Verwendung der neuprogrammierten digitalen Arbeitsoberfläche durch die Notfallorganisation des ENSI anlässlich der Gesamtnotfallübung ein Highlight. Mit der aufwändigen internen Auswertung der Übung wurde wiederum Optimierungspotenzial ausgewiesen und ein Satz von Verbesserungsmassnahmen festgelegt. Die Planung und Umsetzung dieser Massnahmen, welche bis zur nächsten Gesamtnotfallübung in zwei Jahren umgesetzt werden sollen, hat bereits begonnen.

Wenngleich die Gesamtnotfallübung im Kernkraftwerk Gösgen einen gewichtigen Schwerpunkt für die Sektion bildete, wurden 2024 alle unter der Aufsicht des ENSI stehenden Kernanlagen hinsichtlich der Notfallvorsorge inspiziert: sowohl die Inspektion der nach ENSI-B11 von den Kernanlagenbetreibern durchzuführenden Notfallübungen wie auch die Inspektion der Notfallkommunikationsmittel gaben keinen Anlass zu Beanstandungen.

Darüber hinaus konnten letztes Jahr unsere Partner in den Kantonen Solothurn und Aargau wieder bei der Ausbildung ihres Personals unterstützt werden. Erfreulich in dieser Hinsicht ist auch das steigende Interesse von Kantonen in der Westschweiz an einer Unterstützung durch das ENSI bei ihren Ausbildungsveranstaltungen. International erfahren die modularen Kleinreaktoren (sog. Small Modular Reactors oder SMR) weiterhin grosse Aufmerksamkeit: Arbeitsgruppen greifen unter anderem Fragen des Strahlenschutzes und des Notfallschutzes auf, welche sich beim Bau und Betrieb von solchen Reaktoren ergeben würden. Auch bei der Aktualisierung des Regelwerks der IAEA werden bestehende Anforderungen hinsichtlich des Notfallschutzes auf ihre Anwendbarkeit auf die SMR-Technologie geprüft. Diese Entwicklungen werden von der Sektion aktiv mitverfolgt. Neben Klimawandel und künstlicher Intelligenz zählen leider auch kriegerische Auseinandersetzungen zu den Entwicklungen, mit denen sich die internationale Gemeinschaft bei der Auslegung und dem sicheren Betrieb von Kernanlagen auseinandersetzen muss. Die Situation in der Ukraine belegt, wie schnell Massnahmen zur Notfallvorsorge und zur Bewältigung von Unfällen in Kernanlagen ins Zentrum der Aufmerksamkeit rücken können.

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 Grundlagen des Notfallschutzes auf Stufe Verordnung des Bundes (insbesondere die Kernenergieverordnung, die Notfallschutzverordnung, die Verordnung über den Bundesstab Bevölkerungsschutz, die Bevölkerungsschutzverordnung, die Jodtablettenverordnung und die Strahlenschutzverordnung) wurden vom Bundesrat erlassen. Sie definieren die Aufgaben, Pflichten, Verantwortlichkeiten und die Zusammenarbeit mit den in einem Notfall involvierten Stellen. Im Dezember 2024 verabschiedete der Bundesrat zudem eine neue Verordnung über die Krisenorganisation der Bundesverwaltung (KOBV).

Darüber hinaus hat die Schweiz im Bereich des Notfallschutzes Abkommen und Vereinbarungen mit dem Ausland abgeschlossen. Dies sind 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 2) 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. Strahlenschutzbericht 2019) wurden für die Anordnung von Sofortmassnahmen zusätzliche Entscheidungskriterien in das Dosismassnahmenkonzept aufgenommen. Auf diese greifen die Notfallschutzpartner zurück, wenn die Informationslage nicht ausreichend ist und nicht erwartet werden darf, dass sich dies in nützlicher Frist ändert. Der internationale Konsens sieht vor, dass in diesem Fall von einer Fachbehörde (im Fall der Schweiz das ENSI) beurteilt werden soll, ob eine Kernschmelze vorliegt oder absehbar ist und ob Barrierefunktionen intakt sind oder nicht (Integrität des Sicherheitsgebäudes). Die Regelung ermöglicht es der Nationalen Alarmzentrale (NAZ) bei längerfristig unzureichender Informationslage und basierend auf der Einschätzung des ENSI Sofortmassnahmen anzuordnen, ohne dass zuvor durch Ausbreitungsrechnungen die Überschreitung von Dosisschwellen prognostiziert wurde.

Regelwerk

Als Aufsichtsbehörde und gestützt auf in Verordnungen formulierte Aufträge erlässt das ENSI Richtlinien. Sie 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 das Jahr 2025 geplant.

Stand von Wissenschaft und Technik

Als Basis für seine Ausbreitungs- und Dosisberechnungen (siehe Kapitel 8.2) nutzt das ENSI seit jeher Wettervorhersagen des Bundesamts für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz). Dabei kamen bislang typischerweise die dreistündlich aktualisierten 33-Stunden-Vorhersagen aus dem Wettervorhersagemodell COSMO-1E zum Einsatz, die hinsichtlich räumlicher und zeitlicher Auflösung im internationalen Vergleich ihresgleichen suchen: Beim Modell COSMO-1E beträgt die horizontale räumliche Auflösung ca. ein Kilometer und die zeitliche Auflösung zehn Minuten. Alternativ standen der ENSI-NFO 2024 auch Wettervorhersagen aus dem Modell COSMO-2E mit einer reduzierten räumlichen und zeitlichen Auflösung aber mit einem erweiterten Prognosehorizont von 5 Tagen zur Verfügung. Das im Prognosebetrieb eingesetzte Modell COSMO wurde im dritten Quartal des Berichtsjahres, durch das auf die Bedürfnisse der Schweiz angepasste Modell ICON ersetzt, nachdem ICON bereits 2023 im präoperationellen Betrieb genommen wurde. Das neue numerische Modell zur Beschreibung der Atmosphäre zeichnet sich im Gegensatz zum COSMO-Modell durch ein Dreiecksgitter aus, wodurch die Topografie der Schweiz besser beschrieben werden kann. Mit dem Ersatz von COSMO durch ICON wurde auch die dafür erforderliche Rechnerinfrastruktur am nationalen Hochleistungszentrum der ETH modernisiert. Wie schon mit COSMO stehen dem ENSI auch mit ICON Prognosen mit einem erweiterten Zeithorizont zur Verfügung.

7.1 Notfallschutz in der Schweiz

Der Notfallschutz in der Schweiz ist auf Stufe des Bundes organisiert. Die Ziele des Notfallschutzes gemäss Notfallschutzverordnung sind: Die betroffene Bevölkerung und ihre Lebensgrundlage zu schützen, die betroffene Bevölkerung zu betreuen und zu versorgen und generell die Auswirkungen eines Ereignisses zu begrenzen. Bei regional beschränkten Katastrophen und Notfällen bewältigen die Kantone die Krise nach Möglichkeit selbstständig. Der Notfallschutz orientiert sich an den regelmässig aktualisierten Berichten zur nationalen Risikoanalyse. Mögliche Krisen und Notlagen in der Schweiz werden darin einer Risikobewertung unterzogen und entsprechend 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, welche die Zusammenarbeit der involvierten Stellen und deren Aufgaben und Pflichten regeln bzw. beschreiben.

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

— die Betreiber von Kernanlagen,
— das ENSI,

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

Tabelle 2: Dosismassnahmenkonzept 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 Iod im Freien.

— weitere Bundesstellen (unter anderem Bundesstab Bevölkerungsschutz (BSTB), Bundesamt für Gesundheit (BAG), BABS, NAZ, MeteoSchweiz, Gruppe Verteidigung),
— die Kantone,
— die Regionen und Gemeinden.

Das BABS ist federführend in der Unterstützung und Koordination der Notfallschutzpartner bei der Planung und Vorbereitung, der Koordination von Notfallschutzmassnahmen (bis zur Evakuierung von Notfallschutzzonen beziehungsweise Sektoren von Notfallschutzzonen) und der Durchführung von Gesamtnotfallübungen (GNU), die alle zwei Jahre stattfinden.

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

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

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

Das ENSI unterstützt die Notfallschutzpartner dabei, die Notfallabläufe, insbesondere diejenigen der Kernanlagen und des ENSI, besser zu verstehen und Fachbegriffe so zu erklären, dass auch Notfallschutzpartner, deren Hauptaugenmerk nicht auf der Bewältigung eines Unfalls in einer Kernanlage liegt, Entscheidungsgrundlagen verstehen und nachvollziehen können. In diesem Zusammenhang bietet das ENSI den von einem Unfall potenziell betroffenen Kantonen an, deren Einsatzelemente zu schulen. Im Jahr 2024 nahm das ENSI an zwei Stabsarbeitstagen des Kantonalen Führungsstabes des Kantons Solothurn teil. Darüber hinaus referierte das ENSI im Rahmen eines KKW-Seminars für Mitglieder der Regionalen Führungsorganisation des Kantons Aargau über die grundlegenden Aspekte der Notfallvorsorge und der Notfallbekämpfung im Falle eines Kernkraftwerkunfalls in der Schweiz.

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. Sie hat zum Ziel, dass sich die Vertragsparteien regelmässig gegenseitig über grenznahe

kerntechnische Einrichtungen unterrichten. Im Jahr 2024 fand die DSK-Sitzung der Arbeitsgruppe Notfallschutz in Brugg statt. Die Hauptsitzung der DSK wurde Ende des Jahres in Locarno durchgeführt.

Commissione Italo-Svizzera

Im Rahmen der Commissione Italo-Svizzera (CIS) haben das Inspektorat für nukleare Sicherheit und Strahlenschutz (ISIN) und das ENSI im Jahr 2019 eine Vereinbarung zur Zusammenarbeit auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit erneuert. Im Jahr 2024 fand kein Treffen der CIS statt.

Commission Franco-Suisse

Die Commission Franco Suisse (CFS) beruht auf dem im Jahr 1989 abgeschlossenem Abkommen zwischen Frankreich und der Schweiz über den Informationsaustausch bei Zwischenfällen oder Unfällen, die radiologische Auswirkungen haben können. Im Jahr 2024 fand kein Treffen der Expertengruppe «crise nucléaire» der CFS statt. Die Hauptsitzung der CFS fand 2024 im Mont Terri statt.

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 erstellte beziehungsweise revidierte Safety Standards oder Safety Guides der IAEA die Bereiche Emergency Preparedness and Response bewerten und den Änderungen oder Revisionen zustimmen.

Die Versammlungen des EPReSC wurden 2024 in Wien durchgeführt. Für die Revision, beziehungsweise Neuerstellung von Dokumenten mit Hauptfokus auf Notfallvorsorge und Notfallbekämpfung ist das EPReSC federführend. Nachfolgende Dokumente befinden sich unter anderem aktuell in Revision:

- GS-G-2.1 – «Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency»
- GSG-2 – «Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency»

Der Stand der auf mehrere Jahre ausgerichteten Überarbeitung wurde dargelegt. Ebenfalls wurde über die Fortschritte bei der Ausarbeitung eines neuen Safety Guides zur Schutzstrategie bei einem radiologischen oder nuklearen Notfall berichtet («Safety Guide on Protection Strategy for a nuclear or radiological Emergency»). Ferner wurde unter anderem die Bildung einer Arbeitsgruppe zur Aufarbeitung der Ergebnisse aus der Überprüfung der General Safety Requirements (GSR) Part 7 «Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency» beschlossen. Hierbei geht es vornehmlich um den Umfang und die Struktur des Dokumentes, mit dessen Überarbeitung formal im Jahr 2025 begonnen werden soll. Die Schwerpunkte des EPReSC für die kommenden Jahre liegen auf der Aktualisierung der notfallbezogenen Safety Guides und der davon abgeleiteten Leitlinien und Zusatzdokumenten.

HERCA Working Group on Emergencies

International ergeben sich immer noch Unterschiede bei den Kriterien, bei deren Erreichen in einem nuklearen oder radiologischen Notfall Schutzmassnahmen anzuordnen sind. Die Dosisschwellen 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 einer leichteren Bauweise. Auch die in der Schweiz für alle Einwohner gesetzlich vorgesehen Schutzräume mit deutlich höherer Schutzwirkung sind nicht in allen Ländern vorgesehen. Gleichfalls können beispielsweise unterschiedliche Bevölkerungsdichten das Auslösen von Schutzmassnahmen beeinflussen.

Aus diesem Grund ist es vor allem für Länder mit grenznahen Kernanlagen wichtig, dass nicht nur die Schutzmassnahmen grenzübergreifend kompatibel sind, sondern auch die Auslösung und Anordnung derselben. In Europa verfolgt man deshalb den Ansatz der Heads of the European Radiological protection Competent Authorities (HERCA), der zusammen mit der Western European Nuclear Regulators Association (WENRA) entwickelt wurde. Die nationale Umsetzung des

HERCA-WENRA Ansatzes wurde durch die Working Group on Emergencies (WGE), einer Arbeitsgruppe der HERCA, begleitet. Im Jahr 2024 fanden zwei Sitzungen der Arbeitsgruppe WGE statt, eine davon virtuell. Die Sitzungen standen im Zeichen des 10-jährigen Jubiläums der Veröffentlichung des HERCA-WENRA-Ansatzes für eine grenzüberschreitende Koordination von Schutzmassnahmen bei einem nuklearen Unfall. Die Arbeitsgruppe eruiert den Stand der Integration des HERCA-WENRA-Ansatzes in den Partnerländern, unterstützt diese bei der Umsetzung und identifiziert weiteren Optimierungsbedarf aus fortwährendem Austausch mit den internationalen Partnern. Diese Themengebiete werden innerhalb der WGE in dafür etablierten Task-Groups verfolgt.

Darüber hinaus hat auch der bewaffnete Konflikt in der Ukraine die Arbeitsgruppe WGE weiter beschäftigt. Die eigens gegründete Ukraine Task Force verfolgt die Situation in den ukrainischen Kernanlagen, steht im Austausch mit dem staatlichen Nuklearaufsichtsinspektorat der Ukraine (SNRIU) und begleitet ein Forschungsprojekt zur Prognose von möglichen Unfallfolgen im Land.

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. Anfang 2024 fand die Übung INEX-6 statt. Sie war mit 26 teilnehmenden Ländern die grösste INEX-Übung seit über 20 Jahren. Die Übung fokussierte auf die langfristige Wiederaufbauphase nach einem nuklearen oder radiologischen Unfall. Die Federführung für die Durchführung der Übung in der Schweiz lag beim BAG. Das ENSI war ebenfalls vertreten.

Die jährliche Sitzung der WPNEM fand im Jahr 2024 beim britischen Ministerium für Energiesicherheit in London statt. Neben den obligatorischen Länderberichten, anhand derer die Mitgliedsländer zu ihren Tätigkeiten im Bereich des radiologischen Notfallschutzes berichten, wurden drei Schwerpunktthemen behandelt. So wurden zunächst die Arbeiten hinsichtlich der Anwendung von Strahlenschutzmassnahmen mit Blick auf deren Weiterentwicklung und Optimierung, der diesbezüglichen NEA-Richtlinien wie beispielsweise das Handbuch der NEA für frühe Schutzmassnahmen sowie der regulatorischen und operativen Anwendungen in verschiedenen Bereichen diskutiert. Dies vor dem Hintergrund gesellschaftlicher Herausforderungen, wie etwa bewaffneter Konflikte, sowie neuer Technologien, zum Beispiel «Small Modular Reactors» (SMR). Als Grundlage für die Diskussion wurden die Ergebnisse des Workshops präsentiert, welche im Rahmen der vorangegangenen WPNEM-Sitzung im Jahr 2023 erarbeitet wurden. Ein zweites Schwerpunktthema befasste sich mit dem Wissenstransfer an nachfolgende Generationen und dem Ausbau des weltweiten Expertenwissens. Die oben aufgeführte INEX-6 und die ersten Erkenntnisse daraus bildeten das dritte Schwerpunktthema.


rosenbauer
FW 1a
FLUGGEWICHT

8. Notfallschutz im ENSI

Notfallschutz ist eine Verbundaufgabe. Den im nuklearen Notfallschutz involvierten Partnern werden zur Erreichung der Ziele des Notfallschutzes verschiedene Aufgaben zugewiesen, die in den jeweiligen Kompetenzbereich fallen und in ihrer Gesamtheit zur Erreichung der genannten Ziele führen sollen. Die Zuweisung von Aufgaben erfolgt anhand von Verordnungen, welche 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:

- Das ENSI 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 Störfalls 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 nach Bedarf durch weitere Mitarbeitende des ENSI unterstützt.

Notfallschutz im ENSI

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 41. Die Einsatzorganisation kann bei Bedarf angepasst werden. Insbesondere können auch weitere Verbindungspersonen eingesetzt werden, die als Fachexperten des ENSI eine beratende Funktion wahrnehmen.

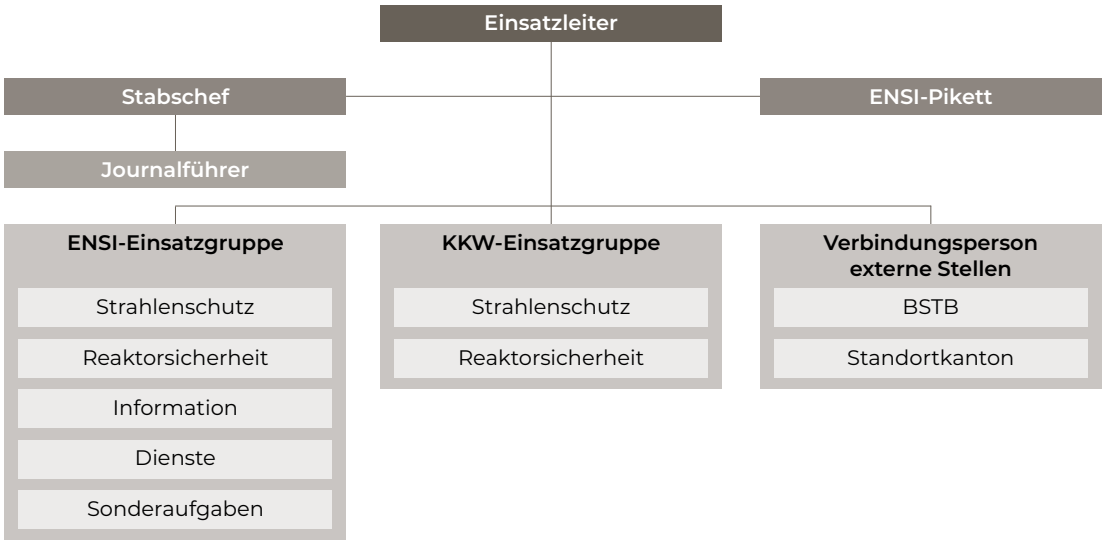
Die Aufbauorganisation der ENSI-NFO besteht aus einem diensthabenden Pikettingenieur, dem Kernteam A, dem Kernteam B und dem Unterstützungsteam. Das Kernteam A umfasst alle Einsatzleiter, alle Pikettingenieure und die Sektion Kommunikation des ENSI. Es unterstützt den diensthabenden Pikettingenieur bei Ereignissen. Im Kernteam B sind diejenigen Mitarbeitenden eingeteilt, welche die Kernkompetenzen der ENSI-NFO in Notlagen sicherstellen. Etwas mehr als ein Drittel der Belegschaft gehört einem der beiden Kernteams an. Das restliche Personal ist im Unterstützungsteam eingeteilt, das bei Bedarf aufgeboten 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 Telepage und wird durch den diensthabenden Pikettingenieur ausgelöst. Die Mitglieder des Unterstützungsteams werden telefonisch aufgeboten.

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

Einsatzorganisation



Darstellung 41: Gliederung der Einsatzorganisation.

ENSI-NFO nicht genutzt werden kann, betreibt das ENSI auch einen Ausweichstandort. Zu dieser Infrastruktur gehören auch spezielle Werkzeuge, welche die Auftragserfüllung der ENSI-NFO unterstützen und nachfolgend kurz vorgestellt werden.

a. Kommunikationseinrichtungen

Das ENSI nutzt zur Kommunikation mit den Notfallschutzpartnern bei Ereignissen in den schweizerischen Kernanlagen grundsätzlich die üblichen Kommunikationskanäle Telefon, Mobilfunk und E-Mail. Zusätzlich werden die Notfallschutzpartner über die elektronische Lagedarstellung der NAZ mit Informationen zum Ereignis bedient. Für den Fall, dass die Kommunikationskanäle nicht mehr verfügbar sind, 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 Kapitel 6.2).

d. JRODOS: Atmosphärisches Ausbreitungs- und Dosisberechnungsmodell

Das Java-based Realtime Online Decision Support System (JRODOS) dient der Einsatzgruppe Strahlenschutz zur Simulation der atmosphärischen Ausbreitung radioaktiver Stoffe (der sogenannte Quellterm) im Ereignisfall und der Berechnung der sich daraus potenziell ergebenden Strahlendosis für die Bevölkerung. JRODOS erlaubt dem ENSI zu Handen der Notfallschutzpartner eine Empfehlung bezüglich Schutzmassnahmen abzugeben.

Modellberechnungen im Ereignisfall

Die Organisation, die Zuständigkeiten und der Einsatz der Organe des Bundes bei einem Ereignis in einer Kernanlage mit einer bevorstehenden oder bereits erfolgten Freisetzung von radioaktiven Stoffen sind in der Verordnung über den Notfallschutz in der Umgebung von Kernanlagen (Notfallschutzverordnung), in der Verordnung über den Bundesstab Bevölkerungsschutz und in der Bevölkerungsschutzverordnung geregelt. Bei einer störfallbedingten Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus einer schweizerischen Kernanlage ist das ENSI zuständig für die Prognose der Entwicklung des Störfalls in der Anlage, die Prognose der möglichen Ausbreitung dieser Stoffe in der Umgebung sowie 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.

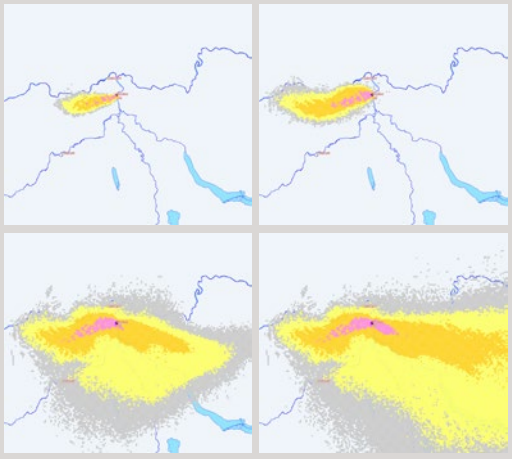
Das im Jahr 2016 beim ENSI eingeführte JRODOS (Java-based Realtime Online DecisiOn Support System) ist ein vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) entwickeltes modulares Entscheidungshilfesystem für den anlagenexternen Notfallschutz. Es wird von vielen Ländern genutzt. Die Weiterentwicklung erfolgt laufend durch das KIT, gesteuert von der RODOS User Group, in welcher das ENSI Einsitz hat. 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. Hierbei wird für eine Gruppe repräsentativer Stoffteilchen der Transport und die turbulente Diffusion durch einen Zufallsprozess auf dem Computer simuliert (Lagrange-Simulation). LASAT findet in folgenden Bereichen Anwendung: Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, bei Störfällen, für das Screening, für Geruchsstoffe, Bioaerosole, Radionuklide und bewegte Quellen. LASAT wird kontinuierlich weiterentwickelt. Es wurde ausgehend von den Anforderungen des ENSI von seinen Entwicklern zum Teil wesentlich überarbeitet und verbessert, insbesondere hinsichtlich Parallelisierung.

JRODOS erlaubt die direkte Verwendung von 3D-Wettervorhersagedaten aus den von MeteoSchweiz routinemässig neu eingesetzten Modellen ICON-CH1 und ICON-CH2. Diese liefern Prognosen in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung bis zu 33 Stunden resp. 120 Stunden im Voraus. Bei der Verwendung der Wettervorhersagen werden die 3D-Daten mit einem Windfeldmodell auf die vom Ausbreitungsmodell benötigten Auflösungen heruntergerechnet. Dies ermöglicht Simulationen mit einer noch höheren räumlichen Auflösung als derjenigen des Wettervorhersagemodells. Das Rechengitter von JRODOS besitzt eine Schachtelung von unterschiedlich fein aufgelösten Gebieten, wobei die Anzahl Stufen wählbar ist. Damit sind Simulationen mit grossen Abwinddistanzen innerhalb der für den Notfallschutz akzeptablen Rechenzeiten machbar.

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

In Darstellung 42 wird beispielhaft eine JRODOS-Simulation für den Standort des KKB dargestellt. Die Darstellung stammt aus einer routinemässig durchgeführten Simulation. Sie zeigt die berechnete integrierte Aktivitätskonzentration in Bodennähe als Funktion der Zeit für verschiedene ausgewählte, nicht repräsentative Zeitpunkte einer realen Wetterlage.

JRODOS-Simulation



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

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

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

Darstellung 42: Beispiel einer JRODOS-Simulation für das KKB.

Atmosphärische Ausbreitung und Dosisberechnung

Das ENSI verfügt seit vielen Jahren nicht nur über die Mittel und das Expertenwissen, um Entwicklungen in schweizerischen Kernanlagen bei Unfällen früh zu erkennen, zu beurteilen und einzustufen, sondern darüber hinaus auch über die Mittel und das Fachwissen, um diese Entwicklungen auf ihre Bedeutung für den Bevölkerungsschutz hin zu bewerten. Die Vereinigung dieser Fachkompetenzen unter einem Dach 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 Meteodaten, 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 der 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 Gesamtnotfallübung (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

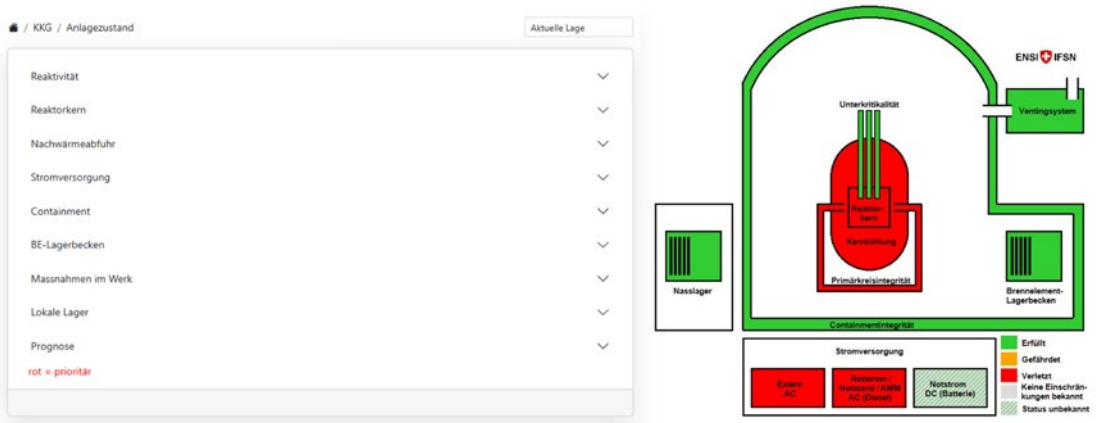
Die digitale Arbeitsoberfläche für die NFO ist eine Software, welche die Arbeitsabläufe in den Einsatzgruppen Reaktorsicherheit und Strahlenschutz unterstützt. Sie gewährleistet einen kontinuierlichen Situationsüberblick und eine laufende Situationsbeurteilung. Dabei integriert sie auch Daten, welche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

Im Zuge der kontinuierlichen Verbesserung hat die Digitalisierung auch in der ENSI-NFO Einzug gehalten. Erste Schritte dahingehend erfolgten in der Vergangenheit durch die Einführung von digitalen Werkzeugen wie der MADUK-Oberfläche oder JRODOS. Ihr Mehrwert ist deutlich erkennbar. Mit der Erweiterung der Produktpalette aus JRODOS zu Handen der Notfallschutzpartner und der Einführung der digitalen Arbeitsoberfläche für die beiden Einsatzgruppen Reaktorsicherheit und Strahlenschutz wurde diese Entwicklung fortgeführt.

Die operationelle digitale Arbeitsoberfläche (DANFO) ermöglicht den beiden Einsatzgruppen Strahlenschutz und Reaktorsicherheit der NFO, einen Grossteil ihrer wiederkehrenden Arbeiten

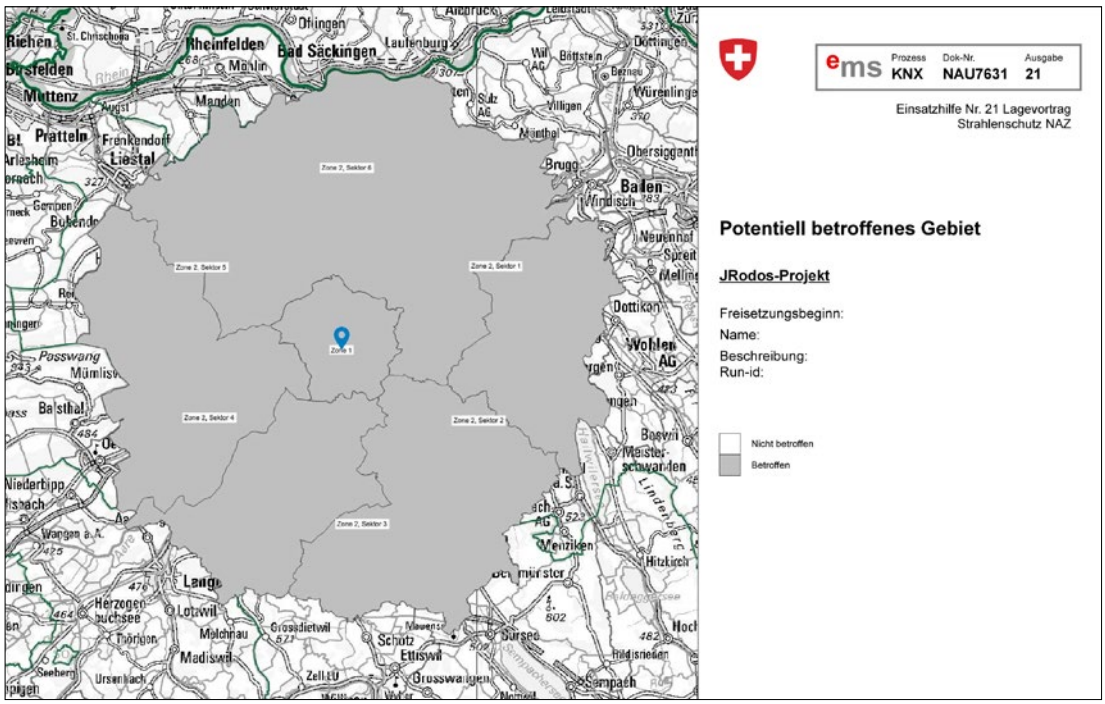
digital auszuführen und zu dokumentieren. Sie ersetzt damit grösstenteils die bislang verwendeten Papierformulare. Seitens der Einsatzgruppe Reaktorsicherheit fokussiert die Benutzeroberfläche auf eine anlagenspezifische Liste der für die Sicherheit der Kernanlage und die Störfallbeherrschung zentralen 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 43). Diese Anlagengrafik bietet den Notfallschutzpartnern einen vereinfachten Überblick über die Situation vor Ort.

Übersicht über den Anlagenzustand des KKG



Darstellung 43: Liste der Systeme und Komponenten (links), deren Statusbeurteilung zur automatischen Einfärbung der Anlagengrafik (rechts) führt, am Beispiel des Kernkraftwerks Gösgen.

Potentiell betroffenes Gebiet am Standort des KKG



Darstellung 44: Beispiel einer Grafik für das Produkt «Potentiell betroffenes Gebiet» aufgrund einer fiktiven Freisetzung am Standort des KKG im Rahmen der Gesamtnotfallübung 2024.

Seitens der Einsatzgruppe Strahlenschutz bietet die digitalen Arbeitsoberfläche ergänzend zur teilautomatisierten Erstellung der Produkte aus JRODOS eine grafische Darstellung der Entwicklung der Wettersituation am Standort der Kernanlage.

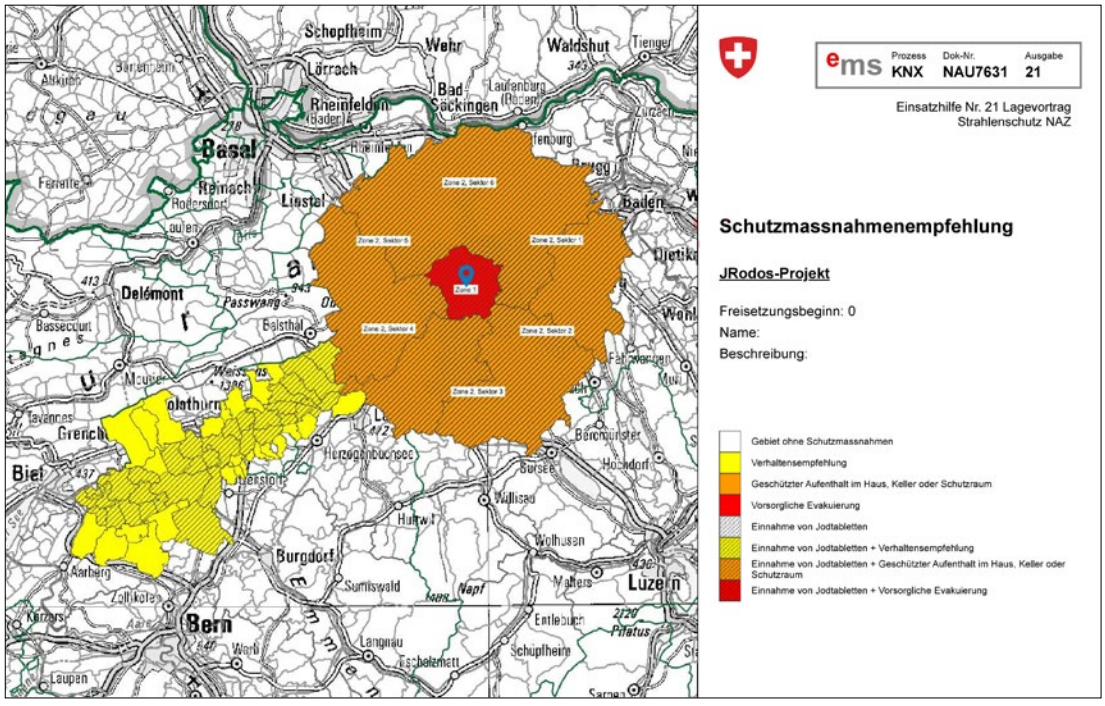
Auf Basis der neuesten Routineberechnungen durch JRODOS kann das Produkt «Potentiell betroffenes Gebiet» in wenigen Schritten erstellt und den Notfallschutzpartnern zur Verfügung gestellt werden (vgl. Darstellung 44). Es illustriert auf Grundlage der aktuellen Wettervorhersagen jene Notfallschutzzonen und -sektoren, die von einer radioaktiven Wolke betroffen wären, falls es innerhalb der nächsten zwölf Stunden zu einer Freisetzung kommen sollte.

Zudem kann über die neue DANFO-Benutzeroberfläche eine grafische Darstellung der vom ENSI gegebenenfalls empfohlenen Schutzmassnahmen erstellt werden. Hierbei werden die Notfallschutzzonen und -sektoren, sowie die Gemeinden ausserhalb der Notfallschutzzonen, entsprechend eingefärbt (vgl. Darstellung 45). Das Produkt visualisiert die bislang ausschliesslich in Tabellenform mitgeteilten Empfehlungen des ENSI für Schutzmassnahmen in einfacherer, schnell erfassbarer Form.

Die digitale Arbeitsoberfläche enthält zusätzlich einen stets aktuell gehaltenen Statusbalken, 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.

Im Berichtsjahr wurden die Arbeiten an der neuen digitalen Arbeitsoberfläche fortgeführt. Im Rahmen des Teilprojekts 2 wurde die bisher bestehende operationelle Arbeitsoberfläche durch eine in Funktionalität und Ergonomie verbesserte Oberfläche ersetzt. Die Operationalisierung erfolgte zeitgerecht vor der Gesamtnotfallübung 2024 (vgl. Kap. 9). Auslöser für die Neuprogrammierung waren die begrenzte Ausbaufähigkeit der bestehenden Softwarelösung sowie verschiedene Befunde hinsichtlich Ergonomie und Design der bisherigen Benutzeroberfläche. Bis zur Gesamtnotfallübung 2026 werden die Funktionali-

Empfehlungen nach Dosismassnahmenkonzept



Darstellung 45: Grafische Darstellung der Empfehlung des ENSI entsprechend den Dosisschwellen nach Dosismassnahmenkonzept am Beispiel eines unterstellten, fiktiven Quellterms.

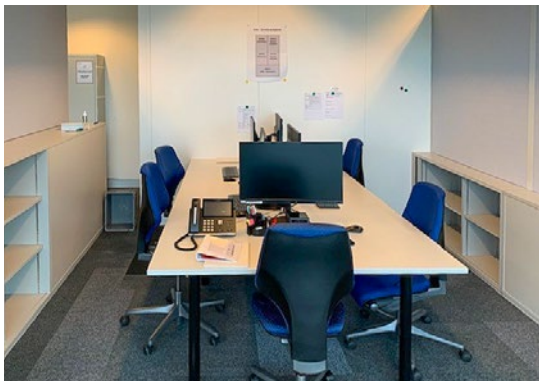




Bild 24: Ausweich-standort der ENSI-NFO.

täten der Oberfläche weiter ausgebaut. Ziel ist es ihre Nutzung auf sämtliche Einsatzgruppen sowie den Stab zu erweitern.

f. Ausweichstandort

Die NFO verrichtet ihre Arbeit in geschützten Notfallräumlichkeiten am Standort Brugg. Diese stehen jederzeit zur Verfügung. Seit der Operationalisierung des neuen Ausweichstandorts für die ENSI-NFO und die ENSI-Rechenzentren verfügt das ENSI auch über einen zukunftsgerichteten Ausweichstandort (vgl. Bild 24), der die Verfügbarkeit der ENSI-NFO und ihrer Produkte zugunsten des Notfallschutzes auf nationaler Ebene gewährleistet. Im Berichtsjahr erfolgten punktuell weitere Ergänzungen der Infrastruktur am Ausweichstandort.

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 sollen stichprobenartige Funktionskontrollen von Kommunikationseinrichtungen deren ordnungsgemässe Funktion verifizieren.

Als weiterer wichtiger Baustein der Aufsichtstätigkeit im Bereich Notfallschutz inspiziert das ENSI die gemäss Richtlinie ENSI-B11 «Notfallübungen» durchzuführenden Notfallübungen der Kernanlagen. Mit der Inspektion von Notfallübungen der Kernanlagenbetreiber verfolgt das ENSI grundsätzlich das Ziel zu überprüfen, 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 3 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 werden alle drei bis fünf Jahre durchgeführt. Sie dienen der Überprüfung der Einsatzbereitschaft.

Im Jahr 2024 konnten alle Kernanlagen ihre geplanten Notfallübungen durchführen. Im KKL wurde eine Werksnotfallübung mit Schwerpunkt Feuerwehreinsatz durchgeführt, die dem Beüben der Schnittstellen zwischen der Notfallorganisation der Kernanlage und externen Feuerwehren diente. Die Anlagen KKB, KKM, PSI und ZZL haben im Jahr 2024 jeweils eine Werks- bzw. Institutsnotfallübung durchgeführt. Das KKG war in diesem Jahr der Ausgangspunkt und «Szenario-Geber» für die Gesamtnotfallübung 2024, auf welche nachfolgend noch detaillierter eingegangen wird. Alle Anlagen konnten zeigen, dass sie über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete NFO verfügen.

Die Inspektionen betreffend der externen Notfallkommunikationsmittel wurden im Jahr 2024 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 Auslö-

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

Tabelle 3: Übungstypen

sung der unangemeldeten Aufgebotstests ausnahmslos die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabs innerhalb der zeitlichen Vorgaben gemäss Richtlinie ENSI-B11 «Notfallübungen» bestätigt.

Gesamtnotfallübung 2024 URANOS

Eine Gesamtnotfallübung (GNU) wird in der Schweiz alle zwei Jahre unter der Federführung des BABS durchgeführt (vgl. Kapitel 7.1). Dabei bildet eine fiktive Notfallsituation in einem der in Betrieb stehenden schweizerischen KKW den Rahmen für die an der Übung teilnehmenden Institutionen im In- und Ausland. Die GNU 2024 URANOS wurde turnusmässig vom 5. bis 7. November 2024 gemeinsam mit dem Kernkraftwerk Gösgen (KKG) durchgeführt. Eine GNU dient primär der Überprüfung der Zusammenarbeit der Notfallorganisation des KKW mit den externen Notfallschutzpartnern. Ein weiterer Übungsschwerpunkt bei der GNU 2024 URANOS war die Überprüfung des revidierten Notfallschutzkonzepts bei einem Unfall in einer Kernanlage in der Schweiz. Das ENSI und die anderen Notfallschutzpartner, 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. Es besteht bei jeder GNU grundsätzlich auch die Möglichkeit, weitere nationale und internationale Partner in die Übung einzubinden, um die entsprechenden Schnittstellen, zum Beispiel zur IAEA, zu überprüfen.

Mit den Vorbereitungsarbeiten für die GNU 2024 wurde bereits im Jahr 2022 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. Weitere zu beübende Elemente der nationalen und auch internationalen Organisationen, welche mit Aufgaben bei einem Unfall in einem KKW betraut sind, werden basierend auf der Ausgangslage und deren eigenen Übungszielen in das Drehbuch der GNU integriert.

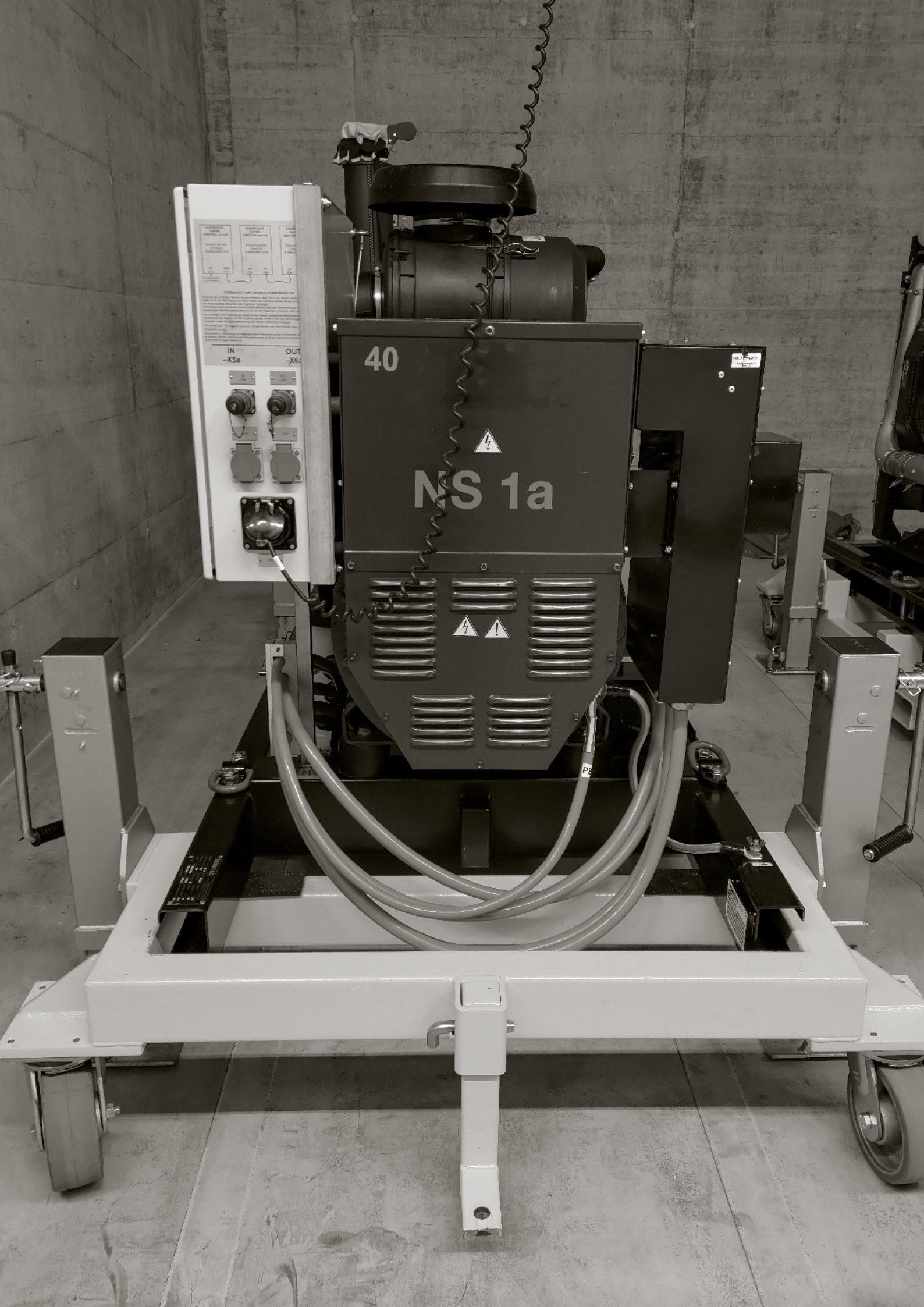
Die GNU 2024 URANOS wurde als dreitägige Übung angelegt. Es waren insgesamt 18 Institutionen und rund 800 Personen beteiligt. Die ersten beiden Übungstage waren geprägt durch das Notfallmanagement während der sogenannten Akutphase und die Einsatzübung der Notfallorganisation (NFO) des KKG, des ENSI, der NAZ, der Kantone sowie der weiteren teilnehmenden Institutionen. Der dritte Übungstag wurde von den Notfallschutzpartnern in Form einer Tabletop-Übung genutzt, um den Ablauf der Akutphase zu rekapitulieren sowie Erkenntnisse über die Umsetzung von Schutzmassnahmen zu gewinnen und systematisch auszuwerten. Das KKG führte die GNU am ersten Übungstag als Vollübung durch. Nach Erreichen eines stabilen Anlagezustands wurde die Übung im KKG am Ende des ersten Übungstages abgebrochen und die Einsatzkräfte sowie der Notfallstab des Werks wurden von ihren Aufgaben entbunden. Das Drehbuch der GNU lief jedoch weiter und das KKG unterstützte die anderen teilnehmenden Notfallschutzpartner am zweiten Übungstag mittels einer Kontaktstelle in der Übungsregie. Die NFO des ENSI war während der gesamten Akutphase in voller Stärke im Einsatz.

Für alle beteiligten Organisationen dient eine GNU der Überprüfung der Zusammenarbeit und der für solche Fälle vorgesehenen Prozesse und Konzepte. Für die GNU 2024 URANOS werden die gewonnenen Erkenntnisse in den entsprechenden Auswertungen resp. Übungsberichten der beteiligten Organisationen und übergeordnet auch im Schlussbericht des BABS zusammengeführt. Für das ENSI fügt sich die GNU 2024 URANOS sehr



Bild 25: Materialtransport zum KKG durch die Luftwaffe während der Verifikationsübung zur GNU 2024.

gut in den kontinuierlichen Verbesserungsprozess der Notfallorganisation des ENSI ein. Es konnten, wie schon bei vergangenen GNU, wertvolle Erkenntnisse gewonnen und Massnahmen abgeleitet werden, um das hohe Leistungsniveau der ENSI-NFO zu festigen und weiter zu optimieren. Die nächste GNU wird im Jahr 2026 mit dem KKB durchgeführt werden.


40
NS 1a
IN
-X5a
OUT

Anhang 1 – Dosimetriedaten

Dosisbereich [mSv]	KKB Block 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	538	896	1434	544	847	1391	463	1273	1736	221	335	556	1766	2707	4473
> 1,0–2,0	35	78	113	17	57	74	44	134	178	15	25	40	108	252	360
> 2,0–5,0	34	87	121	16	24	40	34	154	188	34	45	79	112	301	413
> 5,0–10,0	2	4	6					7	7	7	26	33	8	35	43
>10,0–15,0											23	23		23	23
Total Personen	609	1065	1674	577	928	1505	541	1568	2109	277	454	731	1994	3318	5312
Mittel pro Person [mSv]	0,4	0,5	0,5	0,2	0,3	0,2	0,4	0,6	0,6	0,9	1,6	1,3	0,4	0,7	0,6

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

Personal, das in mehreren Anlagen eingesetzt wurde, wird unter «Total KKW» nur einmal gezählt. Durch die Addition von in verschiedenen Kernanlagen akkumulierten Individualdosen verändern sich die Personenzahlen in einzelnen Dosisintervallen. Individualdosen können sich aus den in verschiedenen Anlagen akkumulierten Dosen zusammensetzen.

Dosisbereich [mSv]	PSI			EPFL	Total Forschung	ZZL			Total KKW	Total Kernanlagen und Forschung
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP	EP + FP	
0,0–1,0	329	223	552	12	564	95	319	414	4473	5217
> 1,0–2,0									360	360
> 2,0–5,0									413	413
> 5,0–10,0									43	43
>10,0–15,0									23	23
Total Personen	329	223	552	12	564	95	319	414	5312	6056
Mittel pro Person [mSv]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<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 diese Summenwerte kleiner aus als die Summe der Werte von den einzelnen Anlagen. 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	609	1037	1646	12	16	28
KKG	577	928	1505	6	10	16
KKL	541	1558	2099	17	142	159
KKM	61	128	189	2	1	3
PSI	331	224	36	7	5	12
ZZL	95	319	422	0	0	0
Summe	2214	4194	5897	44	174	218

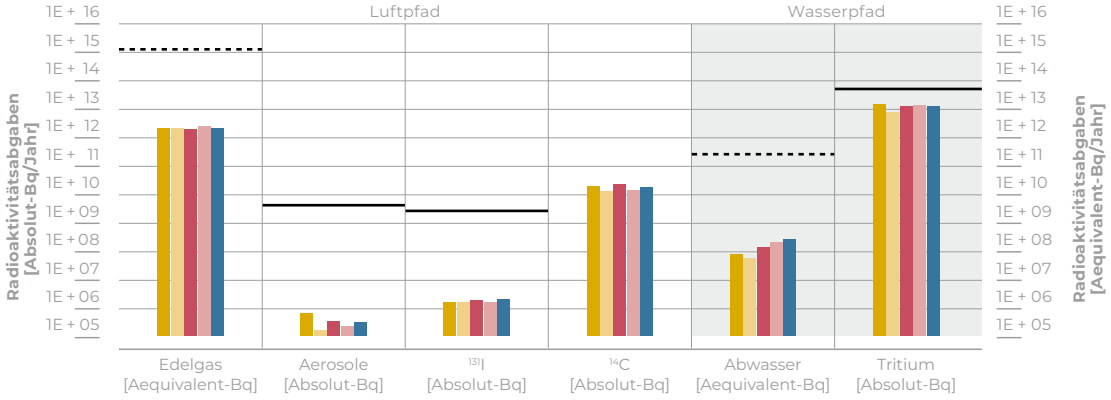
Tabelle A3: Verteilung der Anzahl Personen des Eigen- und Fremdpersonals von Haut- und Extremitätendosen [mSv] – KKW, PSI[1] und ZZL.

[1] Aufsichtsbereich des BAG mit einbezogen

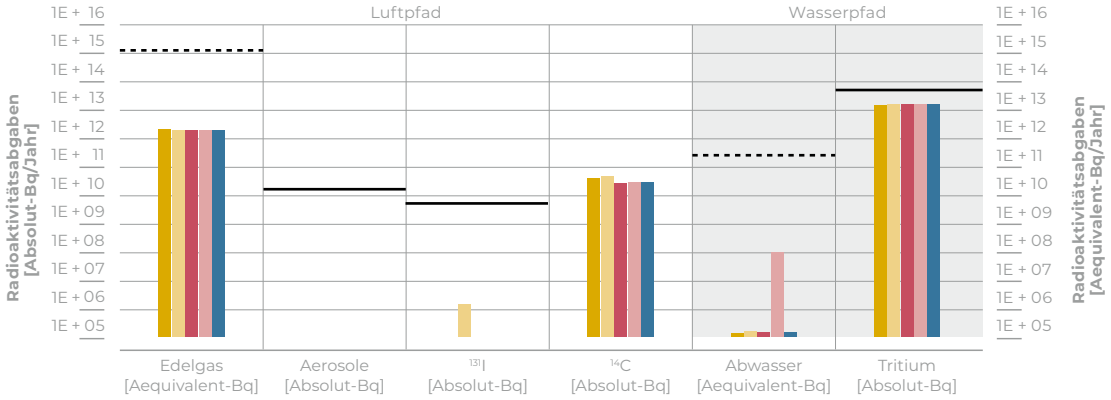
* Gemäss Richtlinie ENSI-B09 «Ermittlung und Aufzeichnung der Dosen strahlenexponierter Personen» ist pro Person nur die Jahresdosis der am höchsten exponierten Extremität zu berücksichtigen.

Anhang 2 – Emissionsdaten aus den Kernanlagen

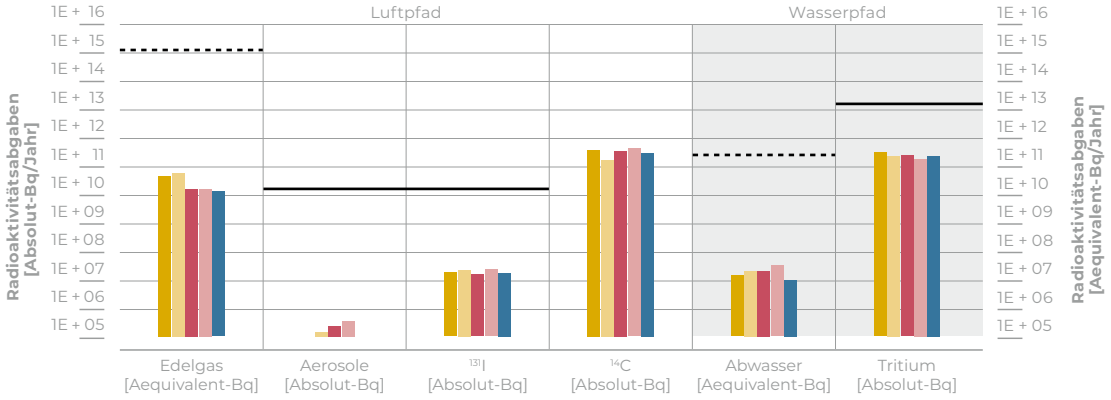
KKB



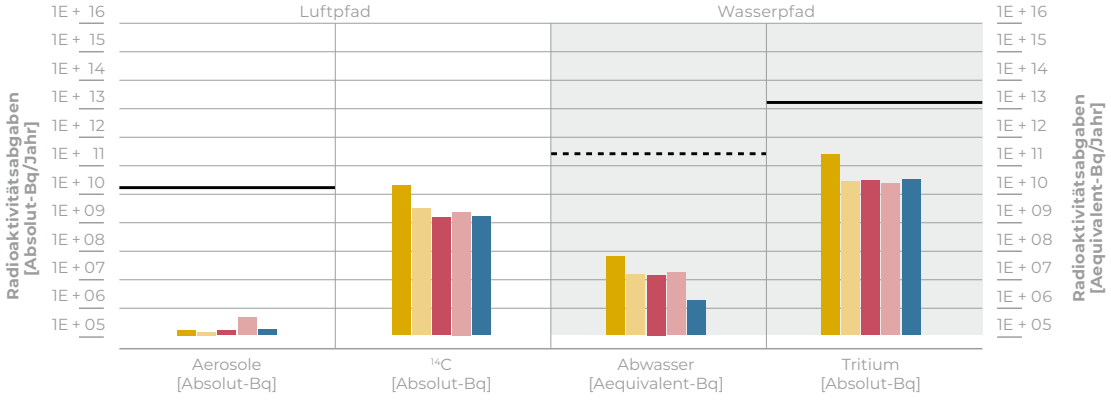
KKG



KKL

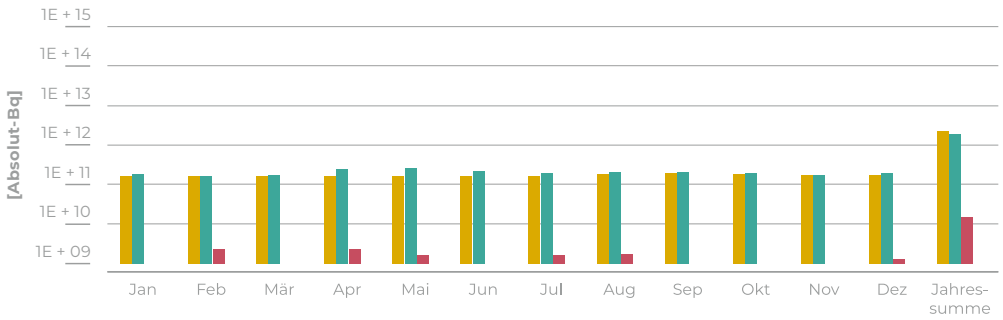


KKM

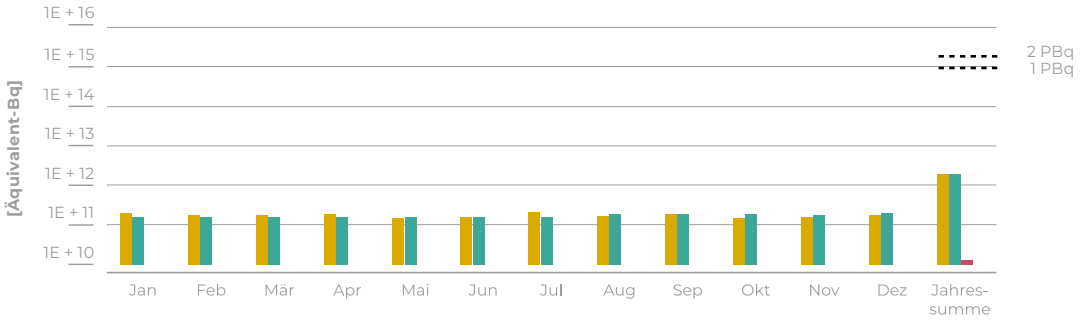


Darstellung A1: Abgaben der schweizerischen KKW an die Atmosphäre und über das Abwasser in den letzten fünf Jahren (2020 bis 2024) im Vergleich mit den Jahresabgabelimiten.

Monatliche Edelgasabgaben mit der Fortluft aus den KKW und Jahressumme 2024

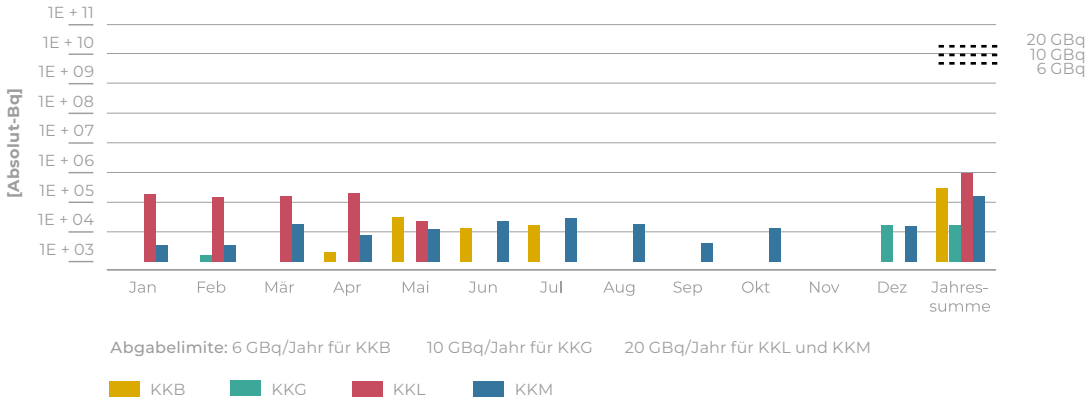


Monatliche Äquivalent-Edelgasabgaben mit der Fortluft aus den KKW und Jahressumme 2024



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

Monatliche Aerosolabgaben mit der Fortluft aus den KKW und Jahressumme 2024



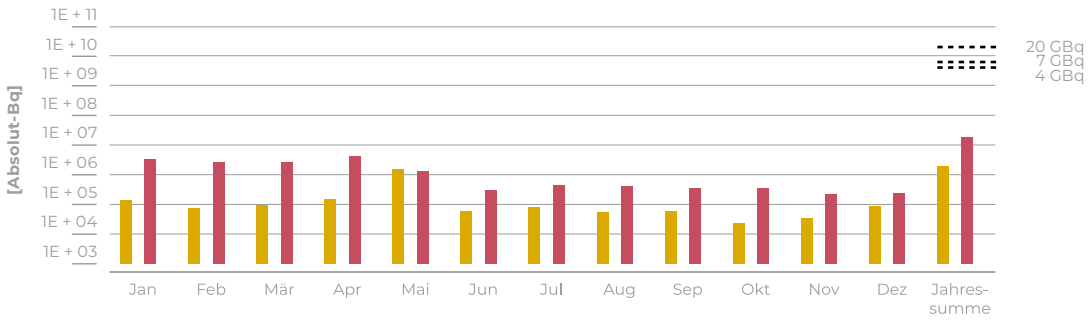
Abgabelimite: 6 GBq/Jahr für KKB 10 GBq/Jahr für KKG 20 GBq/Jahr für KKL und KKM

KKB KKG KKL KKM

Darstellung A2: Abgaben der schweizerischen KKW an die Atmosphäre und das Abwasser im Jahr 2024, aufgeschlüsselt nach einzelnen Monaten.

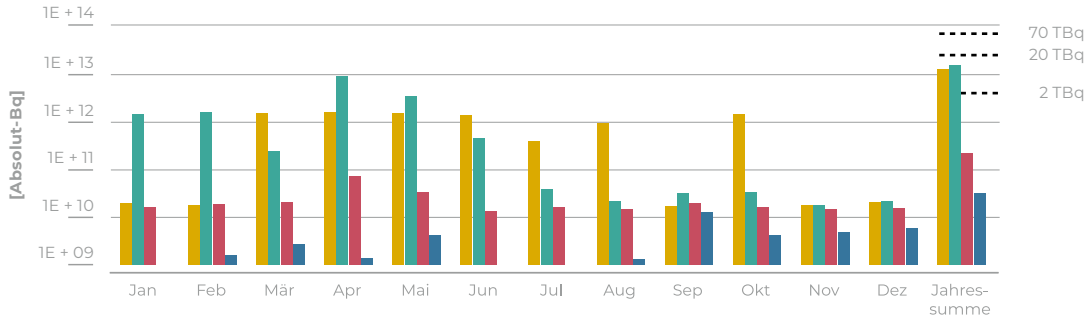
Anhang 2 – Emissionsdaten aus den Kernanlagen

Monatliche Abgaben von ^{131}I mit der Fortluft aus den KKW und Jahressumme 2024



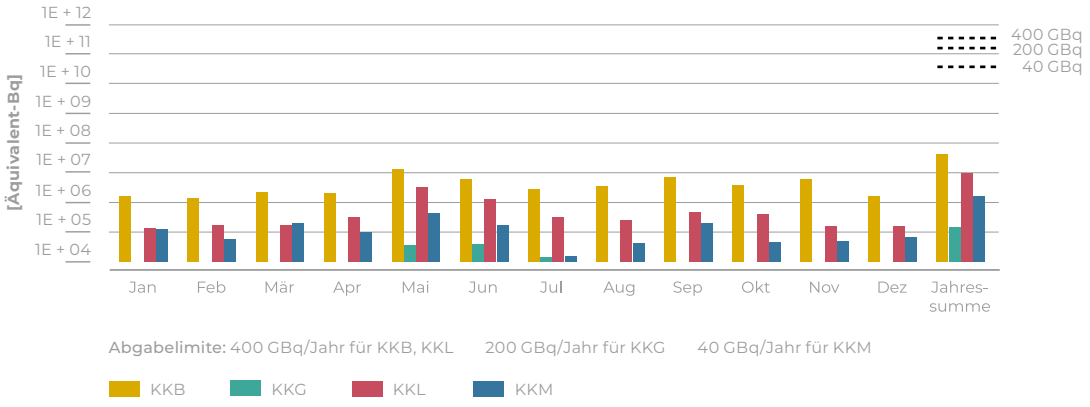
Abgabelimite: 4 GBq/Jahr für KKB 7 GBq/Jahr für KKG 20 GBq/Jahr für KKL

Monatliche Abgaben von Tritium mit dem Abwasser aus den KKW und Jahressumme 2024



Abgabelimite: 70 TBq/Jahr für KKB und KKG 20 TBq/Jahr für KKL 2 TBq/Jahr für KKM

Monatliche Äquivalentabgaben der übrigen Nuklide mit dem Abwasser aus den KKW und Jahressumme 2024



Abgabelimite: 400 GBq/Jahr für KKB, KKL 200 GBq/Jahr für KKG 40 GBq/Jahr für KKM

Darstellung A3: Abgaben der schweizerischen KKW an die Atmosphäre und das Abwasser im Jahr 2024 aufgeschlüsselt nach einzelnen Monaten.

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 4100 m³	Nuklidgemisch ohne Tritium	$4{,}0{\cdot}10^{8}$	$6{,}6{\cdot}10^{7}$	$4{\cdot}10^{11}$	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	$1{,}1{\cdot}10^{13}$		$7{\cdot}10^{13}$	16 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Fortluft	Edelgase	$3{,}5{\cdot}10^{12}$	$3{,}3{\cdot}10^{12}$	$1{\cdot}10^{15}$	0,3 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	$4{,}7{\cdot}10^{5}$		$6{\cdot}10^{9}$	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ^{131}I	$2{,}9{\cdot}10^{6}$	$4{,}1{\cdot}10^{6}$	$4{\cdot}10^{9}$	0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ^{14}C in CO_2	$2{,}4{\cdot}10^{10}$				<0,001	<0,001	0,0011
	Dosis total						<0,001	<0,001	0,0013
KKG	Abwasser 7636 m³	Nuklidgemisch ohne Tritium	$1{,}6{\cdot}10^{6}$	$1{,}5{\cdot}10^{5}$	$2{\cdot}10^{11}$	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	$2{,}0{\cdot}10^{13}$		$7{\cdot}10^{13}$	29 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Fortluft	Edelgase	$<2{,}7{\cdot}10^{12}$	$<2{,}8{\cdot}10^{12}$	$1{\cdot}10^{15}$	<0,3 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	$2{,}4{\cdot}10^{4}$		$1{\cdot}10^{10}$	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ^{131}I			$7{\cdot}10^{9}$	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ^{14}C in CO_2	$4{,}6{\cdot}10^{10}$				<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total						<0,001	<0,001	<0,001
KKL	Abwasser 12 924 m³	Nuklidgemisch ohne Tritium	$4{,}3{\cdot}10^{7}$	$9{,}8{\cdot}10^{6}$	$4{\cdot}10^{11}$	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	$3{,}5{\cdot}10^{11}$		$2{\cdot}10^{13}$	1,8 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Fortluft	Edelgase	$1{,}7{\cdot}10^{10}$	$1{,}1{\cdot}10^{10}$	$2{\cdot}10^{15}$	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	$5{,}3{\cdot}10^{4}$		$2{\cdot}10^{10}$	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ^{131}I	$2{,}4{\cdot}10^{7}$	$2{,}5{\cdot}10^{7}$	$2{\cdot}10^{10}$	0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ^{14}C in CO_2	$4{,}6{\cdot}10^{11}$				0,0017	0,0023	0,0039
	Dosis total						0,0017	0,0023	0,0039
KKM	Abwasser 2647 m³	Nuklidgemisch ohne Tritium	$8{,}8{\cdot}10^{6}$	$2{,}1{\cdot}10^{6}$	$4{\cdot}10^{10}$	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	$5{,}0{\cdot}10^{10}$		$2{\cdot}10^{12}$	2,5 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Fortluft	Aerosole	$2{,}0{\cdot}10^{5}$		$2{\cdot}10^{10}$	<0,1 %	0,0020	0,0020	0,0019
		Kohlenstoff: ^{14}C in CO_2	$1{,}9{\cdot}10^{9}$				<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total						0,0020	0,0020	0,0019
ZZL	Abwasser 518 m³	Nuklidgemisch ohne Tritium	$2{,}3{\cdot}10^{8}$	$6{,}1{\cdot}10^{7}$	$2{\cdot}10^{11}$	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	$5{,}8{\cdot}10^{10}$				<0,001	<0,001	<0,001
	Fortluft	β-/Y-Aerosole	$3{,}1{\cdot}10^{5}$		$1{\cdot}10^{9}$	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		α-Aerosole	$1{,}5{\cdot}10^{4}$		$3{\cdot}10^{7}$	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ^{14}C in CO_2	$9{,}4{\cdot}10^{8}$		$1{\cdot}10^{12}$	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	$9{,}0{\cdot}10^{9}$		$1{\cdot}10^{14}$	<0,1 %	<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total						<0,001	<0,001	<0,001

Tabelle A4: Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2024 für die KKW und das ZZL und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung. Angegeben ist für die jeweilige Nuklidgruppe und den Abgabepfad die Jahressumme der bei den einzelnen bilanzierenden Messungen durch die KKW ausgewiesenen Aktivitätsabgaben. Die Edelgasbilanzierungen im KKB und im KKG basieren 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 bilanziert die Edelgase nuklidspezifisch mittels Gammaspektrometrie-Messungen. Die nuklidspezifischen Messungen liegen häufig unterhalb der Nachweisgrenze.

Anhang 2 – Emissionsdaten aus den Kernanlagen

	PSI-Ost				
	Hochkamin	SAPHIR, PROTEUS	Forschungs-labor	Betriebs-gebäude radio-aktive Abfälle	Bundes-zwischenlager
Abgaben im Abwasser[1,2] [Bq/a]					
Nuklidgemisch ohne Tritium	–	–	–	–	–
Tritium	–	–	–	–	–
Abgaben über die Fortluft[1,2] [Bq/a]					
Edelgase und andere Gase	–		–		–
β-/γ-Aerosole, ohne Iod	–	–	$2{,}8 \cdot 10^{4}$	–	–
α-Aerosole	–	–	–	–	–
Iod: Summe aller Isotope	–	–	–	–	–
Tritium als HTO	$8{,}7 \cdot 10^{9}$	–	–	$9{,}0 \cdot 10^{9}$	$4{,}8 \cdot 10^{9}$
Kohlenstoff: ^{14}C in CO_2	$4{,}0 \cdot 10^{8}$	–	–	$6{,}8 \cdot 10^{8}$	–
Jahresdosis[3] [mSv/Jahr] für:					
Erwachsene	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015
Kind 10 Jahre	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015
Kleinkinder	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert[4]	<0,1 %	<0,1 %	<0,1 %	<0,1 %	<0,1 %

	PSI-West		Gesamtanlage des PSI[1,2]		
	Zentrale Fortluftanlagen	C-Labor	Abwasser 990 m³	Fortluft	Äquivalent-abgaben
Abgaben im Abwasser[1,2] [Bq/a]					
Nuklidgemisch ohne Tritium			$4{,}0 \cdot 10^{7}$		$5{,}8 \cdot 10^{6}$
Tritium			$6{,}0 \cdot 10^{10}$		
Abgaben über die Fortluft[1,2] [Bq/a]					
Edelgase und andere Gase	$1{,}0 \cdot 10^{14}$	–		$1{,}0 \cdot 10^{14}$	$4{,}3 \cdot 10^{14}$
β-/γ-Aerosole, ohne Iod	$4{,}9 \cdot 10^{9}$	–		$4{,}9 \cdot 10^{9}$	–
α-Aerosole	–	–		–	–
Iod: Summe aller Isotope	$3{,}8 \cdot 10^{7}$	–		$3{,}8 \cdot 10^{7}$	–
Tritium als HTO	$2{,}1 \cdot 10^{12}$	–		$2{,}1 \cdot 10^{12}$	–
Kohlenstoff: ^{14}C in CO_2	–	–		$1{,}1 \cdot 10^{9}$	–
Jahresdosis[3] [mSv/Jahr] für:					
Erwachsene	0,004	<0,00015	<0,00015	0,004	
Kind 10 Jahre	0,004	<0,00015	<0,00015	0,004	
Kleinkinder	0,004	<0,00015	<0,00015	0,004	
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert[4]	2,7 %	<0,1 %	<0,1 %	<3 %	

Tabelle A5: Zusammenstellung der Abgaben des PSI im Jahr 2024 und der daraus berechneten Dosen für Einzelpersonen der Bevölkerung.

Nuklid	Abgaben [Bq im Jahr]					
β-/γ-Strahler	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
^{3}H	1,1·10^{13}	2,0·10^{13}	3,5·10^{11}	5,0·10^{10}	6,0·10^{10}	5,8·10^{10}
^{7}Be					5,8·10^{5}	
^{22}Na					2,7·10^{5}	8,6·10^{6}
^{24}Na	3,8·10^{6}					
^{51}Cr	1,5·10^{6}					
^{54}Mn	2,5·10^{6}		2,6·10^{6}		2,2·10^{4}	3,3·10^{5}
^{57}Co					7,0·10^{3}	
^{58}Co	2,2·10^{7}				2,5·10^{3}	
^{60}Co	7,5·10^{7}	2,2·10^{5}	4,1·10^{7}	7,1·10^{6}	7,9·10^{5}	4,9·10^{6}
^{65}Zn	9,8·10^{6}					
^{67}Ga					1,1·10^{6}	
^{89}Sr	2,6·10^{5}			1,3·10^{6}		
^{90}Sr/^{90}Y	3,5·10^{5}			6,7·10^{4}		
^{95}Zr	8,5·10^{4}					
^{95}Nb	2,7·10^{5}					
^{99m}Tc	2,9·10^{5}	1,1·10^{5}				
^{103}Ru	5,3·10^{4}					
^{109}Cd					3,8·10^{5}	
^{110m}Ag	2,4·10^{7}					
^{122}Sb	2,1·10^{6}					
^{124}Sb	1,5·10^{8}					
^{125}Sb	4,2·10^{7}					1,1·10^{6}
^{123m}Te	1,9·10^{7}	1,2·10^{6}				
^{129m}Te	1,9·10^{6}					
^{132}Te	3,3·10^{6}	3,2·10^{4}				
^{131}I	3,5·10^{6}					
^{133}I	1,8·10^{5}					
^{134}Cs	1,5·10^{5}					7,5·10^{5}
^{137}Cs	4,3·10^{7}			3,1·10^{5}	1,7·10^{7}	2,1·10^{8}
^{152}Eu					5,6·10^{3}	
^{160}Tb					1,3·10^{4}	
^{161}Tb					9,8·10^{6}	
^{172}Lu					5,6·10^{3}	
^{173}Lu					3,4·10^{4}	
^{177}Lu					1,0·10^{7}	
^{207}Bi					6,7·10^{3}	
α-Strahler	*	2,2·10^{5}	4,7·10^{5}	4,4·10^{4}		*
$^{234/238}$U					1,9·10^{4}	
$^{239/240}$Pu	1,1·10^{4}					4,6·10^{3}
^{238}Pu/^{241}Am	3,1·10^{4}					
^{242}Cm	9,8·10^{3}					
$^{243/244}$Cm	1,4·10^{4}					

Tabelle A6: Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2024: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.

* Angabe umfasst für das KKB und ZZL das 4. Quartal 2023 bis und mit dem 3. Quartal 2024.

Anhang 2 – Emissionsdaten aus den Kernanlagen

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

Tabelle A7: Abgaben der Kernanlagen mit der Fortluft, Edelgase und Iod 2024: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.

Nuklid	Abgaben [Bq im Jahr]					
β-/γ-Strahler	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
^{7}Be					$5{,}1{\cdot}10^{5}$	
^{24}Na					$1{,}2{\cdot}10^{8}$	
^{57}Co		$2{,}1{\cdot}10^{3}$				
^{60}Co			$5{,}3{\cdot}10^{4}$	$9{,}6{\cdot}10^{4}$	$5{,}1{\cdot}10^{4}$	
^{77}Br					$3{,}2{\cdot}10^{5}$	
^{80m}Br					$6{,}2{\cdot}10^{7}$	
^{82}Br					$7{,}5{\cdot}10^{8}$	
^{95}Zr	$7{,}2{\cdot}10^{3}$					
^{95}Nb	$2{,}0{\cdot}10^{4}$					
^{103}Ru	$6{,}2{\cdot}10^{4}$					
^{121}Te					$2{,}7{\cdot}10^{5}$	
^{137}Cs				$1{,}1{\cdot}10^{5}$		$1{,}1{\cdot}10^{3}$
^{144}Ce		$2{,}2{\cdot}10^{4}$				
^{181}Re					$3{,}6{\cdot}10^{7}$	
^{182}Re					$4{,}2{\cdot}10^{8}$	
^{182m}Re					$5{,}3{\cdot}10^{6}$	
^{183}Re					$8{,}6{\cdot}10^{5}$	
^{182}Os					$1{,}7{\cdot}10^{8}$	
^{183}Os					$2{,}1{\cdot}10^{8}$	
^{183}mOs					$7{,}4{\cdot}10^{7}$	
^{185}Os					$1{,}6{\cdot}10^{7}$	
^{191}Os	$3{,}8{\cdot}10^{5}$					
^{191}Pt					$1{,}0{\cdot}10^{6}$	
^{192}Au					$1{,}5{\cdot}10^{9}$	
^{193}Au					$1{,}1{\cdot}10^{8}$	
^{194}Au					$7{,}5{\cdot}10^{5}$	
^{195}Au						$2{,}4{\cdot}10^{3}$
^{192}Hg					$4{,}1{\cdot}10^{7}$	
^{193m}Hg					$1{,}1{\cdot}10^{8}$	
^{194}Hg					$7{,}5{\cdot}10^{5}$	$3{,}3{\cdot}10^{3}$
^{195}Hg					$4{,}6{\cdot}10^{8}$	
^{195m}Hg					$1{,}3{\cdot}10^{8}$	
^{197}Hg					$5{,}7{\cdot}10^{8}$	
^{197m}Hg					$1{,}4{\cdot}10^{8}$	
^{203}Hg					$1{,}0{\cdot}10^{7}$	
Nicht spezifizierte						$3{,}0{\cdot}10^{5}$
α-Aerosole	$7{,}5{\cdot}10^{3}$	$3{,}3{\cdot}10^{4}$	$3{,}9{\cdot}10^{4}$	$7{,}7{\cdot}10^{3}$		$1{,}5{\cdot}10^{4}$

Tabelle A8: Abgaben der Kernanlagen mit der Fortluft, Aerosole 2024:
Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.

Anhang 2 – Emissionsdaten aus den Kernanlagen

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 Edelgas- beziehungsweise 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 ^{131}I 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 ^{131}I- Äquivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben.

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

[2] Abgaben kleiner als 1000 Bq werden in den Tabellen A6 bis A8 nicht aufgeführt.

[3] Die Jahresdosis wird für fiktive Personen konservativ abgeschätzt, indem angenommen wird, dass sie sich dauernd am kritischen Ort aufhalten, ihre gesamte Nahrung von diesem Ort beziehen und ihren gesamten Trinkwasserbedarf aus dem Fluss unterhalb der Anlage decken. Die Dosis wird mit den in der Richtlinie ENSI-G14 «Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung» angegebenen Modellen und Parametern ermittelt. Dosiswerte kleiner als 0,001 mSv werden nicht angegeben.

[4] Abgabelimiten gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die Abgabelimiten wurden so festgelegt, dass die Jahresdosis für Personen in der Umgebung (vgl. Fussnote 3) für die KKW unter 0,3 mSv/Jahr respektive das ZZL unter 0,05 mSv pro Jahr bleibt. Für das PSI sind die Abgaben gemäss Bewilligung 6/2023 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 2025

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

ENSI-AN 12238
ISSN 2813-334X (Online)

ENSI
Industriestrasse 19
5201 Brugg
Schweiz

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