

# STRAHLENSCHUTZ- BERICHT 2021

---

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 2021**

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

# **Rapport sur la radioprotection 2021**

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

# **Rapporto di radioprotezione 2021**

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

# **Radiological Protection Report 2021**

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

# INHALTS- VERZEICHNIS

<b>Vorwort</b>	<b>4</b>	<b>Strahlenschutz in den Kernanlagen</b>	<b>14</b>
<hr/>			
Préface	4	1. Grundlagen «Anlageninterner Strahlenschutz»	16
Prefazione	6	1.1 Allgemeines	16
Foreword	6	1.2 Grundlagen der Dosimetrie	16
		1.3 Dosimetrierung von Personal	17
		1.4 Ausbildung im Strahlenschutz	18
		1.5 Grundlagen für den Strahlenschutzbericht	20
		2. Kernkraftwerke	22
		2.1 Kernkraftwerk Beznau, Block 1 und 2	22
		2.2 Kernkraftwerk Gösgen	28
		2.3 Kernkraftwerk Leibstadt	34
		2.4 Kernkraftwerk Mühleberg	42
		3. Weitere Kernanlagen	48
		3.1 Paul Scherrer Institut	49
		3.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen	51
		3.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne	53
<b>Radon am Arbeitsplatz – ein Überblick</b>	<b>8</b>		
<hr/>			

## **Umgebungsüberwachung und Schutz der Bevölkerung: Emissionen und Immissionen 54**

---

<b>4. Grundlagen «Emissions- und Immissionsüberwachung»</b>	<b>56</b>
<b>5. Emissionen aus den Kernanlagen</b>	<b>58</b>
<b>6. Immissionen in der Umgebung der Kernanlagen</b>	<b>62</b>
6.1 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen	62
6.2 Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke	63
6.3 In-situ-gammaspektrometrische Messungen in der Umgebung der Kernanlagen	68
6.4 Immissionsmessungen im Wasserpfad	68
6.5 Aeroradiometrische Messungen	69

## **Notfallschutz 74**

---

<b>7. Grundlagen «Notfallschutz»</b>	<b>76</b>
7.1 Notfallschutz in der Schweiz	78
7.2 Notfallschutz international	79
<b>8. Notfallschutz im ENSI</b>	<b>82</b>
8.1 Aufgaben des ENSI	82
8.2 Die ENSI-Notfallorganisation	82
<b>9. Notfallschutzinspektionen</b>	<b>92</b>

## **Anhang 1 – Dosimetriedaten 94**

---

## **Anhang 2 – Emissionsdaten aus den Kernanlagen 96**

---

## Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser

Mit dem Abschluss des Jahrs 2021 liegt das zweite Jahr einer globalen Pandemie hinter uns, die die Gesellschaft immer wieder vor neue Herausforderungen gestellt hat. Die Betreiber der Kernanlagen in der Schweiz haben aus den Erfahrungen des ersten Jahres mit der Pandemie gelernt und konnten 2021 mithilfe von zusätzlichen Eindämmungsmassnahmen die geplanten Arbeiten zur Gewährleistung der nuklearen Sicherheit und des Schutzes von Mensch und Umwelt vor radiologischen Risiken durchführen. Das Kernkraftwerk Leibstadt schloss mit dem vollständigen Ersatz des Reaktorkühlmittel-Umwälzsystems und der Erneuerung der Rohrbündel im Hauptkondensator zwei Grossprojekte ab. Auch die anderen Betreiber holten während der geplanten Anlagenstillstände Wartungs- und Modernisierungsarbeiten nach, die wegen den Einschränkungen aufgrund der Pandemie teilweise um ein Jahr verschoben werden mussten.

Das ENSI hat sich anhand eines durchgehenden Programms mit Kontrollen, Inspektionen und Messungen davon überzeugt, dass im Jahr 2021 alle Kernanlagen in der Schweiz die Limiten für die Abgabe radioaktiver Stoffe an die Umwelt mit grossen Margen einhielten. Aus dem Betrieb der Kernanlagen resultierten im Jahresmittel (potenzielle) Dosen für die Bevölkerung, die kleiner als 0,01 mSv sind (unter «Übrige» in der nachfolgenden Figur subsumiert dargestellt). Für das Berichtsjahr kann das ENSI ebenfalls bestätigen, dass alle gesetzlichen Anforderungen an die Strahlenexposition des Personals in den Kernanlagen eingehalten wurden.

Schwerpunkte der Aufsichtstätigkeit im Jahr 2021 waren Arbeiten von Bewilligungsinhabern mit geplanten, signifikanten Kollektivdosen für das Personal. Das ENSI beobachtete insbesondere die korrekte Strahlenschutzplanung von Arbeiten und den daraus resultierenden Optimierungsprozess. Dabei müssen die Betreiber die Qualifikation und die Anzahl des verfügbaren Personals, die Ausbildung an Mock-Ups und verschiedene weitere Faktoren zu Arbeitspaketen kombinieren, um die

## Préface

Chères lectrices, chers lecteurs,

Avec la fin de l'année 2021, nous tournons la page d'une deuxième année d'une pandémie mondiale qui n'a cessé de poser de nouveaux défis à la société. Les sociétés exploitantes des installations nucléaires en Suisse ont tiré les leçons de la première année de pandémie et ont pu, à l'aide de mesures de confinement supplémentaires, réaliser en 2021 les travaux prévus pour garantir la sécurité nucléaire et la protection de l'être humain et de l'environnement contre les risques radiologiques. La centrale nucléaire de Leibstadt a achevé deux grands projets avec le remplacement entier du système de recirculation du fluide caloporteur du réacteur et le renouvellement des faisceaux de tubes du condenseur principal. Les autres sociétés exploitantes ont également rattrapé, pendant les arrêts programmés des installations, des travaux de maintenance et de modernisation qui avaient dû être en partie repoussés d'un an en raison des restrictions imposées par la pandémie.

L'IFSN s'est assurée, à l'aide d'un programme continu de contrôles, d'inspections et de mesures, qu'en 2021, toutes les installations nucléaires de Suisse respectaient avec de grandes marges les limites de rejet de substances radioactives dans l'environnement. L'exploitation des installations nucléaires génère en moyenne annuelle des doses (potentielles) pour la population inférieures à 0,01 mSv (représentées sous «Autres» dans la figure ci-dessous). Pour l'année de référence, l'IFSN peut également confirmer que toutes les exigences légales relatives à l'exposition du personnel aux radiations dans les installations nucléaires ont été respectées.

Les points forts de l'activité de surveillance en 2021 ont été les travaux effectués par des titulaires d'autorisation avec des doses collectives significatives planifiées pour le personnel. L'IFSN a notamment observé la planification correcte des travaux en matière de radioprotection et le processus d'optimisation qui en résulte. Dans ce cadre, les sociétés exploitantes doivent combiner la qualification et le nombre de personnel disponible, la formation sur des maquettes et divers



Rosa Sardella

Sicherheit des eingesetzten Personals und die korrekte Ausführung der Arbeiten zu gewährleisten.

Der Rückbau des Kernkraftwerks Mühleberg wurde im Rahmen der Stilllegungsphase 1 fortgesetzt. Das ENSI überwachte die Arbeitsplanung und führte Inspektionen über die Dekontaminationseinrichtungen und die verschiedenen Baustellen des Rückbaus durch. Dabei erwies sich die Zusammenarbeit mit der Suva als Aufsichtsbehörde für konventionelle Arbeitssicherheit als sehr wertvoll.

Im Bereich des Notfallschutzes führen sowohl die Betreiber der Kernanlagen als auch das ENSI regelmässig Übungen zu nuklearen Unfallszenarien durch, welche auch 2021 stattfanden, wenn auch mit Einschränkungen aufgrund der Pandemie. Zudem hat das ENSI den Lernprozess aus dem schweren Unfall in Fukushima-Daiichi weiter angestossen und im November 2021 im Rahmen der Bevölkerungsschutzkonferenz in Davos eine Podiumsdiskussion mit den Notfallpartnern, insbesondere den Kantonen, gestaltet.

Schliesslich möchte ich auf die transparente Informationspolitik des ENSI hinweisen, wozu wir mit einem ausführlichen Jahresbericht zum Strahlenschutz, nebst der Onlineaufschaltung der Messergebnisse aus dem eigenen MADUK-Umweltüberwachungssystem sowie der monatlichen Publikation der Abgaben der Kernanlagen, beitragen.

Ich hoffe, dass der Strahlenschutzbericht 2021 für Sie informativ und übersichtlich ist und wünsche Ihnen eine angenehme Lektüre!

autres facteurs, pour constituer des lots de travaux à réaliser permettant de garantir à la fois la sécurité du personnel engagé et la bonne exécution desdits travaux.

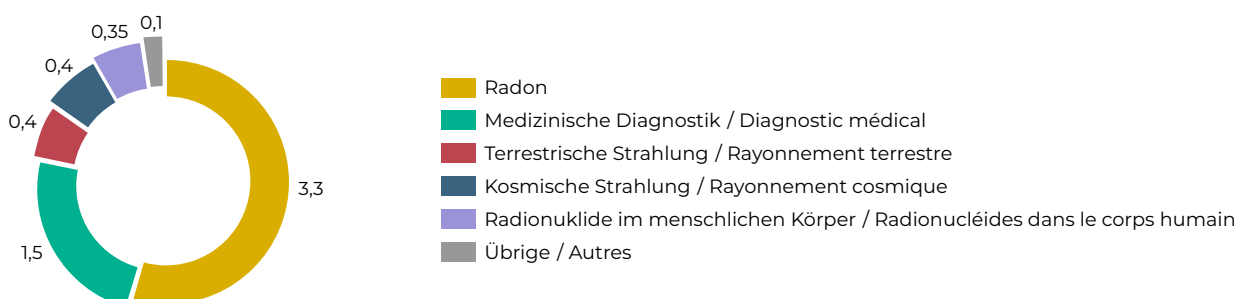
Le démantèlement de la centrale nucléaire de Mühleberg s'est poursuivi dans le cadre de la phase 1 de désaffectation. L'IFSN a surveillé la planification des travaux et effectué des inspections sur les installations de décontamination et les différents chantiers de démantèlement. La collaboration avec la Suva, en tant qu'autorité de surveillance pour la sécurité conventionnelle au travail, s'est avérée très précieuse à cet égard.

Dans le domaine de la protection en cas d'urgence, tant les sociétés exploitantes des installations nucléaires que l'IFSN organisent régulièrement des exercices sur des scénarios d'accidents nucléaires. Des exercices ont également eu lieu en 2021, même si la pandémie a entraîné des restrictions. En outre, l'IFSN a continué à évoquer le retour d'expérience à partir du grave accident de Fukushima-Daiichi, et a organisé en novembre 2021 une table ronde avec les partenaires d'urgence, notamment les cantons, dans le cadre de la Conférence de la protection de la population à Davos.

Enfin, je tiens à attirer l'attention sur la politique d'information transparente de l'IFSN, à laquelle nous contribuons par un Rapport annuel sur la radioprotection détaillé, en plus de la mise en ligne des résultats de mesure de notre système de surveillance de l'environnement MADUK, ainsi que de la publication mensuelle des rejets des installations nucléaires.

J'espère que le rapport sur la radioprotection 2021 vous sera informatif et clair, et je vous souhaite une bonne lecture!

**Mittlere Jahresdosis / Dose annuelle moyenne [mSv]**



## Prefazione

Cari lettori e care lettrici

Con quello appena trascorso abbiamo alle nostre spalle il secondo anno di una pandemia globale, che ha continuamente posto nuove sfide alla società tutta. I gestori degli impianti nucleari in Svizzera hanno fatto tesoro delle esperienze del primo anno di pandemia e nel 2021, anche grazie all'impiego delle nuove misure di contenimento a disposizione, sono riusciti a svolgere i lavori pianificati garantendo la sicurezza nucleare e la protezione delle persone e dell'ambiente dai rischi radiologici. La centrale nucleare di Leibstadt ha completato un progetto di grande ampiezza con la sostituzione integrale del sistema di ricircolo del refrigerante primario e col rinnovamento dei fasci tubieri nel condensatore di vapore, ma anche gli altri gestori nel corso degli arresti di centrale programmati annualmente hanno recuperato con i lavori di manutenzione e ammodernamento talvolta rimandati di un anno per la pandemia.

In base ad un programma continuo di controlli, ispezioni e misurazioni, l'IFSN conclude che nel 2021 tutti gli impianti nucleari in Svizzera hanno rispettato con ampi margini i limiti di emissione di sostanze radioattive nell'ambiente. Il funzionamento degli impianti nucleari comporta (potenzialmente) una dose media annuale alla popolazione inferiore a 0,01 mSv (inclusa sotto «Altri» nella figura seguente). Anche per l'anno in esame l'IFSN può confermare che tutte le prescrizioni legali per l'esposizione alle radiazioni del personale negli impianti nucleari sono state rispettate.

Le priorità per la sorveglianza nel 2021 sono state poste su tutti quei lavori dei detentori di licenza con in previsione importanti dosi collettive per il personale: l'IFSN ha osservato la corretta pianificazione della radioprotezione e il processo di ottimizzazione che ne consegue, in cui i gestori devono combinare le qualifiche e il numero di personale a disposizione, il training su modelli in scala e vari altri fattori per ottenere una suddivisione del lavoro in pacchetti adatti a garantire la sicurezza del personale impiegato e la corretta esecuzione del lavoro stesso.

## Foreword

Dear readers,

With 2021 coming to an end, the second year of a global pandemic that has continually and repeatedly challenged society is also behind us. The operators of nuclear installations in Switzerland had learned from their experience of the first year of the pandemic and were able, with the help of additional mitigation measures, to carry out their planned work in 2021 thus ensuring the safety of nuclear installations, and protecting people and the environment from radiological risk. Having fully replaced the reactor coolant recirculation system and renewed the pipe bundles in the main condenser, Leibstadt nuclear power plant successfully concluded two major projects. The other operators also carried out maintenance and modernisation work during scheduled plant outages, which had, in part, been postponed by a year because of pandemic restrictions.

Based on a continuous programme of checks, inspections and measurements in 2021, ENSI was able to confirm that all nuclear installations in Switzerland adhered to the limits for the release of radioactive substances into the environment by quite considerable margins. The operation of nuclear installations results in annual average (potential) doses for the population that are less than 0,01 mSv (included in «others» in the figure below). ENSI can also confirm for the reporting year that all legal requirements regarding the radiation exposure of personnel in nuclear installations were complied with.

The focus of regulatory activities in 2021 was on the work of the licensees, which involved planned, significant collective doses for personnel. In particular, ENSI monitored the correct planning of radiological protection measures and the resulting optimisation process. In this respect, operators have to combine the qualifications and number of available personnel, training on mock-ups and various other factors into work packages to ensure the safety of the deployed personnel and the correct performance of the work.



**Rosa Sardella**



Lo smantellamento della centrale nucleare di Mühleberg è continuato nell'ambito della fase 1 del progetto di disattivazione. L'IFSN ha controllato l'avvenuta pianificazione protettiva e condotto ispezioni sugli impianti di decontaminazione e sui vari cantieri di smantellamento, dove la collaborazione con la Suva quale autorità di controllo per la sicurezza sul lavoro si è rivelata preziosa.

The dismantling of Mühleberg nuclear power plant continued as part of phase 1 of decommissioning. ENSI monitored the planning of the work and carried out inspections of the decontamination facilities and the various dismantling sites. Here, the cooperation with Suva, as the regulatory authority for conventional health and safety, proved invaluable.

Nell'area di risposta alle emergenze sia i gestori, sia l'IFSN conducono esercitazioni regolari su scenari di incidente nucleare, cosa che è avvenuta anche nel 2021 seppur colle restrizioni dovute alla pandemia. L'IFSN ha inoltre mantenuto alta l'attenzione sul ritorno di esperienza dall'incidente grave di Fukushima-Daiichi stimolando la discussione in un panel con i partner per la gestione delle emergenze, in special modo i cantoni, nell'ambito della Conferenza sulla protezione della popolazione tenutasi a Davos nel novembre 2021.

In the area of emergency preparedness, both the operators of the nuclear installations and also ENSI regularly carry out exercises concerning nuclear accident scenarios, and these also took place in 2021, albeit with pandemic-induced limitations. In addition, ENSI continued the learning process based on the devastating accident in Fukushima Daiichi, organising a panel discussion with its emergency partners, especially the cantons, in November 2021 as part of the Population Protection Conference in Davos.

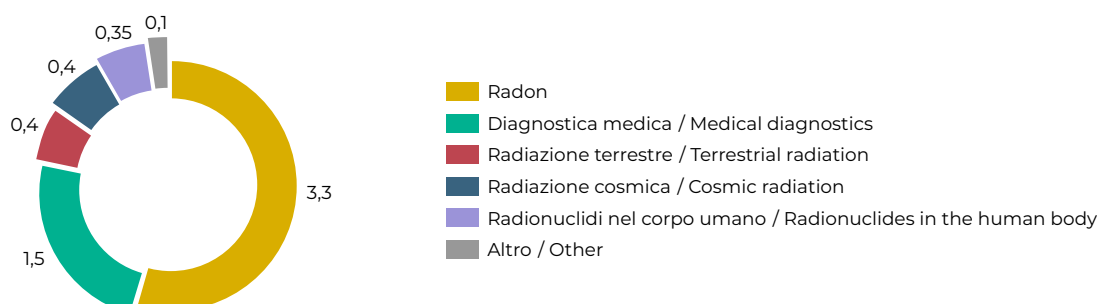
Infine vorrei sottolineare come l'IFSN attui la sua politica di trasparenza cui noi contribuiamo con un rapporto annuale di radioprotezione particolareggiato, oltre che con la pubblicazione online dei risultati delle misurazioni del proprio sistema di monitoraggio ambientale MADUK e la pubblicazione mensile delle emissioni degli impianti nucleari.

Finally, I would like to draw attention to the transparent information policy of ENSI, which we contribute to with a detailed annual report on radiological protection, together with the online connection to the measurement results of ENSI's in-house MADUK environmental monitoring system and the monthly publication of release data from the nuclear installations.

Sperando che il rapporto di radioprotezione 2021 risulti informativo e scorrevole da leggere, vi auguro buona lettura!

I hope you find the Radiological Protection Report 2021 informative and easy to understand, and wish you pleasant reading!

**Dose media annuale / Average annual dose [mSv]**



# Radon am Arbeitsplatz – ein Überblick

*Autor: Dr. Roland Krischek, Strahlenschutzexperte, Suva*

Radon ist ein natürlich vorkommendes, radioaktives Edelgas, das ausgehend von Uran über eine Zerfallsreihe entsteht und selbst weiter zerfällt. Das Spezielle daran ist, dass sich in der Uran-Zerfallsreihe durch den direkten Zerfall des Erdalkalimetalls Radium auf einmal der Aggregatzustand ändert und das Gas Radon entsteht. Dieses Gas kann sich von seinem ursprünglichen Standort lösen und gelangt so von tiefen Erdschichten bis an die Oberfläche. Da Uran in diversen Gesteinen im Boden vorkommt, bildet dieser eine fast unerschöpfliche Ressource an Radon und die Schweiz ist aufgrund der geologischen Gegebenheiten besonders davon betroffen. Dies zeigt sich klar beim Blick auf die durchschnittliche Strahlendosis pro Jahr der Schweizer Bevölkerung. Mit 3,3 von insgesamt rund 6 mSv macht Radon mehr als die Hälfte aus (siehe Abbildung im Vorwort) und zeigt damit klar die Bedeutung von Radon im Strahlenschutz auf.

Radon entfaltet seine Strahlenwirkung auf den Menschen nicht durch die äussere Bestrahlung, sondern beim Einatmen in die Lunge. Interessanterweise ist aber für den überwiegenden Anteil der effektiven Dosis in der Lunge nicht das Radon selbst verantwortlich – denn dieses wird weitgehend wieder ausgeatmet –, sondern die beim Radonzerfall entstehenden Folgeprodukte (Polonium, Bismut und Blei). Die effektive Dosis hängt stark davon ab, wie viele dieser Folgeprodukte sich in der Luft aufhalten und welche Grösse die Luftpartikel haben, an denen die Folgeprodukte anhaften. Diese Alpha-Strahler lagern sich schliesslich in der Lunge ein und schädigen das umliegende Gewebe, was zu Lungenkrebs führen kann. Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) geht davon aus, dass in der Schweiz 200 bis 300 Personen pro Jahr wegen Radon an Lungenkrebs sterben.

Davon betroffen sind auch Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer. In Wohnhäusern misst man eine durchschnittliche Radongaskonzentration von 75 Bq/m<sup>3</sup> und Spitzenwerte von 1000 Bq/m<sup>3</sup> oder mehr sind durchaus möglich. An radonexponierten Arbeitsplätzen kann die Radongaskonzentration aber auf mehrere 10 000 bis 100 000 Bq/m<sup>3</sup> steigen. Aufgrund der Strahlenschutzverordnung gilt

an ständig besetzten Arbeitsplätzen, wie beispielsweise Büros oder Industriearbeitsplätzen, der Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup>. Ist dieser im Jahresmittel überschritten, müssen Massnahmen getroffen werden. Zudem gilt der Schwellenwert von 1000 Bq/m<sup>3</sup> an radonexponierten Arbeitsplätzen. Dies sind insbesondere Arbeitsplätze in unterirdischen Bauten, Bergwerken, Höhlen und Wasserversorgungsanlagen. Weil hier nicht davon ausgegangen werden kann, dass sich eine Person ständig aufhält, wurde dieser höhere Schwellenwert eingeführt. Ist er überschritten, muss die Dosis des Personals aufgrund der Expositionszeit und der Radongaskonzentration im Raum abgeschätzt werden und entsprechende Massnahmen sind einzuleiten. Die Massnahmen am Arbeitsplatz zur Reduktion von Radon lassen sich allgemein mit den folgenden Punkten zusammenfassen: Radonquelle eliminieren, Gebäude oder Raum gegen Radon abdichten, Lüftung mit Frischluft installieren, Arbeitszeiten in diesen Räumen reduzieren.

Die Suva hat in ihrem Aufsichtsbereich in den letzten Jahren bereits mehrere Arbeitsplätze identifiziert, wo hohe Radongaskonzentrationen auftreten. Es handelt sich hier um Arbeitsplätze, die sich vor allem in Bodennähe oder im Untergrund befinden. Besonders betroffen sind beispielsweise Wasserversorgungsanlagen. Die Suva hat in 192 Betrieben an insgesamt 1748 Standorten eine durchschnittliche Radongaskonzentration von rund 6000 Bq/m<sup>3</sup> gemessen. Dies zeigt, wie stark diese Branche von Radon betroffen ist, denn das Radon dringt nicht nur durch den Untergrund in Wasserversorgungsanlagen ein, sondern wird über das Grund- oder Quellwasser direkt dorthin transportiert. Da sich die Aufenthaltszeiten von Personen in diesen Anlagen in den meisten Fällen auf wenige Stunden pro Woche beschränken, sind hohe Dosen aber selten. Messungen von Personendosen haben gezeigt, dass Dosen im Bereich von mehreren Millisievert vorkommen, doch die Schwelle von 10 mSv für beruflich strahlexponiertes Personal bei Radonexposition nur in seltenen Einzelfällen überschritten wird.

Auch betroffen sind Arbeitsplätze im Tunnelbau oder Tunnelbetrieb bzw. -unterhalt. Dort konnten im ungelüfteten Zustand hohe Konzentrationen von einigen 1000 Bq/m<sup>3</sup>

gemessen werden, jedoch verfügt jeder Tunnel sowohl im Bau wie auch im Betrieb über eine gute Lüftung, sodass die Radongaskonzentrationen in der Regel auf wenige 100 Bq/m<sup>3</sup> fallen.

Andere bekannte radonexponierte Standorte sind unterirdische Anlagen des Militärs. Diese sind aber weitgehend identifiziert und entsprechende Massnahmen werden umgesetzt.

Im Rahmen des Aktionsplans Radon 2021–2030 des BAG möchte die Suva in ihrem Aufsichtsbe- reich unter anderem weitere radonexponierte Arbeitsplätze identifizieren. Dafür in Betracht ge-

zogen werden beispielsweise Arbeitsplätze in Weinkellern, Käsefelsenlagern, touristisch genutz- ten Höhlen, Betriebe in ehemaligen unterirdi- schen militärischen Bunkern, Wasserkraftwerken, Bergwerken oder Thermalbädern. Der oder die Arbeitgeber/in ist in der Pflicht, Massnahmen zum Schutz der Arbeitnehmenden vor Unfällen und Berufskrankheiten zu treffen. Das Thema Radon wird aber leider allzu oft unterschätzt und deshalb sensibilisiert und kontrolliert die Suva die betref- fenen Betriebe, um die bestehende Strahlenbe- lastung zu reduzieren.

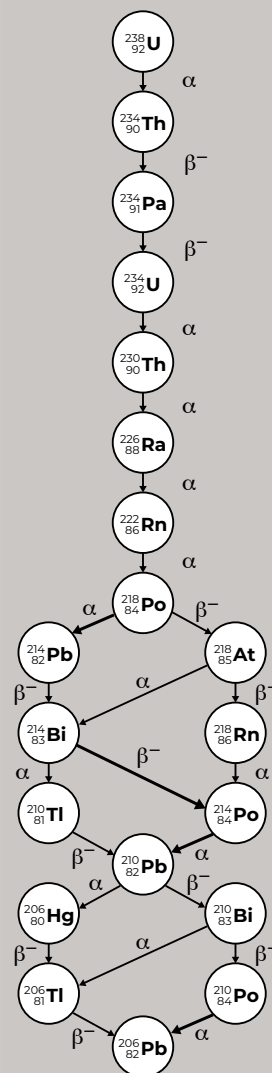
Uran ist ein radioaktives Element und kommt in der Natur zu 99,3% als Isotop <sup>238</sup>U und zu 0,7% als Isotop <sup>235</sup>U vor. Uran wird mit dem Elementsymbol U dargestellt. Während der Atomkern von beiden Isotopen 92 Protonen enthält, unterscheiden sich die Isotope in der Anzahl an Neutronen. Beim Isotop <sup>238</sup>U sind es 146 Neutronen und beim Isotop <sup>235</sup>U sind es 143. Der Gehalt an Uran in der Erdkruste liegt zwischen 2 und 3 ppm (in einer Tonne Gestein sind 2 bis 3 Gramm Uran enthalten). Beim Zerfall von <sup>238</sup>U entsteht ein so genanntes Tochternuklid, welches ebenfalls radioaktiv ist und wieder zu einem Tochternuklid zerfällt. Der Zerfall der Tochternuklide wird als so genannte Zerfallsreihe aufgefasst, die bis zum stabilen Nuklid Blei-206 (abgekürzt <sup>206</sup>Pb) reicht. Beim radioaktiven Zerfall werden ionisierende Teilchen ausgesendet, wie beispielsweise ein Heliumkern (sog. Alpha-Teilchen) oder ein Elektron (sog. Beta-Minus-Teilchen abgekürzt mit β<sup>-</sup>), sowie hochenergetische Photonen (sog. Gamma-Strahlung abgekürzt mit γ). Die Tochternuklide der Zerfallsreihe weisen unterschiedliche Halbwertszeiten auf. Als Halbwertszeit versteht man jene Zeit, in der die Menge eines bestimmten Radionuklids durch Zerfall auf die Hälfte sinkt.

Hält sich eine Person in einem mit Radon belasteten Raum auf, atmet sie das Radon und die in der Luft befindliche Tochternuklide ein. In der Lunge zerfallen diese weiter, wobei vor allem die alpha- strahlenden Tochternuklide zur Strahlenexposition bzw. Dosisbelas- tung beitragen.

Ein besonderes Tochternuklid ist Radon-222 (<sup>222</sup>Rn). <sup>222</sup>Rn ist che- misch ein Edelgas und zerfällt mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen. Aufgrund der chemischen Eigenschaft wird Radon im Boden nicht gebunden und diffundiert bis an die Erdoberfläche.

Es gibt zwei weitere natürliche radioaktive Zerfallsreihen über die Mutternuklide <sup>235</sup>U und <sup>232</sup>Th.

**Uran-Radium-Zerfallsreihe**



## Radon in Kernanlagen

Autor: Sektion «Radiologischer Arbeitsschutz» des ENSI

Während die Suva allgemein die Arbeitsplätze in der Schweiz hinsichtlich der Radonexposition beaufsichtigt, ist das ENSI speziell für die Kernanlagen zuständig. Dabei überprüft es, wie diese die Radonbelastung an Arbeitsplätzen überwachen und die Radonexposition der Mitarbeitenden reduzieren. Hierzu hat das ENSI im Berichtsjahr spezifische Inspektionen durchgeführt und baut seine Expertise auf diesem Fachgebiet mit entsprechender Aus- und Weiterbildung aus.

### Massnahmen zur Reduktion der Radonexposition in Gebäuden

Die im Boden durch den Zerfall von Radionukliden gebildeten Tochternuklide bleiben in der Regel im Gestein gebunden. Allerdings diffundieren gasförmige Tochternuklide und insbesondere Edelgase durch die Gesteinsschichten bis an die Erdoberfläche und können sich in Hohlräumen wie beispielsweise in unterirdischen Kavernen oder in Untergeschossen von Gebäuden anreichern. Durch Radon können in Höhlen oder Brunnenstuben Aktivitätskonzentrationen von bis zu einer Million Bq/m<sup>3</sup> erreicht werden. Hält sich eine Person in einem mit Radon belasteten Raum auf, atmet sie das Radon und die in der Luft befindlichen Tochternuklide ein. In der Lunge gehen die Zerfälle weiter, wobei vor allem die alphastrahlenden Tochternuklide zur Strahlenexposition bzw. Dosisbelastung beitragen.

Eine erhöhte Radonkonzentration in Gebäuden tritt verstärkt auf, wenn die Bodenplatte undicht ist oder wie in älteren Gebäuden komplett fehlt. Gemäss Lehrgang zur Radonfachperson 2021 des Instituts «Nachhaltigkeit und Energie am Bau» der Fachhochschule Nordwestschweiz hängt die Menge des eindringenden Gases von zahlreichen Parametern ab. Dazu gehören:

- die Zusammensetzung des Bodens (Feuchtigkeit, Durchlässigkeit gegenüber Radon);
- die Konzentration des Radons im Boden;
- der Druckunterschied zwischen dem Boden und den Räumen im Gebäude;

- die Dichtheit der Gebäudehülle (Risse, Rohr- und Kabeldurchführungen usw.).

Das Vordringen des Radons von tieferen Stockwerken in die höher gelegenen Räume hängt ebenfalls von einer Reihe von Faktoren ab. Dazu gehören:

- die Belüftung des Gebäudes,
- die Luftzirkulationswege im Gebäude,
- saisonale und meteorologische Bedingungen,
- das Stockwerk und die Grösse des betreffenden Raums.

Die Internationale Strahlenschutzkommission ICRP (International Commission on Radiological Protection) empfiehlt in ihrer Publikation 115 «Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon», dass für Radon in Wohnungen ein maximaler Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup> festgelegt wird. Dieser Wert verursacht eine Jahresdosis von 10 mSv für eine Person, die sich in dem Raum aufhält. Für Arbeitsplätze wurde wegen der angenommenen, kürzeren Aufenthaltszeit der Referenzwert bei 1000 Bq/m<sup>3</sup> festgelegt.

Nachdem die Strahlenexposition durch Radon in den letzten Jahren, insbesondere durch die Totalrevision der Strahlenschutzverordnung und den damit einhergehenden Anforderungen an Ge-



**Bild 1:** Messanordnung eines Radontec-Alpha-Sniffer-Messgeräts zur Radonaktivitätsbestimmung und eines CO<sub>2</sub>-Monitors.

bäude, immer mehr in den Mittelpunkt des öffentlichen Interesses gerückt ist, wurde dieses Thema auch auf die Kernanlagen übertragen.

In den ersten Jahrzehnten des Kernanlagenbetriebsspieleradon nur eine untergeordnete Rolle für den Strahlenschutz. Radon und Radonzerfallsprodukte galten früher eher als Störfaktor bei den radiologischen Kontrollmessungen in Kernanlagen, speziell bei energieunspezifischen Gesamt-Alpha-Kontaminationsmessungen wie z. B. bei der Raumluft-Aktivitätskontaminationsüberwachung, aber auch bei der Dosisleistungsüberwachung im Bereich des natürlichen Untergrunds. Die Konzentrationen der Radonzerfallsprodukte können in Abhängigkeit vom Wetter, von der Lüftungssituation sowie der Bodenbeschaffenheit zeitlich und örtlich stark schwanken, wodurch die Berücksichtigung des natürlichen Untergrunds bei der Überwachung der Immissionen in der Umgebung der Kernanlagen, bei der Befreiungsmessung von Materialien aus der kontrollierten Zone sowie bei Personenkontaminationsmonitoren eine Herausforderung darstellen kann.

Bislang war davon auszugehen, dass sich die Kernanlagen laut der Radonkarte des BAG nicht in radongefährdeten Gebieten befinden. Zudem wurde angenommen, dass sich die Arbeitsplätze in den Kernanlagen in belüfteten Räumen befinden, wie beispielsweise in den Räumen der kontrollierten Zone. Diese künstlich belüfteten Räume sollten kein Problem bezüglich erhöhter Radonkonzentrationen darstellen. Eine Ausnahme stellen die von den künstlich belüfteten Räumen abgetrennten, geschlossenen Bereiche, wie z. B. die Schachtanlagen der Notstandsbrunnen, dar. Aufgrund der sehr seltenen Arbeiten in diesen Bereichen sowie der Tatsache, dass diese Bereiche im Fall einer Öffnung für Instandhaltungsarbeiten durch die benachbarten Räume ebenfalls künstlich belüftet sind, wurde dieser Ausnahme bislang kein gesondertes Augenmerk geschenkt.

Aus dem Aktionsplan Radon des BAG ist nun aber bekannt, dass selbst in Gegenden mit geringen Uran-Konzentrationen im Untergrund das Radon potenziell zu einer nicht unerheblichen Strahlenexposition (Personendosis) führen kann. Das ENSI hat das Thema im Berichtsjahr aufgegriffen und,

gestützt auf einschlägige gesetzliche Grundlagen, seine Aufsicht darüber im Rahmen einer Schwerpunktsinspektion durchgeführt.

## Gesetzliche Vorgaben

Der Gesetzgeber hat die Gefahr von Radon auf die Gesundheit der Menschen erkannt. Die am 1. Januar 2018 in Kraft getretene Strahlenschutzverordnung legt fest, dass unabhängig vom Ort Betriebe mit potenziell radonexponierten Arbeitsplätzen Messungen an diesen Arbeitsplätzen durch eine anerkannte Radonmessstelle veranlassen müssen. Zu den Betrieben mit potenziell radonexponierten Arbeitsplätzen zählen gemäss Strahlenschutzverordnung beispielsweise Wasserversorgungsanlagen. Im Fall, dass die gemittelten Messwerte oberhalb eines Schwellenwerts von  $1000 \text{ Bq/m}^3$  liegen, ist die jährlich durch Radon verursachte effektive Dosis für exponierte Personen zu ermitteln. Liegt diese Dosis über  $10 \text{ mSv}$  pro Person und Kalenderjahr, ist eine Reduktion mittels organisatorischer oder technischer Massnahmen zu veranlassen.

## Schwerpunktspektionen

Da das ENSI für den Vollzug von Massnahmen gegen Radonexpositionen in Kernanlagen zuständig ist, untersuchte es im Berichtsjahr anlässlich von Schwerpunktspektionen u. a. den radiologischen Zustand bezüglich Radon bei den Grundwasserfassungen in den Kernkraftwerken Beznau (KKB), Gösgen (KKG) und Leibstadt (KKL): Das sich im Rückbau befindende Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) wurde von der Untersuchung ausgenommen, da es über keine Grundwasserfassung verfügt. Dabei wurden auch die von den Werken getroffenen Massnahmen geprüft, wie beispielsweise die Überwachungsmassnahmen sowie die gegebenenfalls ergriffenen Massnahmen zur Reduktion der Strahlenexposition.

## Ergebnisse der Schwerpunktspektionen

Das ENSI stellte anlässlich der Schwerpunktspektionen im KKB, KKG und KKL im Bereich der Brunnen für die Grundwasserfassungen sehr unterschiedliche Situationen fest.

Die ENSI-eigenen Messungen im KKG ergaben für Radon niedrige Werte im Bereich von  $20 \text{ Bq/m}^3$ .

Auch wenn eine systematische Analyse durch den Betreiber aussteht, ist ein radonexponierter Arbeitsplatz nicht zu erwarten. In Beznau zeigten Messungen des ENSI einen Wert nahe des Schwellenwerts  $1000 \text{ Bq/m}^3$ . Weitere Untersuchungen des Werkes werden im Jahr 2022 die radiologische Lage genauer erfassen. Von beiden Kernkraftwerken (KKW) wurde ein Konzept gefordert, worin ein Radonscreening der möglicherweise radonbelasteten Anlagebereiche und allfällige Schutz- und Optimierungsmassnahmen dargelegt werden.

Das KKL hatte eine Radonfachperson für die Screening-Messungen zugezogen. Die festgestellten Messwerte lagen ausnahmslos unterhalb des Schwellenwertes. Obwohl in diesem Fall die Strahlenschutzverordnung keine weiteren Massnahmen verlangt, hat das Strahlenschutzpersonal durch vorzeitiges Öffnen der Schachtdeckel zu den Grundwasserfassungen vor Arbeitsbeginn für eine weitere Reduktion der Radonkonzentrationen gesorgt. Für das KKL sieht das ENSI keinen weiteren Handlungsbedarf.

### Weitere Erfahrungen in den anderen Kernanlagen

Am Paul Scherrer Institut (PSI) stellte man vor einigen Jahren in der Reaktorhalle der SAPHIR-Anlage während des Rückbaus eine erhöhte Radonkonzentration in der Luft fest. Als Ursache wurde

ein durch Stilllegungsarbeiten bedingter Bypass der Zuluft durch den Untergrund des SAPHIR-Gebäudes identifiziert. Durch Rückbauarbeiten war die früher dichte Gebäudebetonwanne an mehreren Stellen durchbrochen worden, wodurch die durch den Unterdruck in der kontrollierten Zone angezogene Bodenluft einen Zugang aus dem kieshaltigen Untergrund in das Gebäude fand. Im Jahr 2019 wurde vom PSI während des ganzen Jahres eine kontinuierliche Radonmessung durchgeführt. Die durchschnittliche Radon-Luftkonzentration von ca.  $500 \text{ Bq/m}^3$  konnte durch verschiedene Massnahmen, z. B. die Minimierung des Unterdrucks und die Ansaugung der Zuluft auf ca. 2,5m Höhe über dem Bodenniveau statt ca. 0,5m Höhe, auf einen Wert von ca.  $100 \text{ Bq/m}^3$  abgesenkt werden. Dadurch wird in situ das Freimessen der tragenden Gebäudestruktur ermöglicht.

Welchen Einfluss das natürlich vorkommende Radon auf die Strahlenexposition des Personals haben kann, wurde beim Rückbau des Reaktors der Universität Basel eindrücklich veranschaulicht. Die Strahlenexposition durch künstliche Radioaktivität, in diesem Fall Aktivierungsprodukte in den Reaktoreinbauten, war sehr niedrig und praktisch vernachlässigbar. Die Kollektivdosis aufgrund von Direktstrahlung aus den Aktivierungsprodukten belief sich auf  $0,044 \text{ Pers.-mSv}$



**Bild 2:**  
Radon-Screening-Messung bei einer Grundwasserfassung in einem KKW.

für acht Mitarbeitende, die maximale Individualdosis lag bei 0,006 mSv. Die durch Radon über die gesamte Stilllegung akkumulierte Kollektivdosis betrug 16,66 Pers.-mSv, die maximale Individualdosis 3,64 mSv.



# Strahlenschutz in den Kernanlagen

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



## Vorwort der Leitung der Sektion «Radiologischer Arbeitsschutz»

Das Berichtsjahr stand abermals im Zeichen der Covid-19-Pandemie. Die in den Kernanlagen laufend angepassten hygienischen Schutzmassnahmen lagen im Fokus der Aufsichtstätigkeit der Sektion «Radiologischer Arbeitsschutz». Die Massnahmen waren stets auf die strahlenschutztechnischen Anforderungen abgestimmt. Gesamthaft führten die getroffenen hygienischen Schutzmassnahmen zu einer Stärkung des persönlichen Arbeits- und Strahlenschutzes; so senkte das konsequente Tragen einer Hygiene- oder Filtermaske auch das Risiko einer Inkorporation von radioaktiven Partikeln.

Des Weiteren stellten die internationalen Reise-restriktionen eine Herausforderung für den Einsatz von qualifiziertem Strahlenschutzpersonal aus dem Ausland während der Revisionen dar. Dank einer detaillierten Planung der Kernanlagenbetreiber konnten alle Arbeiten mit der erforderlichen Überwachung des Strahlenschutzes bewerkstelligt werden. Die verstärkte Rückbautätigkeit von KKW in Deutschland sorgt weiterhin für eine angespannte Marktlage bei der Akquise von qualifiziertem Fremdpersonal im Strahlenschutz. Verschärfend wirkte sich der hohe Bedarf an Strahlenschutzpersonal zur Überwachung der Jahreshauptrevision (JHR) im KKL im Zusammenhang mit dem Projekt zum Austausch der Umwälzschleifen und der Primärumschleifen aus. Vor diesem Hintergrund konzipierte die Gruppe der schweizerischen Kernkraftwerksleiter (GSKL) einen Aus- und Fortbildungskurs für ausländisches Strahlenschutzpersonal. Dieser vom ENSI im Berichtsjahr anerkannte Kurs wurde erfolgreich durchgeführt. Das ENSI stellte im Rahmen seiner Inspektionstätigkeit fest, dass in allen KKW die strahlenschutzrelevanten Arbeiten stets durch genügend und fachkundiges Strahlenschutzpersonal überwacht wurden.

Die strahlenschutztechnisch anspruchsvolle JHR im KKL wurde vom ENSI besonders eng begleitet. Die vom Betreiber getroffenen Schutzmassnahmen stellten sich als effektiv heraus und die vorgängig zur JHR beim ENSI eingereichten Strahlenschutzplanungen zeugten von einer umsichtigen Herangehensweise.

Der Rückbau des KKM und der Versuchs- und Verbrennungsanlage des PSI ist im Berichtsjahr vorangetrieben worden. Die Aspekte des Strahlenschutzes wurden vom ENSI eng begleitet. Die Verzahnung von Anforderungen des konventionellen Arbeitsschutzes mit jenen des Strahlenschutzes standen dabei im Zentrum.

Ein Highlight stellt die neue Richtlinie ENSI-G12 zum anlageninternen Strahlenschutz dar. Die Richtlinie trat am 1. November 2021 in Kraft und regelt alle Massnahmen, die für den Strahlenschutz innerhalb einer Kernanlage nach dem Stand von Wissenschaft und Technik ergriffen werden müssen.



Giuseppe Testa

# 1. Grundlagen «Anlagen-interner Strahlenschutz»

## 1.1 Allgemeines

In den Anlagen wird grundsätzlich das ganze Betriebsjahr hindurch auf einen modernen und situationsgerechten Strahlenschutz geachtet. Auch die von den Betreibern ergriffenen Massnahmen zum Schutz vor einer Covid-19-Ansteckung konnten mit den Strahlenschutzanforderungen in Einklang gebracht werden. Hierbei hat sich die jahrzehntelange Erfahrung mit der Vermeidung von radiologischen Kontaminationen und der Eindämmung von Aerosolen ausgezahlt.

Um auf dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik zu bleiben, absolviert das Strahlenschutzpersonal der Kernanlagen regelmässig Fort- und Weiterbildungen.

In diesem Zusammenhang führte das Bildungszentrum des PSI sein Aus- und Weiterbildungsangebot fort. Des Weiteren beantragte das KKL im Auftrag der GSKL einen Aus- und Fortbildungskurs für Strahlenschutzfachkräfte, welche eine Prüfung im Strahlenschutz vor der Industrie-

und Handelskammer Aachen erfolgreich abgelegt haben. Dieser Kurs wurde im Berichtsjahr vom ENSI anerkannt. Damit wurde ein wichtiger Beitrag zum Aufbau des Nachwuchses im Strahlenschutz geleistet.

Trotz der Pandemiesituation haben die noch in Betrieb stehenden KKW jeweils eine Revision oder einen Brennelementwechsel im Jahr 2021 durchgeführt. Dabei wurden alle gesetzlich vorgeschriebenen Arbeiten erwartungsgemäss erledigt. Beispielweise führte das KKL während seiner JHR den Austausch der Umwälzschleifen und der Primär-umwälzpumpen erfolgreich durch. Die Kollektivdosen für das KKL fielen entsprechend hoch aus.

Im Berichtsjahr richtete das ENSI sein Augenmerk auf mögliche radonexponierte Arbeitsplätze im KKB, KKG und KKL. Grundsätzlich sollte Radon zu keiner nennenswerten Strahlenexposition führen, da die Lüftungsanlagen in den Betriebsräumen für einen mehr als ausreichenden Luftwechsel sorgen. Jedoch können Brunnenöffnungen für die Grundwasserfassung bekanntermassen eine Radonquelle darstellen. Deshalb wurden die Anlagenräume der Brunnenöffnungen inspiziert. Das Radonscreening wird im Jahr 2022, wo erforderlich, fortgesetzt. Das KKM verfügt über keine Brunnenöffnung für die Grundwasserfassung.

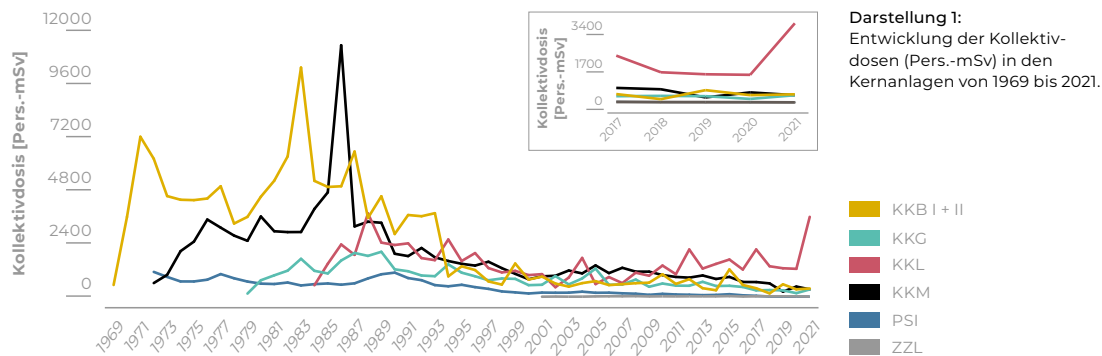
**Bild 3: Radon-Screeningmessung bei der Brunnenöffnung für die Grundwasserfassung im KKB.**



## 1.2 Grundlagen der Dosimetrie

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

## Jahreskollektivdosen 1969 bis 2021



nung an das zentrale Dosisregister beim BAG weiterzuleiten (vgl. Darstellung 1).

Die Strahlenschutzverordnung schreibt vor, dass die maximale Exposition jeder beruflich strahlenexponierten Person 20 mSv pro Kalenderjahr nicht überschreiten darf. In der Richtlinie ENSI-B03 «Meldungen der Kernanlagen» ist festgelegt, dass für geplante Stillstände oder Arbeiten mit einer erwarteten Jobdosis von über 50 Pers.-mSv die ausgearbeiteten Planungen der Aufsichtsbehörde vorgängig vorgelegt werden müssen. Das ENSI prüft die Strahlenschutzplanungen und nimmt bei Bedarf mit den Betreibern Kontakt auf. Durch die Planungen und deren Kontrolle wird der in der Strahlenschutzverordnung verlangten Optimierung der radiologischen Schutzmassnahmen Rechnung getragen.

In der Richtlinie ENSI-G15 «Strahlenschutzziele für Kernanlagen» ist für die jährliche Kollektivdosis einer Anlageneinheit (Block) ein Zielwert von maximal 1500 Pers.-mSv festgelegt. Bei einer Überschreitung dieses Werts bespricht das ENSI die Planung und Optimierungsmassnahmen mit dem Betreiber.

Zur Ermittlung der Dosen und zum Nachweis der Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben betreibt jedes 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 für radioaktive Abfälle in Würenlingen (ZZL) übernimmt die Personendosimetriestelle des KKB diese Aufgaben. Die an der Ecole Polytechnique

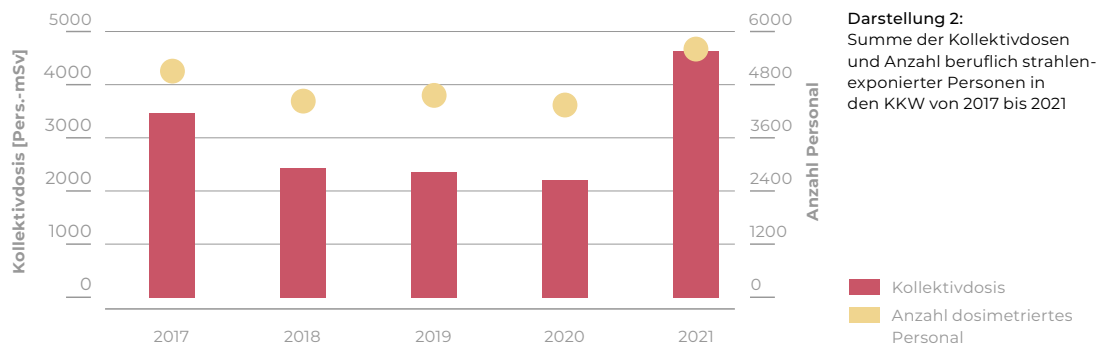
Fédérale de Lausanne (EPFL) verwendeten Dosimeter werden vom Institut de radiophysique (IRA) ausgewertet. Die Neutronendosimeter werden für alle Anlagen von der Dosimetriestelle des PSI zur Verfügung gestellt und ausgewertet.

## 1.3 Dosimetrierung von Personal

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

Es kommt vor, dass Eigenpersonal aus dem Überwachungsbereich einer Personendosimetriestelle vorübergehend in den Überwachungsbereich einer anderen Personendosimetriestelle wechselt und dort als Fremdpersonal geführt wird. Durch die Regelungen in der Richtlinie ENSI-B09 «Ermittlung und Aufzeichnung der Dosen strahlenexponierter Personen» werden die akkumulierten Dosen dieser zwischen den Kernanlagen wechselnden Personen einerseits als Eigenpersonal-Dosen der einen Anlage und andererseits als Fremdpersonal-Dosen einer anderen Anlage gemeldet. Da in diesen Fällen beide Dosimetriestellen dieselben Dosen melden, führt dies zu einer doppelten Verbuchung. Anhand der individuellen Dosismeldungen werden solche Doppelverbuchungen vom ENSI für die Informationen in seinem Strahlenschutzbericht bereinigt. Dadurch und durch die im Kapitel 1.5 erwähnten Rundun-

### Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal der KKW von 2017 bis 2021



gen können sich in den nachfolgenden Tabellen, beispielsweise in Summenbildungen, numerische Unterschiede zu den Rohdaten der Personendosimetriestellen ergeben.

Für das Jahr 2021 haben die fünf vom ENSI anerkannten Personendosimetriestellen (KKB, KKG, KKL, KKM, PSI) insgesamt 6199 beruflich strahlenexponierte Personen mit einer Kollektivdosis von 4639 Pers.-mSv gemeldet (Mehrfachbuchungen bereinigt, vgl. Darstellung 2). Diese Werte schliessen die Meldungen des IRA für das beruflich strahlenexponierte Personal der EPFL ein. Die Meldungen der Dosimetriestelle des PSI an das ENSI umfassen seit 2018 nur Dosen von Anlagen aus dem Aufsichtsbereich des ENSI. Die vom PSI für alle Anlagen der Schweiz zur Verfügung gestellten und ausgewerteten Neutronen-Dosimeter des Typs PADC werden im Aufsichtsbereich des ENSI von den einzelnen Personendosimetriestellen der Kernanlagen abgegeben und die Resultate ebendort entsprechend verbucht.

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

## 1.4 Ausbildung im Strahlenschutz

Das ENSI übt gestützt auf die Strahlenschutz-Ausbildungsverordnung die Aufsicht auch im Bereich der Aus- und Fortbildung im Strahlenschutz aus. Hierzu zählt u. a. die Anerkennung von Kursen für das Strahlenschutzpersonal, welches in den Kernanlagen eingesetzt wird.

Zur Übernahme von Strahlenschutzaufgaben gegenüber dem in der kontrollierten Zone tätigen Personal werden in den schweizerischen Kernanlagen Techniker/innen und Fachkräfte mit einer anerkannten Strahlenschutz Ausbildung eingesetzt. Während der Revisionsabstellungen sind in einem Kernkraftwerk zum Schutz des Personals bis zu hundert Strahlenschutzfachleute erforderlich. Für die Anerkennung der Ausbildung wird u. a. die Teilnahme an einem anerkannten Kurs von mehreren Wochen Dauer vorausgesetzt.



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

## **Anerkennung eines Zusatzkurses für Strahlenschutz-Fachkräfte**

Im Berichtsjahr wurde erstmals ein von der GSKL entwickelter Strahlenschutzkurs durch das ENSI anerkannt, wodurch die Aus- und Fortbildung für anerkanntes Strahlenschutzpersonal in Kernanlagen nicht mehr alleine in der Verantwortung des PSI ist.

Dieser anerkannte Kurs stellt ein Zusatzlehrgang für Strahlenschutzfachkräfte dar, welche eine Prüfung im Strahlenschutz vor der Industrie- und Handelskammer (IHK) Aachen erfolgreich abgelegt haben. Aufgrund dieser IHK-Prüfung, welche mündliche, schriftliche und praktische Anteile umfasst, sowie aufgrund der für die Zulassung zur Prüfung geforderten Voraussetzungen bezüglich Praktika und Berufserfahrung besitzen die IHK-Fachkräfte Kenntnisse und Fähigkeiten, die einen Grossteil der Anforderungen an die Anerkennung als Strahlenschutzfachkraft nach der schweizerischen Strahlenschutz-Ausbildungsverordnung erfüllen. Mittels des von der GSKL erstellten Zusatzkurses sollen den IHK-Fachkräften die fehlenden Kenntnisse über die spezifisch schweizerischen Vorgaben der Strahlenschutzgesetzgebung vermittelt werden, sodass sie mit dem erfolgreichen Ablegen der schriftlichen Prüfung als Schweizer Strahlenschutzfachkräfte mit eingeschränktem Einsatzbereich anerkannt werden können. Der Einsatzbereich dieser Strahlenschutzfachkräfte ist auf die Kernkraftwerke beschränkt; Tätigkeiten an Beschleunigeranlagen sowie an Röntgenanlagen sind damit nicht erlaubt.

Das ENSI beurteilte die Kursunterlagen sowie die Prüfungsfragen und attestierte der GSKL, dass die Anforderungen an solch einen Zusatzkurs erfüllt sind und erteilte die Kursanerkennung. Durch den Einsatz mehrerer sehr erfahrener Strahlenschutz-Sachverständiger aus den GSKL-Betrieben und dem ZZL als Dozenten sind die Lektionen fachtechnisch auf hohem Niveau sowie ausserordentlich praxisnah. Der Kurs wurde zusätzlich als Fortbildungskurs für Strahlenschutzfachleute mit schweizerischer Anerkennung anerkannt.

Im Berichtsjahr wurde der vom ENSI anerkannte Zusatzkurs dreimal im KKL sowie einmal im KKM durchgeführt, wobei 61 Personen diesen Kurs er-

folgreich absolvierten. 45 Personen haben mit der Teilnahmebescheinigung die Anerkennung als Strahlenschutzfachkraft gemäss schweizerischer Strahlenschutzverordnung erhalten. Drei Teilnehmer erfüllten die Voraussetzungen für die Anerkennung nicht. Ferner haben 13 anerkannte Strahlenschutzfachleute den Kurs als Fortbildung genutzt.

## **Aus- und Fortbildung am Bildungszentrum des Paul Scherrer Instituts**

Das PSI bietet eine Reihe vom ENSI anerkannter Ausbildungs- und Zusatzkurse für Strahlenschutzsachverständige, für Strahlenschutztechniker sowie für Strahlenschutzfachkräfte.

Das PSI meldete im Berichtsjahr die Änderung der Kursleitung und deren Stellvertretung für die Strahlenschutz-Ausbildungskurse K871 und K872 für die Berufsgruppen I16 respektive I17 im Bereich Transport gemäss Strahlenschutz-Ausbildungsverordnung. Das ENSI bestätigte die weitere Anerkennung dieser Kurse.

Der Kurs für die Strahlenschutzsachverständigen umfasst fünf Wochen mit 180 Einzellektionen, Übungen und einer schriftlichen Prüfung. 70% der Lektionen werden in Kombination mit dem Technikerkurs erteilt. Den Sachverständigen-Kurs schlossen fünf Mitarbeitende von schweizerischen KKW, zwei des PSI sowie eine Mitarbeiterin des ENSI erfolgreich ab.

Der Techniker-Kurs umfasst insgesamt zwölf Wochen Unterricht, Praktika, die Prüfungsvorbereitung, schriftliche und mündliche Prüfungen sowie die Erstellung und Präsentation einer Projektarbeit. Im Berichtsjahr absolvierten fünf Personen diesen Kurs erfolgreich. Drei stammten aus schweizerischen KKW, eine aus dem PSI. Eine weitere Person nahm als Privatperson teil.

Der Fachkraft-Ausbildungskurs umfasst insgesamt 16 Wochen Unterricht, Übungen, Praktika, Prüfungsvorbereitung, eine mündliche, eine praktische sowie mehrere schriftliche Prüfungen. Im Berichtsjahr haben 14 Personen diesen Kurs erfolgreich absolviert: fünf Personen stammten aus schweizerischen KKW, eine vom PSI, eine vom ZZL

und sieben Personen von schweizerischen und deutschen Dienstleistungsunternehmen.

Zusätzlich wurden zwei Zusatz-Ausbildungsmodule für Strahlenschutzfachkräfte mit IHK-Zertifikat der Industrie- und Handelskammer Aachen durchgeführt. Dieser Lehrgang umfasst insgesamt zwei Wochen Unterricht. Im Berichtsjahr absolvierten fünf Personen von Dienstleistungsfirmen diese Ausbildung erfolgreich.

Das ENSI beurteilte die Qualität des Unterrichts der oben genannten Kurse stichprobenweise, beaufsichtigte die Prüfungen und attestierte der Schule, dass das Niveau der Lehrveranstaltungen die Anforderungen erfüllt. Eine Bewertung des Erfahrungsrückflusses durch eine Fachkommission steht noch aus. Durch den Einsatz mehrerer externer und interner Dozenten konnte der Lehrstoff praxisnah vermittelt werden.

Des Weiteren führte das Bildungszentrum drei anerkannte Fortbildungskurse für Strahlenschutz-Technikerinnen und -Techniker sowie -Fachkräfte durch, die von 48 Teilnehmerinnen und Teilnehmer besucht wurden.

Insgesamt führte das Bildungszentrum 25 Aus- und Fortbildungskurse für die schweizerischen Kernanlagen durch, an denen insgesamt 314 Personen teilnahmen. An neun Kursen mit Bezug zu Transporten radioaktiver Gefahrgüter nahmen insgesamt 78 Personen teil.

## 1.5 Grundlagen für den Strahlenschutzbericht

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

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

Bei der Auswertung der Daten richtet sich das ENSI nach der «Empfehlung zur Rundung der Dosiswerte der anerkannten Personendosimetrieinstellen für die Meldung an die Kunden und

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

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

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

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

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

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

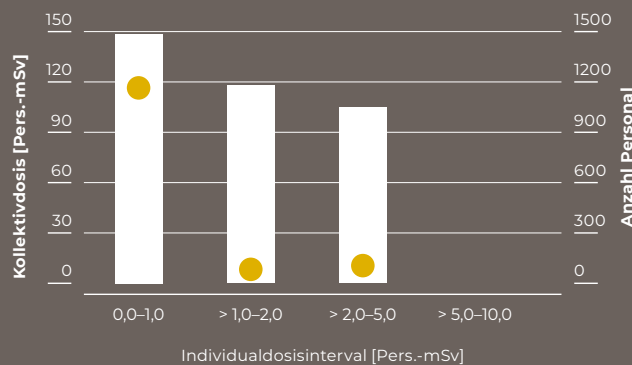
In den nachstehenden Kapiteln werden die Resultate der Auswertungen des ENSI dargestellt. Die Meldungen der Kollektivdosen erfolgen nach Vorgabe aus der Richtlinie ENSI-B09 «Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen».

# 2. Kernkraftwerke

## 2.1 Kernkraftwerk Beznau, Block 1 und 2



Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im KKB



■ Kollektivdosis    ■ Anzahl dosimetriertes Personal

Verhältnis der Kollektivdosen «Leistungsbetrieb gegenüber Stillstand»



■ Leistungsbetrieb    ■ Stillstand

### Zusammenfassung

Insgesamt verlief das Betriebsjahr 2021 im Strahlenschutz erfolgreich. Der Brennelementwechsel im Block 1 und die Revisionsabstellung im Block 2 verliefen planmässig, auch wenn pandemiebedingt punktuell zusätzliche Schutzmassnahmen umzusetzen waren. Im Berichtsjahr wurde ein radiologisch relevantes Ereignis in den beiden Blöcken festgestellt. Die Inspektionen des ENSI zeigten, dass der KKB-Strahlenschutz seine Überwachungs- und Schutzmassnahmen erfolgreich wahrgenommen hatte.



## Allgemein

In den beiden Blöcken des KKB wurde im Berichtsjahr ein radiologisch relevantes Ereignis festgestellt. Das Betriebsjahr war für das KKB aus Sicht des Strahlenschutzes trotzdem erfolgreich. Die Kollektivdosen für das eingesetzte Personal waren vergleichbar mit den Vorjahren. Für den Leistungsbetrieb beträgt diese 42,1 Pers.-mSv für den Block 1 und 34,7 Pers.-mSv für den Block 2.

## Brennelementwechsel im Block 1

Der Brennelementwechsel (BW) dauerte vom 11. Mai bis zum 25. Mai (insgesamt 14 Tage). Die BW-Arbeiten führten zu einer Kollektivdosis von 51 Pers.-mSv, welche im Vergleich mit der Plandosis von 66 Pers.-mSv um rund 22% tiefer lag. Die höchste Individualdosis für das Eigenpersonal betrug 1,9 mSv und für das Fremdpersonal 1,5 mSv.

Das KKB registrierte für einzelne Jobdosen im Vergleich mit den Dosisplanwerten gewisse Abweichungen nach unten, die auf die guten radiologischen Werte des Beckenwassers, die optimierte Ausführung der Arbeiten sowie eine saubere Anlage zurückzuführen sind. Für die Reinigung der Reaktorgrube sowie des Transferkanals fiel die akkumulierte Kollektivdosis aber etwa 17% höher als geplant aus. Grund war, dass mehr Arbeitsstunden als geplant benötigt wurden.

**Bild 5: In der Reaktorgrube (Zone-IV) werden mit Schutzanzügen Arbeiten an den RDB-Deckel-Bolzen ausgeführt.**



Das radiologische Zonenkonzept hat zum Zweck, Kontaminationsverschleppungen an Oberflächen und in der Luft in der Anlage sowie Personenkontaminationen und Inkorporationen zu minimieren, indem die kontrollierte Zone einer Kernanlage in die Zonentypen 0, I, II, III oder IV eingeteilt wird. Das Konzept soll auch eine Verschleppung von radioaktiven Partikeln nach aussen verhindern. Im Zonentyp 0 wird keine lose Kontamination erwartet und im Zonentyp IV ist die höchste Kontamination zu finden. Die Vorgaben des Zonenkonzepts werden eingehalten, indem eine geeignete Zoneninfrastruktur (z.B. physische Absperrungen, Absaugvorrichtungen oder Zelte) aufgebaut wird. Zusätzlich muss das Personal persönliches Schutzmaterial verwenden, wie z.B. extra Handschuhe, Schuhüberzüge, Schutzmasken mit Filtern oder auch fremdbelüftete Schutzanzüge.

Bezüglich Dosisleistungen an ausgewählten Komponenten in der Anlage wurden für die Hot-Legs A und B Anstiege von ca. 4% bzw. 5% festgestellt. Für die Closure-Legs A und B nahmen die Ortsdosisleistungen um rund 13% bzw. 19% zu. Am neuen Deckel des Reaktordruckbehälters (RDB) wurde im Vergleich mit dem Vorjahr ein Anstieg der Ortsdosisleistung von ca. 4% festgestellt, aber der Anstieg ist im Vergleich zu den Jahren davor geringer ausgefallen. Für die beiden Dampferzeuger wurden keine entsprechenden Veränderungen festgestellt.

Es traten keine unerwarteten Luftkontaminationen auf. Eine gewisse temporär erhöhte Raumluftaktivität wurde aber im Zusammenhang mit dem Abheben des RDB-Deckels sowie während der Cavity-Grobreinigung festgestellt. Diese Arbeiten wurden im Zonentyp IV mit der entsprechenden persönlichen Schutzausrüstung durchgeführt.

Zum Thema Oberflächenkontaminationen in der Anlage wurden ebenfalls keine unerwarteten Anstiege der Messwerte festgestellt.

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

Das in der Zone IV gemessene Verhältnis von Beta/Gamma zu Alpha der Luftaktivität wurde bestimmt und betrug 2129 zu 1.

## Revisionsabstellung im Block 2

Der Block 2 wurde am 6. August 2021 für den Revisionsstillstand abgestellt. Das Wiederanfahren ist am 13. September erfolgt. Während dieser 37 Tage wurde eine Kollektivdosis von 243 Pers.-mSv akkumuliert. Der Planwert von ca. 266 Pers.-mSv wurde um rund 9% unterschritten. Die Dosisabweichungen können grundsätzlich mit drei nicht durchgeführten Arbeiten sowie mit einer auf die nächste Revisionsabstellung des Blocks 2 verschobenen Arbeit begründet werden.

Die höchste Individualdosis betrug für das Eigenpersonal 2,7 mSv und für das Fremdpersonal 3,0 mSv.

An den Closure-Legs A und B sind die Dosisleistungen im Vergleich mit dem Vorjahr um ca. 11% beziehungsweise 5,5% gestiegen. Die Dosisleistung am RDB-Deckel sank für die gleiche Zeitperiode

um ca. 5,5% auf 14,3 mSv/h. Die Dosisleistungen an den Hot-Legs A und B nahmen um 1,5% bzw. 1% zu. Es war eine gewisse Reduktion der Dosisleistungen an den Dampferzeugern A und B, mit 2,3% bzw. 3,1%, zu verzeichnen.

Mit einem Abschirmkonzept für die Revisionsabstellung wurde sichergestellt, dass Ortsdosisleistungen an ausgewählten Orten arbeitsbedingt temporär reduziert wurden. Für diese Massnahmen wurden rund 42,2 Tonnen Bleimatten und -bleche sowie in einem Fall ein Wasserstopfen eingesetzt.

Als Vorbereitung für die Dampferzeugerarbeiten wurde an einem inaktiven Mock-Up mit und ohne die vorgesehene persönliche Schutzausrüstung geübt. Die Einsatzzeiten konnten dank diesem Training auf rund einen Drittel reduziert werden. Dies bedeutete auch eine entsprechende Reduktion der Individualdosen.

Für die Überwachung von Oberflächen- und Luftkontaminationen wurden permanent installierte sowie mobile Messgeräte an ausgewählten Orten, wie z. B. Brennelementlager, im Primärcontainment oder auch im Hauptschleusenvorraum installiert bzw. arbeitsbedingt in Betrieb genommen.



**Bild 6:** Temporärer Zonenübergang und -bereich für Dampferarbeiten mit der entsprechenden Infrastruktur. Jenseits des roten Zonenbretts ist ein Zonentyp IV eingerichtet, welcher erhöhte Anforderungen an die persönliche Schutzausrüstung bedingt.

Die Anlage war während des Stillstands radiologisch sauber. Während der Arbeiten zum Abheben des RDB-Deckels, der Cavity-Grobreinigung sowie der Dampferzeugerinspektionen wurden temporär erhöhte Raumluftaktivitäten festgestellt. Alle diese Arbeiten wurden im Zonentyp IV mit der entsprechenden persönlichen Schutzausrüstung sowie Absaugungsinstallationen durchgeführt. Es sind mit nur wenigen Ausnahmen, bei denen die Kontaminationen sofort beseitigt wurden, keine unerwartet erhöhten Oberflächenkontaminationen aufgetreten. Es gab keine Inkorporationen oder nicht mit einfachen Mitteln entfernbare Personenkontaminationen.

Das von Arbeiten und Arbeitsorten abhängige und gemessene Verhältnis von Beta/Gamma zu Alpha wurde von 75 bis 12000 zu 1 bestimmt.

### Weitere Stillstände

Es gab keine weiteren Stillstände.

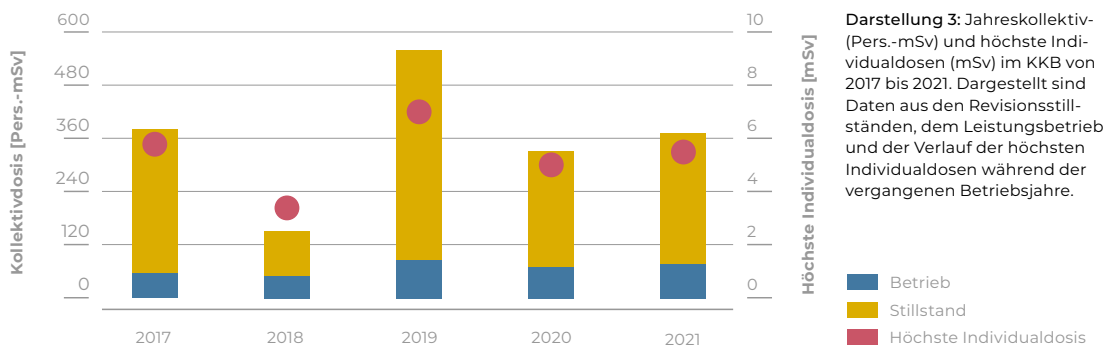
### Dosimetrie

Während des Berichtsjahres kamen im KKB 1282 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz. Die Kollektivdosis während der Berichtsperiode betrug 371,2 Pers.-mSv und lag damit deutlich unterhalb des in der Richtlinie ENSI-G15 festgelegten Strahlenschutzziels für Kernanlagen von 1500 Pers.-mSv. Die Ist-Kollektivdosis stimmte mit dem Planwert von 397 Pers.-mSv gut überein. Die Verteilung der Kollektivdosen stellte sich folgendermassen dar:

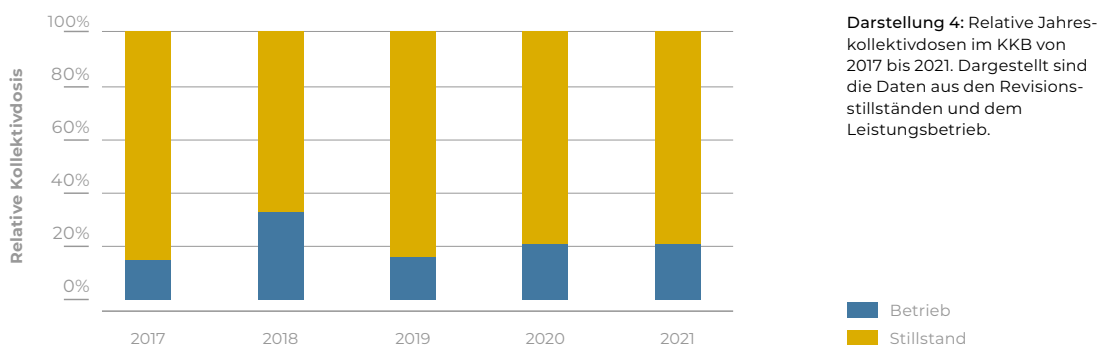
KKB	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
Revisionsabstellung	243
Brennelementwechsel	51
Leistungsbetrieb	77
Weitere Stillstände	-
Gesamte Jahreskollektivdosis	371

Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2021 betrug 5,5 mSv und lag damit deutlich unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv.

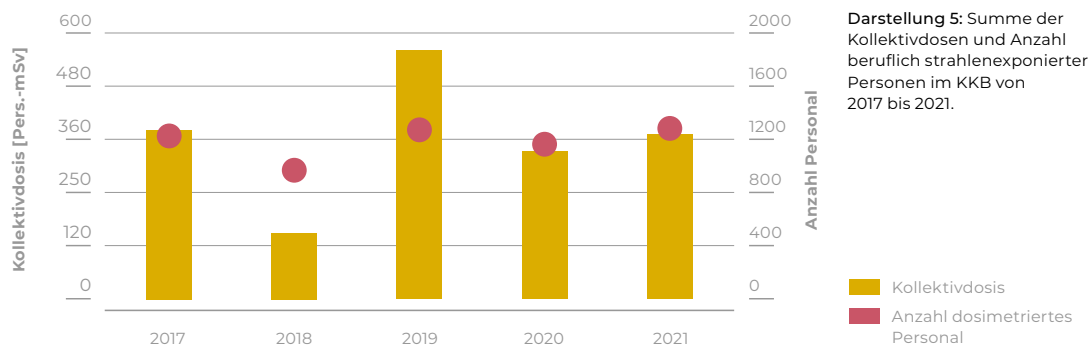
**Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im KKB von 2017 bis 2021**



**Kollektivdosisverteilung zwischen Betrieb und Stillstand des KKB von 2017 bis 2021**



### Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des KKB von 2017 bis 2021



Es wurden während der ganzen Berichtsperiode keine Personenkontaminationen festgestellt, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten. Im Jahr 2021 hat das KKB an 1028 Personen (460 Eigen- und 568 Fremdpersonal) Triagemessungen durchgeführt und dabei keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle detektiert.

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

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper*	Haut	Extremitäten*
1361	1299	45

Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörperzähler	Schilddrüse
1028	–

\*Inkl. Dosimeter, die am PSI ausgewertet wurden.

### Bewertung der Strahlenexposition

Aus Sicht des Strahlenschutzes verlief das Betriebsjahr 2021 mit Ausnahme von einem radiologisch relevanten Ereignis grundsätzlich gut. Die Revisionsabstellung und der Brennelementwechsel wurden wie geplant durchgeführt und die entsprechenden Planwerte und Strahlenschutzvorgaben wurden eingehalten. Die Entwicklung der Dosisleistungen an den Closure-Legs A und B, Dampferzeugern A und B, Hot-Legs A und B sowie am RDB-Deckel werden vom KKB laufend beobachtet und bewertet.

Der Quotient aus Dosis und erzeugter elektrischer Energie betrug für das Jahr 2021, über beide Blöcke des KKB betrachtet, 0,060 Pers.-mSv pro  $\text{GWh}_{(e)}$  und blieb weiterhin tief (Vorjahr: 0,056 Pers.-mSv/ $\text{GWh}_{(e)}$ ).

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

### Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung wurde im Rahmen einer Inspektion mit dem Schwerpunkt «Wartungsstelle des KKB für geeichte Strahlungsmessgeräte» überprüft. Dabei überzeugte sich das ENSI anhand der eingereichten Qualitätsmanagement-Dokumentation sowie durch Vor-Ort-Kontrollen davon, dass die Organisation, inkl. Verantwortlichkeiten und Ausbildung des Personals, die Bestimmung der Referenzwerte der Konstanzprüfung und die im Rahmen des Aufgabenbereichs der Wartungsstelle durchgeführten Tätigkeiten den regulatorischen Anforderungen entsprachen. Auch überzeugte sich das ENSI stichprobenartig davon, dass die periodischen Prüfungen der Messgeräte durch das Kraftwerkspersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten. In einer weiteren Inspektion hat das ENSI stichprobenweise die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser überprüft. Der Weg von der Probenerhebung, über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung

in den Monats- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar.

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

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Iodfiltern sowie von Abwasserproben stimmten mit den Werten des KKB überein.
- Aufgrund von Verzögerungen, verursacht durch die Covid-19-Pandemie, lagen die Ergebnisse der vom BAG und vom ENSI gemeinsam im Jahr 2021 organisierten 67. Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie erst Anfang 2022 vor. Die anerkannte Personendosimetriestelle des KKB erfüllte dabei die Anforderung der Dosimetrieverordnung vollständig.

Im Berichtsjahr hat das ENSI das Freimessverfahren von Materialien mit einer kleinen 180-Liter-Freimesskammer freigegeben.

Auch kam es 2021 zu einem Ereignis, bei dem radioaktive Stoffe über einen unerlaubten Abwasserpfad in einen Vorsorgungskanal in der nicht kontrollierten Zone des KKB abgegeben wurden. Es kam dort zu einer Kontamination, die umgehend entfernt wurde.

## 2.2 Kernkraftwerk Gösgen

Betrieb am Netz [%]

**89,6**

Dauer der Stillstände [d]

**38**

Kollektivdosis im Leistungsbetrieb [Pers.-mSv]

**58**

Höchste Individualdosis [mSv]

**7,0**

Erzeugter Strom [GWh]

**8318**

Kollektivdosis [Pers.-mSv]

**329**

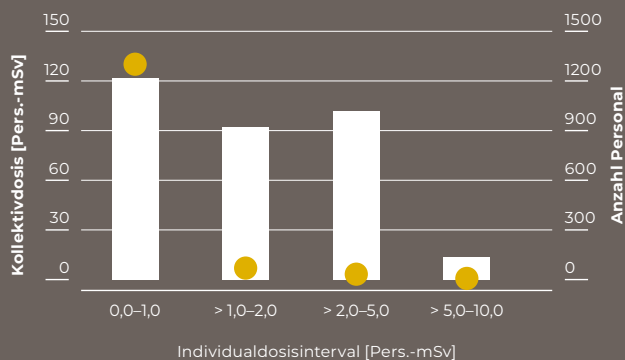
Kollektivdosis während der Stillstände [Pers.-mSv]

**271**

Errechnete Dosis für die Bevölkerung aufgrund von Emissionen

**< 0,001 mSv**

Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im KKG



■ Kollektivdosis ■ Anzahl dosimetriertes Personal

Verhältnis der Kollektivdosen «Leistungsbetrieb gegenüber Stillstand»



■ Leistungsbetrieb ■ Stillstand

### Zusammenfassung

Das KKG verzeichnete aus strahlenschutztechnischer Sicht ein erfolgreiches Betriebsjahr 2021. Nachdem im Jahr 2020 pandemiebedingt eine verkürzte Hauptrevision durchgeführt wurde, hat das KKG im Berichtsjahr eine umfangreiche Hauptrevision absolviert. Dies führte zu einer dem Umfang der Arbeiten entsprechenden Kollektivdosis sowohl für den Wert der Hauptrevision selbst als auch für das ganze Betriebsjahr. Die durch das KKG geplanten und unternommenen Massnahmen im Strahlenschutz, sowohl für die Hauptrevision als auch für den Leistungsbetrieb, sind als erfolgreich zu bewerten.

## Allgemein

Im Berichtsjahr ereigneten sich im KKG keine strahlenschutzrelevanten Ereignisse oder Vorkommnisse. Aufgrund der Covid-19-Pandemie wurden sämtliche Arbeiten während des ganzen Betriebsjahrs durchgehend unter Einhaltung von Pandemieschutzmassnahmen durchgeführt. Während der Jahresrevision wurden umfangreiche Arbeiten, teilweise als Konsequenz des Aufschubs aus dem Vorjahr, durchgeführt. Infolge des dadurch erhöhten Arbeitsvolumens und der längeren Dauer der Jahresrevision wurde im Jahr 2021 eine höhere, aber dem Arbeitsumfang entsprechende Kollektivdosis akkumuliert.

## Revisionsstillstand

Das KKG stellte die Anlage vom 22. Mai bis zum 25. Juni 2021 für die Jahresrevision mit Brennelementwechsel für insgesamt 35 Tage ab. Aufgrund der verkürzten Jahresrevision im Vorjahr wurde im Jahr 2021 eine umfangreichere Jahresrevision durchgeführt und aufgeschobene, nicht-sicherheitsrelevante Arbeiten absolviert. Dementsprechend fiel die akkumulierte Kollektivdosis mit 271 Pers.-mSv (EPD-Wert korrigiert, Vorjahr: 113 Pers.-mSv) höher aus. Die aufgezeichnete Kollektivdosis für die Jahresrevision überschritt den Planwert von 233 Pers.-mSv um ca. 16% und lag somit innerhalb des Toleranzbereichs von +/-20%. Die höchste Individualdosis lag mit 6,0 mSv weit unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes. Die mittlere Dosis betrug im Revisionszeitraum 0,24 mSv/Person. Gesamthaft wurden etwas mehr als 68000 Arbeitsstunden in der kontrollierten Zone geleistet.



**Bild 7:** Lufttransport des oberen Kerngerüsts. Bei dieser Art des Transports wird das Kerngerüst aus dem Wasser gehoben, um auf die Abstellposition oder zurück transportiert zu werden.

Die kontrollierte Zone in der Anlage war während der Jahresrevision in einem radiologisch und konventionell sauberen Zustand. Zudem konnte während des ganzen Stillstandes der niedrige Kontaminationsgrad beibehalten werden. Seit Beginn der Zinkdosierung im Jahr 2005 nahm die Dosisleistung an den Primärkreislaufkomponenten im Mittel um circa 74% ab. Die Dosisleistung im Innern des RDB-Deckels nahm noch stärker ab und betrug 30 mSv/h (2005: 280 mSv/h). Im Vergleich zum Vorjahr nahm die mittlere Dosisleistung an den Primärkomponenten um ca. 5% ab. Das Verhältnis von Beta/Gamma zu Alpha blieb gegenüber dem Vorjahr in etwa konstant und be-

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

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



**Bild 8:**  
Reinigungs-  
arbeiten in der  
Reaktorgrube.  
Die Dekonta-  
minierungsfachkräfte  
arbeiten dort  
im Vollschutz-  
anzug.

trug im Mittel ungefähr 1400:1. Dies liess einen Beta-/Gamma-Strahler basierten Strahlenschutz zu. Im Berichtsjahr wurde beim Anheben des RDB-Deckels wiederholt kein signifikanter Anstieg der Aerosol-Luftkontamination in den Betriebsräumen des Containments festgestellt. Auch die Edelgaskonzentration war mit einem Maximalwert von 0,001 CA nach dem Abheben gering. Es wurden während des ganzen Revisionsstillstandes keine relevanten Iod- oder Alpha-Konzentrationen gemessen.

Insgesamt wurden in der kontrollierten Zone 26,4 t Blei für Abschirmungszwecke verwendet. Zudem wurden zusätzliche Massnahmen getroffen, wie das gezielte Absaugen mittels Filtermobil oder die Verwendung eines Schutzhemdes beim Ziehen des RDB-Deckels, um das Inkorporationsrisiko und die Strahlenbelastung während der Arbeiten für das Personal zu reduzieren. Des Weiteren wurde beim Ziehen des RDB-Deckels und bei «Lufttransporten» des Oberen Kerngerüsts (OKG) der Aufenthalt des Personals auf Personen beschränkt, welche für die Ausführung der Tätigkeit notwendig waren. Die Ausgangsmonitore des Typs «Two Step Exit» wurden sowohl für die Überwachung von Kontaminationen als auch von Inkorporationen eingesetzt.

Für drei Arbeiten wurden detaillierte Dosisschätzungen erstellt (Reaktorgrubenreinigung und Brennelementwechsel, RDB vorbereiten, beladen, schliessen des RDB). Darunter waren keine Arbeiten mit einer geschätzten Dosis über 50 Pers-

mSv. Folgende für den Strahlenschutz relevante Arbeiten wurden durchgeführt:

- Öffnen, Be- und Entladen und Schliessen des RDB,
- Kontrolle diverser Ventile,
- Schweissnahtprüfung am Loop III,
- zerstörungsfreie Prüfungen an diversen Rohrleitungen, Armaturen und Behältern,
- Prüfung diverser Stossbremsen,
- Reaktorgrubenreinigung,
- Gerüstbau/Isolationen allgemein,
- Ersatz von Messleitungen,
- Brennelementinspektion,
- Kabelersatz bei den Lopleitungen.

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

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

### Weitere Stillstände

Am 12. November 2021 kam es aufgrund einer Auskühltransiente zu einer Reaktorschnellabschaltung, die durch eine fehlerhafte Lastabsenkung aus der Reaktorregelung ausgelöst wurde. Das Anlagenverhalten nach der Reaktorschnellab-



schaltung war auslegungsgemäss und die Anlage wurde am selben Tag wieder mit dem Netz synchronisiert und auf Volllast hochgefahren. Das Vorkommnis hatte strahlenschutztechnisch keine Bedeutung.

## Dosimetrie

Während des Berichtsjahres kamen in der kontrollierten Zone oder bei Transporteinsätzen 1401 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz. Die Kollektivdosis während der Berichtsperiode betrug 329 Pers.-mSv und lag damit deutlich unterhalb des in der Richtlinie ENSI-G15 festgelegten Strahlenschutzzieles für Kernanlagen von 1500 Pers.-mSv und war mit dem Planwert von 301 Pers.-mSv konsistent. Der Dosismittelwert lag bei 0,23 mSv/Person. Die Aufteilung der Kollektivdosis zwischen Leistungsbetrieb und Revisionsstillstand stellte sich folgendermassen dar:

KKG	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
Revisionsstillstand	271
Leistungsbetrieb	58
Gesamte Jahreskollektivdosis	329

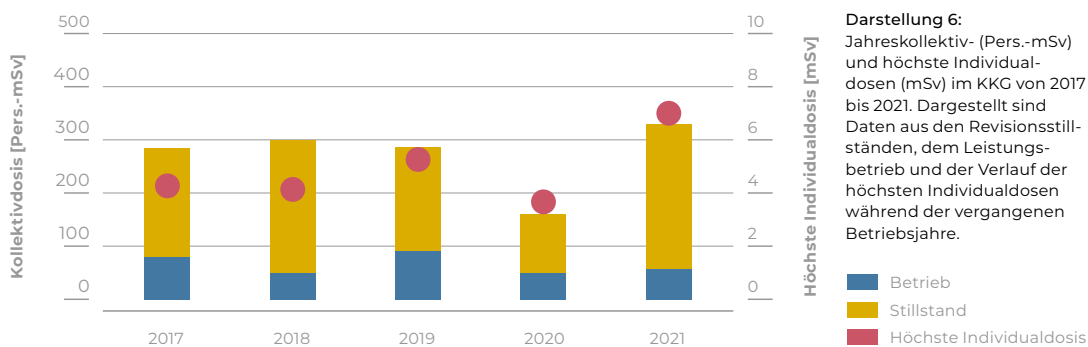
Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2021 entsprach derjenigen aus der Jahresrevision und betrug 7,0 mSv. Dieser Dosiswert lag, bedingt durch den Arbeitsumfang, deutlich oberhalb des Vorjahreswertes (3,7 mSv) und unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv.

Es wurden während der ganzen Berichtsperiode keine Kontaminationen, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, festgestellt. Im Jahr 2021 hat das KKG an 1171 Personen (453 Eigen- und 718 Fremdpersonal) Triagemassnahmen durchgeführt und dabei keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle detektiert.

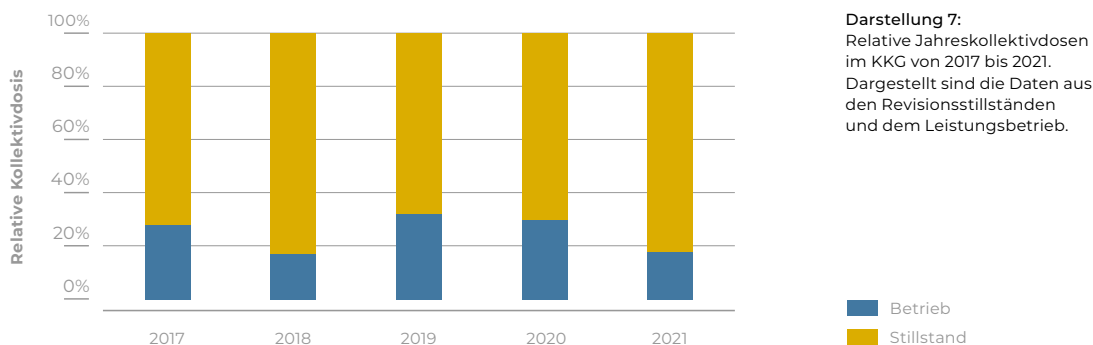
Folgende Anzahl an Personen wurden von der anerkannten Personendosimetriestelle des KKG überwacht:

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
1467	1467	22
Überwachung der Inkorporationen		
Ganzkörperzähler	Schilddrüse	
1171	1171	

### Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im KKG von 2017 bis 2021



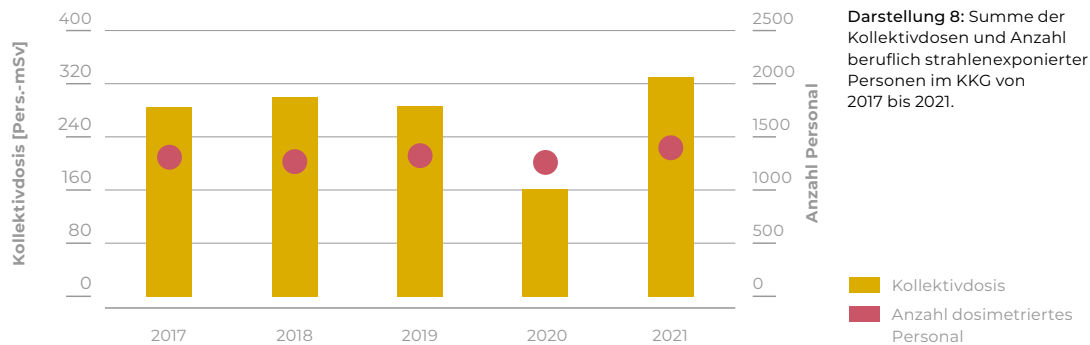
### Kollektivdosisverteilung zwischen Betrieb und Stillstand des KKG von 2017 bis 2021



**Darstellung 6:** Jahreskollektiv- (Pers.-mSv) und höchste Individualdosen (mSv) im KKG von 2017 bis 2021. Dargestellt sind Daten aus den Revisionsstillständen, dem Leistungsbetrieb und der Verlauf der höchsten Individualdosen während der vergangenen Betriebsjahre.

**Darstellung 7:** Relative Jahreskollektivdosen im KKG von 2017 bis 2021. Dargestellt sind die Daten aus den Revisionsstillständen und dem Leistungsbetrieb.

### Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des KKG von 2017 bis 2021



### Bewertung der Strahlenexposition

Die Kollektivdosis im KKG konnte nicht bloss aufgrund der im Jahr 2021 kontinuierlich fortgeführten Zinkeinspeisung der letzten Jahre weiter reduziert werden. Das KKG vollzieht einen dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechenden Strahlenschutz, indem es unter anderem Strahlenschutzplanungen erstellt und Optimierungsmassnahmen ein- und umsetzt.

Das Betriebsjahr 2021 zeichnete sich durch eine für das KKG im Vergleich zu den Vorjahren durchschnittliche Kollektivdosis aus, trotz insgesamt erhöhtem Arbeitsaufwand. Das KKG führte im Jahr 2021 die längste Hauptrevision seit 2013 durch, konnte aber die Kollektivdosis dank der durchgeführten Massnahmen geringhalten.

Der unbeabsichtigte Stillstand im November des Berichtsjahres hatten keinen bedeutenden Einfluss auf die Kollektivdosis.

Der Quotient aus der Dosis pro erzeugte elektrische Energie betrug im KKG 0,040 Pers.-mSv pro  $\text{GWh}_{(e)}$  und blieb somit weiterhin tief (Vorjahr: 0,018 Pers.-mSv/ $\text{GWh}_{(e)}$ ).

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

### Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung wurde im Rahmen einer Inspektion mit dem Schwerpunkt «Wartungsstelle des KKG für geeichte Strahlungsmessgeräte» überprüft. Dabei überzeugte sich das ENSI anhand der eingereichten Qualitäts-

management-Dokumentation sowie durch Vor-Ort-Kontrollen davon, dass die Organisation, inkl. Verantwortlichkeiten und Ausbildung des Personals, die Bestimmung der Referenzwerte der Konstanzprüfung und die im Rahmen des Aufgabenbereichs der Wartungsstelle durchgeführten Tätigkeiten den regulatorischen Anforderungen entsprachen. Auch überzeugte sich das ENSI stichprobenartig davon, dass die periodischen Prüfungen der Messgeräte durch das Kraftwerkspersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten. Verbesserungen verlangte das ENSI bei der Dokumentation der Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen in Bezug auf den Referenzwert und Toleranzbereich bei der Konstanzprüfung eines mobilen Kontaminationsmessgerätetyps. In einer weiteren Inspektion hat das ENSI stichprobenweise die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser überprüft. Der Weg von der Probenentnahme über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Monats- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar.

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

— Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Iodfiltern sowie von Abwasserproben stimmten mit den Werten des KKG überein.

— Aufgrund von Verzögerungen, verursacht durch die Covid-19-Pandemie, lagen die Ergebnisse der vom BAG und vom ENSI gemeinsam im Jahr 2021 organisierten 67. Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie erst Anfang 2022 vor. Die anerkannte Personendosimetriestelle des KKG erfüllte dabei die Anforderung der Dosimetrieverordnung mit Ausnahme eines Einzeldosimeters unter Referenzbestrahlung, das die Dosis überschätzte.

## 2.3 Kernkraftwerk Leibstadt

Betrieb am Netz [%]

**46,8**

Dauer der Stillstände [d]

**194**

Kollektivdosis im Leistungsbetrieb [Pers.-mSv]

**176**

Höchste Individualdosis [mSv]

**14,4**

Erzeugter Strom Brutto [GWh]

**5079**

Kollektivdosis [Pers.-mSv]

**3596**

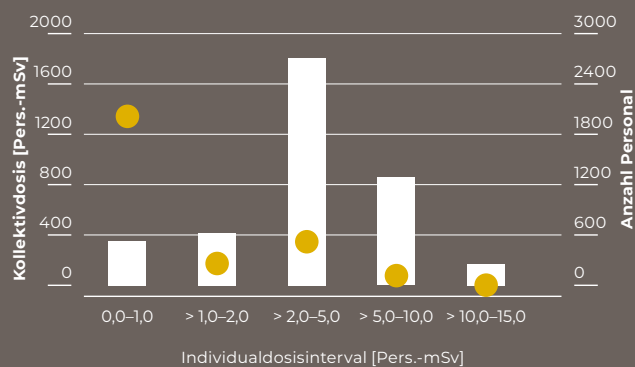
Kollektivdosis während der Stillstände [Pers.-mSv]

**3420**

Errechnete Dosis für die Bevölkerung aufgrund von Emissionen

**0,002 mSv**

Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im KKL



■ Kollektivdosis ■ Anzahl dosimetriertes Personal

Verhältnis der Kollektivdosen «Leistungsbetrieb gegenüber Stillstand»



■ Leistungsbetrieb ■ Stillstand

### Zusammenfassung

Im KKL wurde der Strahlenschutz im Betriebsjahr 2021 erfolgreich umgesetzt. Herausfordernd war der Austausch der Umwälzschleifen und der Primärumschleifen im Drywell. Die aufgrund der vielen durchgeführten Arbeiten mit 194 Tagen lange dauernde JHR 2021 führte zu einer entsprechend hohen Kollektivdosis. Das ganze Jahr über wurden die Arbeiten unter Pandemiebedingungen und den entsprechenden Schutzmassnahmen durchgeführt. Die durch das KKL unternommenen Massnahmen im Strahlenschutz, sowohl für die JHR als auch für den Leistungsbetrieb, bewertet das ENSI als zielführend.

## Allgemein

Mit Blick auf die Strahlenexposition des eingesetzten Personals hat das KKL ein herausforderndes, insgesamt als positiv zu bewertendes Jahr hinter sich. Die hohe Kollektivdosis für das Jahr 2021 von 3596 Pers.-mSv war vor allem auf den grossen Arbeitsumfang während der JHR und in weitaus geringerem Anteil auf den Leistungsbetrieb zurückzuführen.

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

## Zonenzutritte ohne DIS-Personendosimeter

Bei einem ersten Vorkommnis in der kontrollierten Zone wurde am 5. Juli 2021 ein externer Mitarbeiter durch den Strahlenschutz mehrfach auf das fehlende DIS-Personendosimeter hingewiesen. Es stellte sich heraus, dass das Personendosimeter in der Zonengarderobe vergessen wurde. Der Mitarbeiter musste vom Strahlenschutz aus der Zone geleitet werden, um das Personendosimeter zu holen. Im Nachgang wurde mittels elektronischem Personendosimeter für den Mitarbeiter eine Dosis von 0,002 mSv für die Dauer des Aufenthaltes in der kontrollierten Zone ermittelt.

Bei einem zweiten Vorkommnis dieser Art fiel am 28. Oktober 2021 einer Person nach durchgeführten Arbeiten im Drywell beim Zonenaustritt das fehlende DIS-Personendosimeter auf. Trotzdem

betrat diese Person nach einer kurzen Pause die kontrollierte Zone wieder und nahm ihre Arbeit im Drywell erneut auf. Das elektronische Personendosimeter wurde während dieser Zeit korrekt getragen. Die Dosimetriestelle wurde nach Beendigung der Arbeiten über das fehlende DIS-Personendosimeter informiert.

## Personenkontaminationen von mehr als drei Personen aufgrund der gleichen Tätigkeit

Nach Reinigungs- und Dekontaminationsarbeiten im Bereich +28m sprachen am 12. Oktober 2021 bei fünf Personen während des Austritts aus der kontrollierten Zone Alarme an den Personenkontaminationsmonitoren an. Die Personen waren mit der Retablierung des Anlagenbereiches beschäftigt, wo zuvor die Unterwasserreinigung des Wasserabscheiders stattgefunden hatte. Die Analyse ergab, dass kein Dosisgrenzwert gemäss Strahlenschutzverordnung verletzt wurde. Die lose Kontamination konnte bei allen fünf Personen entfernt werden.

Bei einer Person blieb temporär (für einen Tag) eine fixierte Kontamination zurück. Bei dieser Person bestand Verdacht auf Inkorporation, die im Nachgang als geringfügig bestimmt werden konnte.

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



**Bild 9:**  
Zur Kontaminationsverhinderung abgedeckte Komponente während des Revisionsstillstandes.

## Revisionsstillstand

Die JHR 2021 dauerte vom 24. Mai bis zum 3. Dezember 2021 und damit 194 Tage. Sie war mit einer Kollektivdosis von 4300 Pers.-mSv geplant. Der Ist-Wert betrug 3434 Pers.-mSv, was einer Abweichung von rund 20% entspricht. Der Grund für die Unterschreitung war nach Angaben des KKL zum grossen Teil der Erfolg der chemischen Systemdekontamination der Umwälzschleifen im Drywell. Weitere Ursachen waren die Umsetzung der Covid-19-Schutzmassnahmen (weniger Personal und geringere Wartezeiten) sowie die Umsetzung der Massnahmen des ALARA-Plans. Die maximale Revisionsindividualdosis für das Eigenpersonal lag bei 11,4 mSv (Instandhaltung, Maschinenteknik) und für das Fremdpersonal bei 14,4 mSv (Gerüstbau).

Bei durchschnittlich 1866 Austritten aus der kontrollierten Zone pro Tag wurde eine Personenkontamination festgestellt, die nicht mit herkömmlichen Mitteln entfernt werden konnte. Bei zwei Personen war es notwendig, eine Hautdosis zu bestimmen. Die berechneten Hautdosen betrugen 24 mSv aus einer kontaminierten Schnittwunde und 5 mSv aus einer Hautkontamination. Der Jahresgrenzwert für die Hautdosis von 500 mSv blieb deutlich unterschritten.

Während der Druckentlastung beim Abfahren war ein Anstieg der Aktivitätskonzentration von  $^{60}\text{Co}$  auf maximal  $1,2 \text{ E}+9 \text{ Bq/m}^3$  beobachtet worden. Der Mittelwert für den Zyklus 37 lag bei  $1,46 \text{ E}+7 \text{ Bq/m}^3$  (Zyklus 36 bei  $1,38 \text{ E}+7 \text{ Bq/m}^3$ ). Die Aktivitätskonzentration von  $^{131}\text{I}$  im Reaktorwas-

ser erreichte einen Wert von  $7,0 \text{ E}+5 \text{ Bq/m}^3$ . Der Zyklusmittelwert für  $^{131}\text{I}$  im Reaktorwasser lag bei  $4,0 \text{ E}+5 \text{ Bq/m}^3$  (Zyklus 36 bei  $6,6 \text{ E}+5 \text{ Bq/m}^3$ ). Der Zyklus 37 konnte ohne Brennelementscha-

den beendet werden. Die Wasserstoffverfügbarkeit im 37. Zyklus lag bei 97%, das heisst, der EPRI-OLNC-Mitigation-Performance-Indikator für eine gute Wasserstoffverfügbarkeit von grösser als 95% wurde erreicht.

Das Abfahren erfolgte mit der etablierten und bewährten Soft-Shutdown-Prozedur. Die Ortsdosisleistung an der Pumpe A des Nachwärmeabfuhrsystems lag bei 2 mSv/h und damit etwas oberhalb der Messergebnisse aus dem Jahr 2019 sowie etwas unterhalb der Messergebnisse aus dem Jahr 2020. Die Ortsdosisleistung am Mantel des Wärmetauschers A des Nachwärmeabfuhrsystems betrug etwa 0,6 mSv/h und war etwas tiefer als der im Jahr 2020 bestimmte Wert von 0,8 mSv/h.

An den Umwälzschleifen wurde nach dem Abfahren eine mittlere Dosisleistung von 1,72 mSv/h festgestellt. Diese lag im Rahmen der Messunsicherheit auf dem gleichen Level (1,82 mSv/h) wie im Jahr 2020. Durch die Systemdekontamination wurde eine durchschnittliche Reduktion der Dosisleistung um etwa 86% auf 0,24 mSv/h erreicht. Nach dem Umbau des Systems betrug die gemittelte Dosisleistung noch 0,12 mSv/h, etwa 93% weniger als im Jahr 2020.

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



**Bild 10:**  
Arbeitsplatz  
für die auf-  
wändigen  
Arbeiten  
beim Ersatz  
des Haupt-  
kondensators.

Im Drywell wurden nach dem Abfahren die Ortsdosisleistung an 16 repräsentativen Messpunkten bestimmt. Im unteren Bereich war die gemittelte Ortsdosisleistung im Vergleich zum Vorjahr von 0,70 mSv/h auf 0,65 mSv/h gesunken und im oberen Bereich war die Ortsdosisleistung von 0,16 mSv/h auf 0,15 mSv/h praktisch gleichgeblieben. Durch die Systemdekontamination sank im unteren Bereich die Ortsdosisleistung um etwa 62%, nach dem Einbau der neuen Umwälzschleifen war die Ortsdosisleistung um etwa 74% reduziert.

Das Verhältnis von Beta-/Gamma-Nukliden zu Alpha-Nukliden, das mit Proben von Oberflächen, die in Kontakt mit dem Primärwasser stehen, bestimmt wird, lag beim Reaktordeckel bei 468:1 und bei den Isolationsventilen des Frischdampfsystems bei 375:1. Die Luftkontamination durch Alpha-Nuklide wurde in diesen Bereichen zusätzlich mit Alpha-Aerosolmonitoren überwacht.

Für 16 Arbeiten wurden dem ENSI detaillierte Strahlenschutzplanungen gemäss der Richtlinie ENSI-B03 eingereicht, weil Kollektivdosen von über 50 Pers.-mSv erwartet wurden, davon alleine für Arbeiten im Projekt zum Ersatz der Umwälzschleifen

acht Planungen mit einer Kollektivdosis von insgesamt 1692 Pers.-mSv. Das KKL hat die Arbeiten aus Sicht des Strahlenschutzes optimiert. Ein Beispiel für die Optimierungsmassnahmen sind die Installationen von zehn Kamerasystemen zur Überwachung von Arbeiten im Drywell durch das Strahlenschutzpersonal. Das KKL-interne Ziel für die maximale Individualdosis von 15 mSv pro Person wurde im Jahr 2021 eingehalten. Das ENSI beurteilt die Optimierungsmassnahmen als zweckmässig.

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

Die Revisionsarbeiten wurden von rund 139 Strahlenschutzfunktionsträgerinnen und -trägern überwacht und begleitet, davon waren 19 Personen Eigen- und 120 Personen Fremdpersonal. Das KKL führte einen Strahlenschutz vom Dienst ein. Diese Position wurde von Mitarbeitenden des KKL Strahlenschutz-Eigenpersonal besetzt und hat sich in der Praxis bewährt. Für definierte Arbeiten und Arbeitsbereiche war das Strahlenschutzpersonal rund um die Uhr im Einsatz. Ferner wurde für die JHR ein Pikettdienst für den Strahlenschutz eingerichtet.

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

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

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

Der <sup>60</sup>Co-Quellterm ist nach wie vor hoch im Vergleich zu anderen Siedewasserreaktoren. Eine nachhaltige Verbesserung wird durch die Umsetzung des Projektes zum Austausch der Umwälzschleifen erwartet sowie durch den Austausch von stellitehaltigen Bauteilen in Systemen.

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

### Weitere Stillstände

Aufgrund einer automatischen Abschaltung der Abgasanlage musste der Reaktor am 3. Dezember 2021 um 13:13 Uhr vorschriftsgemäss von Hand abgeschaltet werden. Nach der Störungsbehebung konnte die Anlage am 4. Dezember 2021 wieder angefahren werden. Auf die Dosen des Personals hatte die Abschaltung keinen signifikanten Einfluss.

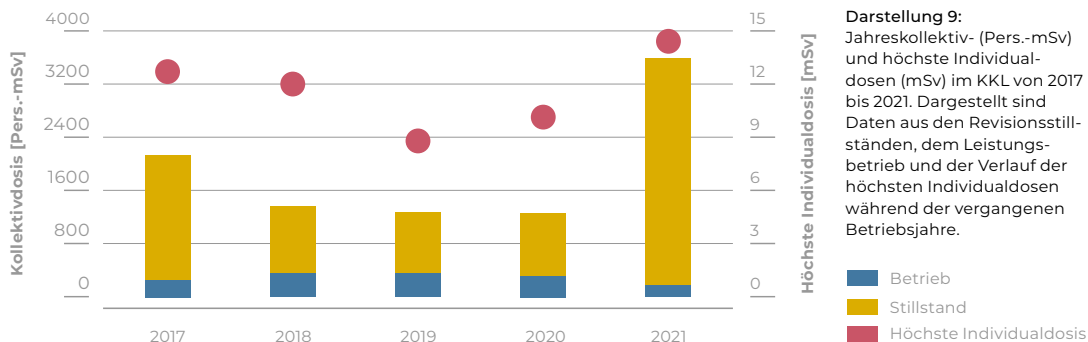
### Dosimetrie

Während des Berichtsjahres kamen in der kontrollierten Zone oder bei Transporteinsätzen 2927 beruflich strahlenexponierte Personen zum Einsatz (2020: 1675 Personen). Die Kollektivdosis während der Berichtsperiode betrug 3596 Pers.-mSv und lag damit oberhalb des in der Richtlinie ENSI-G15 festgelegten Strahlenschutzzieles für Kernanlagen von 1500 Pers.-mSv. Die hohe Kollektivdosis wurde durch die notwendigen, umfangreichen Arbeiten in der kontrollierten Zone verursacht. Die Aufteilung der Kollektivdosis zwischen Leistungsbetrieb und Revisionsstillstand stellte sich folgendermassen dar:

KKL	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
Revisionsstillstand	3420
Leistungsbetrieb	176
Gesamte Jahreskollektivdosis	3596

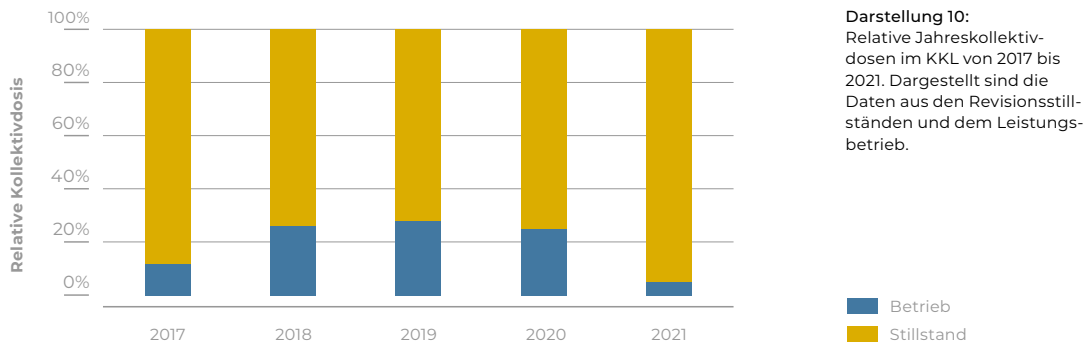
Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2020 betrug 14,4 mSv. Dieser Wert lag unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv und oberhalb des Vorjahreswertes (10,0 mSv).

**Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im KKL von 2017 bis 2021**



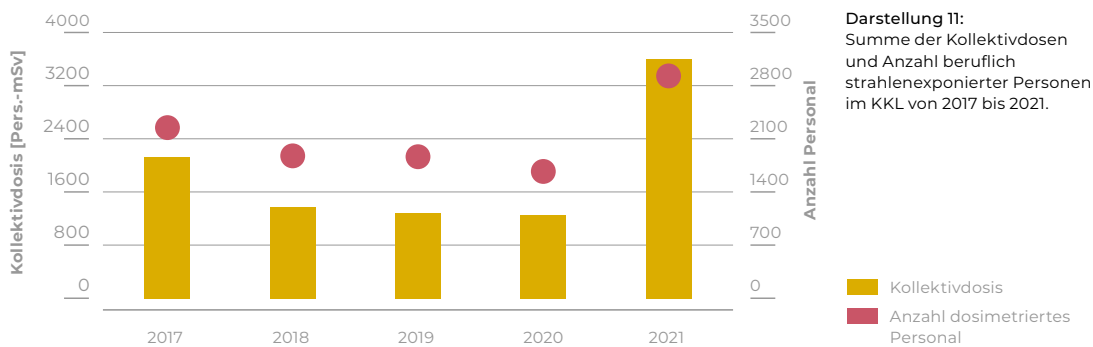


**Kollektivdosisverteilung zwischen Betrieb und Stillstand des KKL von 2017 bis 2021**



**Darstellung 10:** Relative Jahreskollektivdosen im KKL von 2017 bis 2021. Dargestellt sind die Daten aus den Revisionsstillständen und dem Leistungsbetrieb.

**Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des KKL von 2017 bis 2021**



**Darstellung 11:** Summe der Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im KKL von 2017 bis 2021.

Es wurde während der ganzen Berichtsperiode eine Kontamination, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, festgestellt. Im Jahr 2021 hat das KKL an 2844 Personen (478 Eigen- und 2366 Fremdpersonal) Triagemessungen durchgeführt und keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle detektiert.

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

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
2980	2980	185

Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörperzähler	Schilddrüse
2927	2927

**Bewertung der Strahlenexposition**

Insgesamt bewertet das ENSI den vom KKL umgesetzten Strahlenschutz als sicherheitsgerichtet, die Strahlenexposition des eingesetzten Personals

wurde optimiert. Im Rahmen der aufsichtlichen Tätigkeit stellte das ENSI fest, dass die gesetzlichen Anforderungen an den Strahlenschutz, mit Ausnahme von den drei eingangs erwähnten Vorkommnisse, erfüllt wurden.

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

Das Betriebsjahr 2021 zeichnete sich durch eine für das KKL hohe Kollektivdosis aus, die auf den sehr umfangreichen Arbeitsumfang während der JHR zurückzuführen ist.

Der Quotient aus Dosis und erzeugter elektrischer Energie betrug im KKL 0,710 Pers.-mSv pro GWh<sub>(e)</sub> (Vorjahr: 0,132 Pers.-mSv/GWh<sub>(e)</sub>). Der hohe Wert wurde durch die umfangreichen Arbeiten in der

kontrollierten Zone und die lange Stillstandszeit verursacht.

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

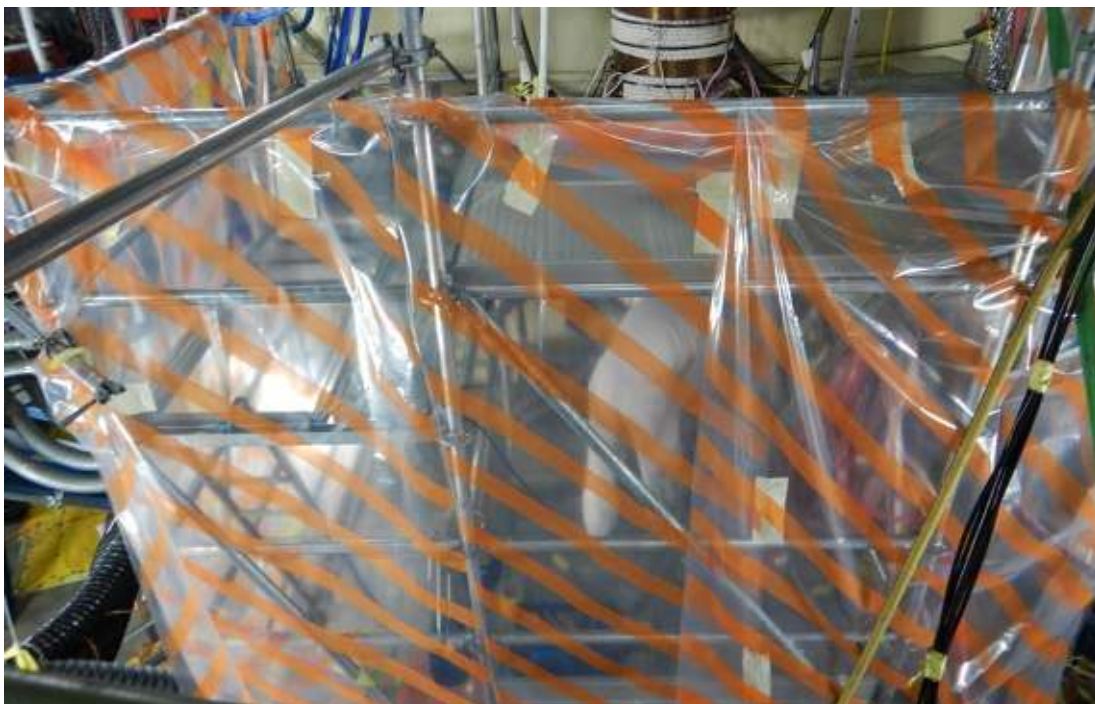
### Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung wurde im Rahmen einer Inspektion mit dem Schwerpunkt «Wartungsstelle des KKL für geeichte Strahlmessgeräte» überprüft. Dabei überzeugte sich das ENSI anhand der eingereichten Qualitätsmanagement-Dokumentation sowie durch Vor-Ort-Kontrollen davon, dass die Organisation, inkl. Verantwortlichkeiten und Ausbildung des Personals, die Bestimmung der Referenzwerte der Konstanzprüfung und die im Rahmen des Arbeitsbereichs der Wartungsstelle durchgeführten Tätigkeiten den regulatorischen Anforderungen entsprachen. Auch überzeugte sich das ENSI stichprobenartig davon, dass die periodischen Prüfungen der Messgeräte durch das Kraftwerkspersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten. In einer weiteren Inspektion hat das ENSI im KKL stichprobenweise die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser

überprüft. Der Weg von der Probenerhebung über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Monats- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar. Zusätzlich zu den ENSI-Inspektionen wurden bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen nationale Labors bzw. Messstellen teilnehmen, überprüft:

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Iodfiltern sowie von Abwasserproben stimmten mit den Werten des KKL überein.
- Aufgrund von Verzögerungen, verursacht durch die Covid-19-Pandemie, lagen die Ergebnisse der vom BAG und vom ENSI gemeinsam im Jahr 2021 organisierten 67. Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie erst Anfang 2022 vor. Die anerkannte Personendosimetriestelle des KKL erfüllte dabei die Anforderung der Dosimetrieverordnung mit Ausnahme eines Einzeldosimeters unter Referenzbestrahlung, das die Dosis überschätzte.

Im Berichtsjahr hat das ENSI das Freimessverfahren von Materialien mit einer kleinen 4-Liter-Freimesskammer freigegeben.



**Bild 11:**  
**Einhausung**  
**bei Arbeiten**  
**mit der**  
**Möglichkeit**  
**zur Konta-**  
**minations-**  
**freisetzung.**



## 2.4 Kernkraftwerk Mühleberg

Betrieb am Netz [%]



Dauer der Stillstände [d]

**dauerhaft**

Kollektivdosis im Leistungsbetrieb [Pers.-mSv]



Höchste Individualdosis [mSv]

**6,3**

Erzeugter Strom [GWh]



Kollektivdosis [Pers.-mSv]

**332**

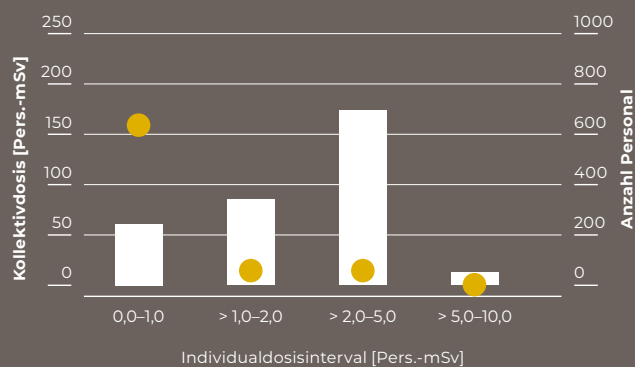
Kollektivdosis während der Stillstände [Pers.-mSv]

**332**

Errechnete Dosis für die Bevölkerung aufgrund von Emissionen

**0,002 mSv**

Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im KKM



■ Kollektivdosis ■ Anzahl dosimetriertes Personal

Verhältnis der Kollektivdosen «Leistungsbetrieb gegenüber Stillstand»



■ Leistungsbetrieb ■ Stillstand

### Zusammenfassung

Die Aufsicht über den KKM-Strahlenschutz umfasste im Jahr 2021 insbesondere die Überprüfung und Bewertung der Prozesse des operationellen Strahlenschutzes zu den diversen Rückbautätigkeiten und deren Umsetzung sowie des radiologischen Anlagenzustands. Die akkumulierten Kollektiv- und Individualdosen lagen im Erwartungsbereich der Planung. Die gesetzlichen Anforderungen des Strahlenschutzes wurden erfüllt.

## Allgemein

Mit Inkrafttreten der Stilllegungsverfügung im September 2020 begann die erste von insgesamt drei Stilllegungsphasen. Die Stilllegungsphase 1 dauerte auch während des Jahres 2021 an, deren Abschluss durch den Meilenstein der Kernbrennstofffreiheit geprägt sein wird, d.h. wenn alle Brennelemente vom Areal des KKM abtransportiert sind. Dies ist für das Jahr 2024 geplant.

Aus Sicht des ENSI besteht weiterhin eine grosse Herausforderung im Rückbau darin, die vielfältigen Arbeiten strahlenschutztechnisch zu überwachen. Das KKM trägt dabei die Verantwortung, das radiologische Risiko für die Arbeitnehmenden soweit möglich und vernünftig zu senken und die geplante Strahlenexposition durch Optimierung zu reduzieren. Zusätzlich zum radiologischen Arbeitsschutz müssen auch die Anforderungen des konventionellen Arbeitsschutzes berücksichtigt werden. Dies insbesondere im Hinblick auf die Befunde von Bauschadstoffbelastungen wie beispielsweise Asbest oder PCB, da die zur Beseitigung derselben erforderlichen Schutzmassnahmen eine Kombination mit den radiologischen Vorkehrungen verlangen. Vor diesem Hintergrund kommt der betrieblichen Überwachung durch das Werk mittels qualifiziertem, beziehungsweise vom ENSI anerkanntem, Strahlenschutzpersonal eine wichtige Rolle zuteil.

## Stilllegungsphase 1

Im Berichtsjahr wurden die im Rahmen der Stilllegungsphase 1 geplanten Demontagen und die Behandlung des anfallenden Materials begonnen bzw. fortgeführt. Die Hilfseinrichtungen für die Zerlegung erster Komponenten aus dem Reaktor wurden in Betrieb genommen und es wurde mit der Demontage des Dampftrockners begonnen. Diese Zerlegearbeiten werden aus Strahlenschutzgründen unter Wasser durchgeführt und stellen entsprechende Anforderungen an die Maschinen und Werkzeuge. Die gesamthaft für die Arbeiten geplante Kollektivdosis von 156 Pers.-mSv war dabei weniger auf starke Strahlenfelder in den Arbeitsbereichen zurückzuführen, sondern vielmehr auf die lange Dauer der Arbeiten. Für den Strahlenschutz, der die Arbeiten eng begleitete und die etablierten Schutzmassnahmen anordnete, stand hierbei die Vermeidung von Kontaminationsverschleppungen im Fokus. Am Ende des Berichtsjahres wurden die Demontearbeiten unterbrochen und die vorbereitenden Massnahmen für den Brennelementabtransport eingeleitet. Die Hilfseinrichtungen wurden gereinigt, abgebaut, vom Strahlenschutz radiologisch vermessen und bei Bedarf eingepackt.

Des Weiteren wurde mit der Demontage des Torus, die torusförmige Druckabbaukammer im Untergeschoss des Reaktorgebäudes, begonnen,



**Bild 12:** Während der Inbetriebsetzung des thermischen Zerlegecaissons wurden der Einschleusvorgang und die Zerlegung mit radiologisch unbelasteten Testteilen durchgeführt.

indem zunächst die Einbauten herausgetrennt wurden. Dafür musste unter anderem eine grosse, vom Strahlenschutz speziell überwachte Öffnung in den Torus eingebracht werden, um den Personen- und Materialverkehr zu ermöglichen. Durch Strahlenschutzoptimierungsmassnahmen wie Abschirmungen oder vorgängige Reinigungen konnte die Dosisleistung in den Arbeitsbereichen reduziert werden, während durch Massnahmen wie entsprechender Schutzkleidung, der Unterdruckstaffelung und der engen Begleitung der Arbeiten durch das Strahlenschutzpersonal den Gefährdungen durch Inkorporation und Kontaminationsverschleppung begegnet wurde. Besonderes Augenmerk galt hier ferner den bauschadstoffbelasteten Anstrichen.

Im Maschinenhaus wurde durch die Demontage der Turbinen Platz für die Behandlung der beim Rückbau anfallenden Bauteile und Komponenten geschaffen. Neben der Trockenstrahlanlage, in der seit 2020 Materialien abrasiv dekontaminiert werden, wurde mit dem thermischen Zerlegecaisson eine weitere Materialbehandlungseinrichtung in

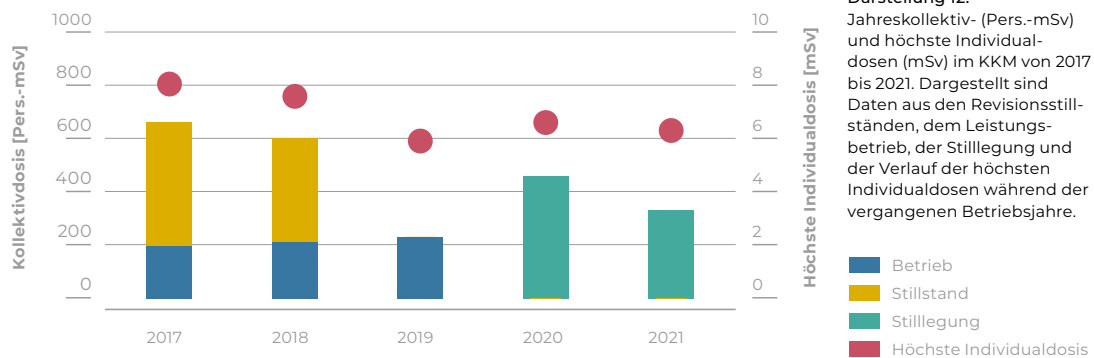
Betrieb genommen. Darin können aktivierte und kontaminierte Werkstoffe mittels thermischer Trennverfahren unter Einhaltung der Strahlenschutzmassnahmen zerlegt werden.

Die drei Vorkommnisse werden im Teil Strahlenschutzinstrumentierung adressiert.

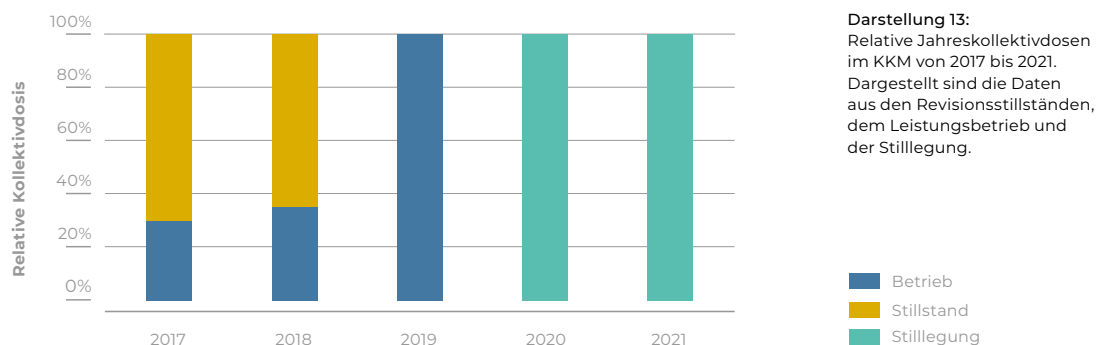
## Dosimetrie

Während des Berichtsjahres kamen im KKM 754 beruflich strahlenexponierte Personen in der kontrollierten Zone oder bei Transporten zum Einsatz. Die Kollektivdosis während der Berichtsperiode betrug gesamthaft 332 Pers.-mSv und lag damit deutlich unterhalb des in der Richtlinie ENSI-G15 festgelegten Strahlenschutz-Planungszieles für Kernanlagen von 1500 Pers.-mSv. Im Vergleich zum Planwert von 385 Pers.-mSv fiel die demnach akkumulierte Kollektivdosis von 332 Pers.-mSv geringer aus. Dies spiegelt die Verzögerung von Arbeiten bedingt durch Befunde von Bauschadstoffen wider. Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2021 von 6,3 mSv lag deutlich unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv.

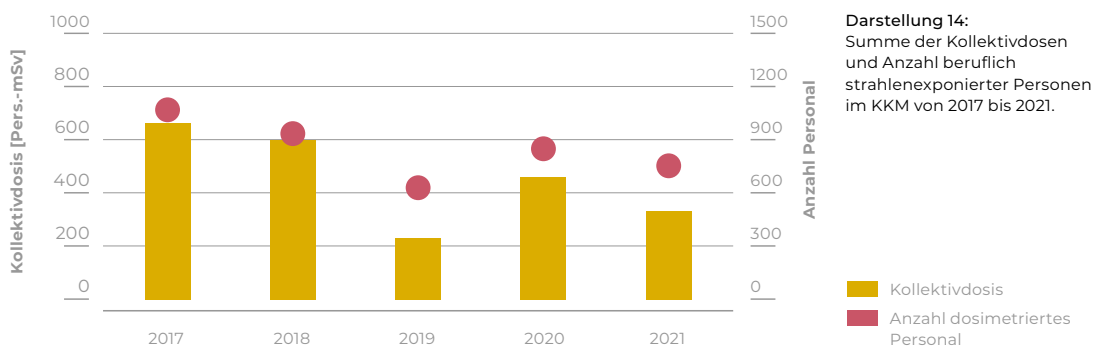
**Jahreskollektiv- und höchste Individualdosen im KKM von 2017 bis 2021**



**Kollektivdosisverteilung zwischen Betrieb und Stillstand bzw. Stilllegung des KKM von 2017 bis 2021**



**Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des KKM von 2017 bis 2021**



Es wurden während der ganzen Berichtsperiode keine Kontaminationen festgestellt, welche nicht mit einfachen Mitteln, beispielsweise dem Händewaschen oder einem Kleiderwechsel, entfernt werden konnten. Im Jahr 2021 hat das KKM an 717 Personen (282 Eigen- und 435 Fremdpersonal) Triagemessungen zur Inkorporationsüberwachung durchgeführt. Das KKM stellte dabei keine Überschreitung der Triageschwelle fest.

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

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
823	823	11

Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörperzähler	Schilddrüse
717	717

**Bewertung der Strahlenexposition**

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

**Strahlenschutzinstrumentierung**

Die Strahlenschutzinstrumentierung wurde im Rahmen einer Inspektion mit dem Schwerpunkt «Wartungsstelle des KKM für geeichte Strahlungsmessgeräte» überprüft. Dabei überzeugte sich das ENSI anhand der eingereichten Qualitätsmanagement-Dokumentation sowie durch Vor-Ort-Kontrollen davon, dass die Organisation, inkl. Verantwortlichkeiten und Ausbildung des Personals, die Bestimmung der Referenzwerte der Konstanzprü-

fung und die im Rahmen des Aufgabenbereichs der Wartungsstelle durchgeführten Tätigkeiten den regulatorischen Anforderungen entsprachen. Auch überzeugte sich das ENSI stichprobenartig, dass die periodischen Prüfungen der Messgeräte durch das Kraftwerkspersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten. Verbesserungsbedarf identifizierte das ENSI unter anderem bei der Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen in Bezug auf den Folienwechsel und auf die Bestimmung des Referenzwertes und des Toleranzbereichs bei der Konstanzprüfung von Personenmonitoren. Auch führte das ENSI im Berichtsjahr eine Inspektion zur Materialbefreiung durch. Dabei prüfte das ENSI die eingereichten Unterlagen und führte stichprobenweise Kontrollmessungen durch. Die Ergebnisse der Kontrollmessungen stimmten mit den Resultaten des Betreibers überein. Die gesetzlichen Vorgaben bezüglich der Materialbefreiung wurden eingehalten. In einer weiteren Inspektion hat das ENSI im KKM stichprobenweise die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser überprüft. Der Weg von der Probenerhebung über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Monats- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar. Zusätzlich zu den ENSI-Inspektionen wurden bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen nationale Labors bzw. Messstellen teilnehmen, überprüft:

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von

Aerosol- und Iodfiltern sowie von Abwasserproben stimmten mit den Werten des KKM überein.

— Aufgrund von Verzögerungen, verursacht durch die Covid-19-Pandemie, lagen die Ergebnisse der vom BAG und vom ENSI gemeinsam im Jahr 2021 organisierten 67. Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie erst Anfang 2022 vor. Die anerkannte Personendosimetriestelle des KKM erfüllte dabei die Anforderung der Dosimetrieverordnung mit Ausnahme des Energiebereichs von Röntgenstrahlung um 80 keV, bei dem die Oberflächendosis Hp(0,07) systematisch überschätzt wurde. Das KKM ist dabei, die Ursache für diese Überschätzung abzuklären und eine Lösung dafür zu suchen.

Im Berichtszeitraum hat das ENSI die Abluftüberwachungen von zwei neu aufgebauten Materialbehandlungseinrichtungen und drei neuen In-situ-Gammaspektroskopie-Messsysteme für das Verfahren zur Aktivitätsbestimmung von Materialien freigegeben.

Auch kam es im Jahr 2021 zu zwei Teil- und einem Gesamtausfall der normalen radiologischen Kaminfortluftüberwachung. Die Ausfälle waren nur von kurzer Dauer und die Kontrolle der radioaktiven Stoffe in der Fortluft war zu jedem Zeitpunkt durch ein redundantes bzw. Ersatzsystem, das in Betrieb genommen wurde, sichergestellt.

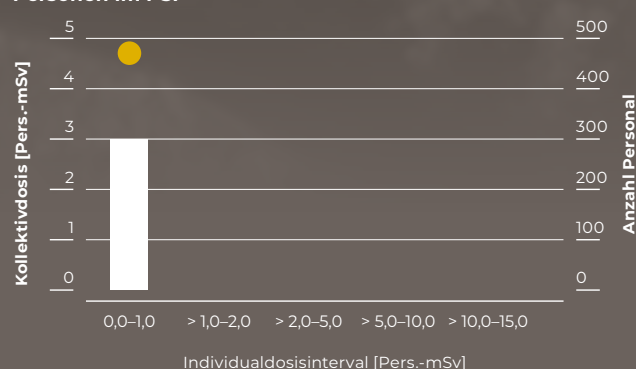




# 3. Weitere Kernanlagen

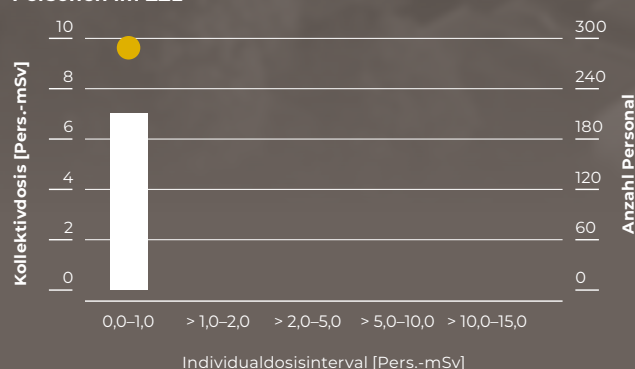
Paul Scherrer Institut, Zentrales Zwischenlager  
Würenlingen, Ecole Polytechnique Fédérale de  
Lausanne und Universität Basel

Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im PSI



■ Kollektivdosis ■ Anzahl dosimetriertes Personal

Kollektivdosen und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen im ZZL



■ Kollektivdosis ■ Anzahl dosimetriertes Personal

## Zusammenfassung

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

ZZL: Im ZZL wurden die Planungsziele für die Kollektivdosis unterschritten. Aufgrund des Wegfalls oder der Reduktion von gewissen Arbeiten und Dosisoptimierungen fiel die Kollektivdosis geringer als ursprünglich geplant aus. Im Jahr 2021 ereignete sich kein strahlenschutzrelevantes, meldepflichtiges Ereignis. Der praktizierte Strahlenschutz wird als zielführend bewertet.

EPFL: Der CROCUS-Versuchsreaktor wird hauptsächlich für den Unterricht der Reaktorphysik und zur Demonstration von systemtechnischen Prozessen verwendet. Im Berichtsjahr wurden pandemiebedingt die meisten Besuche abgesagt. Die Anlage wurde lediglich von Studierenden der EPFL und des spezialisierten Masterprogramms «Nuclear Engineering» sowie von Physikerinnen und Physiker zur Durchführung praktischer Versuche verwendet. Im «Laboratoire de physique des Réacteurs et de comportements des Systèmes» der EPFL ereigneten sich keine strahlenschutzrelevanten Vorkommnisse.

## 3.1 Paul Scherrer Institut

### Allgemein

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

Unter anderem wurden im Berichtsjahr folgende strahlenschutzrelevante Arbeiten durchgeführt:

- Bei der ehemaligen Versuchsverbrennungsanlage wurde die kontaminierte und asbesthaltige Ausmauerung am Grobfilter ausgebaut und in Behälter einbetoniert. Das Stahlgehäuse des Grobfilters wurde vor dem Abbruch von Kontamination und Asbest befreit. Die Arbeiten wurden am Feinfilter fortgesetzt.
- In der Aktivlagerhalle C wurde der zweite Teil der Bodensanierung durchgeführt. Die Gesamtsanierung wurde 2021 abgeschlossen.
- Vier Abfallcontainer wurden in der Anlage DIORIT vergossen und verdeckelt.
- Im Labor für Endlagersicherheit wurden verschiedene Produktkontrollen an aktiven Proben aus aktuellen Verfestigungskampagnen durchgeführt.
- Aus der Anlage PROTEUS wurden der Blockring 1 und das Eisengranulat aus dem Brennstablagar ausgeschleust.
- Das Pilotprojekt zur Freimessung der Räume bei der Anlage SAPHIR wurde fortgesetzt.

In der Berichtsperiode kamen am PSI im Aufsichtsbereich des ENSI 469 beruflich strahlenexponierte Personen in den kontrollierten Zonen oder bei Aussenarbeiten zum Einsatz. Die Kollektivdosis während des gesamten Berichtszeitraumes betrug 3,2 Pers.-mSv.

Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2021 betrug 0,8 mSv und lag damit deutlich unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv.



**Bild 13:** Arbeiten während der Konditionierung eines Containers mit radioaktiven Abfällen.

Während des ganzen Jahres traten keine Kontaminationen auf, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten. Während des Berichtszeitraumes hat das PSI an 138 Personen (Eigenpersonal: 127, Fremdpersonal: 11) Triagemessungen durchgeführt. Dabei wurden keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle detektiert.

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

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
533	533	32

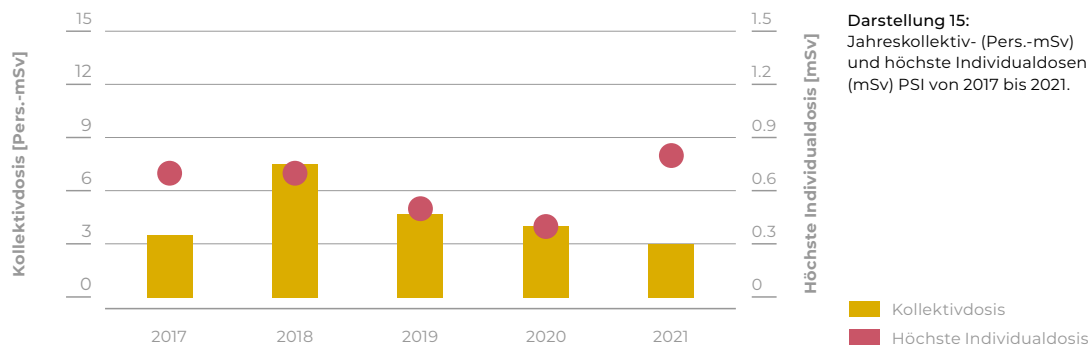
  

Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörperzähler	Schilddrüse
–	–

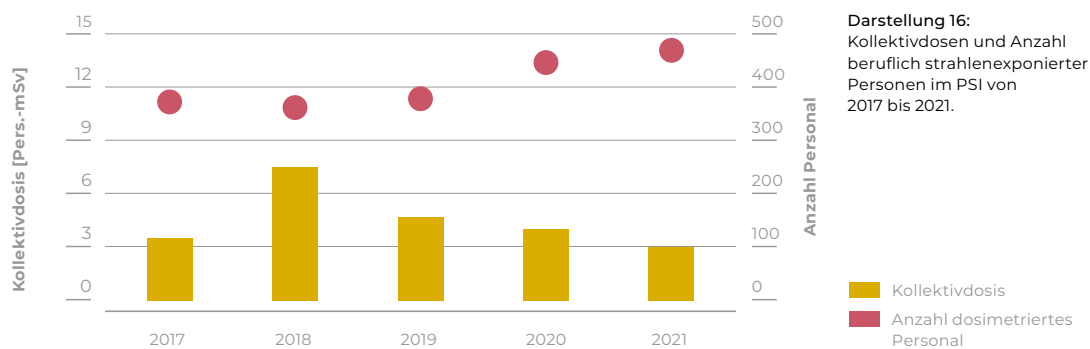
### Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung wurde im Rahmen einer Inspektion mit dem Schwerpunkt «Wartungsstelle des PSI für geeichte Strahlungsmessgeräte» überprüft. Dabei überzeugte sich das ENSI anhand der eingereichten Qualitätsmanagement-Dokumentation sowie durch Vor-Ort-Kontrollen davon, dass die Organisation, inkl. Verantwortlichkeiten und Ausbildung des Personals, die

### Jahreskollektiv und höchste Individualdosis im PSI von 2017 bis 2021



### Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des PSI von 2017 bis 2021



Bestimmung der Referenzwerte der Konstanzprüfung und die im Rahmen des Aufgabenbereichs der Wartungsstelle durchgeführten Tätigkeiten den regulatorischen Anforderungen entsprachen. Auch überzeugte sich das ENSI stichprobenartig, dass die periodischen Prüfungen der Messgeräte durch das Personal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten. In einer weiteren Inspektion überprüfte das ENSI stichprobenweise die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt über die Fortluft und das Abwasser. Der Weg von der Probenerhebung über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Quartals- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar. Zusätzlich zu den ENSI-Inspektionen wurden bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen nationale Labors bzw. Messstellen teilnehmen, überprüft:

— Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem

BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Iodfiltern sowie von Abwasserproben stimmten mit den Werten des PSI überein.

— Aufgrund von Verzögerungen, verursacht durch die Covid-19-Pandemie, lagen die Ergebnisse der vom BAG und vom ENSI gemeinsam im Jahr 2021 beauftragten 67. Vergleichsmessung für die externe Personendosimetrie erst Anfang 2022 vor. Die anerkannte Personendosimetriestelle des PSI erfüllte dabei die Anforderung der Dosimetrieverordnung für die Auswertung der Fingerringdosimeter mit einem Lexsyg-Auswertegerät vollständig. Werden die Fingerringdosimeter mit dem alten Harshaw-Gerät ermittelt, so ergibt sich für den Röntgenbereich bei einer Energie um 30 keV eine Unterschätzung der ermittelten Dosis. Das PSI ist dabei, die Ursache für diese Unterschätzung abzuklären.

Im Berichtszeitraum wurden diverse Freigaben im Bereich der Strahlenmesstechnik erstellt. Dazu gehören insbesondere die Messsysteme zur radiologischen Anlagenüberwachung des neuen Gebäudes Stapelplatz Ost und die Ertüchtigung

der Abluftüberwachung des Abfalllabors und des Hotlabors. Auch für zwei Labore im Hotlabor, die in Zukunft als Alpha-Labor genützt werden sollen, wurden Freigaben für die Nachrüstung einer Raumluftüberwachung erteilt.

Der Monitor, der im Bundeszwischenlager zur Überwachung des Tritiums in der Fortluft eingesetzt wird, bestand eine Funktionsprüfung nicht. Ursache waren Abweichungen bei der Dokumentation und der Verwendung der Sollwerte für die Konstanzprüfungen. Die Messbeständigkeit des Monitors war jederzeit gewährleistet.

## 3.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen

### Allgemein

Im Berichtsjahr ereignete sich kein strahlenschutzrelevantes Vorkommnis im ZZL. Im Jahr 2021 wurde keine Verbrennungskampagne zur Abfallbehandlung mittels der Plasma-Anlage durchgeführt. Der Wegfall oder Reduktionen von Arbeiten führte insgesamt zu einer vergleichsweise geringen Kollektivdosis.

Während des erfolgten Berichtsjahres wurden die folgenden strahlenschutzrelevanten Arbeiten durchgeführt:

- Instandhaltung Gebäude V,
- Fasshandhabung Gebäude S,
- Arbeiten am Abhitzekegel Gebäude V,
- Arbeiten im Gebäude H und an Lagerbehältern,
- allgemeine Arbeiten,
- Instandhaltung Gebäude S,
- Rückbau Neukon,
- Ofenausmauerungsarbeiten,
- Arbeiten Beta-/Gamma-Box,
- Fasshandhabung Gebäude K.

### Dosimetrie

In der Berichtsperiode kamen im ZZL 289 beruflich strahlenexponierte Personen in der kontrollierten Zone oder bei Ausseneinsätzen zum Einsatz. Die Kollektivdosis während des gesamten Berichtszeitraumes betrug 6,8 Pers.-mSv und lag unge-



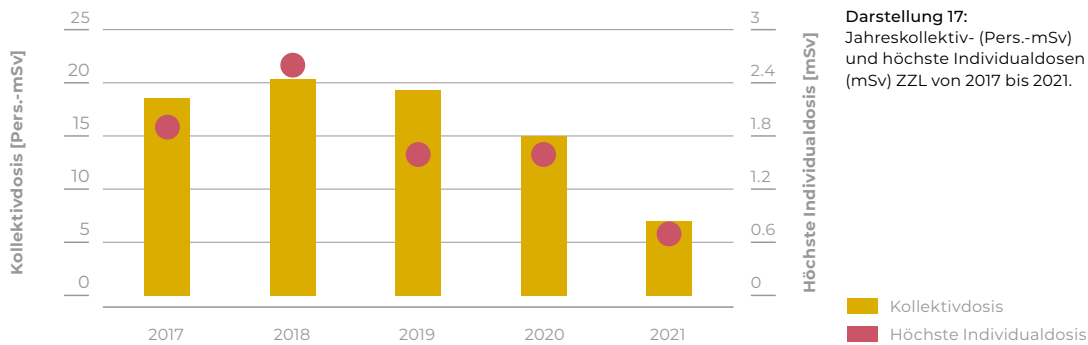
**Bild 14:**  
Dosisleistungsmessung an einem angelieferten Transportbehälter.

fähr 26% unterhalb des Planwertes von etwas über 9 Pers.-mSv. Der Planwert selbst wurde bereits aufgrund von Erkenntnissen bei den Jobdosen oder nicht ausgeführten Arbeiten wie der TN81-Wärmebehandlung, Einlagerungen im Gebäude M, dem Rückbau des KKM, oder bei Arbeiten im Gebäude H und an Transport- und Lagerbehältern auf Ende des dritten Quartals des Berichtsjahres von 11 Pers.-mSv auf den aktuellen Wert angepasst. Gründe für die deutliche Unterschreitung der geplanten Dosis liegen in der Tatsache, dass einige Arbeiten in Bezug auf die Jobdosis schwer vorherzusagen waren oder der Arbeitsumfang geringer ausfiel als erwartet oder geplant. Werden dann noch gemäss Art. 32 Abs. 2 der Dosimetrieverordnung viele kleine Dosen unterhalb von 0,075 mSv abgerundet, so kann sich eine Diskrepanz zur Planungsdosis ergeben.

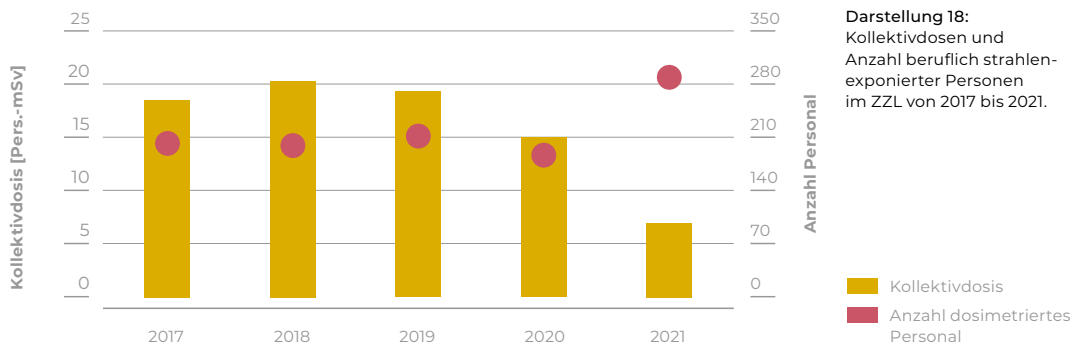
Die höchste Individualdosis im Kalenderjahr 2021 betrug 0,7 mSv und lag damit deutlich unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv.

Es wurden während des ganzen Jahres keine Kontaminationen, welche nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, festgestellt. Während des Berichtszeitraumes hat das ZZL an 275 Personen Triagemessungen (85 beim Eigenpersonal und 190 beim Fremdpersonal) durchgeführt. Dabei wurden keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle detektiert.

**Jahreskollektiv und höchste Individualdosen im ZZL von 2017 bis 2021**



**Kollektivdosen und Anzahl dosimetriertes Personal des ZZL von 2017 bis 2021**



Folgende Anzahl an Personen wurden von der beauftragten, anerkannten Personendosimetrie-stelle des KKB für das ZZL überwacht:

Überwachung der äusseren Bestrahlung		
Ganzkörper	Haut	Extremitäten
350	350	–

Überwachung der Inkorporationen	
Ganzkörperzähler	Schilddrüse
–	–

**Bewertung der Strahlenexposition**

Die Tätigkeiten in den Anlagen des ZZL wurden unter Einhaltung der gesetzlichen und internen Strahlenschutzvorgaben durchgeführt. Die Kollektivdosis fiel 2021 im Vergleich mit den Vorjahren sehr gering aus. Dies ist unter anderem auf das Wegfallen oder die Reduktion von dosisintensiven Arbeiten zurückzuführen. Da ENSI stellte fest, dass im ZZL ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz praktiziert wird.

**Strahlenschutzinstrumentierung**

Die Strahlenschutzinstrumentierung wurde im Rahmen einer Inspektion mit dem Schwerpunkt «Wartungsstelle des ZZL für geeichte Strahlungsmessgeräte» überprüft. Dabei überzeugte sich das ENSI anhand der eingereichten Qualitätsmanagement-Dokumentation sowie durch Vor-Ort-Kontrollen davon, dass die Organisation, inkl. Verantwortlichkeiten und Ausbildung des Personals, die Bestimmung der Referenzwerte der Konstanzprüfung und die im Rahmen des Aufgabenbereichs der Wartungsstelle durchgeführten Tätigkeiten den regulatorischen Anforderungen entsprachen. Auch überzeugte sich das ENSI stichprobenartig davon, dass die periodischen Prüfungen der Messgeräte durch das Personal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten. Verbesserungen wurden im Bereich des Qualitätsmanagements von Dokumenten sowie beim zu grossen Toleranzwert für die Funktionsprüfungen eines Messgerätetyps festgestellt. In einer Inspektion hat das ENSI im ZZL stichprobenweise die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die

Umwelt über die Fortluft und das Abwasser überprüft. Der Weg von der Probenerhebung über die Messung, die Bilanzierung und Buchführung bis hin zur Berichterstattung in den Monats- und Jahresberichten war für die überprüften Stichproben nachvollziehbar. Zusätzlich zu den ENSI-Inspektionen wurden bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen nationale Labors bzw. Messstellen teilnehmen, überprüft:

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

Im Berichtsjahr hat das ENSI vier Räume im Konditionierungsgebäude zur temporären Auszonung aus der kontrollierten Zone freigegeben. Auch hat das ENSI die Konzeptfreigabe für die Gesamtenergieerneuerung der bestehenden Messsysteme zur radiologischen Abgas-, Abluft- und Fortluftüberwachung erteilt.

## 3.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

### Allgemein

Die Kernanlage der EPFL umfasst den Forschungsreaktor CROCUS, das Neutronenexperiment CARROUSEL, die Neutronenquellenkavität LOTUS und die angegliederten Labors. Diese Anlagen sind dem Laboratoire de physique des Réacteurs et de comportement des Systèmes (LRS) zugeteilt, das dem Institut de Physique angehört. Im Jahr 2021 stand der CROCUS-Reaktor Ingenieur- und Physikstudierenden der EPFL, Kursteilnehmenden der Reaktorschule des PSI und Studierenden des Swiss-Nuclear-Engineering-Masterkurses der ETHZ/EPFL während 397 Stunden bei kleiner Leistung (bis 50 W) für Ausbildungs- und Forschungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 376 Wh thermische Energie erzeugt. Im Vergleich zum Vorjahr bedeutet dies eine Reduktion in der Betriebsdauer von 10% und eine Reduktion bei der erzeugten Energie von 88%. Im Berichtsjahr ereig-

neten sich keine strahlenschutzrelevanten Ereignisse am Forschungsreaktor CROCUS.

### Dosimetrie


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

### Bewertung der Strahlenexposition

Im Berichtsjahr wurde beim Personal eine leichte Erhöhung der Kollektivdosis festgestellt, obwohl immer noch in einem sehr tiefen Bereich. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend. Die Ergebnisse der ENSI-Inspektionen bestätigen, dass im LRS an der EPFL ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz praktiziert wird.



**Bild 15:**  
Transport des Reaktorkerns des CROCUS nach dem Entladen.



# Umgebungsüberwachung und Schutz der Bevölkerung: Emissionen und Immissionen

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



## Vorwort der Leitung der Sektion Strahlenmessung

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

Im Rahmen des OSPAR-Übereinkommens arbeiten 15 Regierungen und die EU zusammen, um die Meeresumwelt des Nordostatlantiks zu schützen. Die Schweiz ist Vertragspartei und wird durch die Sektion im Radioactive Substances Committee vertreten. Aufgrund von Forderungen der Sektion haben die Betreiber der Schweizer Kernanlagen ihre Abwasserbehandlungsverfahren und -anlagen in den letzten 20 Jahren kontinuierlich verbessert, was zu einer deutlichen Reduktion der Abgaben führte. Die Vertragsparteien des OSPAR-Abkommens sind aufgefordert, alle sechs Jahre einen zusammenfassenden Bericht über den Erfolg ihrer Massnahmen einzureichen. Die Sektion hat diesen Bericht erarbeitet und ihn zur Verabschiedung bei der jährlichen Sitzung des Radioactive Substances Committees im Februar 2022 eingereicht.

Vom 18. bis 29. Oktober 2021 fand die sogenannte IRRS-Mission in der Schweiz statt. Im Rahmen dieser Mission überprüften Expertinnen und Experten der Internationalen Atomenergie-Agentur IAEA das schweizerische Aufsichtssystem und die Arbeit des ENSI. Im Vorfeld und während der Mission stellte die Sektion zusammen mit der Sektion «Radiologischer Arbeitsschutz» das schweizerische Aufsichtssystem im Strahlenschutz vor und beantwortete Fragen dazu. Entstanden ist eine Serie von Empfehlungen, die das ENSI in den nächsten Jahren auch im Bereich Strahlenschutz umsetzen wird.

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

die Messdaten an die Zentrale liefern können, konnte bis auf neun Messstationen im Jahr 2021 abgeschlossen werden. Das Projekt verzögerte sich durch Probleme mit Hochdosiszählrohren, die durch den Lieferanten ausgetauscht werden mussten.

Auch im Berichtsjahr bearbeitete das ENSI eine Vielzahl von Meldungen zur Befreiung von Materialien, die aus kontrollierten Zonen der konventionellen Entsorgung zugeführt werden. Der grösste Anteil des Materials kam aus der Stilllegung des KKM, gefolgt von den Rückbauprojekten des PSI und den Umbauarbeiten im ZZL.

Das Projekt zur Revision der Richtlinie ENSI-G14 verzögerte sich aufgrund von Ressourcenengpässen. Erfolge konnten bei der Überprüfung der Ausbreitungsmodelle und der Vereinfachung der Formeln zur Berücksichtigung der Tochterprodukte verzeichnet werden. Es ist geplant, im ersten Quartal 2022 mit einer Kanzleirevision die Dosisfaktoren aus der Richtlinie auf die ENSI-Website auszulagern sowie im Verlaufe des Jahres 2022 dem Hinweis aus der IRRS-Mission, die Revision der Anforderungen der Richtlinie fokussierter voranzutreiben, zu folgen.



**Joachim Löhle**



**Bild 16:**  
Mitarbeiter  
des ENSI  
bei einer  
Befreiungs-  
messung.

# 4. Grundlagen

## «Emissions- und Immissionsüberwachung»

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

Die Überwachung der Direktstrahlung und der Radioaktivität in der Umgebung der Kernanlagen ist neben der Abgabelimitierung und der Berechnung der Dosis aus den erfolgten Emissionen eine weitere wichtige Kontrollmassnahme zum Schutz der Bevölkerung. Die Immissionsmessungen des Betreibers und der Behörden erfolgen gemäss dem Umgebungsüberwachungsprogramm (Art. 193 StSV), das Teil des oben erwähnten anlagenspezifischen

Abgabereglements ist. Dieses Programm wird jährlich vom BAG und vom ENSI überprüft. Im Umgebungsüberwachungsprogramm sind die zu überwachenden Umgebungsparameter, Probenahmeorte, Messhäufigkeiten, Verfahren zur Probenerhebung und Messungen sowie die zu erreichenden Messempfindlichkeiten festgelegt. Beteiligt sind, neben der Kernanlage selbst, das BAG, die Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG), das Institut Universitaire de Radiophysique (IRA), die Universität Bern sowie kantonale Labors und das ENSI. Zusätzlich führt die nationale Alarmzentrale (NAZ) im Auftrag des ENSI aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der Kernanlagen durch. Die Ergebnisse der Messungen, die das ENSI selbst durchführt oder beauftragt hat, sind in diesem Bericht dargestellt. Im Jahresbericht «Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz» des BAG werden sämtliche Ergebnisse der Umweltüberwachung sowohl für die Umgebung der Kernanlagen wie auch für die gesamte Schweiz veröffentlicht.



# 5. Emissionen aus den Kernanlagen

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser und der Abluft lagen im Jahr 2021 für die vier Schweizer KKW Beznau, Gösgen, Leibstadt und Mühleberg sowie für das PSI und das am gleichen Standort gelegene ZZL deutlich unterhalb der Jahres- und Kurzzeit-Abgabelimite. Die aus den tatsächlichen Abgaben und der Direktstrahlung aus der jeweiligen Anlage errechnete Strahlenexposition liegt selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren für Erwachsene, zehnjährige Kinder und Kleinkinder weit unterhalb des für Standorte von Kernanlagen festgelegten quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr.

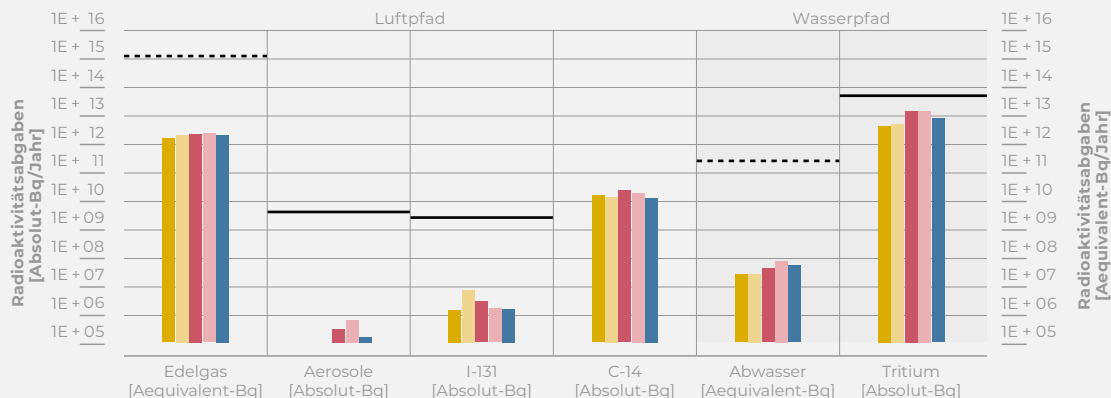
Die Abgaben von radioaktiven Stoffen mit der Abluft und dem Abwasser der schweizerischen KKW sind in der Darstellung 19 und A1 (Anhang) für die letzten fünf Jahre zusammen mit den entsprechenden Jahreslimiten dargestellt. Eine Aufschlüsselung der Abgaben der KKW nach Monat für die limitierten radioaktiven Abgaben ist in Darstellung A2 im Anhang aufgezeigt. Die Tabelle A4 zeigt die in den KKW und im ZZL gemessenen Abgabewerte sowie die unter ungünstigen Annahmen gemäss Richtlinie ENSI-G14 errechneten Personendosen für Erwachsene, 10-jährige Kinder und Kleinkinder in der Umgebung der betreffenden Anlage im Jahr 2021. Die Abgaben des Paul Scherrer Instituts und die daraus in gleicher Weise berechneten Dosiswerte sind in Tabelle A5 zusammengestellt. Eine nuklidspezifische Aufschlüsselung der Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser ist in Tabelle A6, mit der Abluft in den Tabellen A7 und A8 gegeben (alle Tabellen in Anhang). Darstellung 20 zeigt für die vier schweizerischen KKW den Verlauf der in der Umgebung berechneten Dosen für die meistbetroffenen Personen (nur Erwachsene) über die letzten 24 Jahre.

Alle Kernanlagen haben die vorgeschriebenen Jahres- und Kurzzeitabgabelimite eingehalten. Zur Überprüfung der Messverfahren der Kernanlagen hat das ENSI an 184 Proben eigene gammaspektrometrische Messungen durchgeführt (inkl. Teilnahme an Ringvergleichen zur Sicherstellung der eigenen Messqualität). Dabei wurden Aerosol- und Iodfilter sowie Abwasserproben aus den An-

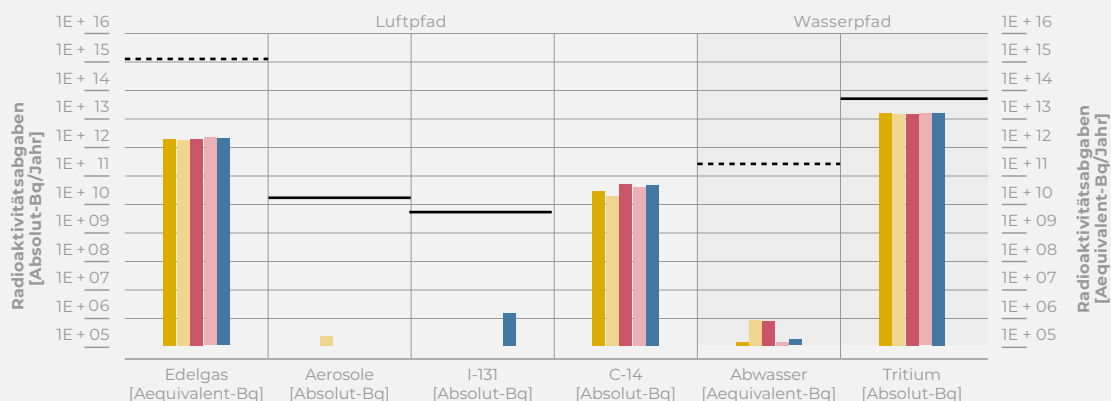
lagen stichprobenweise analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Abgabereglemente eingehalten werden. Bei der monatlichen Aufschlüsselung der radioaktiven Abgaben aus den Werken (vgl. Darstellung A2 im Anhang) ist bei den flüssigen Abgaben beim KKG die jährlich jeweils vor dem Revisionsstillstand durchgeführte Verwerfungsaktion für tritiumhaltiges Wasser bei den Abgaben erkennbar. Solche Abgaben sind bei den Druckwasserreaktoren systembedingt erforderlich, um den operationellen Strahlenschutz während der Revision zu optimieren. Im Gegensatz zum KKG erfolgen die Tritiumabgaben im KKB über das ganze Jahr verteilt.

Alle Schweizer Kernkraftwerke haben auch 2021 die  $^{14}\text{C}$ -Aktivität in der Abluft gemessen. Der Dosisbeitrag von  $^{14}\text{C}$  wurde aus den Messwerten ermittelt. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die  $^{14}\text{C}$ -Abgaben aus den schweizerischen Kernkraftwerken im Normalbetrieb der Kernkraftwerke über die Ingestion von Nahrungsmitteln den grössten Beitrag zur Dosis in der Umgebung der Anlagen liefern. Dieser Beitrag liegt aber bei wenigen Prozenten des quellenbezogenen Dosisrichtwertes und ist somit radiologisch nicht relevant. Die aus den Emissionen der Kernkraftwerke errechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in unmittelbarer Nähe der Anlage beträgt unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren beim KKB und KKG weniger als 0,001 mSv, bei KKM und KKL lag die Dosis bei etwa 0,002 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung betragen somit im Jahr 2021 nur einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwerts. Das PSI ist aufgrund der Bewilligung für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung verpflichtet, sowohl für die einzelnen Anlagen als auch für die Gesamtanlage des PSI die aus den Abgaben resultierende Dosis in der Umgebung zu berechnen. Beim PSI errechnet das ENSI eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von weniger als 0,011 mSv. Beinahe die gesamte Dosis ergibt sich im PSI durch die Abgabe von kurzlebigen radioaktiven Gasen aus den Teilchenbeschleunigern im West-Areal des Institutes. Die vom PSI und vom ENSI unabhängig voneinander durchgeführten Berechnungen zeigen, dass unter ungünstigen An-

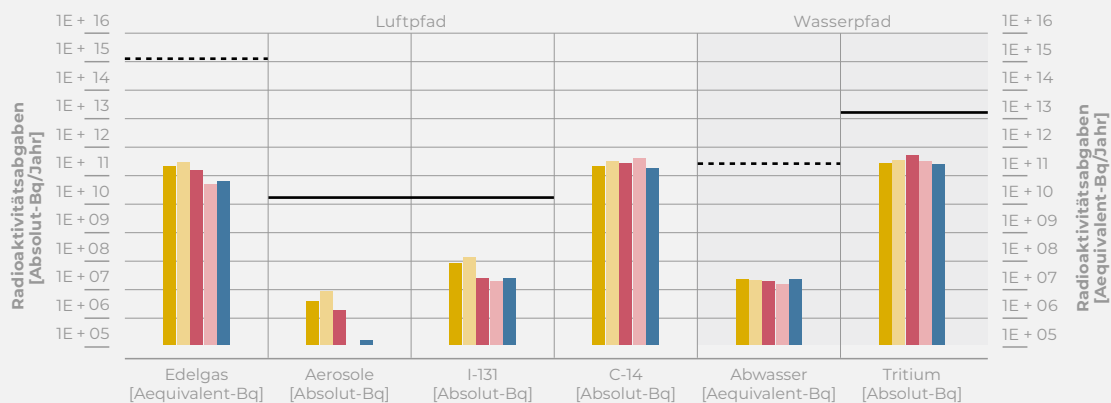
## KKB



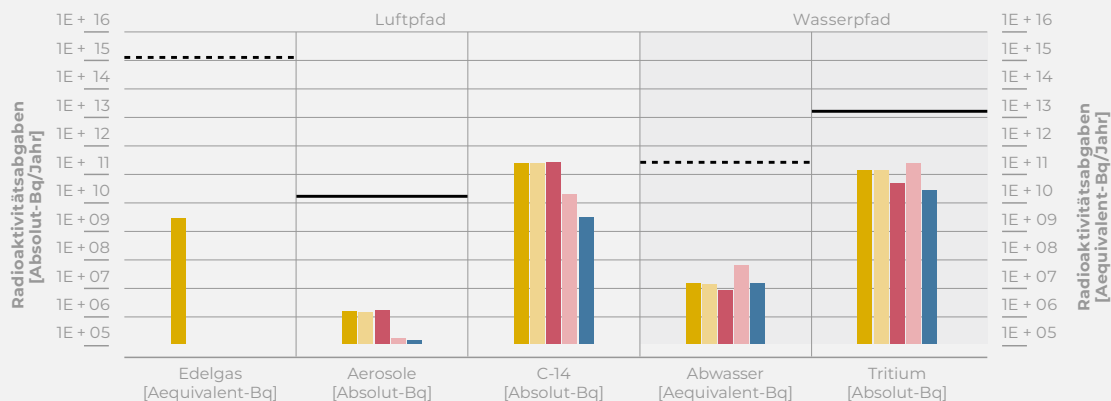
## KKG



## KKL



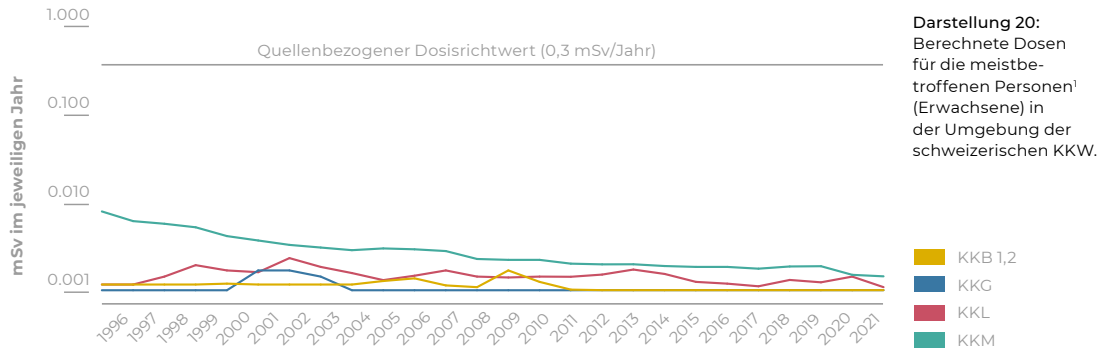
## KKM



**Darstellung 19:** Abgaben der schweizerischen KKW an die Atmosphäre und mit dem Abwasser in den letzten fünf Jahren (2017 bis 2021) im Vergleich mit den Jahresabgabelimiten.

■ 2017  
■ 2018  
■ 2019  
■ 2020  
■ 2021  
 Limite [Aequivalent-Bq]  
 Limite [Absolut-Bq]

### Berechnete Jahresdosen aus den erfolgten Emissionen



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

nahmen die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung deutlich unterhalb des für das PSI bewilligten Anteils von 0,15 mSv pro Jahr am quellenbezogenen Dosisrichtwert für den gemeinsamen Standort des PSI und des ZZL liegt. Für das ZZL beträgt der Anteil 0,05 mSv pro Jahr.

Die für das Jahr 2021 bilanzierten Abgaben des ZZL sind in den Tabellen A6 bis A8 (im Anhang) zusammengestellt. Die aufgrund der Abgaben unter ungünstigen Annahmen berechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Umgebungsbevölkerung lag unterhalb von 0,001 mSv.

Die komplette Datensammlung und deren grafische Auswertungen 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 zehnmals radiotoxischer ist als ein anderer, auch zehnmals weniger an die Umgebung abgegeben werden darf. Für Aerosolabgaben über die Abluft ist eine Limitierung über Äquivalentabgaben nicht sinnvoll, da die zur Dosis beitragenden Pfade dafür zu komplex sind.

Angegeben ist für die jeweilige Nuklidgruppe und den Abgabepfad die Jahressumme der bei den einzelnen bilanzierenden Messungen durch die KKW ausgewiesenen Aktivitätsabgaben. Die Edelgasbilanzierung im KKB und im KKG basiert auf Beta-Totalmessungen. Für die Umrechnung in die für den Vergleich mit den Abgabelimiten notwendigen Edelgas-Abgabeäquivalente wurde in diesen Fällen ein konservatives Nuklidgemisch angesetzt. Das KKL und das KKM bilanzieren die Edelgase dagegen nuklidspezifisch mittels Gamaspektrometrie-Messungen. Die nuklidspezifischen Messungen liegen häufig unterhalb der Nachweisgrenze.



# 6. Immissionen in der Umgebung der Kernanlagen

## 6.1 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen

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

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

Beim KKB und KKG wurde am Zaun weder mittels TLD resp. EDIS noch bei den vierteljährlichen Messungen des ENSI eine signifikante Erhöhung der Ortsdosis über dem natürlichen Untergrund festgestellt. Am Zaun des KKL wurden bei den vierteljährlichen vom ENSI durchgeführten Messungen während des Leistungsbetriebes Ortsdosisleistungen zwischen  $0,06 \mu\text{Sv/h}$  (natürlicher Untergrund) und  $0,19 \mu\text{Sv/h}$  ermittelt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes am meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von etwa  $0,02 \text{ mSv}$  pro Woche. Die vom

KKL quartalsweise ausgewerteten EDIS am Zaun ergeben nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes eine maximale, auf eine Woche gemittelte Dosiserhöhung von etwa  $0,03 \text{ mSv}$ . Am Zaun des KKM wurden bei den vierteljährlich vom ENSI durchgeführten Messungen Dosisleistungen zwischen  $0,08 \mu\text{Sv/h}$  (natürlicher Untergrund) und  $0,32 \mu\text{Sv/h}$  ermittelt. Auf eine Woche hochgerechnet würde basierend auf dem maximalen Momentanwert am meist exponierten Ort eine Dosiserhöhung von etwa  $0,04 \text{ mSv}$  resultieren. Im Falle des KKM wird bei einer solchen Hochrechnung die Ortsdosis stark überschätzt, da die maximalen Ortsdosisleistungen am Zaun in der Regel aufgrund der Rückbauarbeiten zeitlich begrenzt sind. In diesem Falle wurde der hohe Wert während Arbeiten im Aktivlager gemessen. Die vom KKM quartalsweise ausgewerteten TLD am Zaun ergeben nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes eine maximale, auf eine Woche gemittelte Dosiserhöhung von etwa  $0,016 \text{ mSv}$ . Am Zaun

**Bild 17: Ortsdosisleistungsmessung am Zaun des KKL.**





des PSI wurden bei vierteljährlichen vom ENSI durchgeführten Messungen Ortsdosisleistungen zwischen  $0,06 \mu\text{Sv/h}$  (natürlicher Untergrund) und  $0,09 \mu\text{Sv/h}$  ermittelt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes am meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von ca.  $0,005 \text{ mSv}$  pro Woche. Die vom PSI quartalsweise ausgewerteten TLD am Zaun ergeben nach Subtraktion des natürlichen Untergrundes eine maximale, auf eine Woche gemittelte Dosiserhöhung von etwa  $0,005 \text{ mSv}$ . Beim ZZL konnte weder aus den stichprobenweise durchgeführten Dosisleistungsmessungen noch aufgrund der am Zaun positionierten TLD und Neutronendosimeter eine signifikante Erhöhung der Ortsdosisleistung festgestellt werden.

Die Messungen aller Betreiber und des ENSI gaben keinen Hinweis auf eine Verletzung der nach Art. 79 Absatz 2 der Strahlenschutzverordnung anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerksareals von  $0,02 \text{ mSv}$  pro Woche für Wohn- und Aufenthaltsräume und von  $0,1 \text{ mSv}$  pro Woche für andere Bereiche.

## 6.2 Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke

### 6.2.1 Übersicht

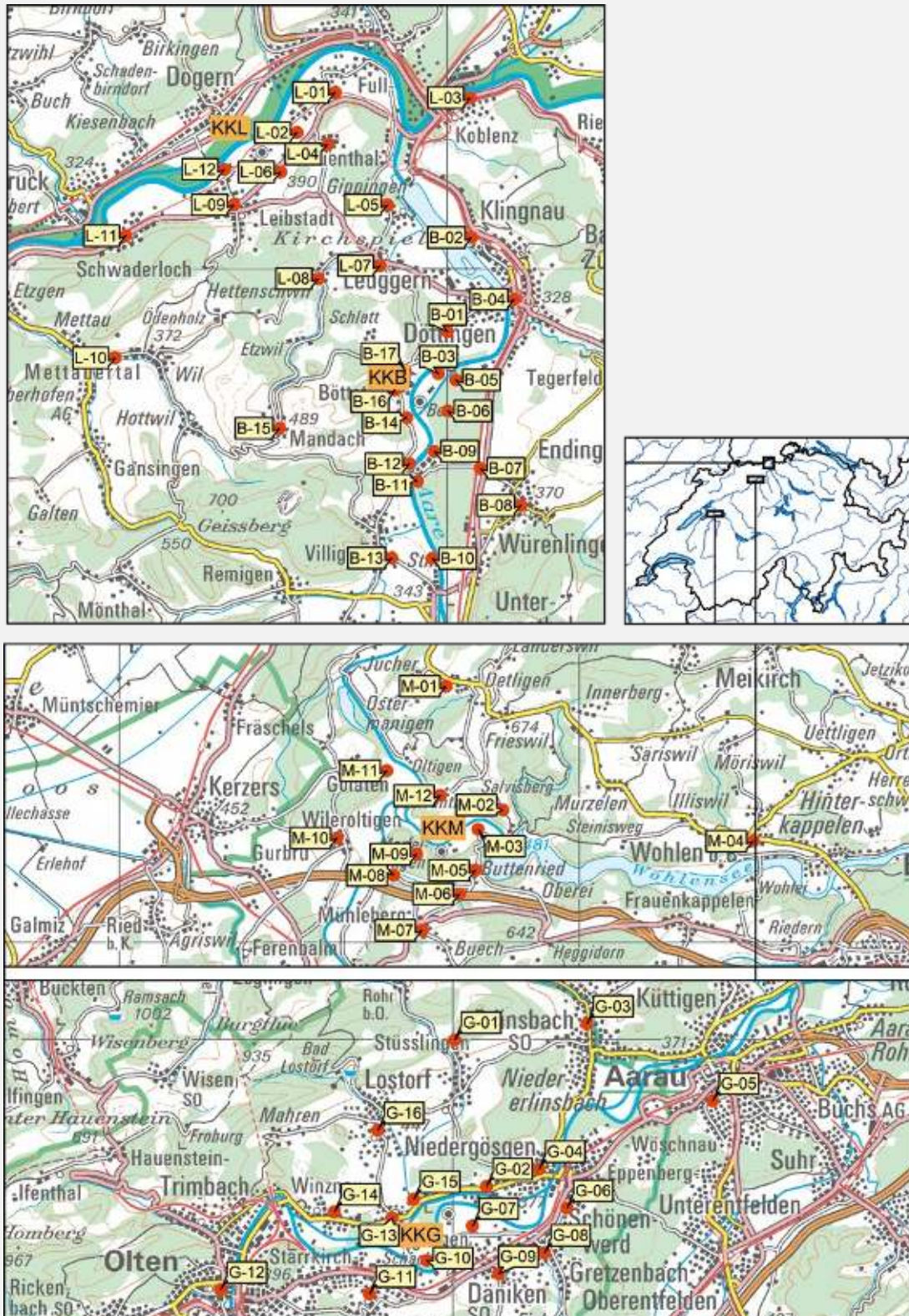
Das MADUK-System (Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke) inklusive der Einrichtungen zur Übernahme von Anlageparametern (ANPA) und Kaminemissionswerten aus den KKW wurde im Laufe des Jahres 1993 aufgebaut und ab Frühling 1994 in den operationellen Betrieb überführt. Da das System die Dosisleistung in der Umgebung der KKW ganzjährig rund um die Uhr misst und überwacht, dient es der Beweissicherung für die Behörden und gegenüber der Öffentlichkeit. Ebenso ermöglicht es das Erkennen von Betriebsstörungen und Unfällen, da Erhöhungen gegenüber den natürlichen Dosiswerten



**Bild 18:**  
MADUK-Messsonde in der Nähe des KKL.

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

Das MADUK-Netz zur Messung der Dosisleistungen besteht aus insgesamt 57 Immissionsmessstationen in der Umgebung der vier KKW. Die Messsonden des MADUK-Systems komplettieren und ergänzen das gesamtschweizerische Messnetz zur Radioaktivitätsüberwachung, das mit dem NADAM-Netz auf weitere 76 Messstationen zählen kann. Die Geiger-Müller-Zählrohre in den Sonden ermitteln die Gamma-Dosisleistung im Messbereich von  $10 \text{ nSv/h}$  (Niederdosiszählrohre) bis  $10 \text{ Sv/h}$  (Hochdosiszählrohr). Die MADUK-Zentrale des ENSI verarbeitet und archiviert die Daten, sorgt im Bedarfsfall für eine sofortige Alarmierung der ENSI-Notfallorganisation und sichert die Daten langfristig. Zudem erfolgt ein permanenter Datenaustausch mit externen und internen Partnern: NAZ, Kernreaktorfernüberwachung Baden-Württemberg sowie die Systeme ADAM und JRODOS/LASAT im ENSI. Die Darstellung 21 zeigt die Standorte der Messsonden in der Umgebung der Kernkraftwerke.



**Darstellung 21:**  
Die vier Mess-  
ringe des  
MADUK-  
Netzes.  
Kartendaten  
PK200 ©  
Bundesamt  
für Landes-  
topografie.

Die Daten des MADUK-Netzes können mittels einer speziellen Software auf bestimmten Windows-Arbeitsplatzrechnern im ENSI und in den KKW visualisiert werden. Auf dieser [Website](#) sind alle seit 1994 archivierten Tages-, Stunden- und Zehn-Minuten-Mittelwerte der MADUK-Stationen abrufbar.

## 6.2.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung

Im Jahr 2020 wurde mit dem Umbau der Stationen auf den neuen Sondentyp (Bild 19) begonnen und bereits 40 Stationen umgerüstet. Bereits in den ersten Monaten mussten rund 20 Sonden mit defektem Hochdosiszählrohr ausgetauscht und zur Reparatur an den Lieferanten retourniert werden. Deshalb konnten im Jahr 2021 nur weitere acht Stationen auf den neuen Sondentyp umgerüstet werden, da bis Ende Jahr nur zehn reparierte Sonden wieder verfügbar, geeicht und als Reservematerial für weitere Ausfälle zur Verfügung standen. Die restlichen Sonden werden voraussichtlich im Februar 2022 wieder verfügbar sein und im März geeicht, sodass der Umbau im Frühjahr 2022 abgeschlossen werden kann.

Die MADUK-Zentrale wurde auf neue Systeme mit aktuellen Betriebs- und Datenbanksystemen migriert. Die Migration konnte ohne nennenswerte Unterbrüche für den Betrieb durchgeführt werden.

### Systemverfügbarkeit und Störungen

Die Systemverfügbarkeit ist bei MADUK von besonderer Bedeutung, da das System eine konti-

nuierliche Überwachung gewährleisten muss, die auch von der Öffentlichkeit wahrgenommen wird. Mit der Kenngrösse «Systemverfügbarkeit» wird die Einsatztauglichkeit des Gesamtsystems MADUK beurteilt: Systemstörungen, die zu wesentlichen Nutzungseinschränkungen des Systems geführt haben, werden als Ausfallzeit in Stunden erfasst.

Die permanente Übertragung der Anlageparameter aus den KKW erreichte insgesamt wiederum eine sehr hohe Verfügbarkeit. Beim KKL führten drei Störungen am Router des Kommunikationsproviders zu Kommunikationsausfällen von insgesamt 40,7 Stunden, wobei die Daten jeweils nachträglich verarbeitet werden konnten. Wartungsarbeiten im Rahmen der JHR hatten einen Unterbruch von 3,8 Stunden zur Folge. Beim KKB, Block 2, fiel aufgrund blockierter Treiber die Datenerfassung nachts während 9,7 Stunden aus. Beim KKG wurden neben angekündigten Wartungsarbeiten von 1,2 und 3,8 Stunden zwei weitere Unterbrüche von insgesamt 2,7 Stunden registriert. Die Übertragung der Anlageparameter des Blocks 1 des KKB und des KKM liefen ohne nennenswerte Unterbrüche (> 1 Stunde).

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

Die Messstationen liefen auch im Jahr 2021 grösstenteils zuverlässig. Die Anzahl Kommunikationsunterbrüche gingen im Vergleich zu den Vorjahren deutlich zurück. Dies war hauptsächlich auf

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

Station	Störungsdauer [h]	Permanenter Datenverlust [h]	Ursache
G-06	23,0	23,0	Ausfall Kommunikation
M-10	24,5	24,5	Ausfall Kommunikation
G-09	19,4	19,4	Defekt Stationselektronik
G-05	21,8	21,8	Wasserschaden Stationsstandort
L-12	17,2	17,2	Defekte Messsonde
M-08	1,7	1,7	Technisches Problem bei Neukonfiguration
G-07	19,7	19,7	Blockierter Datenlogger
B-17	2,0	2,0	Blockierter Datenlogger
G-05	91,3	91,3	Defekte Batterie

**Bild 19: GammaTracer XL2 der Firma Bertin GmbH.**



den Einsatz des neuen Sondentyps mit redundanter Datenübertragung zurückzuführen. Bei zwei Kommunikationsausfällen wurde jeweils gleich die Messstation auf den neuen Sondentyp umgebaut (G-06, M-10). Bei der Station G-05 führte ein Wasserschaden am Standort zu einem langen Stromausfall. Deshalb wurde diese Station ebenfalls auf den neuen Sondentyp umgerüstet. Die ersten Betriebserfahrungen mit dem neuen Sondentyp sind gut. Die Autarkie durch die eingebauten Solarpanels ist grösstenteils ausreichend. Bei Messstationen mit starker Beschattung durch Gebäude und/oder Bäume wurden in den alten Messkasten Schaltuhren montiert, um zyklisch die Batterien der Sonden zu laden. Damit kann auch bei längerem Stromausfall von mehr als 30 Tagen der Betrieb der Sonden gewährleistet werden.

Aufgrund von Bauarbeiten am Standort musste die Messsonde der Station G-11 für den Zeitraum vom 29. März 2021, 11:50 Uhr, bis 23. Juni 2021,

14:20 Uhr, demontiert werden. Für diesen Zeitraum liegen keine Messdaten für diese Station vor.

Im Berichtsjahr lag die gemäss Managementhandbuch des ENSI bestimmte Systemverfügbarkeit bei 99,9% (Verfügbarkeit der ANPA- und EMI-Daten eingerechnet). Die Verfügbarkeit der Dosisleistungsdaten aller MADUK-Stationen im Archiv betrug 99,54% (Ausfall der Station G-11 mit 0,4% eingerechnet).

#### 6.2.4 Qualitätssicherung

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

Gemäss Art. 2 der Verordnung des Eidgenössischen Justiz- und Polizeidepartements (EJPD) über Messmittel für ionisierende Strahlung (StMmV), welche sich derzeit in Revision befindet, werden die MADUK-Sonden vor einem ersten Einsatz geeicht. Die Eichung hat eine dreijährige Gültigkeit. Aufgrund der Umrüstung der Messstationen auf einen neuen Sondentyp, der Ressourcensituation und der aktuellen Überarbeitung der StMmV wurde auch im 2021 auf die Durchführung der Funktionsprüfung vor Ort verzichtet. Durch die permanente Messung und die laufende automatische Prüfung der Messdaten kann trotzdem eine sehr hohe Datenqualität sichergestellt werden.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme werden üblicherweise Messungen mittels In-situ-Gammaskpektrometrie bei den Messstationen durchgeführt. Im Jahre 2021 erfolgten die Messungen an den MADUK-Standorten der Messringe des KKB und KKM.. Bei allen Messungen wurden die Untersuchungsschwellen nicht erreicht. Es konnten keine Immissionen der Kernanlagen nachgewiesen werden.

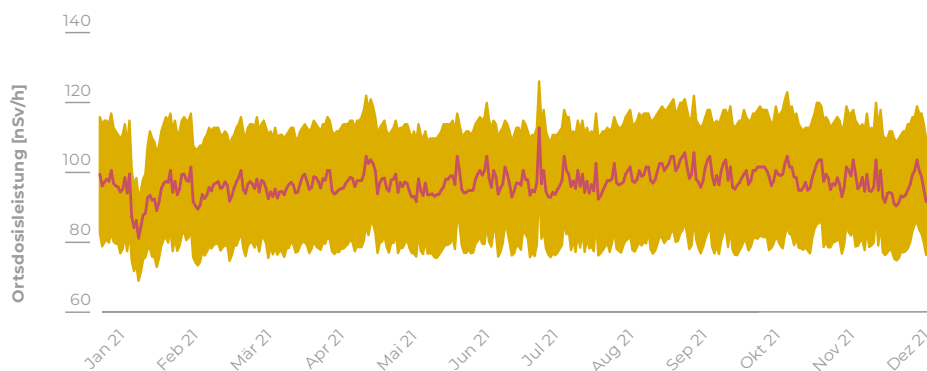
#### 6.2.5 Messergebnisse

Im Jahr 2021 wurden insgesamt drei Verletzungen des Nettodosisleistungsschwellenwertes von 50 nSv/h (Tabelle 2) registriert. Alle waren auf-

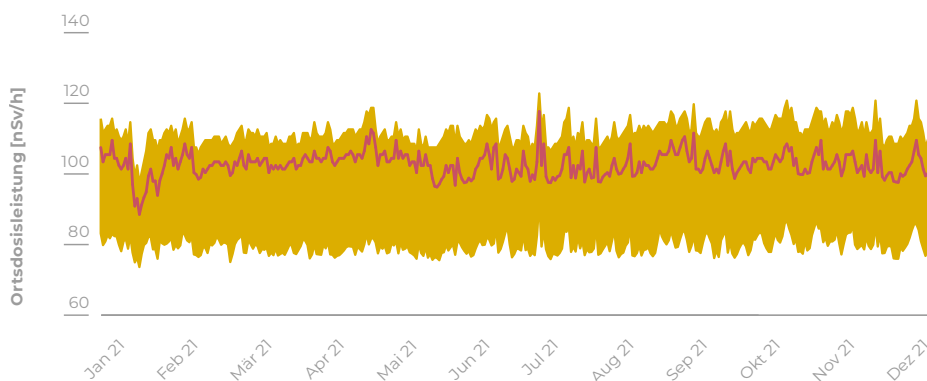
**Tabelle 2: Auflistung der Schwellwertüberschreitungen durch die Nettodosisleistung (NDL) im Jahr 2021. ODL: Ortsdosisleistung.**

Datum	Station	Dauer [h]	Max. NDL [nSv/h]	Max. ODL [nSv/h]
06.01.2021 07:00	L-12	1,3	108	210
08.06.2021 16:50	M-04	0,2	52	140
30.08.2021 16:00	L-03	0,3	61	167

**Maxima, Minima und Medianwerte des MADUK-Messrings des KKB für das Jahr 2021**



**Maxima, Minima und Medianwerte des MADUK-Messrings des KKG für das Jahr 2021**



**Darstellung 22:** Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe des KKB und KKG im Jahr 2021.

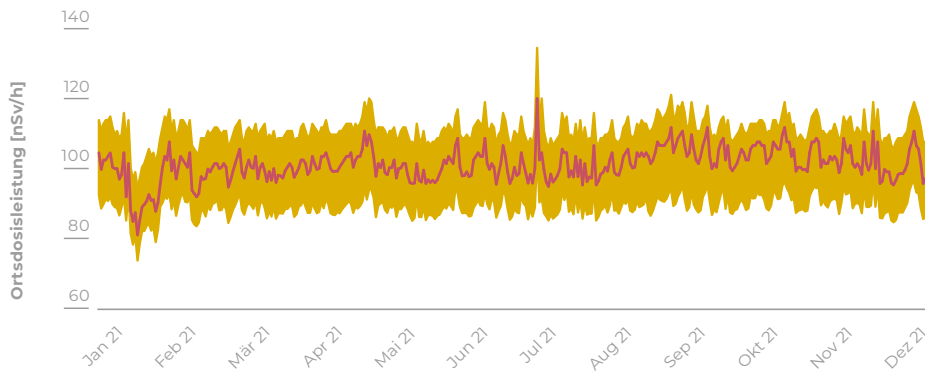
grund von gleichzeitig registriertem Niederschlag und/oder dem für Radonfolgeprodukte typischen Abklingverhalten auf Washout von natürlichen Radionukliden zurückzuführen.

Bei der Station L-12 wurde am 6. Januar zwischen 07:00 Uhr und 08:40 Uhr eine Verletzung des Nettodosisleistungsschwellwertes von 50 nSv/h registriert. Die maximale Ortsdosisleistung betrug 210 nSv/h und die maximale Nettodosisleistung 108 nSv/h. Aufgrund des Verlaufs der Erhöhung mit dem für Radonfolgeprodukte typischen Abklingverhalten konnte die Erhöhung auf Washout natürlicher Radionuklide (Radonfolgeprodukte)

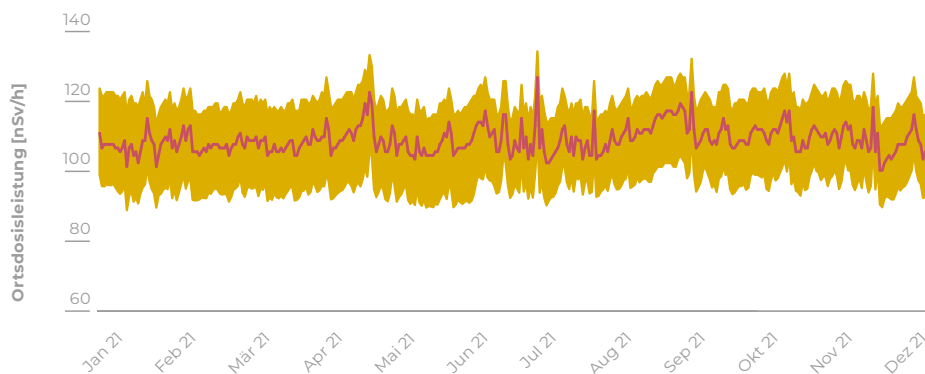
durch Niederschlag zurückgeführt werden. Ein Augenschein vor Ort zeigte Schnee bei der Station, obwohl in der Region ansonsten kein Schnee lag. Der künstliche Schneefall (Industrieschnee) konnte sich durch die Temperaturen um den Gefrierpunkt aus dem Dampf des Kühlturmes des KKL bilden. Da es wegen dieser Erhöhung zu einer Öffentlichkeitsanfrage kam, wurde auf der Webseite des ENSI ein [Artikel](#) zu diesem Thema aufgeschaltet.

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

### Maxima, Minima und Medianwerte des MADUK-Messrings des KKL für das Jahr 2021



### Maxima, Minima und Medianwerte des MADUK-Messrings des KKM für das Jahr 2021



Darstellung 23:  
Wertebereiche  
aus Tagesmittel-  
werten für die  
Messringe des  
KKL und KKM  
im Jahr 2021.

Die Darstellungen 22 und 23 zeigen die Maxima, die Minima und die Medianwerte der Tagesmittelwerte der jeweiligen Messringe im Berichtsjahr in den Umgebungen der Kernkraftwerke.

situ-gammaspektrometrischen Messungen berechneten Dosisleistungen sind konsistent mit den Werten der Ortsdosisleistung an den MADUK-Standorten und zeigen auch keine nennenswerten Veränderungen.

## 6.3 In-situ-gamma-spektrometrische Messungen in der Umgebung der Kernanlagen

Gemäss den Abgabereglementen werden im Zweijahresrhythmus an den Standorten der MADUK-Stationen in-situ-gammaspektrometrische Messungen durchgeführt. Im Jahr 2021 wurden diese Messungen an den MADUK-Standorten der Messringe des KKB und KKM durchgeführt. Die Messresultate zeigten dabei keine Einträge von künstlichen Nukliden an den Standorten der MADUK-Sonden, welche auf den Betrieb der Kernanlagen zurückzuführen waren. Die aus den in-

## 6.4 Immissionsmessungen im Wasserpfad

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

In den Wasserproben an den Probenahmestellen Hagneck (Aare), Klingnau (Aare) und Pratteln (Rhein) wurden neben Spuren von  $^{137}\text{Cs}$  im Monat Januar keine weiteren künstlichen Radionuklide nachgewiesen. In den Grundwasserproben bei Aarberg (KKM), Schönenwerd (KKG), Böttstein

**Bild 20: Vergleichsmessungen bei der Inbetriebnahme des neuen In-situ-Detektors.**



(KKB) und Pratteln (KKL) konnten keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen werden.

In einzelnen Sedimentproben bei Hagneck, Klingnau und Pratteln wurden Spuren von  $^{54}\text{Mn}$  und bei Hagneck auch  $^{60}\text{Co}$  detektiert. Der maximale Wert für  $^{54}\text{Mn}$  lag bei Hagneck bei 0,5 Bq/kg, für  $^{60}\text{Co}$  bei 0,4 Bq/kg (Befreiungsgrenze LL = 100 Bq/kg). An der Messstelle Klingnau lagen die Werte für  $^{54}\text{Mn}$  ebenfalls bei 0,5 Bq/kg. In den Sedimentproben von Pratteln waren die gemessenen Aktivitäten für  $^{54}\text{Mn}$  bei maximal 0,4 Bq/kg. In allen Sedimentproben und in einzelnen Wasserproben wurde  $^{137}\text{Cs}$  gemessen. Dieses stammt hauptsächlich aus ausgewaschenem  $^{137}\text{Cs}$  des Fallouts aus den Bombentests und dem Tschernobyl-Ereignis. Der maximale Wert für  $^{137}\text{Cs}$  im Wasser betrug 0,3 Bq/m<sup>3</sup> (Immissionsgrenzwert 36 000 Bq/m<sup>3</sup>) und im Sediment rund 4 Bq/kg (Befreiungsgrenze LL = 100 Bq/kg).

In den Proben der Wasserpflanzen konnte bei Möhlin  $^{137}\text{Cs}$  mit Aktivitäten von 2 Bq/kg (Befreiungsgrenze LL = 100 Bq/kg) gemessen werden. In Fischen wurden keine Aktivitäten von künstlichen Radionukliden über der Nachweisgrenze festgestellt.

Detaillierte Resultate zu allen Messungen des Probenahme- und Messprogramms können dem Jahresbericht 2021 des BAG über «Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz» entnommen werden.

## 6.5 Aeroradiometrische Messungen

### 6.5.1 Einleitung

Aeroradiometrische Messungen wurden in der Schweiz im Jahr 1986 mit einem geophysikalischen Projekt am Institut für Geophysik der ETH Zürich aufgenommen. Die grundlegende Methodik für Datenerfassung, Datenverarbeitung, Kalibrierung und Kartendarstellung wurden innerhalb dieses Projektes entwickelt (Schwarz 1991). Seit 1989 wird die Umgebung der schweizerischen Kernanlagen mindestens im Zweijahresrhythmus vermessen.

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

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

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

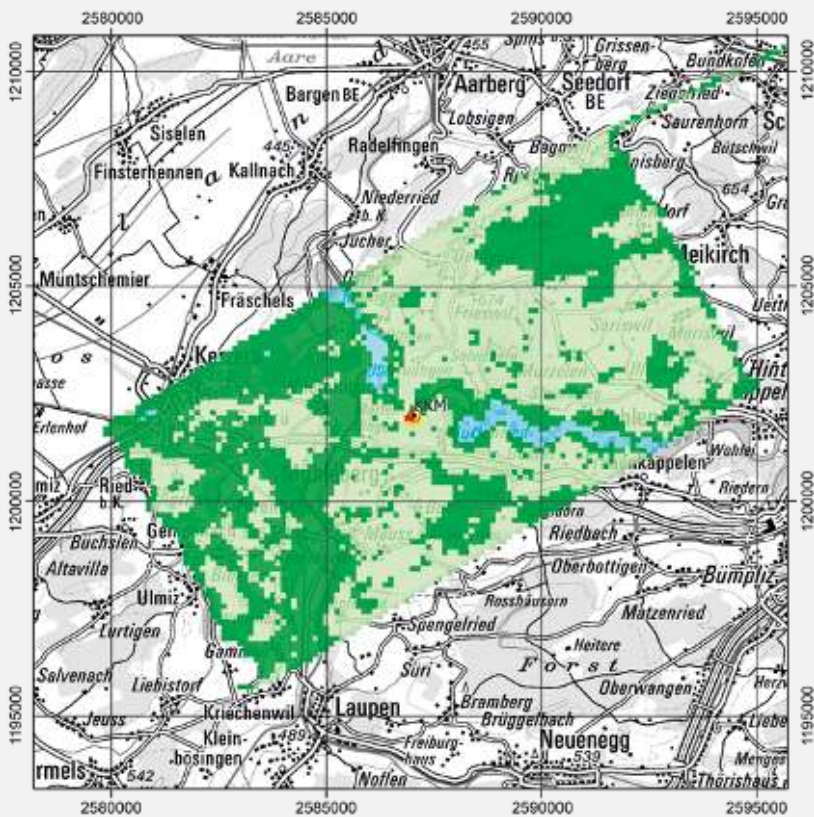
**Ortsdosisleistung im Messgebiet um das KKG**



Darstellung 24:  
Ortsdosisleistung (ODL) [µSv/h] 2021 im Messgebiet des KKG. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.

- Fluglinien
- ODL
- <= 0.04
- 0.04–0.06
- 0.06–0.08
- 0.08–0.1
- 0.1–0.15
- 0.15–0.2
- 0.2–0.3
- 0.3–0.5
- 0.5–2
- 2–5
- 5–10
- > 10

**Ortsdosisleistung im Messgebiet um das KKM**

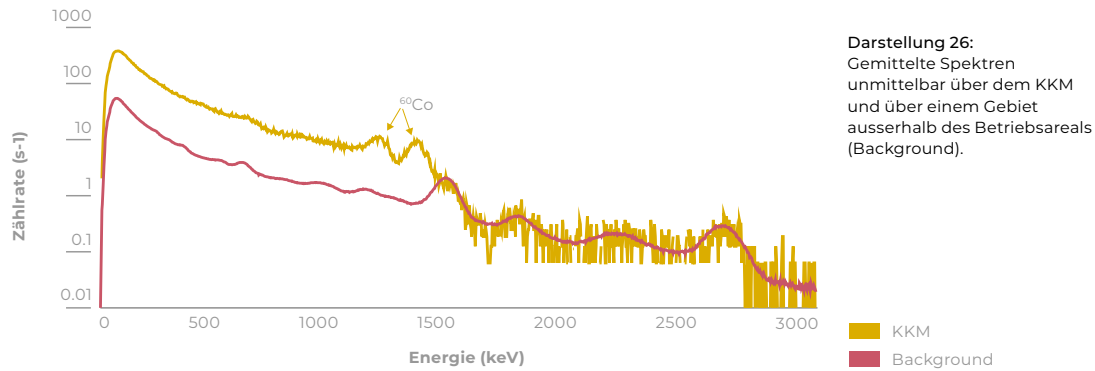


Darstellung 25:  
Ortsdosisleistung (ODL) [µSv/h] 2021 im Messgebiet des KKM. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.

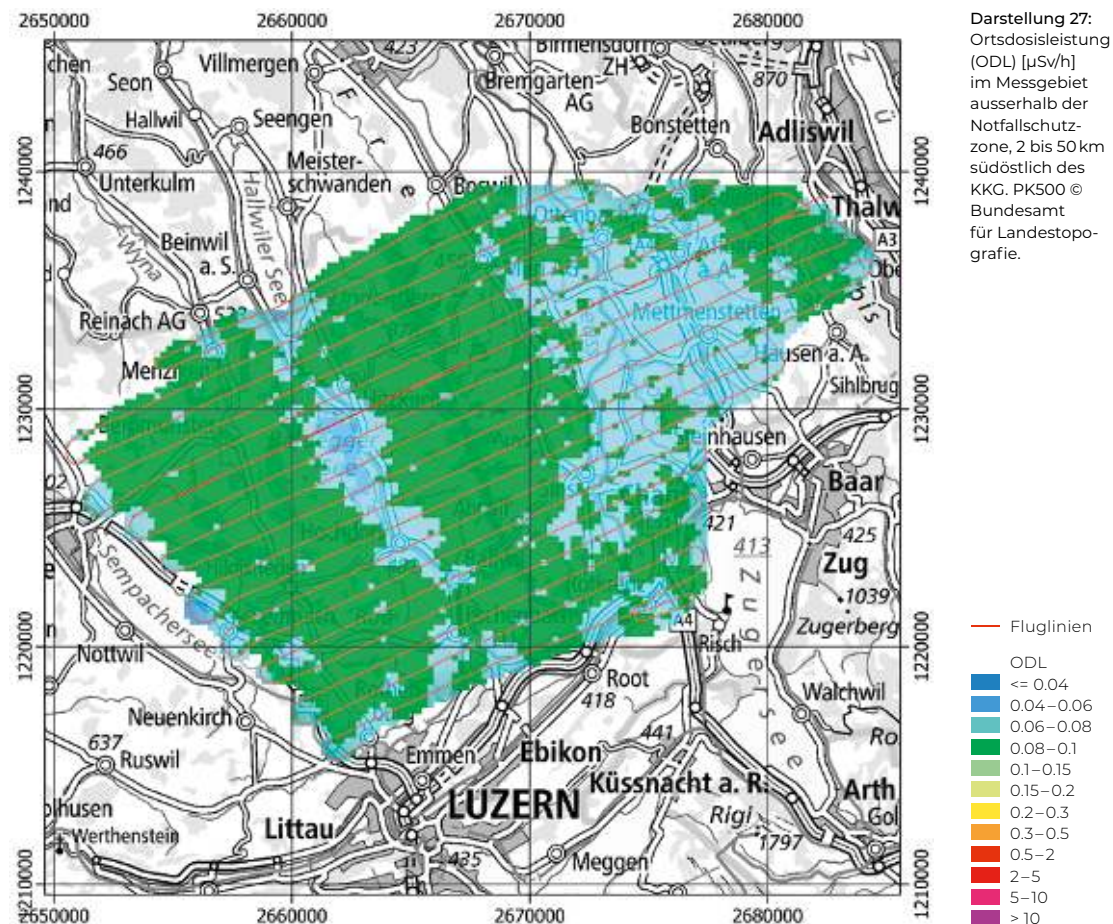
- ODL
- <= 0.04
- 0.04–0.06
- 0.06–0.08
- 0.08–0.1
- 0.1–0.15
- 0.15–0.2
- 0.2–0.3
- 0.3–0.5
- 0.5–2
- 2–5
- 5–10
- > 10



**Gemittelte Spektren über dem KKM**



**Ortsdosisleistung im Messgebiet ausserhalb der Notfallschutzzone**



## 6.5.2 Messungen und Messresultate 2021

Während einer Messübung im Zeitraum vom 28. Juni bis 2. Juli 2021 wurde turnusgemäss die Umgebung des KKG und KKM aeroradiometrisch gemessen. Im Rahmen der Messübung wurden zudem die Messungen ausserhalb der Zone 2 des KKG in südöstlicher Richtung bis zu 50 km Distanz

erweitert. Die detaillierten Ergebnisse sämtlicher Messungen werden wiederum in einem PSI-Bericht im Verlauf des Jahres 2022 publiziert.

Die Messresultate im Messgebiet des KKG zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. Im Bereich des KKG sind keine besonderen Werte bei der Ortsdosisleistung (Dar-

stellung 24) zu erkennen. Das KKG mit seinem Druckwasserreaktor konnte aeroradiometrisch weder aufgrund der Ortsdosisleistung (Darstellung 24) noch aufgrund des MMGC-Verhältnisses erkannt werden. Das MMGC-Verhältnis steht für den Quotienten der Zählraten im Energiebereich von 400–1400 keV und 1400–3000 keV. Da die meisten Spaltprodukte Gammalinien im Energiebereich unterhalb von 1400 keV aufweisen, stellt das MMGC-Verhältnis ein empfindliches Instrument zur Lokalisierung künstlicher Radionuklide dar.

Im Gegensatz zum KKG können am Standort des KKM in der Ortsdosisleistungskarte (Darstellung 25) erhöhte Messwerte erkannt werden. Wobei in früheren Messkampagnen während des Leistungsbetriebs beim KKM die für Siedewasserreaktoren typische gestreute, hochenergetische Photonenstrahlung (durch das Aktivierungsprodukt  $^{16}\text{N}$  erzeugt, welches bei Siedewasserreaktoren durch die Frischdampfleitung in die Turbinen im Maschinenhaus gelangt) detektiert werden konnte, sind nun die Gammalinien des Nuklids  $^{60}\text{Co}$  in den gemessenen Spektren zu erkennen (Darstellung 26). Diese stammen von Komponenten, die im Zuge des Rückbaus des KKM auf dem Betriebsareal zwischengelagert werden.

Ausserhalb des Betriebsareals des KKM sind keine erhöhten Werte erkennbar. Unterschiede sind auf Einflüsse der Topographie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen.

Im Messgebiet ausserhalb der Notfallschutzzone 2 des KKG liegen die Messwerte im erwarteten Bereich. Unterschiede sind auf Einflüsse der Topographie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen (Darstellung 27).

#### Literatur

- Schwarz, G.F., 1991: Methodische Entwicklungen zur Aerogammaspektrometrie. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr.23, Schweizerische Geophysikalische Kommission.
- Bucher, B., Rybach, L., 2010: Flächendeckende Langzeitanalyse der Strahlung in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen mit Hilfe der Aeroradiometrie, in: Natürliche und künstliche Radionuklide in unserer Umwelt, 42. Jahrestagung des Fachverbands für Strahlenschutz e.V., FS-2010-153-T, ISSN 1013-4506, TÜV Media GmbH, Köln.





# 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, insbesondere ist sie für den Betrieb, den Unterhalt und die Entwicklung des Prognosemodells JRODOS, mit dem die radiologischen Auswirkungen im Falle von unfallbedingten atmosphärischen Freisetzungen von radioaktiven Stoffen bestimmt werden, zuständig. Im Besonderen sorgt die Sektion für die jährliche Aktualisierung der Notfallschutzpläne.

## Vorwort der Leitung der Sektion «Störfallauswirkungen und Notfallschutz»

Wie bereits im Vorjahr erfolgte auch im Jahr 2021 die Aufsicht über die Notfallbereitschaft der Kernanlagenbetreiber unter dem Vorzeichen der Covid-19-Pandemie: Die im Jahr 2020 gesammelten Erfahrungen im Umgang mit der Pandemie sowie die konsequente Umsetzung von Schutzmassnahmen ermöglichten jedoch eine uneingeschränkte Inspektion der Notfallbereitschaft der Kernanlagenbetreiber. Lediglich in der Durchführung der Übungen mussten zur Einhaltung der Schutzmassnahmen Abstriche erfolgen, etwa in der Zahl der Beübten oder bei der Nutzung von Räumlichkeiten vor Ort. Im Jahr 2021 wurden zudem die Einsatzbereitschaft der nach dem Unfall in Fukushima errichteten externen Notfallzentren der KKW inspiziert. Bei diesen externen Notfallzentren handelt es sich um zusätzliche Räumlichkeiten ausserhalb des Anlagenareals, welche dem Notfallstab ein sicheres und wirksames Arbeiten ermöglichen, falls es die Bedingungen am Standort der Kernanlage nicht mehr zulassen.

Das Jahr 2021 wartete aus Sicht der Sektionsleitung zudem gleich mit mehreren Highlights auf: Einerseits konnte die Revision eines grundlegenden Dokuments, welches u. a. den Daten- und Informationsaustausch zwischen der Schweiz und Deutschland bei einem Notfall in einem Schweizer KKW darlegt, abgeschlossen und die neue Fassung an der Hauptsitzung der Deutsch-Schweizerischen Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen (DSK) im November verabschiedet werden. Andererseits wurde im Oktober 2021 im Rahmen einer von der IAEA durchgeführten sog. IRRS-Mission auch die Aufsichtspraxis des ENSI im Bereich der Notfallvorsorge überprüft. Während zwei Wochen standen die Notfallvorsorge-Experten der Sektion dem für das Modul Notfallschutz verantwortlichen Experten der IAEA Rede und Antwort. In zahlreichen bilateralen Gesprächen mit dem von der spanischen Aufsichtsbehörde für die Mission abdelegierten Experten konnten auch Einblicke in die spanische Aufsichtspraxis und somit Anregungen für die Aufsicht in der Schweiz gewonnen werden. Ein weiteres Highlight war die Bevölkerungsschutz-

konferenz 2021 in Davos: An einer zweitägigen Veranstaltung trafen sich am 3. und 4. November hochrangige Verantwortliche und Fachleute aus den zuständigen kantonalen Amtsstellen des Bevölkerungsschutzes und der Partnerorganisationen. Das ENSI bzw. die Sektion war für das Programm und die Gestaltung von einer der drei in diesem Rahmen organisierten Fachkonferenzen zuständig («10 Jahre Fukushima»), an der nebst einem Referat des Direktors des ENSI auch Referate von Vertretern des BAG, des Bundesamts für Bevölkerungsschutz (BABS) und vom Chef des Kantonalen Führungsstabs des Kantons Solothurn sowie Gastreferate von Vertretern aus Frankreich und Japan zu hören waren. Eine Panneldiskussion über den Handlungsbedarf und die Herausforderungen für Einsatzkräfte bei einem KKW-Unfall schloss die vielfach begrüßte Fachkonferenz ab. Darüber hinaus sei die planmässige Einrichtung und Inbetriebnahme des neuen Ausweichstandorts der ENSI-Notfallorganisation sowie die Räumung und Rückgabe der bisher in Zürich genutzten Räumlichkeiten erwähnt: Somit ist auch im unwahrscheinlichen Fall einer Unverfügbarkeit der Notfallräumlichkeiten in Brugg sichergestellt, dass die Notfallorganisation des ENSI seine Verantwortung und Aufgaben bei einem Notfall wahrnehmen kann. Zu guter Letzt sei an dieser Stelle auch auf die Beobachtung einer Notfallübung im zweitgrössten KKW Europas in Gravelines am Hauptsitz der französischen Aufsichtsbehörde ASN in Paris verwiesen: Auch bei dieser Gelegenheit konnten wertvolle Einblicke in die Notfallvorsorge der französischen Partner gewonnen und Kontakte geknüpft werden.

Der nachfolgende Jahresrückblick zeigt einmal mehr auf, wie vielfältig die Aufgaben in der Sektion und insbesondere in der Notfallvorsorge ausfallen: Auch im Jahr 2022 werden die Fachexperten der Sektion mit zahlreichen und diversen Herausforderungen konfrontiert werden. Die Notfallvorsorge entwickelt sich dynamisch, neue Situationen und Fragestellungen erfordern innovative Lösungen in Abstimmung mit den Notfallschutzpartnern des ENSI; internationale Entwicklungen und nicht zuletzt der Konflikt in der Ukraine wirken hierbei als Impulsgeber.



Ronald Rusch

# 7. Grundlagen

## «Notfallschutz»

### Gesetzgebung

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

Die den Notfallschutz bestimmenden Grundlagen auf Stufe Verordnung des Bundes wurden vom Bundesrat erlassen und definieren Aufgaben, Pflichten, Verantwortlichkeiten und Zusammenarbeit mit den in einem Notfall involvierten Stellen (insb. die Kernenergieverordnung [KEV], die Notfallschutzverordnung [NFSV], die Verordnung über den Bundesstab Bevölkerungsschutz [VBSTB], die Bevölkerungsschutzverordnung [BevSV, seit 1.1.2021 in Kraft], die Jodtablettenverordnung und die Strahlenschutzverordnung [StSV]).

Darüber hinaus hat die Schweiz im Bereich des Notfallschutzes Abkommen und Vereinbarungen mit dem Ausland abgeschlossen, darunter z.B. 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 Dosis-Massnahmenkonzept bildet im Notfallschutz die Grundlage für die Anordnung von Sofortmassnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei einem Ereignis mit erhöhter Radioaktivität. Massnahmen sind zwingend anzuordnen, wenn erwartet wird, dass die Referenzwerte gemäss der Strahlenschutzverordnung – 100 mSv im ersten Jahr – überschritten werden. Die Schweiz und Deutschland teilen sich die Notfallschutzzone um das KKL und KKB. Um grenzübergreifend gleiche Massnahmen anordnen zu können, ist eine Angleichung der Schwellenwerte 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 wird zurückgegriffen, 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 NAZ bei längerfristig unzureichender Informationslage und basierend auf der Einschätzung des ENSI Sofortmassnahmen anzuordnen, ohne dass zuvor durch Ausbreitungsrechnungen die Überschreitung von Dosissschwellen prognostiziert wurde.

### Regelwerk

Als Aufsichtsbehörde und gestützt auf in Verordnungen formulierte Aufträge erlässt das ENSI Richtlinien. Richtlinien sind Vollzugshilfen, die rechtliche Anforderungen konkretisieren und eine einheitliche Vollzugspraxis erleichtern. Die vom ENSI erlassenen Richtlinien konkretisieren zudem den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. Für den Notfallschutz unmittelbar relevant sind die Richtlinien ENSI-B03 «Meldungen der Kernanlagen», ENSI-B11 «Notfallübungen», ENSI-B12 «Notfallschutz in Kernanlagen», ENSI-A08 «Quelltermanalyse: Umfang, Methodik und Randbedingungen». Beginnend ab dem Jahr 2021 wird die Richtlinie ENSI-B11 «Notfallübungen» grundlegend überarbeitet. Die Inkraftsetzung der Neuauflage dieser Richtlinie ist Ende des Jahres 2023 geplant.

### Stand von Wissenschaft und Technik

Als Basis für seine Ausbreitungs- und Dosisberechnungen (siehe Kap. 8.2) nutzt das ENSI seit jeher Wettervorhersagen des Bundesamts für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz. Dabei kommen typischerweise die dreistündlich aktualisierten 24-Stunden-Vorhersagen aus dem Wettervorhersagemodell COSMO zum Einsatz, die hin-

sichtlich räumlicher und zeitlicher Auflösung im internationalen Vergleich ihresgleichen suchen: Beim Modell COSMO-1E beträgt die horizontale räumliche Auflösung ca. 1 km und die zeitliche Auflösung zehn Minuten. MeteoSchweiz arbeitet kontinuierlich daran, die Vorhersagegüte weiter zu verbessern und die eingesetzten Modelle nach Stand von Wissenschaft und Technik weiter zu entwickeln.

In diesem Zusammenhang erfolgt seit 2019 im Rahmen des Vertrags zwischen MeteoSchweiz, BABS und ENSI die Erneuerung und der Ausbau der Messmittel, die zur detaillierten Erfassung der Wettersituation im Mittelland eingesetzt werden, sowie die Erweiterung der Datenbasis für die Eingabegrößen des Vorhersagemodells. Dabei konnte MeteoSchweiz im Berichtsjahr erfolgreich Tests der neuen Mikrowellenradiometer und radargestützten Windprofiler abschliessen, welche die bestehenden Geräte im Rahmen des Lebenszyklus ablösen. Die als Ergänzung zu den Windprofilern vorgesehenen lasergestützten Doppler-LIDAR-Geräte, welche die planetarische Grenzschicht im Höhenbereich ab Boden bis ca. 2000 m besser auflösen vermögen, wurden an den Standorten der Windprofiler installiert. Erste Assimilierungsexperimente mit Daten der Doppler-LIDAR-Geräte und der neuen Radiometer sind sehr vielversprechend, eine operationelle Nutzung der Daten kann aber erst nach weiteren und vertieften Analysen erfolgen.

Aus der Perspektive des Notfallschutzes, in dessen Kontext das ENSI die Wettervorhersagen von MeteoSchweiz nutzt, ist die Verwendung von (seit dem Vorjahr verfügbaren) mit Wahrscheinlich-

keiten behafteten Prognosen zur Durchführung von Ausbreitungs- und Dosisberechnungen mit deutlich erhöhtem Aufwand verbunden. Angesichts der Tatsache, dass die Menge und der Zeitpunkt allfälliger unfallbedingter Freisetzungen radioaktiver Stoffe aus einer Kernanlage mit grossen Unsicherheiten verbunden ist, bedarf es aus Sicht des ENSI vertiefter Diskussionen unter den Notfallschutzpartnern über den Mehrwert der Verwendung von solchen Prognosen für den Notfallschutz. Zur Schaffung einer Datenbasis und zur Gewinnung erster Erfahrungen im Umgang mit probabilistischen Vorhersagen hat MeteoSchweiz ihr eigenes Ausbreitungsmodell FLEXPART im Berichtsjahr erweitert, um damit auf der Basis des probabilistischen Wettervorhersage-



**Bild 21:** Messstation Payerne von MeteoSchweiz mit Doppler-LIDAR im Vordergrund und Windprofiler im Hintergrund. (Quelle: MeteoSchweiz)

Sofortmassnahmen	Dosis	Dosisschwelle	Integrationszeit
Geschützter Aufenthalt (im Haus, Keller oder Schutzraum)	<sup>E</sup> Ext + Inh	10 mSv	7 Tage
Einnahme von Jodtabletten	<sup>H</sup> Sch, Inh, Jod	50 mSv	7 Tage
Vorsorgliche Evakuierung oder geschützter Aufenthalt	<sup>E</sup> Ext + Inh	100 mSv	7 Tage

**Tabelle 3:** Dosis-Massnahmenkonzept 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

<sup>E</sup> Ext + Inh: Effektive Dosis aus externer Bestrahlung und Inhalation im Freien.

<sup>H</sup> Sch, Inh, Jod: Schilddrüsendosis aus der Inhalation von radioaktivem Jod im Freien.

modells COSMO-2E Ensemble-Ausbreitungsrechnungen durchzuführen. Es wird sich zeigen, ob solche Ensemble-Ausbreitungsrechnungen sinnvoll zum Schutz der Bevölkerung eingesetzt werden können. Die Empfehlung und Anordnung von Schutzmassnahmen hat prinzipiell nicht mit Wahrscheinlichkeiten behaftet zu erfolgen, sondern muss eine klare Handlungsempfehlung darstellen.

## 7.1 Notfallschutz in der Schweiz

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

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

- die Betreiber von Kernanlagen,
- das ENSI,
- weitere Bundesstellen (unter anderem Bundesstab Bevölkerungsschutz, 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 bzw. Sektoren von Notfallschutzzonen) und der Durchführung von Gesamtnotfallübungen, die alle zwei Jahre durchgeführt werden.

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

Das Verhindern eines Notfalls als Folge eines Störfalls, 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 Bundesstab Bevölkerungsschutz beim Bundesrat beantragt und deren Umsetzung vom Bundesrat entschieden. Sind die zuständigen Stellen des Bundes in einem Ereignisfall noch nicht einsatzbereit, trifft die NAZ gestützt auf das Dosis-Massnahmenkonzept und basierend auf den Prognosen des ENSI sowie den verfügbaren Informationen im Austausch mit den Notfallschutzpartnern Sofortmassnahmen zum Schutz der Bevölkerung. Wichtig für den Notfallschutz ist ein kontinuierlicher und stufengerechter Austausch von Informationen al-



ler Notfallschutzpartner entsprechend den abgestimmten Abläufen.

Zur Wahrnehmung seiner Aufgaben im Notfallschutz ist das ENSI in unterschiedlichsten nationalen und internationalen Fachgremien ständig direkt vertreten oder in beratender Funktion tätig. Es leistet dort einen wichtigen Fachbeitrag im Zusammenhang mit dem radiologischen Notfallschutz. Im nationalen Umfeld ist das ENSI im Bundesstab Bevölkerungsschutz (BSTB) sowie in den Eidgenössischen Kommissionen für Strahlenschutz (KSR) und für ABC-Schutz (KomABC) vertreten.

Das ENSI unterstützt die Notfallschutzpartner dabei, die Notfallabläufe, insbesondere diejenigen der Kernanlagen und des ENSI, besser zu verstehen und Fachbegriffe so zu erklären, dass auch Notfallschutzpartner, deren Hauptaugenmerk nicht auf der Bewältigung eines Unfalls in einer Kernanlage liegt, Entscheidungsgrundlagen besser verstehen und nachvollziehen können. Das ENSI war z. B. 2021 wieder am Eidgenössischen Ausbildungszentrum Schwarzenburg im Rahmen des Zusatzkurses «Sachkundiger Strahlenschutz in Notfallorganisationen», welcher sich an Angehörige des Zivilschutzes und Führungsorgane der Kantone richtet, an zwei Veranstaltungen als Ausbilder per Videokonferenz vertreten. Das ENSI bietet in diesem Zusammenhang auch den von einem Unfall potenziell betroffenen Kantonen an, deren Einsatzelemente zu schulen.

## 7.2 Notfallschutz international

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

### **Deutsch-Schweizerische Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen**

Die Deutsch-Schweizerische Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen (DSK) basiert auf einem bilateralen Abkommen zwischen Deutschland und der Schweiz aus dem Jahr 1983 und hat zum Ziel, dass sich die Vertragsparteien regelmässig gegenseitig über grenznahe kerntechnische

Einrichtungen unterrichten. Im Jahr 2021 wurde die DSK-Sitzung der Arbeitsgruppe Notfallschutz aufgrund der Covid-19-Pandemie nicht physisch durchgeführt. Stattdessen wurde die Sitzung im Mai 2021 als Videokonferenz abgehalten. Im Zusammenhang mit der Fortschreibung des Feinkonzepts hinsichtlich des Daten- und Informationsaustauschs zwischen Deutschland und der Schweiz fand zudem eine weitere Arbeitssitzung statt, die ebenfalls als Videokonferenz durchgeführt wurde. Die finale Fassung des Feinkonzepts wurde an der DSK-Hauptsitzung im November 2021 verabschiedet.

### **Commissione Italo-Svizzera**

Im Rahmen der Commissione Italo-Svizzera (CIS) haben das Inspektorat für nukleare Sicherheit und Strahlenschutz ISIN und das ENSI im Jahr 2019 eine Vereinbarung zur Zusammenarbeit auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit erneuert. Das jährliche Treffen der CIS fand im Jahr 2021 nicht statt.

### **Commission Franco-Suisse**

Die Commission Franco Suisse (CFS) beruht auf dem im Jahr 1989 geschlossenen Abkommen zwischen Frankreich und der Schweiz über den Informationsaustausch bei Zwischenfällen oder Unfällen, die radiologische Auswirkungen haben können. Nach einer coronabedingten Pause im vergangenen Jahr tauschten sich die Delegationen an der 30. Sitzung der CFS Anfang 2021 unter anderem über relevante Ereignisse in schweizerischen und französischen Kernanlagen sowie über die laufenden periodischen Sicherheitsüberprüfungen der KKW Gösgen und Bugey in Frankreich aus. Die französische Aufsichtsbehörde orientierte ferner über den Stand der Planung des Rückbaus des KKW Fessenheim. Im Dezember fand zudem die jährliche Sitzung der Expertengruppe «Crises nucléaires» der CFS statt.

### **Fachverband für Strahlenschutz e.V.**

Der Fachverband ist eine Plattform für Strahlenschutzfachleute aus Deutschland und der Schweiz. Ein zentrales Instrument für den ständigen Erfahrungs- und Informationsaustausch sind die gegenwärtig 13 Arbeitskreise, in denen sich Fachexperten zum jeweiligen Fachgebiet austauschen. Der Arbeitskreis Notfallschutz des

Fachverbandes für Strahlenschutz e.V. hat sich im Juni 2021 zu einer virtuellen Sitzung zusammengefunden, an der aktuelle Themen hinsichtlich des Notfallschutzes diskutiert wurden, z. B. die Überarbeitung der SSK-Bände 4 und 32 (Strahlenschutzkommission), die sich mit der Thematik Strahlenunfall befassen.

#### IAEA EPRReSC

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

Die Versammlungen des EPRReSC wurden 2021 erneut aufgrund der international geltenden Reisebeschränkungen virtuell durchgeführt. Insbesondere wurden folgende Themen behandelt:

- Die Revision der Richtlinie («Guideline») zu Vorkehrungen der Notfallbereitschaft für nukleare oder radiologische Notfälle;
- Notfallaspekte in Safety Standards und Richtlinien der IAEA im Bereich Anreicherungsanlagen, Transporte, Forschungsanlagen und -reaktoren;
- Sog. Gap-Analyse zu den IAEA-Richtlinien betreffend die Berücksichtigung von Pandemiebedingungen;
- Informationsaustausch zu Notfallvorkehrungen in anderen Mitgliedsländern (Grossbritannien, Belgien, Rumänien);
- Übertragbarkeit bestehender Richtlinien auf kleine modulare Reaktoren («Small Modular Reactors»);
- Weiterentwicklung von Richtlinien für Forschungsreaktoren.

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

#### HERCA Working Group on Emergencies

International ergeben sich immer noch Unterschiede bei den Kriterien, bei deren Erreichen in einem nuklearen oder radiologischen Notfall

Schutzmassnahmen anzuordnen sind. Die Dosis-schwellen sind z.T. unterschiedlich und die Integrationszeit für die Ermittlung der Dosis variiert ebenfalls. Unterschiede ergeben sich auch durch die Schutzwirkung der vorhandenen Infrastruktur. So ist in der Schweiz durch die robuste Bauweise der Häuser der geschützte Aufenthalt deutlich wirksamer als zum Beispiel in den USA mit der leichteren Bauweise. Auch die in der Schweiz für alle Einwohnerinnen und Einwohner gesetzlich vorgesehenen 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 selbst grenzübergreifend kompatibel sind, sondern auch ihre Auslösung und Anordnung derselben. In Europa verfolgt man deshalb den Ansatz der Heads of the European Radiological protection Competent Authorities (HERCA), der zusammen mit der Western European Nuclear Regulators Association (WENRA) entwickelt wurde. Die nationale Umsetzung des HERCA-WENRA Ansatzes wurde durch die Working Group on Emergencies (WGE), einer Arbeitsgruppe der HERCA, begleitet.

Die zwei Sitzungen im Jahr 2021 wurden in reduziertem Umfang und virtuell durchgeführt. Einige Mitglieder der WGE sind in ihrem Land Mitglied des Krisenstabs und die akute Problematik der Pandemie hatte deshalb Vorrang. Dennoch schritt die Arbeit der WGE auch 2021 weiter voran.

Folgende Themen wurden 2021 von der WGE erörtert:

- Umsetzung von Richtwerten aus den EU Basic Safety Standards für akzeptable Dosen für Einsatzpersonal und Kriterien für die Initialisierung von Notfallschutzmassnahmen;
- Aktualisierung des Steckbriefs (sog. «Country Fact Sheet») jedes Landes zu Nuklearanlagen, Dosisgrenzwerten, Notfallschutzzonen und Notfallschutzmassnahmen sowie der länderspezifischen Befehlsketten;
- Planung und Durchführung von Table-Top-Übungen für Länder mit grenznahen Kernanla-

gen zwecks Überprüfung der Implementierung des HERCA-WENRA-Ansatzes.

## **Working Party on Nuclear Emergency Matters**

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

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

Die Sitzung der WPNEM fand auch im Jahr 2021 virtuell statt, sodass der Austausch mit den Mitgliedern wiederum nicht im üblichen Umfang stattfinden konnte. Die behandelten Themen waren unter anderem die Berichte der Mitgliedsländer und internationaler Organisationen zu notfallschutzbezogenen Themen mit besonderem Fokus auf die Nachunfallphase und die Diskussion um die Ziele der sich zurzeit in Vorbereitung befindenden internationalen Notfallübung INEX-6. In dieser Übung, die nach derzeitigem Planungsstand im Jahr 2023 oder 2024 stattfinden soll, wird der Schwerpunkt auf die Übergangs- und Nachunfallphase gelegt werden. Des Weiteren wurde über den Status der Arbeiten zu den Themengebieten berichtet, die in speziellen Arbeitsgruppen behandelt werden. Diese Themengebiete umfassen derzeit u. a. die Nutzung von Informationssystemen bei radiologischen Ereignissen (sog. «Real Time Platforms») und die Entwicklung eines Handbuchs, welches eine Übersicht zu vorgeplanten Schutzmassnahmen der Mitgliedstaaten enthalten soll.

# 8. Notfallschutz im ENSI

Notfallschutz ist eine Verbundaufgabe, wie es bereits in Kapitel 7.1 beschrieben wurde. Den im nuklearen Notfallschutz involvierten Partnern werden zur Erreichung der Ziele des Notfallschutzes verschiedene Aufgaben zugewiesen, die in ihren jeweiligen Kompetenzbereich fallen und in ihrer Gesamtheit zur Erreichung der genannten Ziele führen sollen. Die Zuweisung von Aufgaben erfolgt anhand von Verordnungen, die für die adressierten Stellen die jeweils erforderliche Handlungsgrundlage bilden. Bei diesen Handlungsgrundlagen ist zwischen jenen, aus denen ein direkter Auftrag an eine Organisation oder Einrichtung ergeht und solchen, in denen die Organisation oder Einrichtung in einer Funktion erwähnt wird, zu unterscheiden.

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

## 8.1 Aufgaben des ENSI

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

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

- Es regelt unter Einbezug der relevanten Notfallschutzstellen die Anforderungen an die Durchführung von Notfallübungen in einer Richtlinie.

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

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

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

## 8.2 Die ENSI-Notfallorganisation

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

Grundsätzlich sind alle festangestellten Mitarbeitenden des ENSI in der ENSI-NFO eingeteilt. Sie übernehmen die ihnen zugewiesenen Aufgaben und Funktionen. Die Einteilung basiert auf dem jeweiligen Erfahrungsgrad der Mitarbeitenden und der im ENSI wahrgenommenen Funktion im Tagesgeschäft. Um ein ereignisangepasstes Aufgebot sicherstellen zu können, besteht die ENSI-NFO zunächst aus einer Aufbauorganisation. Die nach einem Aufgebot eingerückten Mitarbeitenden bilden die Einsatzorganisation, welche in Einsatzgruppen gegliedert ist. Eine Übersicht über die grundsätzliche Gliederung der Einsatzorganisation gibt die Darstellung 28. Die Einsatzorganisation kann bei Bedarf angepasst werden. Insbesondere können auch weitere Verbindungspersonen eingesetzt werden, z.B. bei den kantonalen Führungsorganisationen der Standortkantone, die dort als Fachexperten des ENSI eine beratende Funktion wahrnehmen.

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

Um die Erreichbarkeit der ENSI-NFO rund um die Uhr sicherstellen zu können, betreibt das ENSI einen Pikettdienst, der von ausgebildeten und langjährigen Mitarbeitenden wahrgenommen wird. Der diensthabende Pikettingenieur ist die zentrale Anlaufstelle des ENSI für alle Ereignisse

in den schweizerischen Kernanlagen. Bei eingehenden Meldungen entscheidet er anhand festgelegter Kriterien, ob ein Aufgebot der ENSI-NFO notwendig ist. Das ENSI verfügt aktuell über 13 aktive Pikettdienstleistende.

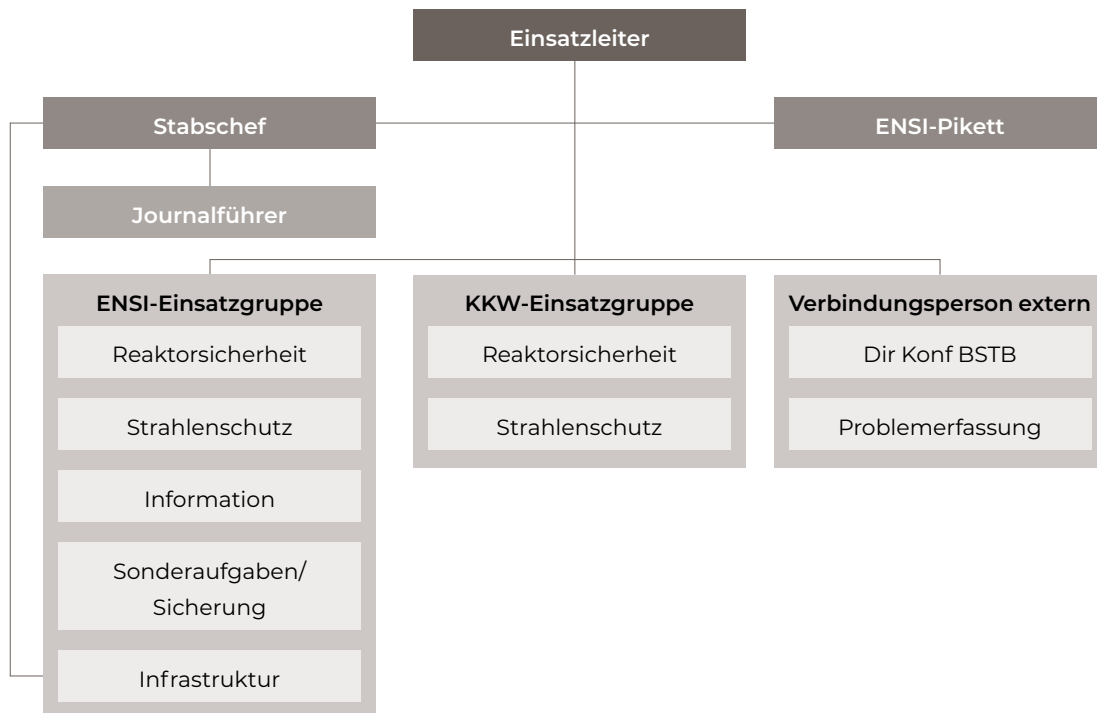
Zur Wahrnehmung ihrer Aufgaben steht der ENSI-NFO am Standort des ENSI in Brugg eine eigene Infrastruktur zur Verfügung. Für den Fall, dass der Standort Brugg nicht für einen Einsatz der ENSI-NFO genutzt werden kann, betreibt das ENSI auch einen Ausweichstandort. Zu dieser Infrastruktur gehören auch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

## a. Kommunikationseinrichtungen

Das ENSI nutzt zur Kommunikation mit den Notfallschutzpartnern bei Ereignissen in den schweizerischen Kernanlagen grundsätzlich die üblichen Kommunikationskanäle Telefon, Mobilfunk und E-Mail. Zusätzlich werden die Notfallschutzpartner über die elektronische Lagedarstellung der NAZ mit Informationen zum Ereignis bedient. Für den Fall, dass die Kommunikationskanäle nicht mehr verfügbar sind, kommt das Sicherheitsfunknetz der Schweiz POLYCOM zum Einsatz. Als Ersatz für das Mitte 2021 aufgrund veralteter Technik ausser Betrieb genommene spezielle Netz der Notfallschutzpartner KKW, NAZ und ENSI wird künftig die Satellitenkommunikation eingesetzt. Die ENSI-Notfallorganisation verfügt über mehrere Satellitentelefone. Der diensthabende Pikettingenieur ist während seines Dienstes ständig über POLYCOM erreichbar.

## b. ADAM

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.



**Darstellung 28:**  
Gliederung  
der Einsatz-  
organisation.

### c. MADUK

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

### d. JRODOS

Das Java-based Realtime Online Decision Support System (JRODOS) dient der Einsatzgruppe Strahlenschutz zur Simulation der atmosphärischen Ausbreitung radioaktiver Stoffe (sog. Quellterm) im Ereignisfall und der Berechnung der sich daraus potenziell ergebenden Strahlendosis für die Bevölkerung mit dem Ziel, z. Hd. der Notfallschutzpartner eine Empfehlung bezüglich Schutzmassnahmen abzugeben.

### Atmosphärische Ausbreitung und Dosisberechnung

Das ENSI verfügt seit vielen Jahren nicht nur über die Mittel und das Expertenwissen, um Entwicklungen in Schweizer Kernanlagen bei Unfällen früh zu erkennen, zu beurteilen und einzustufen, sondern darüber hinaus auch über die Mittel und das Fachwissen, um diese Entwicklungen auf ihre

Bedeutung für den Bevölkerungsschutz hin zu bewerten. Die Vereinigung dieser Fachkompetenzen unter einem Dach stellen eine Voraussetzung für das rasche Erfassen und Einschätzen von sich ändernden Rahmenbedingungen am Standort der Kernanlage und die Ausarbeitung von Empfehlungen zum Schutz der Bevölkerung dar.

Als Plattform für die Verarbeitung von Meteorodaten, 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.

## Modellberechnungen im Ereignisfall

Die Organisation, die Zuständigkeiten und der Einsatz der Organe des Bundes bei einem Ereignis in einer Kernanlage mit einer bevorstehenden oder bereits erfolgten Freisetzung von radioaktiven Stoffen sind in der Verordnung über den Notfallschutz in der Umgebung von Kernanlagen (Notfallschutzverordnung, NFSV), in der Verordnung über den Bundesstab Bevölkerungsschutz (VBSTB) und in der Bevölkerungsschutzverordnung (BevSV) geregelt. Bei einer störfallbedingten Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus einer schweizerischen Kernanlage ist das ENSI zuständig für die Prognose der Entwicklung des Störfalls in der Anlage, der möglichen Ausbreitung dieser Stoffe in der Umgebung und deren Konsequenzen. Das ENSI berät zudem das Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) und den Bundesstab Bevölkerungsschutz (BSTB) bei der Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung.

Die Beurteilung der radiologischen Gefährdung bildet die Grundlage für die Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung. Diese sollten wenn möglich vorsorglich angeordnet werden. In der Vorphase, das heisst vor Beginn der Freisetzung, stehen dazu jedoch keine 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.

## Aktueller Stand

Das Ausbreitungsmodell JRODOS ist für alle Kernanlagen operationell. Es ist in die Notfallorganisation des ENSI eingebunden und technisch mit den anderen Notfallwerkzeugen ADAM und MADUK verknüpft. Um seine in der Notfallschutzverordnung zugewiesenen Aufgaben zuverlässig wahrnehmen zu können, betreibt das ENSI zwei eigene unabhängige und räumlich getrennte JRODOS-Systeme.

Zur Gewährleistung der dauernden Verfügbarkeit des Systems und Überwachung der aktuellen Ausbreitungssituation werden automatisiert rund um die Uhr im Stundentakt für alle Kernanlagen routinemässige Berechnungen mit einer Einheitsquelle (1 Bq/s kontinuierliche Abgabe auf drei verschiedenen Freisetzungshöhen) für die folgenden zwölf Stunden durchgeführt. Zudem können Routineberechnungen auch im Ereignisfall – insbesondere zu Beginn eines Einsatzes der ENSI-Notfallorganisation – für eine erste Beurteilung verwendet werden.

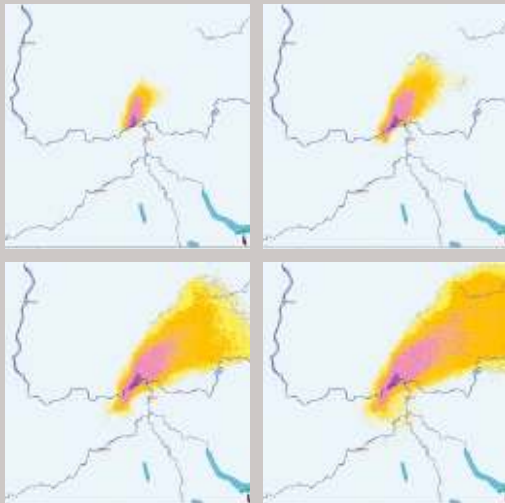
Für die Sicherstellung der Notfallbereitschaft im Ereignisfall muss neben der technischen Verfügbarkeit auch die personelle Bedienung des

Systems gewährleistet sein. Zu diesem Zweck erfolgen vierteljährliche Schulungen der als JRODOS-Operateure eingeteilten Mitglieder der ENSI-Notfallorganisation. Im Rahmen von Notfallübungen wird das System unter realitätsnahen Bedingungen eingesetzt und die vorgesehenen Abläufe werden verifiziert. Anlässlich der alle zwei Jahre stattfindenden Gesamtnotfallübung, an welcher mehrere Notfallschutzpartner beteiligt sind, wird zudem ein spezielles Augenmerk auf den Informationsaustausch mit den Partnerorganisationen gelegt. Dabei wird auch die Eignung der vom ENSI hergestellten Produkte überprüft, um sie im Sinne eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses bei Bedarf zu überarbeiten.

Das im Jahr 2016 beim ENSI eingeführte JRODOS (Java-based Realtime Online DecisiOn Support System) ist ein vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) entwickeltes modulares Entscheidungshilfesystem für den anlagenexternen Notfallschutz, welches von vielen Ländern genutzt wird. Die Weiterentwicklung erfolgt laufend durch das KIT, gesteuert von der RODOS User Group, in welcher das ENSI Einsitz nimmt. Innerhalb von JRODOS wird für die eigentliche Ausbreitungsrechnung das Programm LASAT (LAGrange-Simulation von Aerosol-Transport) verwendet. Dieser Programmcode berechnet die Ausbreitung von Spurenstoffen in der Atmosphäre, indem für eine Gruppe repräsentativer Stoffteilchen der Transport und die turbulente Diffusion durch einen Zufallsprozess auf dem Computer simuliert wird (Lagrange-Simulation). LASAT beruht auf einem Forschungsmodell, das 1980 entwickelt und in verschiedenen Forschungsvorhaben erprobt wurde. Seit 1990 ist es allgemein als Softwarepaket verfügbar und wird bei Landesbehörden, TÜVs und anderen Gutachtern in Deutschland sowie der Industrie eingesetzt. LASAT bietet ein breites Anwendungsspektrum: Unter den Anwendungsbereichen befinden sich beispielsweise die technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, für Störfälle, für das Screening, für Geruchsstoffe, Bioaerosole, Radionuklide und bewegte Quellen. LASAT wird kontinuierlich weiterentwickelt und wurde ausgehend von den Anforderungen des ENSI von seinen Entwicklern zum Teil wesentlich überarbeitet und verbessert, insbesondere hinsichtlich Parallelisierung.

JRODOS erlaubt die direkte Verwendung von 3D-Wettervorhersagedaten aus dem von MeteoSchweiz routinemässig eingesetzten Modell COSMO-1E. Dieses liefert Prognosen in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung bis zu 24 Stunden im Voraus. Bei der Verwendung dieser Wettervorhersagen werden die 3D-Daten mit einem Windfeldmodell auf die vom Ausbreitungsmodell benötigten Auflösungen heruntergerechnet, um Simulationen mit einer noch höheren räumlichen Auflösung als derjenigen des Wettervorhersagemodells zu ermöglichen. Das Rechengitter von JRODOS besitzt eine Schachtelung von unterschiedlich fein aufgelösten Gebieten, wobei die Anzahl Stufen wählbar ist. Dies ermöglicht Simulationen mit grossen Abwindstrecken innerhalb von für den Notfallschutz akzeptablen Rechenzeiten.

#### Darstellung 29: Beispiel einer JRODOS-Simulation für das KKL.



Ausbreitungsrechnung einer fiktiven Freisetzung für den 9. August 2021 um 11:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhen 10 und 50 Meter über Boden, Dauer der angenommenen Freisetzung zwei Stunden.

Ausbreitungssituation am 9. August 2021 um 13:00 Uhr (links oben), 14:00 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.

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.

#### Beispiel einer JRODOS-Simulation

In Darstellung 29 wird beispielhaft eine JRODOS-Simulation für den Standort des KKL dargestellt. Die Darstellung stammt aus einer Simulation für den Test des Datenaustausches und zeigt die berechnete integrierte Aktivitätskonzentration in Bodennähe als Funktion der Zeit für verschiedene ausgewählte, nicht repräsentative Zeitpunkte einer realen Wetterlage.



## e. Digitale Arbeitsoberfläche für die Notfallorganisation

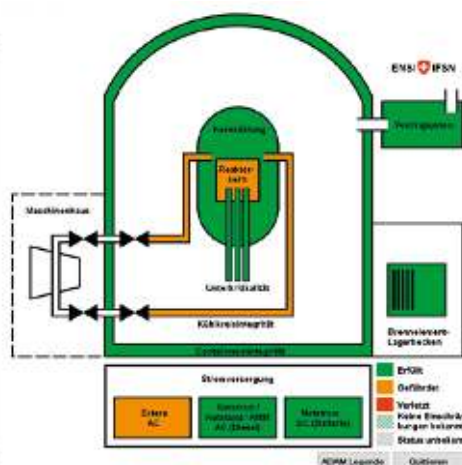
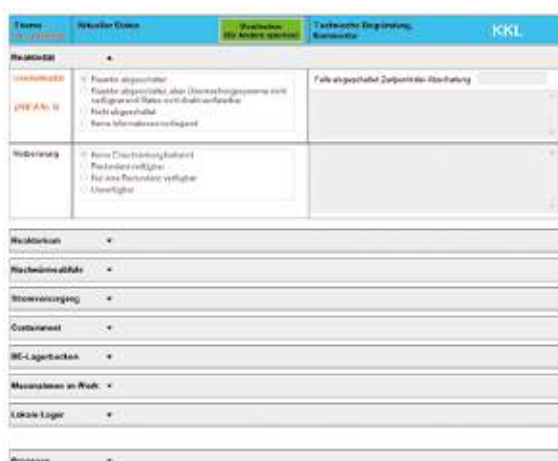
Im Zuge der kontinuierlichen Verbesserung hält die Digitalisierung auch in der Notfallorganisation (NFO) des ENSI Einzug. Erste Schritte dahingehend erfolgten bereits in der Vergangenheit durch die Einführung von digitalen Werkzeugen wie der MADUK-Oberfläche oder JRODOS, deren Mehrwert deutlich erkennbar ist. Diese Entwicklung wurde mit der Erweiterung der Produktpalette aus JRODOS z. Hd. der Notfallschutzpartner (siehe auch Strahlenschutzbericht 2019) und der Einführung der bisher sog. NFO-Pilotoberfläche für die beiden Einsatzgruppen Reaktorsicherheit und Strahlenschutz (siehe auch Strahlenschutzbericht 2020) fortgeführt.

Nach der Operationalisierung der digitalen Arbeitsoberfläche gegen Ende des Vorjahres und den ersten erfolgreichen Einsätzen erfolgte im Berichtsjahr eine punktuelle Überarbeitung der Benutzeroberfläche zur Erhöhung der Ergonomie und Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf die Nutzung im Ereignisfall, also in Situationen mit reduzierter Informationslage, aber erhöhtem Zeit- und Leistungsdruck gelegt.

Die digitale Arbeitsoberfläche ermöglicht den beiden Einsatzgruppen Strahlenschutz und Reaktorsicherheit der Notfallorganisation einen Grossteil ihrer wiederkehrenden Arbeiten digital auszuführen

und zu dokumentieren; sie ersetzt damit grösstenteils die in diesen beiden Einsatzgruppen bislang verwendeten Papierformulare. Seitens der Einsatzgruppe Reaktorsicherheit fokussiert die Benutzeroberfläche auf eine anlagenspezifische Liste der für die Sicherheit der Kernanlage und die Störfallbeherrschung zentralen Systeme und Komponenten. Ausgehend von der Beurteilung der Verfügbarkeit dieser Systeme und Komponenten erfolgt die Einfärbung einer stark vereinfachten schematischen Anlagengrafik unter Verwendung einer Ampeldarstellung (vgl. Darstellung 30). Diese Anlagengrafik bietet den Notfallschutzpartnern einen vereinfachten Überblick über die Situation vor Ort.

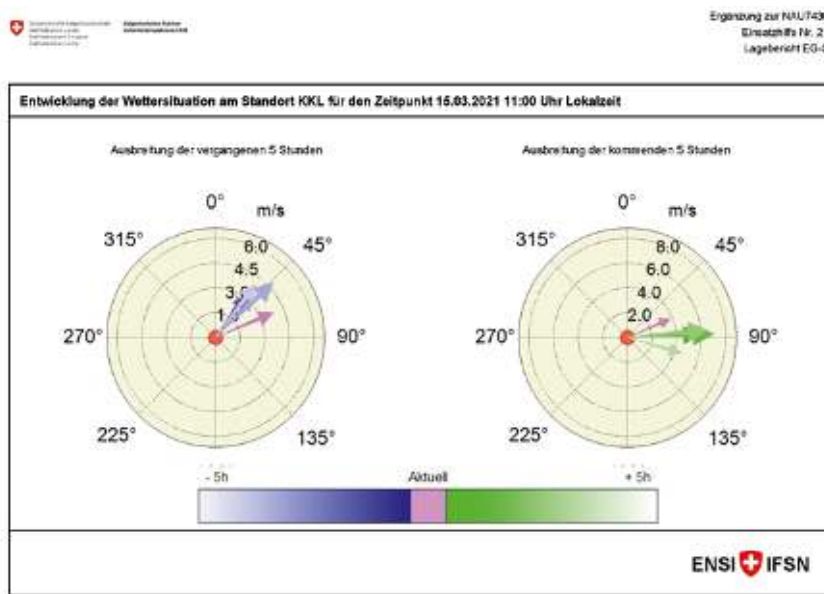
Die digitale Arbeitsoberfläche für die Notfallorganisation ist eine Software, die die Arbeitsabläufe in den Einsatzgruppen Reaktorsicherheit und Strahlenschutz unterstützt. Sie gewährleistet einen kontinuierlichen Situationsüberblick und eine laufende Situationsbeurteilung. Dabei integriert sie auch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



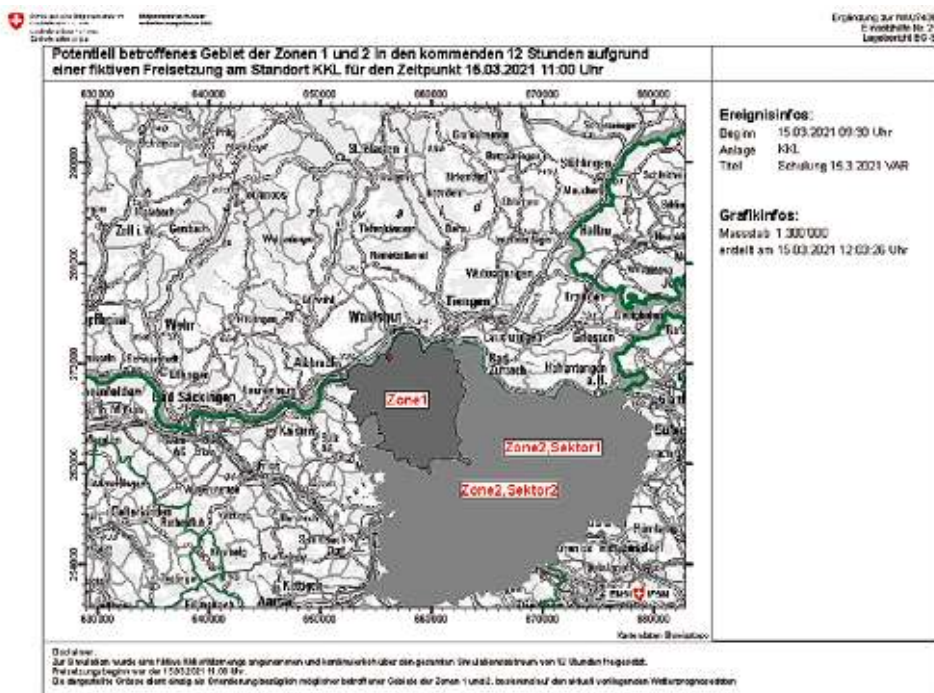
**Darstellung 30:** Liste der Systeme und Komponenten, deren Statusbeurteilung zur automatischen Einfärbung der Anlagengrafik führt, am Beispiel des KKL.

Seitens der Einsatzgruppe Strahlenschutz bietet die digitalen Arbeitsoberfläche zusätzlich zur teilautomatisierten Erstellung der Produkte aus JRODOS eine grafische Darstellung der Entwicklung der Wettersituation am Standort der Kernanlage (vgl. Darstellung 31), welche analog zu einer Windrose den Notfallschutzpartnern die Ausbreitungsrichtung als weiteres Produkt zur Verfügung stellt.

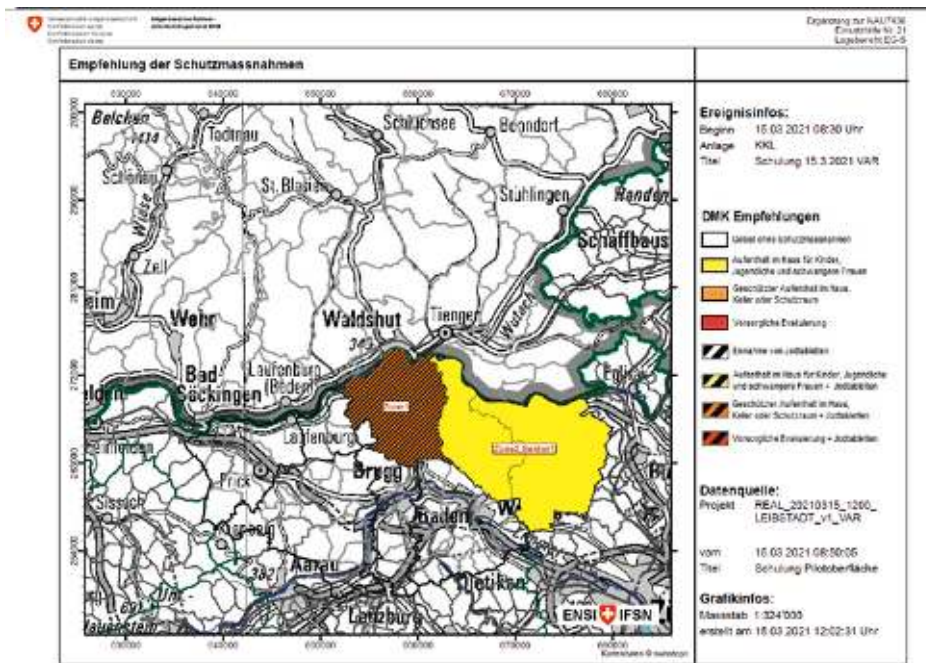
Auf der Basis der neusten Routineberechnungen (siehe Bst. d, JRODOS) kann das Produkt «Potenziell betroffenes Gebiet» in wenigen Schritten erstellt und den Notfallschutzpartnern zur Verfügung gestellt werden (vgl. Darstellung 32). Dieses Produkt illustriert auf der Grundlage der aktuellen Wettervorhersagen jene Notfallschutzzonen und -sektoren, die im Fall einer potenziellen Freisetzung innerhalb der kommenden zwölf Stunden von einer radioaktiven Wolke betroffen sein könnten.



**Darstellung 31:** Beispiel der Darstellung einer Ausbreitungssituation mit den vergangenen (links) und zukünftigen (rechts) Fünf-Stunden-Werten als Ausbreitungsrosetten am Beispiel des KKL im Rahmen einer Schulung.



**Darstellung 32:** Beispiel einer Grafik für das Produkt «Potenziell betroffenes Gebiet» am Beispiel des KKL im Rahmen einer Schulung.



**Darstellung 33:** Grafische Darstellung der Empfehlung des ENSI entsprechend den Dosis-schwellen nach Dosis-massnahmen-konzept am Beispiel des KKL im Rahmen einer Schulung.

**Darstellung 34:** Statusbalken der digitalen Arbeitsoberfläche mit zentralen Beurteilungsgrössen, die automatisch aktuell gehalten werden. Beispiel aus einer Schulung anhand des KKL.



Ferner kann über die Benutzeroberfläche eine grafische Darstellung der vom ENSI gegebenenfalls empfohlenen Schutzmassnahmen erstellt werden, bei welcher die Notfallschutzzonen und -sektoren sowie die Gemeinden ausserhalb der Notfallschutzzonen entsprechend eingefärbt werden (vgl. Darstellung 33). Das Produkt visualisiert die bislang ausschliesslich in Tabellenform mitgeteilten Empfehlungen des ENSI für Schutzmassnahmen in einfacherer, schneller erfassbarer Form.

Die digitale Arbeitsoberfläche enthält zusätzlich einen stets aktuell gehaltenen Statusbalken (vgl. Darstellung 34), der unter anderem eine Übersichtsdarstellung in Ampelform zu den radiologischen Schutzzielen, zum MADUK-Schwellenwertalarm, zur Windgeschwindigkeit am Standort und zur Notfallklasse besitzt. Dies gibt den Nutzerinnen und Nutzern jederzeit einen Überblick über den aktuellen Stand der wesentlichen Kenngrössen.

**f. Ausweichstandort**

Die Notfallorganisation verrichtet ihre Arbeit in geschützten Notfallräumlichkeiten (GENORA) am Standort Brugg, welche jederzeit zur Verfügung stehen. Ab dem Jahr 2014 betrieb das ENSI zudem in der geschützten Anlage der NAZ in Zürich einen Ausweichstandort für seine Notfallorganisation, der im Falle einer (bestehenden oder absehbaren) Nichtverfügbarkeit der GENORA genutzt würde. An denselben Standorten nutzte das ENSI zudem Räumlichkeiten für die Unterbringung seiner Rechenzentren. Mit dem Umzug der NAZ nach Bern im Jahr 2019 wurde vom ENSI die Planung des Ersatzes des Ausweichstandorts vorangetrieben.

Nach der Vertragsunterzeichnung mit dem neuen Dienstleister gegen Ende des Jahres 2020 erfolgte im Berichtsjahr die Einrichtung, Inbetriebnahme und Operationalisierung des neuen Ausweichstandorts für die ENSI-NFO und die ENSI-Rechenzentren sowie die Räumung und Rückgabe der bislang in der geschützten Anlage der NAZ in

---

**Bild 22: Impressionen aus dem neuen Ausweichstandort der ENSI-NFO.**



Zürich genutzten Räumlichkeiten. Nach Einführungsveranstaltungen vor Ort für alle Mitglieder der ENSI-NFO ist der neue Ausweichstandort seit Anfang August 2021 operationell. Das ENSI verfügt damit über einen zukunftsgerichteten Ausweichstandort, der die Verfügbarkeit der ENSI-NFO und ihrer Produkte zugunsten des Notfallschutzes auf nationaler Ebene gewährleistet.



# 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 überprüft. Gemäss Notfallschutzverordnung haben die Betreiber von Kernanlagen geeignete Notfallkommunikationsmittel für die Kommunikation mit

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

zu beschaffen und zu installieren. Geeignete Kommunikationsmittel des Werkes zu externen Stellen sind bei einem Notfall eine wichtige Voraussetzung für die Alarmierung der Notfallpartner, zur Bewältigung von Stör- und Notfalllagen sowie zur Vorbereitung und Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung. Die Inspektion soll zeigen, dass dokumentierte Einrichtungen für die Alarmierung externer Stellen vorhanden sind, dass Vorgaben für periodische Funktionsprüfungen existieren und Nachweise über deren Durchführungen vorliegen. Zusätzlich soll durch stichprobenweise Funktionskontrollen von Kommunikationseinrichtungen deren ordnungsgemässe Funktion verifiziert werden.

Als weiterer wichtiger Baustein der Aufsichtstätigkeit im Bereich Notfallschutz werden die gemäss Richtlinie ENSI-B11 durchzuführenden Notfallübungen der Kernanlagen durch das ENSI inspiziert. Mit der Inspektion von Notfallübungen der Kernanlagenbetreiber verfolgt das ENSI grundsätzlich das Ziel der Überprüfung, ob die für die Notfallbereitschaft auf hohem Niveau festgelegten Erfolgskriterien in der Übung erreicht, Abweichungen davon erkannt und Optimierungsmöglichkeiten festgestellt werden. Auf Basis dieser Inspektionen bewertet und beurteilt das ENSI die Notfallorganisation der entsprechenden Anlage. Je nach Übungstyp wird das ENSI durch weitere Behörden und/oder Organisationen unterstützt, die in Tabelle 4 ausgewiesen werden.

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

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

Im Jahr 2021 konnten alle Kernanlagen mit Ausnahme des PSI ihre geplanten Notfallübungen durchführen, obschon Anpassungen im Zusammenhang mit der Covid-19-Pandemie und der damit einhergehenden Einschränkungen vorgenommen wurden. Trotz dieser Anpassungen konnten die Anlagen zeigen, dass sie jeweils über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation verfügen. Die Notfallübungen in den Anlagen des KKB und KKG waren Übungen mit Schwerpunkt Feuerwehreinsatz und fanden unter Beteiligung des jeweils zuständigen kantonalen Feuerwehrrinspektorats statt. Das KKM führte eine Notfallübung mit Schwerpunkt Polizeieinsatz durch, an der auch die Kantonspolizei Bern teilgenommen hat. Für das PSI waren im Jahr 2021 zwei Institutsnotfallübungen vorgesehen, da die Übung aus dem Jahr 2020 nachzuholen war. Die nachzuholende Übung fand im Juni 2021 statt. Die für November 2021 vorgesehene Übung des PSI wurde

**Tabelle 4: An Notfallübungen beteiligte Organisationen.**

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

aufgrund einer kurzfristig eingetretenen Vakanz bei der Übungsleitung im PSI unmittelbar vor der Übung abgesagt und mit Zustimmung des ENSI auf das Jahr 2022 verschoben.

Die Inspektionen betreffend die externen Notfallkommunikationsmittel wurden im Jahr 2021 wie geplant durchgeführt. Bei allen Inspektionen konnte die uneingeschränkte Verfügbarkeit der überprüften Mittel festgestellt werden. Ferner wurde in den KKW und im ZZL durch die Auslösung der unangemeldeten Aufgebotstests ausnahmslos die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabs innerhalb der zeitlichen Vorgaben gemäss Richtlinie ENSI-B11 bestätigt.

Im Nachgang zu den Ereignissen in Fukushima überprüfte das ENSI die Einsatzstrategie für die Notfallorganisationen der KKW bei auslegungsüberschreitenden Ereignissen. Dabei wurde insbesondere auch die Eignung der für die Notfallorganisationen zur Verfügung stehenden Räumlichkeiten überprüft. Als Konsequenz aus dieser Überprüfung wurden durch die KKW weitere Standorte für die Notfallorganisationen abseits des Anlagenareals (externes Notfallzentrum, ENOZ) definiert. Das ENSI hat im Jahr 2021 jeweils einen der ENOZ-Standorte der Kernkraftwerke inspiziert und die Umsetzung der in der Richtlinie ENSI-B12 gestellten Anforderungen an ENOZ überprüft.

**Bild 23: Materialtransport durch die Luftwaffe vom externen Lager Reitnau zum KKB.**



# Anhang 1 – Dosimetriedaten

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

Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
0,0 - 1,0	497	665	1162	497	802	1299	378	1635	2013	256	380	636	1620	2742	4362
> 1,0 - 2,0	25	56	81	17	50	67	31	240	271	23	35	58	96	355	451
> 2,0 - 5,0	15	24	39	17	16	33	73	441	514	18	40	58	124	525	649
> 5,0 - 10,0					2	2	6	108	114	1	1	2	7	116	123
>10,0 - 15,0							1	14	15				1	14	15
Total Personen	537	745	1282	531	870	1401	489	2438	2927	298	456	754	1848	3752	5600
Mittel pro Person [mSv]	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,8	1,3	1,2	0,4	0,5	0,4	0,4	1,0	0,8

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

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

Dosisbereich [mSv]	PSI			EPFL	Total Forschung	ZZL			Total KKW EP + FP	Total Kernanlagen und Forschung
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP		
0,0 - 1,0	314	155	469	15	484	85	204	289	4362	4976
> 1,0 - 2,0									451	451
> 2,0 - 5,0									649	649
> 5,0 - 10,0									123	123
> 10,0 - 15,0									15	15
Total Personen	314	155	469	15	484	85	204	289	5600	6214
Mittel pro Person [mSv]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,8	0,7

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



Anlage	Haut			Extremitäten*		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigenpersonal	Fremdpersonal	Total	Eigenpersonal	Fremdpersonal	Total
KKB	537	738	1275	15	30	45
KKG	557	910	1467	9	13	22
KKL	489	2431	2920	10	175	185
KKM	52	85	137	8	3	11
PSI	314	155	469	29	3	32
ZZL	86	204	290	0	0	0
Summe	2035	4523	6558	71	224	295

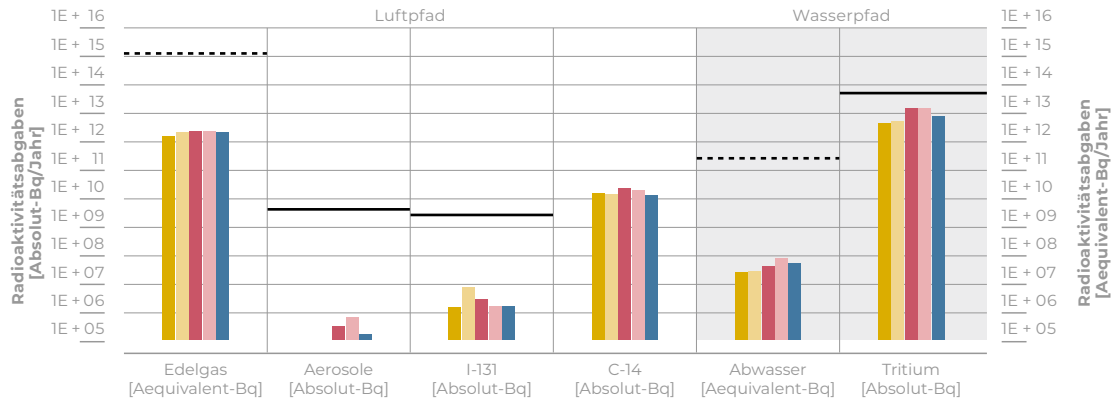
**Tabelle A3:**  
Verteilung der Anzahl Personen des Eigen- und Fremdpersonals von Haut- und Extremitäten-dosen [mSv] – KKB, PSI<sup>1</sup> und ZZL.

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

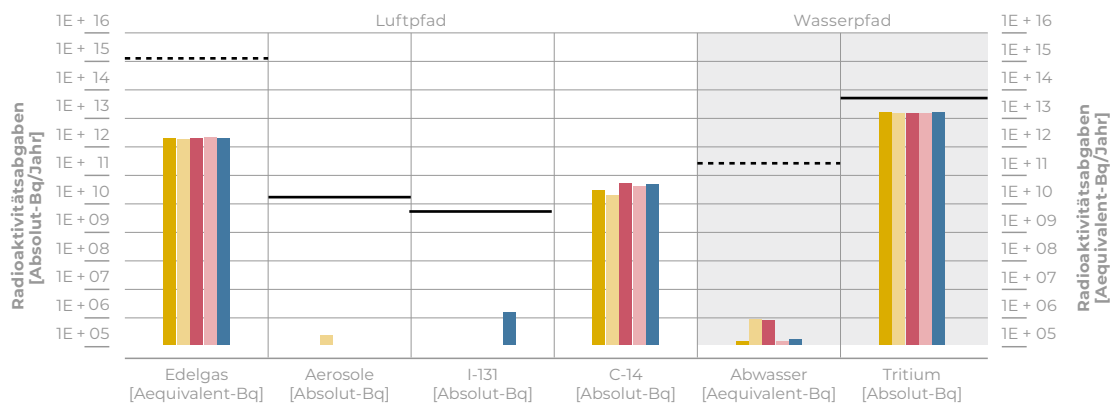
<sup>1</sup> Aufsichtsbereich des BAG miteinbezogen

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

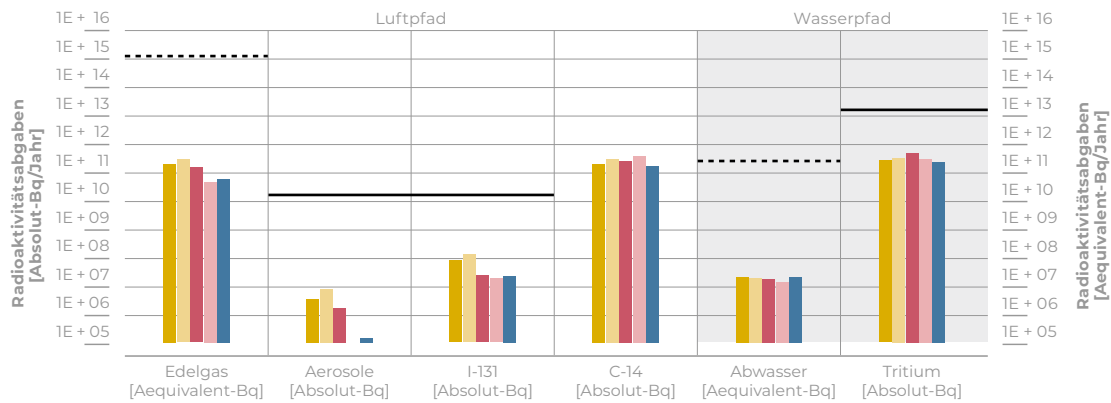
## KKB



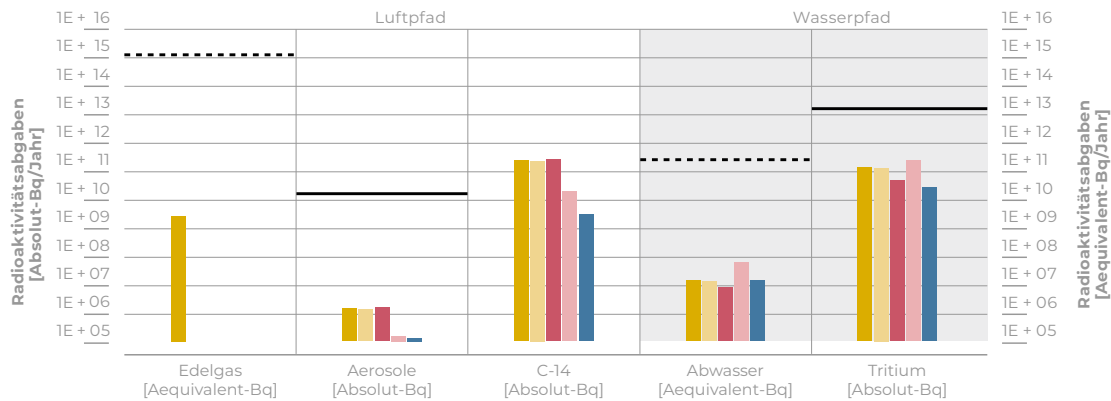
## KKG



## KKL



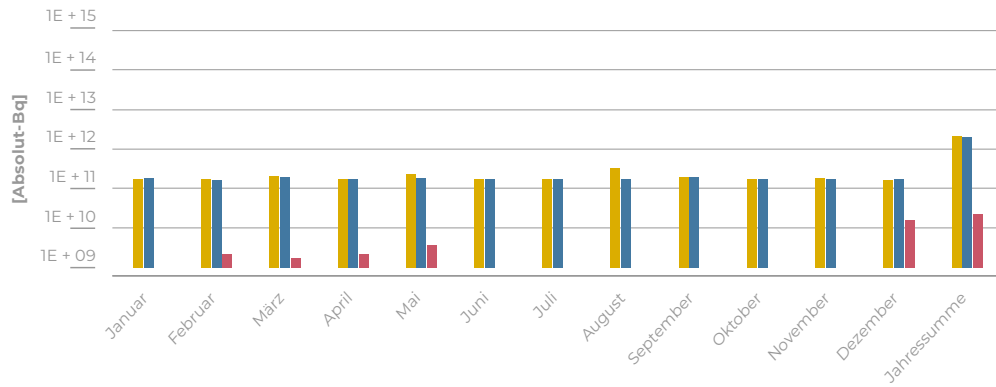
## KKM



Darstellung A1: Abgaben der schweizerischen KKW an die Atmosphäre und mit dem Abwasser in den letzten fünf Jahren (2017 bis 2021) im Vergleich mit den Jahresabgabelimiten.

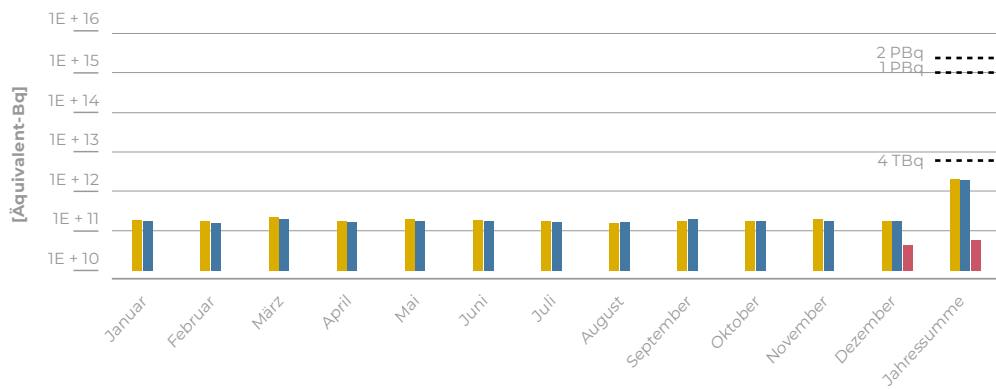
- 2017
- 2018
- 2019
- 2020
- 2021
- Limite [Aequivalent-Bq]
- Limite [Absolut-Bq]

**Monatliche Edelgasabgaben mit der Abluft aus den KKW und Jahressumme 2021**



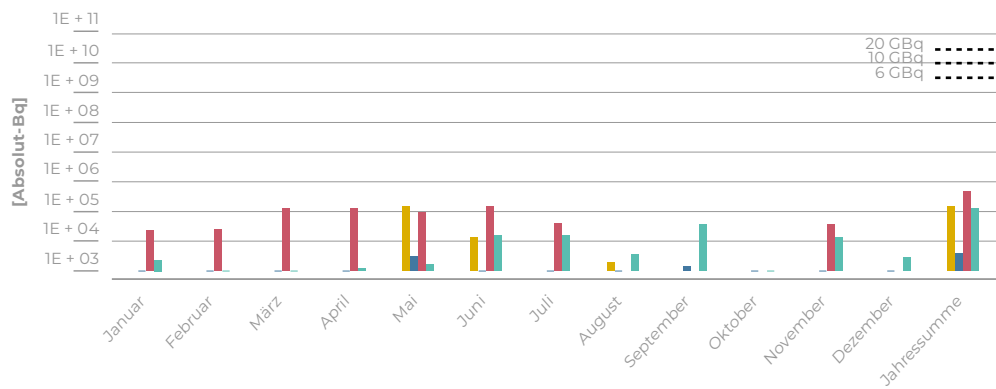
Darstellung A2: Abgaben der schweizerischen KKW an die Atmosphäre und das Abwasser im Jahr 2021, aufgeschlüsselt nach einzelnen Monaten.

**Monatliche Äquivalent-Edelgasabgaben mit der Abluft aus den KKW und Jahressumme 2021**



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

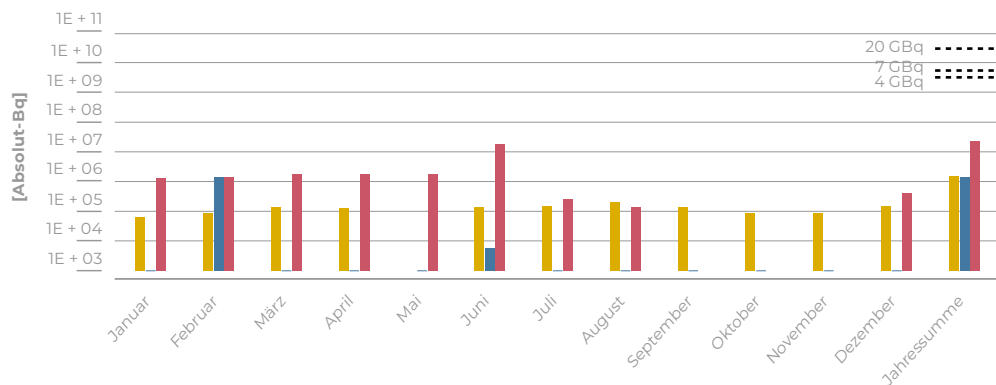
**Monatliche Aerosolabgaben mit der Abluft aus den KKW und Jahressumme 2021**



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

■ KKB    ■ KKG  
■ KKL    ■ KKM

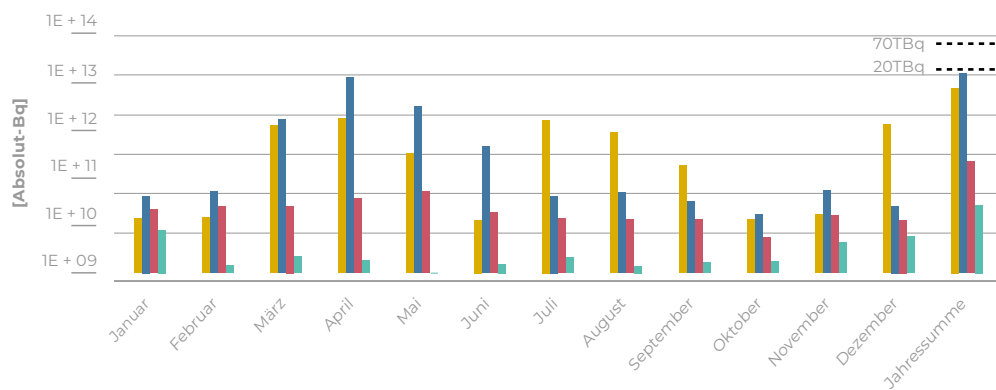
## Monatliche Abgaben von Iod-131 mit der Abluft aus den KKW und Jahressumme 2021



Darstellung A2: Abgaben der schweizerischen KKW an die Atmosphäre und das Abwasser im Jahr 2021, aufgeschlüsselt nach einzelnen Monaten.

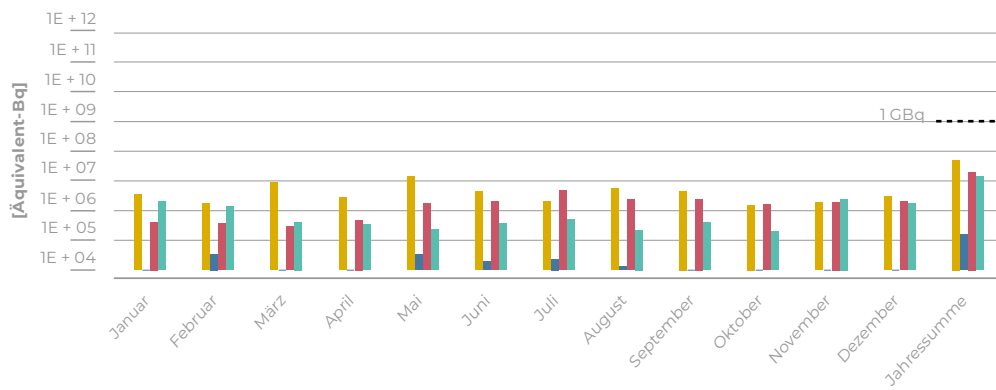
Abgabelimite:  
 4 GBq/Jahr für KKB  
 7 GBq/Jahr für KKG  
 20 GBq/Jahr für KKL

## Monatliche Abgaben von Tritium mit dem Abwasser aus den KKW und Jahressumme 2021



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 2021



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

■ KKB    ■ KKG  
■ KKL    ■ KKM

Ort	Medium	Art der Abgaben <sup>1</sup>	Bilanzierte Abgaben <sup>2</sup>				Berechnete Jahresdosis <sup>3</sup>		
			Abgabe	Aequivalentabgaben <sup>1,2</sup>	Limiten <sup>4</sup>				
			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 3600 m <sup>3</sup>	Nuklidgemisch ohne Tritium	4,0·10 <sup>8</sup>	7,2·10 <sup>7</sup>	4·10 <sup>11</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	8,9·10 <sup>12</sup>		7·10 <sup>13</sup>	13%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	3,2·10 <sup>12</sup>	3,2·10 <sup>12</sup>	1·10 <sup>15</sup>	0,3%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,8·10 <sup>5</sup>		6·10 <sup>9</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: <sup>131</sup> I	1,8·10 <sup>6</sup>	1,8·10 <sup>6</sup>	4·10 <sup>9</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	1,0·10 <sup>10</sup>				<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total					<0,001	<0,001	<0,001	
KKG	Abwasser 7799 m <sup>3</sup>	Nuklidgemisch ohne Tritium	2,3·10 <sup>6</sup>	2,0·10 <sup>5</sup>	2·10 <sup>11</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,9·10 <sup>13</sup>		7·10 <sup>13</sup>	27%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	<2,9·10 <sup>12</sup>	<3,0·10 <sup>12</sup>	1·10 <sup>15</sup>	<0,3%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	5,9·10 <sup>5</sup>		1·10 <sup>10</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: <sup>131</sup> I	1,5·10 <sup>6</sup>	1,5·10 <sup>6</sup>	7·10 <sup>9</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	6,6·10 <sup>10</sup>				<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total					<0,001	<0,001	<0,001	
KKL	Abwasser 15937 m <sup>3</sup>	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,3·10 <sup>8</sup>	3,0·10 <sup>7</sup>	4·10 <sup>11</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	3,5·10 <sup>11</sup>		2·10 <sup>13</sup>	1,8%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	3,4·10 <sup>10</sup>	7,6·10 <sup>10</sup>	2·10 <sup>15</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,5·10 <sup>5</sup>		2·10 <sup>10</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: <sup>131</sup> I	3,5·10 <sup>7</sup>	3,5·10 <sup>7</sup>	2·10 <sup>10</sup>	0,2%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	2,2·10 <sup>11</sup>				<0,001	0,0011	0,0018
	Dosis total					<0,001	0,0011	0,0019	

**Tabelle A4: Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2021 für die KKW und das ZZL und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung.**

# Anhang 2 – Emissionsdaten aus den Kernanlagen

Ort	Medium	Art der Abgaben <sup>1</sup>	Bilanzierte Abgaben <sup>2</sup>				Berechnete Jahresdosis <sup>3</sup>		
			Abgabe	Aequivalentabgaben <sup>1,2</sup>	Limiten <sup>4</sup>				
			Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Prozent der Limite	Erw. mSv/Jahr	10j Kind mSv/Jahr	1j Kind mSv/Jahr
KKM	Abwasser 2657 m <sup>3</sup>	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,5·10 <sup>7</sup>	1,5·10 <sup>7</sup>	4·10 <sup>10</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	4,3·10 <sup>10</sup>	4,3·10 <sup>10</sup>	2·10 <sup>12</sup>	2,2%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	–	–	4·10 <sup>12</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,1·10 <sup>5</sup>		2·10 <sup>10</sup>	<0,1%	0,0022	0,0022	0,0021
		Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	4,6·10 <sup>9</sup>				<0,001	<0,001	<0,001
	Dosis total					0,0022	0,0022	0,0021	
	ZZL	Abwasser 419 m <sup>3</sup>	Nuklidgemisch ohne Tritium	7,2·10 <sup>7</sup>	2,0·10 <sup>7</sup>	2·10 <sup>11</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001
Tritium			4,3·10 <sup>9</sup>				<0,001	<0,001	<0,001
Abluft		β-/γ-Aerosole	3,0·10 <sup>5</sup>		1·10 <sup>9</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		α-Aerosole	1,1·10 <sup>4</sup>		3·10 <sup>7</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	1,6·10 <sup>7</sup>		1·10 <sup>12</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	2,1·10 <sup>9</sup>		1·10 <sup>14</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Dosis total					<0,001	<0,001	<0,001

	PSI Ost				
	Hochkamin	SAPHIR, PROTEUS	Forschungs- labor	Betriebs- gebäude radioaktive Abfälle	Bundes- zwischen- lager
<b>Abgaben im Abwasser<sup>1,2</sup> [Bq/a]</b>					
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	-	-	-
Tritium	-	-	-	-	-
<b>Abgaben über die Abluft<sup>1,2</sup> [Bq/a]</b>					
Edelgase und andere Gase	2,3·10 <sup>11</sup>	-	-	-	-
β-/γ-Aerosole, ohne Iod	-	-	-	-	1,4·10 <sup>4</sup>
α-Aerosole	-	-	-	-	-
Iod: Summe aller Isotope	-	-	-	-	-
Tritium als HTO	3,5·10 <sup>9</sup>	-	-	3,6·10 <sup>9</sup>	4,8·10 <sup>9</sup>
Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	1,7·10 <sup>7</sup>
<b>Jahresdosis<sup>3</sup> [mSv/Jahr] für:</b>					
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 <sup>4</sup>	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%

**Tabelle A5:  
Zusammen-  
stellung der  
Abgaben des  
PSI im Jahr  
2021 und der  
daraus be-  
rechneten  
Dosen für  
Einzel-  
personen der  
Bevölkerung.**

	PSI West			Gesamtanlage des PSI <sup>1,2</sup>		
	Zentrale Fortluft- anlagen	Injektor II	C-Labor	Abwasser 1096 m <sup>3</sup>	Abluft	Äqui- valent- abgaben
<b>Abgaben im Abwasser<sup>1,2</sup> [Bq/a]</b>						
Nuklidgemisch ohne Tritium				3,7·10 <sup>7</sup>		2,9·10 <sup>6</sup>
Tritium				5,8·10 <sup>9</sup>		
<b>Abgaben über die Abluft<sup>1,2</sup> [Bq/a]</b>						
Edelgase und andere Gase	2,8·10 <sup>14</sup>	1,8·10 <sup>10</sup>	-		2,8·10 <sup>14</sup>	1,2·10 <sup>15</sup>
β-/γ-Aerosole, ohne Iod	7,8·10 <sup>9</sup>	1,0·10 <sup>7</sup>	-		7,8·10 <sup>9</sup>	-
α-Aerosole	-	-	-		-	-
Iod: Summe aller Isotope	1,1·10 <sup>8</sup>	-	-		1,1·10 <sup>8</sup>	6,6·10 <sup>7</sup>
Tritium als HTO	2,3·10 <sup>12</sup>	-	-		2,3·10 <sup>12</sup>	-
Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	-	-	-		1,7·10 <sup>7</sup>	-
<b>Jahresdosis<sup>3</sup> [mSv/Jahr] für:</b>						
Erwachsene	0,0106	<0,00015	<0,00015	<0,00015	0,011	
Kind 10 Jahre	0,0106	<0,00015	<0,00015	<0,00015	0,011	
Kleinkinder	0,0106	<0,00015	<0,00015	<0,00015	0,011	
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert <sup>4</sup>	7,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%		<8%



Nuklid β-/γ-Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
<sup>3</sup> H	8,9·10 <sup>12</sup>	1,9·10 <sup>13</sup>	3,5·10 <sup>11</sup>	4,3·10 <sup>10</sup>	5,8·10 <sup>9</sup>	4,3·10 <sup>9</sup>
<sup>7</sup> Be					3,9·10 <sup>4</sup>	
<sup>22</sup> Na					1,2·10 <sup>5</sup>	8,6·10 <sup>5</sup>
<sup>24</sup> Na	6,1·10 <sup>6</sup>					
<sup>44</sup> Sc					1,2·10 <sup>4</sup>	
<sup>44</sup> Ti					1,2·10 <sup>4</sup>	
<sup>51</sup> Cr	1,5·10 <sup>6</sup>					
<sup>54</sup> Mn	6,6·10 <sup>6</sup>		6,9·10 <sup>6</sup>	1,2·10 <sup>7</sup>	6,6·10 <sup>4</sup>	1,9·10 <sup>5</sup>
<sup>57</sup> Co					3,7·10 <sup>3</sup>	
<sup>58</sup> Co	1,6·10 <sup>7</sup>		1,1·10 <sup>6</sup>			
<sup>59</sup> Fe	8,2·10 <sup>4</sup>					
<sup>60</sup> Co	8,5·10 <sup>7</sup>		1,3·10 <sup>8</sup>	5,7·10 <sup>7</sup>	4,2·10 <sup>5</sup>	4,4·10 <sup>6</sup>
<sup>65</sup> Zn	4,3·10 <sup>4</sup>					
<sup>67</sup> Ga					2,1·10 <sup>5</sup>	
<sup>89</sup> Sr	5,1·10 <sup>5</sup>			1,5·10 <sup>5</sup>		
<sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y	6,2·10 <sup>5</sup>			4,6·10 <sup>4</sup>	2,4·10 <sup>5</sup>	1,5·10 <sup>5</sup>
<sup>95</sup> Zr	1,9·10 <sup>5</sup>					
<sup>95</sup> Nb	3,8·10 <sup>5</sup>					
<sup>99m</sup> Tc	2,1·10 <sup>5</sup>	3,8·10 <sup>4</sup>				
<sup>103</sup> Ru	2,2·10 <sup>5</sup>					
<sup>106</sup> Ru					4,1·10 <sup>4</sup>	
<sup>108m</sup> Ag					5,7·10 <sup>3</sup>	
<sup>110m</sup> Ag	9,4·10 <sup>6</sup>					
<sup>111</sup> In					5,3·10 <sup>5</sup>	
<sup>122</sup> Sb	3,2·10 <sup>6</sup>					
<sup>124</sup> Sb	1,4·10 <sup>8</sup>					
<sup>125</sup> Sb	4,1·10 <sup>7</sup>					3,0·10 <sup>5</sup>
<sup>123m</sup> Te	1,3·10 <sup>7</sup>	2,1·10 <sup>6</sup>				
<sup>132</sup> Te	2,0·10 <sup>6</sup>					
<sup>131</sup> I	3,7·10 <sup>6</sup>					
<sup>133</sup> I	2,6·10 <sup>5</sup>					
<sup>134</sup> Cs	1,2·10 <sup>6</sup>				1,1·10 <sup>5</sup>	1,2·10 <sup>5</sup>
<sup>137</sup> Cs	7,2·10 <sup>7</sup>			3,7·10 <sup>6</sup>	4,7·10 <sup>6</sup>	6,6·10 <sup>7</sup>
<sup>140</sup> La	3,0·10 <sup>4</sup>					
<sup>144</sup> Ce		1,6·10 <sup>5</sup>				
<sup>155</sup> Tb					2,1·10 <sup>5</sup>	
<sup>156</sup> Tb					1,2·10 <sup>4</sup>	
<sup>161</sup> Tb					6,2·10 <sup>6</sup>	
<sup>172</sup> Lu					1,1·10 <sup>4</sup>	
<sup>177</sup> Lu					2,4·10 <sup>7</sup>	
<sup>194</sup> Hg/ <sup>194</sup> Au					5,1·10 <sup>3</sup>	

**Tabelle A6:  
Flüssige  
Abgaben der  
Kernanlagen  
an die Aare  
oder den  
Rhein, 2021:  
Summe der  
bei Einzel-  
messungen  
der Be-  
treiber nach-  
gewiesenen  
Aktivitäts-  
abgaben.**

Nuklid	Abgaben [Bq im Jahr]						
	β-/γ-Strahler	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
α-Strahler	*	1,0·10 <sup>5</sup>	1,7·10 <sup>5</sup>	2,6·10 <sup>4</sup>			*
<sup>234/238</sup> U							
<sup>239/240</sup> Pu	6,6·10 <sup>3</sup>						
<sup>238</sup> Pu/ <sup>241</sup> Am	3,4·10 <sup>4</sup>						
<sup>239</sup> Np							
<sup>242</sup> Cm	1,1·10 <sup>4</sup>						
<sup>243/244</sup> Cm	3,7·10 <sup>4</sup>						

\* Angabe umfasst für das KKB und ZZL den Zeitraum vom vierten Quartal 2020 bis und mit drittes Quartal 2021.

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

**Tabelle A7:**  
Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Edelgase und Iod 2021: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben.

Nuklid	Abgaben [Bq im Jahr]						
	β-/γ-Strahler	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
<sup>7</sup> Be						1,9·10 <sup>6</sup>	
<sup>24</sup> Na						2,0·10 <sup>8</sup>	
<sup>57</sup> Co			1,6·10 <sup>3</sup>				
<sup>60</sup> Co				8,6·10 <sup>4</sup>	2,8·10 <sup>4</sup>	3,3·10 <sup>5</sup>	
<sup>77</sup> Br						7,1·10 <sup>6</sup>	
<sup>80m</sup> Br						2,3·10 <sup>7</sup>	
<sup>82</sup> Br						9,3·10 <sup>8</sup>	
<sup>89</sup> Sr				7,4·10 <sup>4</sup>			
<sup>90</sup> Sr							
<sup>103</sup> Ru		3,2·10 <sup>3</sup>					
<sup>123m</sup> Te			4,3·10 <sup>3</sup>				
<sup>121</sup> Te						5,4·10 <sup>5</sup>	
<sup>137</sup> Cs				6,6·10 <sup>4</sup>	8,4·10 <sup>4</sup>		
<sup>173</sup> Lu						5,9·10 <sup>4</sup>	
<sup>177m</sup> Lu						7,0·10 <sup>4</sup>	
<sup>181</sup> Re						8,8·10 <sup>7</sup>	
<sup>182</sup> Re						8,5·10 <sup>8</sup>	
<sup>182m</sup> Re						1,7·10 <sup>6</sup>	
<sup>183</sup> Re						1,2·10 <sup>7</sup>	
<sup>182</sup> Os						3,3·10 <sup>8</sup>	
<sup>183</sup> Os						4,0·10 <sup>8</sup>	
<sup>183m</sup> Os						8,7·10 <sup>7</sup>	
<sup>185</sup> Os						2,9·10 <sup>7</sup>	
<sup>185</sup> W						1,1·10 <sup>8</sup>	
<sup>191</sup> Os		1,8·10 <sup>5</sup>					
<sup>191</sup> Pt						1,3·10 <sup>7</sup>	
<sup>192</sup> Au						1,2·10 <sup>9</sup>	
<sup>193</sup> Au						3,2·10 <sup>8</sup>	
<sup>194</sup> Au						1,4·10 <sup>6</sup>	
<sup>192</sup> Hg						1,2·10 <sup>9</sup>	
<sup>193m</sup> Hg						2,7·10 <sup>8</sup>	
<sup>194</sup> Hg						1,4·10 <sup>6</sup>	
<sup>195</sup> Hg						5,6·10 <sup>8</sup>	
<sup>195m</sup> Hg						1,7·10 <sup>8</sup>	
<sup>197</sup> Hg						6,7·10 <sup>8</sup>	
<sup>197m</sup> Hg						2,1·10 <sup>8</sup>	
<sup>203</sup> Hg						1,5·10 <sup>7</sup>	
Nicht spezifizierte							3,0·10 <sup>5</sup>
α-Aerosole			4,3·10 <sup>4</sup>	8,4·10 <sup>3</sup>	5,1·10 <sup>3</sup>		1,1·10 <sup>4</sup>

**Tabelle A8:**  
Abgaben der  
Kernanlagen  
mit der Abluft,  
Aerosole 2021:  
Summe der  
bei Einzel-  
messungen  
der Be-  
treiber nach-  
gewiesenen  
Aktivitäts-  
abgaben.

### Fussnoten zu den Tabellen A4 bis A8

<sup>1</sup> 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- bzw. Gasabgaben ist in der Spalte Abgaben angegeben. Für den Vergleich mit den Abgabelimiten werden die Werte mit einem Referenz-Immissionsgrenzwert für Luft ( $IG_{Lf,ref}$ -Wert) von 2000 Bq/m<sup>3</sup> 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 <sup>131</sup>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 <sup>131</sup>Iod-Aequivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben.

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

<sup>2</sup> Abgaben kleiner als 1000 Bq werden in den Tabellen A6 bis A8 nicht aufgeführt.

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

<sup>4</sup> **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 für das ZZZ unter 0,05 mSv pro Jahr bleibt. Für das PSI sind die Abgaben gemäss Bewilligung 6/2013 direkt über den quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0,15 mSv pro Jahr limitiert.

---

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

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

**© ENSI, Juni 2022**

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

---

**ENSI-AN-11280  
Web: ISSN 2813-334X  
Druck: ISSN 1661-2906**

