AUFSICHTS-BERICHT 2023

zur nuklearen Sicherheit
in den schweizerischen
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

Aufsichtsbericht 2023

zur nuklearen Sicherheit in den schweizerischen Kernanlagen

Rapport de Surveillance 2023

sur la sécurité nucléaire dans les installations nucléaires en Suisse

Regulatory Oversight Report 2023

concerning nuclear safety in Swiss nuclear installations

Vorwort 4
Préface 5
Foreword 7
Zusammenfassung und Übersicht 8
Résumé et aperçu 11
Summary and Overview 14

1. Kernkraftwerk Beznau 19
1.1 Überblick 19
1.2 Betriebsgeschehen 19
1.3 Inspektionen 23
1.4 Anlagentechnik 24
1.5 Strahlenschutz 25
1.6 Radioaktive Abfälle 26
1.7 Notfallbereitschaft 27
1.8 Personal und Organisation 28
1.9 Sicherheitsbewertung 29

2. Kernkraftwerk Gösgen 33
2.1 Überblick 33
2.2 Betriebsgeschehen 33
2.3 Inspektionen 36
2.4 Anlagentechnik 37
2.5 Strahlenschutz 38
2.6 Radioaktive Abfälle 39
2.7 Notfallbereitschaft 40
2.8 Personal und Organisation 41
2.9 Periodische Sicherheitsüberprüfung 42
2.10 Sicherheitsbewertung 42

3. Kernkraftwerk Leibstadt 45
3.1 Überblick 45
3.2 Betriebsgeschehen 45
3.3 Inspektionen 48
3.4 Anlagentechnik 49
3.5 Strahlenschutz 50
3.6 Radioaktive Abfälle 51
3.7 Notfallbereitschaft 52
3.8 Personal und Organisation 52
3.9 Periodische Sicherheitsüberprüfung 53
3.10 Sicherheitsbewertung 53

4. Kernkraftwerk Mühleberg 57
4.1 Überblick 57
4.2 Vorkommnisse 57
4.3 Anlageänderungen 58
4.4 Brennelemente 59
4.5 Strahlenschutz 59
4.6 Radioaktive Abfälle 60
4.7 Notfallbereitschaft 61
4.8 Personal und Organisation 62

Inhalt

5. Zentrales Zwischenlager Würenlingen **65**
5.1 Zwischenlagergebäude 65
5.2 Konditionierungsanlage 65
5.3 Plasma-Anlage 66
5.4 Strahlenschutz 66
5.5 Notfallbereitschaft 67
5.6 Personal und Organisation 68
5.7 Vorkommnisse 69
5.8 Gesamtbeurteilung 69

6. Paul Scherrer Institut **71**
6.1 Hotlabor 71
6.2 Kernanlagen in der Stilllegung oder im Rückbau 72
6.3 Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle 75
6.4 Strahlenschutz 77
6.5 Notfallbereitschaft 78
6.6 Personal und Organisation 78
6.7 Vorkommnisse 79

7. École Polytechnique Fédérale de Lausanne **81**

8. Transporte und Behälter **83**
8.1 Genehmigungen nach Gefahrgutgesetzgebung 83
8.2 Bewilligungen nach Strahlenschutzgesetzgebung 83
8.3 Bewilligungen nach Kernenergiegesetzgebung 84
8.4 Beschaffung von Transport- und Lagerbehältern 84
8.5 Aufsicht und Inspektionen 86

9. Geologische Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle **89**
9.1 Einleitung 89
9.2 Sachplan geologische Tiefenlager 90
9.3 Sondierbohrungen für die Etappe 3 92
9.4 Entsorgungsprogramm 93
9.5 Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung 93
9.6 Felslaboratorien 94
9.7 Internationaler Wissenstransfer 94

10. Anlagenübergreifende Themen **99**
10.1 Probabilistische Sicherheitsanalysen 99
10.2 Risikotechnische Beurteilung der Betriebserfahrung 100
10.3 ADAM-System 100
10.4 Kerntechnische Ausbildung 101
10.5 Aus- und Fortbildung im Strahlenschutz 101

Anhang **104**

Vorwort

Der sicherheitstechnische Zustand der in Betrieb stehenden Kernkraftwerke Beznau 1 und 2, Leibstadt und Gösgen ist gut: Davon konnten wir uns im Berichtsjahr unter anderem an 327 Inspektionen überzeugen. Im Berichtsjahr ist es in den Schweizer Kernkraftwerken zu 22 Vorkommnissen mit Bezug zur nuklearen Sicherheit gekommen. Wir haben sie alle der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet. Der Schutz der Bevölkerung und des Personals vor radioaktiver Strahlung war stets gewährleistet.

Ergänzend zur laufenden Aufsichtstätigkeit stellt die alle zehn Jahre durchzuführende Periodische Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) eine wichtige Grundlage für die Beurteilung des Zustands der Kernkraftwerke dar. Im Rahmen dieser PSÜ ist einerseits die kraftwerksspezifische Betriebserfahrung der letzten zehn Jahre auszuwerten und mit der Betriebserfahrung anderer Kernkraftwerke zu vergleichen. Andererseits wird der aktuelle Zustand des Kernkraftwerks mit dem Stand von Wissenschaft und Technik verglichen. Wenn ein Kernkraftwerk über 40 Jahre hinaus betrieben wird, muss der Betreiber gemäss Kernenergieverordnung im Rahmen der PSÜ in einem zusätzlichen Nachweis aufzeigen, dass er die Sicherheit auch im Langzeitbetrieb gewährleisten kann. Das Kernkraftwerk Leibstadt ist das letzte der in Betrieb stehenden Werke in der Schweiz, das in den Langzeitbetrieb übergeht. Es zählt im Jahr 2024 das vierzigste Betriebsjahr und hat im Jahr 2022 die PSÜ mit Sicherheitsnachweis für den Langzeitbetrieb eingereicht. Wir haben die Dokumentation im Berichtsjahr einer Grobprüfung unterzogen und Nachforderungen gestellt. Ebenfalls im Berichtsjahr haben wir die Prüfung der PSÜ 2018 des Kernkraftwerks Gösgen abgeschlossen. Das Kernkraftwerk Gösgen hatte in den Unterlagen zum Langzeitbetrieb auch sein Nachrüstungskonzept dargestellt. Wir haben die PSÜ, den Sicherheitsnachweis für den Langzeitbetrieb und das Nachrüstungskonzept positiv beurteilt.

Parallel dazu befindet sich das erste Kernkraftwerk der Schweiz nach knapp fünf Jahrzehnten Betrieb in der Stilllegung. Das Kernkraftwerk Mühleberg hat im Berichtjahr den Abtransport der restlichen 215 Brennelemente ins Zentrale Zwischenlager der Zwilag in Würenlingen abgeschlossen. Wir haben die Ausserbetriebnahme- und Demontagearbeiten mit 50 Inspektionen begleitet. Nachdem wir die Freigaben für die neue Stilllegungsphase erteilt hatten, konnten wir anfangs September 2023 die Brennstofffreiheit bestätigen: Das Kernkraftwerk Mühleberg startete somit im Herbst mit der Stilllegungsphase 2.

Gemäss Kernenergiegesetzgebung müssen die radiokativen Abfälle der Schweiz in einem geologischen Tiefenlager entsorgt werden. Das entsprechende Sachplanverfahren befindet sich in der dritten und letzten Etappe. Die Nagra plant im Jahr 2024 zwei Rahmenbewilligungsgesuche einzureichen: eines für ein Kombilager für alle radioaktiven Abfälle im Standortgebiet in Stadel (ZH) sowie eines für eine Brennelementverpackungsanlage neben dem Zwilag in Würenlingen (AG). Im Berichtsjahr haben wir die Vorbereitungen zur sicherheitstechnischen Prüfung dieser Gesuche fortgeführt. Zudem sind wir für die Überprüfung des alle fünf Jahre einzureichenden Entsorgungsprogramms, das von der Nagra erarbeitet wird, zuständig. Wir haben unser Gutachten im Mai 2023 veröffentlicht und sind zum Schluss gekommen, dass die Nagra ihren gesetzlichen Auftrag erfüllt hat.

Ich bedanke mich bei meinen Kolleginnen und Kollegen, die einmal mehr engagierte und umfangreiche aufsichtliche Arbeit geleistet haben. Sie räumen der steten Verbesserung der nuklearen Sicherheit und Sicherung oberste Priorität ein. Ich schätze ihre zielgerichtete und sorgfältige Aufsicht.

Marc Kenzelmann
Direktor
Juni 2024

Marc Kenzelmann

Préface

L'état de sécurité technique des centrales nucléaires en service de Beznau 1 et 2, Leibstadt et Gösgen est bon. Nous avons pu nous en convaincre au cours de l'année sous revue, notamment au moyen de 327 inspections. L'année passée toujours, 22 évènements liés à la sécurité nucléaire se sont produits dans les centrales nucléaires suisses. Nous les avons tous classés au niveau 0 de l'échelle internationale des événements nucléaires INES. La protection de la population et du personnel contre les radiations radioactives a sans arrêt été garantie.

En complément de l'activité de surveillance courante, le réexamen périodique de sécurité (RPS), qui doit être effectué tous les dix ans, constitue une base importante pour l'évaluation de l'état des centrales nucléaires. Dans le cadre de ce réexamen approfondi, il convient d'une part d'évaluer l'expérience d'exploitation spécifique de la centrale au cours des dix dernières années et de la comparer à celle d'autres centrales nucléaires. D'autre part, l'état actuel de la centrale nucléaire est comparé à l'état de la science et de la technique. Lorsqu'une centrale nucléaire est exploitée au-delà de 40 ans, l'exploitant doit, conformément à l'ordonnance sur l'énergie nucléaire, démontrer dans le cadre du RPS qu'il est en mesure de garantir la sécurité aussi pendant une exploitation à long terme, à travers un justificatif supplémentaire. La centrale nucléaire de Leibstadt est la dernière des centrales en service en Suisse à passer à l'exploitation à long terme. Elle compte en 2024 sa quarantième année d'exploitation et a remis en 2022 son RPS accompagné du justificatif de sécurité pour l'exploitation à long terme. Au cours de l'année sous revue, nous avons soumis la documentation à un contrôle général et fait des demandes supplémentaires. Au cours de l'exercice, nous avons également achevé la vérification du RPS 2018 de la centrale nucléaire de Gösgen. La centrale nucléaire de Gösgen avait également présenté son vaste concept de rééquipement dans la documentation relative à l'exploitation à long terme. Nous avons émis un avis positif sur le RPS, le justificatif de sécurité pour l'exploitation à long terme et le concept de rééquipement. La prise de position du RPS 2017 de la centrale nucléaire de Beznau, y compris le justificatif de sécurité pour l'exploitation à long terme jusqu'à 60 ans, a déjà été finalisée et publiée en 2021.

Parallèlement, la première centrale nucléaire de Suisse est en cours de démantèlement après presque cinq décennies d'exploitation. Au cours de l'année sous revue, la centrale nucléaire de Mühleberg a achevé le transport des 215 éléments combustibles restants vers le dépôt intermédiaire central de Zwilag à Würenlingen. Nous avons accompagné les travaux de mise hors service et de démantèlement en effectuant 50 inspections. Après avoir donné les autorisations pour la nouvelle phase de désaffectation, nous avons pu confirmer l'absence de combustible début septembre 2023. La centrale nucléaire de Mühleberg a dès lors commencé la phase 2 de désaffectation en automne.

Conformément à la législation sur l'énergie nucléaire, les déchets radioactifs de la Suisse doivent être stockés dans un dépôt en couches géologiques profondes. La procédure du plan sectoriel correspondante en est à sa troisième étape. La Nagra prévoit de déposer deux demandes d'autorisation générale en 2024. L'une pour un dépôt combiné pour l'ensemble des déchets radioactifs dans le site d'implantation à Stadel (ZH) et l'autre pour une installation d'emballage d'éléments combustibles à côté du Zwilag à Würenlingen (AG). Au cours de l'année sous revue, nous avons poursuivi les préparatifs en vue de l'examen de ces demandes sous l'angle de la sécurité. Nous sommes en outre chargés de vérifier le programme de gestion des déchets radioactifs à soumettre tous les cinq ans, qui est élaboré par la Nagra. Nous avons publié notre expertise en mai 2023 et sommes parvenus à la conclusion que la Nagra avait rempli son mandat légal.

Je remercie mes collègues qui, une fois de plus, ont fourni un travail de surveillance engagé et considérable au cours de l'année sous revue. Ils accordent la plus haute priorité à l'amélioration constante de la sécurité et de la sûreté nucléaires. J'apprécie leur surveillance orientée vers notre mission et consciencieuse.

Marc Kenzelmann
Directeur
Juin 2024

Foreword

Nuclear safety at the operating nuclear plants, Beznau 1 and 2, Leibstadt and Gösgen is good, a fact confirmed in the year under review by our 327 inspections. In the year under review, 22 events relevant for nuclear safety at the Swiss nuclear power plants were recorded, all of which were classified as Level 0 on the International Nuclear and Radiological Event Scale (INES). Both the population at large and staff working at the plants were protected at all times.

In addition to the ongoing oversight activities, the Periodic Safety Review (PSR), carried out every ten years, is an important basis for assessing the condition of nuclear power plants. As part of this comprehensive PSR, the power plant-specific operating experience of the last ten years is firstly evaluated and compared with the operating experience of other nuclear power plants. The actual condition of the nuclear power plant is then compared with the latest state of science and technology. If a nuclear power plant is to be in operation for more than 40 years, the operator must provide additional proof in accordance with the Nuclear Energy Ordinance as part of the PSR that it can also guarantee safety during long-term operation. The Leibstadt Nuclear Power Plant is the last of the plants operating in Switzerland to switch over to long-term operation. Its fortieth year of operation occurs in 2024 and it submitted the PSR with the safety case for long-term operation in 2022. In the year under review, we carried out a first review of the documentation and made some additional demands. Also in the year under review, we completed the review of the 2018 PSR of the Gösgen Nuclear Power Plant. The Gösgen Nuclear Power Plant also presented its extensive backfit concept in the documentation on long-term operation. Our assessment of the PSR, the safety case for long-term operation and the backfit concept was positive. The statement on the 2017 PSR of the Beznau Nuclear Power Plant, including the safety case for long-term operation of up to 60 years, was completed and published in 2021.

In parallel, Switzerland's first nuclear power plant is decommissioning after almost five decades in operation. In the year under review, the Mühleberg nuclear power plant completed its transport of the remaining 215 fuel elements to the Zwilag central interim storage facility in Würenlingen. We oversaw the decommissioning and dismantling work with 50 inspections. After we had granted the approvals for the new decommissioning phase, we were able to confirm the fuel-free status at the beginning of September 2023. Hence, Mühleberg Nuclear Power Plant started decommissioning phase 2 last autumn.

According to its nuclear energy legislation, Switzerland's radioactive waste must be disposed of in a deep geological repository. The relevant sectoral plan process is in the third and final stage. Nagra plans to submit two general licence applications in 2024: one for a combined storage facility for all radioactive waste in the Stadel (ZH) site area and one for a fuel element encapsulation plant next to the Zwilag facility in Würenlingen (AG). In the year under review, we continued the preparations for the safety review of these applications. We are also responsible for reviewing the five-year waste management programme that Nagra is working on. We published our report in May 2023 and concluded that Nagra has fulfilled its legal mandate.

I would like to thank my colleagues, who have once again stepped up to the mark with dedicated and extensive oversight work in the year under review. Their top priority, as always, was the continuous improvement of nuclear safety and security. I appreciate their focused and careful oversight.

Marc Kenzelmann
Director General
June 2024

Zusammenfassung und Übersicht

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) ist die Aufsichtsbehörde des Bundes über die Kernanlagen in der Schweiz. Es begutachtet und überwacht den Betrieb der Kernkraftwerke Beznau 1 und 2, Gösgen und Leibstadt, die Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg, die Zwischenlager bei den Kraftwerken, das Zentrale Zwischenlager der Zwilag in Würenlingen sowie die Kernanlagen des Paul Scherrer Instituts (PSI) und der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Mit Inspektionen, Aufsichtsgesprächen, Prüfungen, Messungen, Analysen und der Berichterstattung der Anlagenbetreiber verschafft sich das ENSI den notwendigen Überblick über die nukleare Sicherheit und Sicherung der beaufsichtigten Kernanlagen. Es wacht darüber, dass die Betriebsführung gesetzeskonform und den Bewilligungen entsprechend erfolgt. Zudem gehören die Transporte radioaktiver Stoffe von und zu den Kernanlagen sowie die Vorbereitungen zur geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle zu seinem Aufsichtsbereich. Das ENSI unterhält eine eigene Notfallorganisation, die Bestandteil einer landesweiten Notfallorganisation ist. Im Fall eines schweren Störfalls in einer schweizerischen Kernanlage käme sie zum Einsatz.

Gesetzliche Basis

Das Kernenergiegesetz, die Kernenergieverordnung, das Strahlenschutzgesetz, die Strahlenschutzverordnung sowie weitere Verordnungen und Vorschriften zur nuklearen Sicherheit und Sicherung, insbesondere zur Personalausbildung, zum Notfallschutz, zum Transport radioaktiver Stoffe und zur geologischen Tiefenlagerung bilden die gesetzliche Basis für die Aufsicht des ENSI. Gestützt auf diese gesetzlichen Grundlagen erstellt und aktualisiert das ENSI eigene Richtlinien. Darin formuliert es die Kriterien, nach denen es die Tätigkeiten und Vorhaben der Betreiber der Kernanlagen beurteilt. Die geltenden Richtlinien sind auf der unter www.ensi.ch zugänglichen Website des ENSI unter der Rubrik Dokumente in der Unterrubrik Richtlinien verfügbar.

Berichterstattung

Das ENSI berichtet periodisch über seine Aufsichtstätigkeit und die nukleare Sicherheit der schweizerischen Kernanlagen. Es informiert die Öffentlichkeit über sicherheitsrelevante Themen, unter anderem über Ereignisse und Befunde in den Kernanlagen, zum Beispiel im Rahmen von öffentlichen Veranstaltungen und Fachvorträgen sowie auf seiner Website. Der vorliegende Aufsichtsbericht des ENSI ist Teil seiner periodischen Berichterstattung. Daneben publiziert das ENSI jährlich einen Strahlenschutzbericht sowie einen Erfahrungs- und Forschungsbericht. Die Originalsprache der Berichte ist Deutsch. Das Vorwort beziehungsweise die Zusammenfassungen werden auf Französisch und Englisch übersetzt. Das ENSI publiziert seine Berichte auf seiner Website.

Inhalt des vorliegenden Berichts

Das ENSI berichtet in den Kapiteln 1, 2 und 3 des vorliegenden Aufsichtsberichts über das Betriebsgeschehen, die Anlagentechnik, den Strahlenschutz und die Betriebsführung der Kernkraftwerke Beznau 1 und 2, Gösgen und Leibstadt. Im Kapitel 4 beschreibt das ENSI die Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg. Zu jedem in Betrieb stehenden Kernkraftwerk nimmt das ENSI eine separate Sicherheitsbewertung für das Berichtsjahr vor. Im Kapitel 5 wird das Zentrale Zwischenlager der Zwilag in Würenlingen behandelt. Die Kapitel 6 und 7 widmen sich den Kernanlagen des PSI und dem Forschungsreaktor der EPFL. Im Kapitel 8 wird über die Transporte radioaktiver Stoffe von und zu den schweizerischen Kernanlagen berichtet. Das Kapitel 9 nimmt sich der geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle inklusive der Arbeiten im Rahmen des Sachplans an. Im Kapitel 10 werden anlagenübergreifende Aspekte wie zum Beispiel

probabilistische Sicherheitsanalysen sowie die Ausbildung in den Bereichen Kerntechnik und Strahlenschutz beschrieben. Im Anhang finden sich Tabellen und Figuren.

Kernkraftwerke

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Betreiber der Kernkraftwerke (KKW) in der Schweiz die bewilligten Betriebsbedingungen eingehalten haben. Sie haben ihre gesetzlich festgelegten Meldepflichten gegenüber der Aufsichtsbehörde wahrgenommen. Der sicherheitstechnische Zustand der im Berichtsjahr in Betrieb stehenden KKW war gut. In den KKW kam es im Jahr 2023 zu 22 meldepflichtigen Vorkommnissen, die für die nukleare Sicherheit relevant waren: Sieben Vorkommnisse betrafen den Block 1 des KKW Beznau. Acht Vorkommnisse betrafen das KKW Gösgen und sieben das KKW Leibstadt. Das KKW Beznau 2 sowie das KKW Mühleberg, das sich in der Stilllegung befindet, verzeichneten keine solchen Vorkommnisse. Alle Vorkommnisse wurden der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet. Das ENSI bewertet die Sicherheit der in Betrieb stehenden KKW im Rahmen einer systematischen Sicherheitsbewertung. Dabei werden neben meldepflichtigen Vorkommnissen weitere Erkenntnisse berücksichtigt, insbesondere die Ergebnisse aus den Inspektionen.

Zentrales Zwischenlager Würenlingen

Das Zentrale Zwischenlager der Zwilag in Würenlingen umfasst mehrere Zwischenlagergebäude, die Konditionierungsanlage und die Plasma-Anlage (Verbrennungs- und Schmelzanlage). Ende 2023 befanden sich in der Behälterlagerhalle 83 Transport- und Lagerbehälter mit abgebrannten Brennelementen und Glaskokillen sowie ein Behälter mit den Brennelementen aus dem stillgelegten Forschungsreaktor Diorit des PSI und sechs Behälter mit Stilllegungsabfällen aus dem Versuchsatomkraftwerk Lucens. Im Jahr 2023 wurden zwei Kampagnen zur Verbrennung und Einschmelzung von radioaktiven Abfällen durchgeführt. Bei der Zwilag kam es Berichtsjahr zu keinem meldepflichtigen Vorkommnis. Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Zwilag im Berichtsjahr die bewilligten Betriebsbedingungen eingehalten hat.

Paul Scherrer Institut und Forschungsreaktoren

Die Kernanlagen des PSI unterstehen der Aufsicht des ENSI. Dabei handelt es sich um das Hotlabor, die in unterschiedlichen Phasen der Stilllegung stehenden drei Forschungsreaktoren Saphir, Diorit und Proteus, die rückzubauende ehemalige Versuchsverbrennungsanlage sowie die Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle einschliesslich des Bundeszwischenlagers. In den Kernanlagen des PSI waren im Jahr 2023 zwei meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen. Der Forschungsreaktor der EPFL verzeichnete im Berichtsjahr kein Vorkommnis.

Abgaben radioaktiver Stoffe

Die Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt via Abwasser und Abluft der KKW, des Zentralen Zwischenlagers in Würenlingen, der Kernanlagen am PSI sowie in Lausanne lagen im Berichtsjahr weit unterhalb der in den Bewilligungen festgelegten Limiten. Sie ergaben auch für Personen, welche in direkter Nachbarschaft einer Anlage leben, eine maximale berechnete Dosis von weniger als einem Prozent der mittleren natürlichen jährlichen Strahlenexposition in der Schweiz.

Transport radioaktiver Stoffe

Alle Transporte radioaktiver Stoffe von und zu den Kernanlagen der Schweiz verliefen im Jahr 2023 unfallfrei. Von der ordnungsgemässen Durchführung hat sich das ENSI mit mehreren Inspektionen der Transporte unterschiedlicher radioaktiver Materialien und Abfälle überzeugt.

Geologische Tiefenlagerung

Seit 2008 läuft das Sachplanverfahren (Sachplan geologische Tiefenlager, SGT) für die Lagerung radioaktiver Abfälle, das durch das Bundesamt für Energie geleitet wird. Das ENSI trägt dabei die Gesamtverantwortung für die sicherheitstechnische Beurtei-

lung der geologischen Standortgebiete. Die Etappe 2 startete im Jahr 2011 und befasste sich mit der Einengung auf mindestens zwei Standortgebiete für geologische Tiefenlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle sowie für hochradioaktive Abfälle. Der Bundesrat beendete an seiner Sitzung im November 2018 die Etappe 2 des Sachplanverfahrens und stützte die Beurteilung des ENSI. Er entschied, dass die drei Standortgebiete Jura Ost, Zürich Nordost und Nördlich Lägern weiter untersucht werden sollen. Im September 2022 hat die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) angekündigt, dass sie ein geologisches Tiefenlager für alle radioaktiven Abfälle im Standortgebiet Nördlich Lägern in Stadel (Kanton Zürich) erstellen will. Das ENSI und die von ihm beauftragten Experten haben im Berichtsjahr wiederum eigene, für die Tiefenlagerung relevante Untersuchungen und Forschungsarbeiten durchgeführt. Ein grosser Teil davon wurde im Felslabor Mont Terri realisiert. Das ENSI verfolgte den Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich der Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle mit seiner Mitarbeit in verschiedenen internationalen Programmen.

Résumé et aperçu

L'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) est l'autorité de surveillance de la Confédération pour les installations nucléaires en Suisse. Elle expertise et surveille l'exploitation des centrales nucléaires Beznau 1 et 2, Gösgen et Leibstadt, la désaffectation de la centrale nucléaire de Mühleberg, les dépôts intermédiaires situés dans les centrales, le dépôt de stockage intermédiaire Zwilag de Würenlingen, ainsi que les installations nucléaires de l'Institut Paul Scherrer (PSI) et de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Les inspections, les entretiens de surveillance, les contrôles, les mesures, les analyses, ainsi que les rapports des sociétés exploitantes des installations permettent à l'IFSN d'acquérir la vue d'ensemble nécessaire sur la sécurité et la sûreté des installations nucléaires surveillées. L'IFSN veille à ce que la gestion de l'exploitation des installations soit conforme à la législation et aux autorisations. Son domaine de surveillance s'étend en outre aux transports de substances radioactives en provenance et à destination des installations nucléaires, ainsi qu'aux travaux préparatoires en vue du stockage des déchets radioactifs en couches géologiques profondes. L'IFSN gère sa propre organisation d'urgence, qui fait partie de l'organisation d'urgence nationale. Celle-ci interviendrait en cas de défaillance grave dans une installation nucléaire suisse.

Base légale

La loi sur l'énergie nucléaire, l'ordonnance sur l'énergie nucléaire, la loi sur la radioprotection, l'ordonnance sur la radioprotection, ainsi que d'autres ordonnances et prescriptions sur la sécurité et la sûreté nucléaire, et en particulier sur la formation du personnel, sur la protection en cas d'urgence, sur le transport de substances radioactives et sur le stockage en couches géologiques profondes, constituent les bases légales de la surveillance de l'IFSN. En s'appuyant sur ces fondements légaux, l'IFSN élabore et met à jour des propres directives. Elle y formule les critères d'après lesquels elle évalue les activités et les projets des exploitants des installations nucléaires. Les directives en vigueur peuvent être consultées en allemand sur la version allemande du site Internet de l'IFSN, accessible à l'adresse www.ensi.ch, sous la rubrique « Dokumente » (Documents), dans la sous-rubrique « Richtlinien » (Directives).

Information

L'IFSN rend compte périodiquement de son activité de surveillance et de la sécurité nucléaire des installations nucléaires suisses. Elle informe le public des sujets pertinents du point de vue de la sécurité, entre autres des évènements et constats dans les installations nucléaires, par exemple dans le cadre de réunions publiques, d'exposés spécialisés, ou à travers son site Internet. L'IFSN rend compte de son activité en partie dans ce Rapport de surveillance, qui s'inscrit dans ses rapports périodiques. Parallèlement, l'IFSN publie chaque année un Rapport sur la radioprotection, ainsi qu'un Rapport sur les expériences et la recherche. La langue d'origine de ces rapports est l'allemand. La préface, respectivement les résumés, sont traduits en français et en anglais. L'IFSN publie ses rapports sur son site Internet.

Contenu du présent rapport

L'IFSN rend compte dans les chapitres 1, 2 et 3 du présent Rapport de surveillance du déroulement de l'exploitation, de la technique de l'installation, de la radioprotection et de la gestion des centrales nucléaires de Beznau 1 et 2, Gösgen et Leibstadt. Dans le chapitre 4, l'IFSN décrit la désaffectation de la centrale nucléaire de Mühleberg. L'IFSN procède à une évaluation de la sécurité sur l'année sous revue pour chacune des centrales nucléaires en exploitation prise séparément. Le chapitre 5 traite du dépôt de stockage intermédiaire Zwilag à Würenlingen. Les chapitres 6 et 7 sont consacrés aux installations nucléaires du PSI, ainsi qu'au

réacteur de recherche de l'EPFL. Le chapitre 8 traite des transports de substances radioactives en provenance et à destination des installations nucléaires suisses. Le chapitre 9 thématise le stockage des déchets radioactifs en couches géologiques profondes, ainsi que les travaux relatifs au plan sectoriel. Le chapitre 10 aborde d'autres aspects communs aux installations, notamment les études probabilistes de sécurité et la formation dans les domaines de la technique nucléaire et de la radioprotection. Les tableaux et les graphiques se trouvent en annexe.

Centrales nucléaires

L'IFSN arrive à la conclusion que les sociétés exploitantes des installations nucléaires en Suisse ont respecté les conditions d'exploitation autorisées. Elles ont observé leurs devoirs légaux de notification à l'égard de l'autorité de surveillance. L'état au niveau de la sécurité technique des centrales nucléaires en exploitation était bon lors de l'année sous revue. En 2023, les centrales nucléaires ont connu 22 évènements soumis à obligation de notification et pertinents pour la sécurité nucléaire. Sept évènements ont concerné la tranche 1 de la centrale nucléaire de Beznau. Huit évènements ont concerné la centrale de Gösgen et sept la centrale de Leibstadt. Aucun évènement de ce type ne s'est produit dans la tranche 2 de la centrale nucléaire de Beznau et dans la centrale nucléaire de Mühleberg, qui se trouve en désaffectation. Tous les évènements ont été classés INES 0 sur l'Échelle internationale de l'IAEA. L'IFSN évalue la sécurité des centrales nucléaires se trouvant en exploitation dans le cadre d'une évaluation systématique de la sécurité. Ce faisant, elle ne prend pas seulement en compte les évènements qui doivent être obligatoirement notifiés, mais aussi d'autres informations, notamment celles découlant du résultat des inspections.

Dépôt de stockage intermédiaire Zwilag à Würenlingen

Le dépôt de stockage intermédiaire Zwilag à Würenlingen comprend plusieurs bâtiments d'entreposage intermédiaire, l'installation de conditionnement et l'installation plasma (station d'incinération et de fusion). Fin 2023, la halle des conteneurs abritait 83 conteneurs de transport et d'entreposage contenant des assemblages combustibles usés et des colis vitrifiés, de même qu'un conteneur avec des assemblages combustibles provenant du réacteur de recherche désaffecté Diorit du PSI, et six conteneurs de déchets de désaffectation de la centrale nucléaire expérimentale de Lucens. En 2023, deux campagnes d'incinération et de fonte de déchets radioactifs ont eu lieu. Au Zwilag l'IFSN n'a recensé, lors de l'exercice sous revue, aucun évènement soumis au devoir de notification. L'IFSN en conclut que le Zwilag a respecté en 2023 les conditions d'exploitation autorisées.

Institut Paul Scherrer et réacteurs de recherche

Les installations nucléaires du PSI sont placées sous la surveillance de l'IFSN. Il s'agit du laboratoire chaud, des trois réacteurs de recherche Saphir, Diorit et Proteus – tous les trois à des phases différentes de désaffectation –, ainsi que de l'ancienne station expérimentale d'incinération à démanteler et les installations d'élimination de déchets radioactifs, inclus le dépôt intermédiaire de la Confédération. Deux évènements soumis à une obligation de notification ont été recensés dans les installations nucléaires du PSI en 2023. Le réacteur de recherche de l'EPFL n'a enregistré aucun évènement en 2023.

Rejets de substances radioactives

Sur l'année sous revue, les rejets de substances radioactives dans l'environnement via les eaux usées et l'air vicié des centrales nucléaires, du dépôt de stockage intermédiaire Zwilag, des installations nucléaires du PSI, ainsi qu'à Lausanne, ont enregistré des valeurs nettement inférieures aux limites fixées dans les autorisations. Il en a résulté, également pour les personnes vivant au voisinage immédiat d'une installation, une dose maximale calculée de moins d'un pourcent de l'exposition annuelle naturelle moyenne aux radiations en Suisse.

Transport de substances radioactives

Tous les transports de substances radioactives en provenance et à destination des installations nucléaires de la Suisse se sont passés sans accident en 2023. L'IFSN a pu se convaincre à travers plusieurs inspections du déroulement conforme du transport de différents matériaux radioactifs et de déchets.

Stockage en couches géologiques profondes

La procédure du plan sectoriel (« Dépôts en couches géologiques profondes ») pour le stockage de déchets radioactifs est menée depuis 2008, sous la conduite de l'Office fédéral de l'énergie. Dans ce cadre-là, l'IFSN est responsable de toute l'évaluation de la sécurité technique des domaines d'implantation géologiques. L'étape 2 a été lancée en 2011 et a pour objectif de réduire en tout cas à deux domaines d'implantation les dépôts en couches géologiques profondes pour déchets faiblement et moyennement actifs et pour déchets hautement actifs. Le Conseil fédéral a mis fin lors de sa session de novembre 2018 à l'étape 2 de la procédure du plan sectoriel en validant l'évaluation faite par l'IFSN. Il a en effet décidé que les trois domaines d'implantation Jura-est, Zurich nord-est et Nord des Lägern doivent continuer à être étudié. En septembre 2022, la Nagra a annoncé son intentions de construire un seul dépôt en couches géologique profondes pour tous les déchets radioactifs sur le site « Nord des Lägern » à Stadel (canton de Zurich). L'IFSN, ainsi que les experts mandatés par elle, ont à nouveau procédé sur l'année sous revue à des recherches et à des expériences pertinentes du point de vue du stockage en couches géologiques profondes. Une grande partie d'entre elles a été réalisée dans le laboratoire souterrain de Mont Terri. A travers sa participation à différents programmes internationaux, l'IFSN suit de près l'état actuel de la science et de la technique sur le stockage de déchets radioactifs en couches géologiques profondes.

Summary and Overview

The Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate (ENSI) is responsible for overseeing nuclear facilities in Switzerland. It inspects and monitors the operation of the nuclear power plants Beznau 1 and 2, Gösgen and Leibstadt, the decommissioning of the Mühleberg nuclear power plant, the interim storage facilities based at each plant, the Central Interim Storage Facility (Zwilag) in Würenlingen together with the nuclear facilities at the Paul Scherrer Institute (PSI) and the École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Using a combination of inspections, regulatory meetings, checks, measurements, analyses and the reporting of the operators of individual facilities, ENSI obtains the required overview of nuclear safety and security in these facilities. It ensures that they are operated as required by law and in compliance with the terms of their operating licences. ENSI's regulatory responsibilities also include the transport of radioactive materials from and to nuclear facilities and preparations for a deep geological repository for radioactive waste. ENSI maintains its own emergency organisation, which is an integral part of the national emergency structure. The ENSI emergency organisation will be activated in the event of a serious incident at a nuclear facility in Switzerland.

Legal basis

The Nuclear Energy Act, the Nuclear Energy Ordinance, the Radiological Protection Act, the Radiological Protection Ordinance and other rules and regulations on nuclear safety and security, in particular on staff training, emergency protection, the transport of radioactive material and deep geological storage form the legal basis for ENSI's supervisory role. Based on these legal foundations ENSI writes and updates its own guidelines. Within these it formulates the criteria according to which it assesses the activities and projects of the operators of the nuclear facilities. The applicable guidelines are available on the ENSI website, accessible at www.ensi.ch, under the heading Documents in the sub-heading Guidelines.

Reporting

ENSI reports periodically on its oversight activities and the nuclear safety of Swiss nuclear facilities. It keeps the public informed about safety-relevant topics, among others events and findings in the nuclear facilities, for example within the framework of public meetings and specialist talks, as well as via its website. This ENSI Oversight Report forms part of its periodic reporting. In addition, ENSI publishes an annual Radiation Protection Report and an annual Research and Experience Report. The reports are written in German. The foreword and summaries, respectively, are translated into French and English. ENSI publishes its reports on its website.

Contents of this report

Chapters 1, 2 and 3 of this Oversight Report deal with operational activities, systems engineering, radiological protection and the management of the nuclear power plants of Beznau 1 and 2, Gösgen and Leibstadt. In Chapter 4, ENSI describes the decommissioning of the Mühleberg nuclear power plant. ENSI performs a separate safety evaluation for each nuclear power plant in operation for the reporting year. Chapter 5 deals with the Central Interim Storage Facility (Zwilag) in Würenlingen. Chapters 6 and 7 are devoted to the nuclear facilities of the PSI and the research reactor of the EPFL. Chapter 8 covers the transport of radioactive materials from and to Swiss nuclear facilities. Chapter 9 covers the deep geological storage of radioactive waste including work within the framework of the Sectoral Plan. Finally, Chapter 10 deals with generic issues relevant to all facilities such as probabilistic safety analyses as well as education in nuclear technology and radiation protection. The Appendix contains tables and figures.

Nuclear power plants

ENSI concluded that the nuclear power plats (NPP) in Switzerland had adhered to its approved operating conditions. Operators complied with their statutory obligations to provide ENSI with reports. Nuclear safety conditions at all plants in operation were rated as good. In 2023, there were 22 reportable events at the NPPs that were relevant to nuclear safety: Beznau 1 NPP had seven events. Gösgen NPP was affected by eight and Leibstadt NPP by seven events. Benzau II NPP and Mühleberg NPP, which is in decommissioning, recorded no safety-relevant event in 2023. The events were rated as INES 0 on the IAEA's international event scale. ENSI evaluates the safety of each NPP in operation as part of a systematic safety evaluation. This reflects both reportable events and other findings, in particular the results of inspections.

Central Interim Storage Facility Würenlingen

The Central Interim Storage Facility (Zwilag) in Würenlingen consists of several interim storage buildings, a conditioning plant and the plasma plant (incineration/melting plant). At the end of 2023, the cask storage hall contained 83 transport/storage casks with spent fuel assemblies and vitrified residue packages as well as one cask with the fuel assemblies from the shutdown research reactor Diorit of the PSI and six casks with waste from the decommissioning of the experimental NPP at Lucens. Two campaigns to incinerate and melt radioactive waste were carried out in 2023. ENSI recorded no reportable event at Zwilag during the reporting year. ENSI concludes that Zwilag complied with its approved operating conditions in the reporting year.

Paul Scherrer Institute and the research reactors

ENSI is responsible for the oversight of the nuclear facilities of the PSI, i. e. the hot laboratory, the three former research reactors Saphir, Diorit and Proteus now in varying phases of decommissioning, the former experimental incineration plant whose site is to be restored for safe use, and the facilities for the disposal of radioactive materials including the Federal Government's interim storage facility. Two reportable events occurred at the PSI nuclear facilities during 2023. The EPFL research reactor recorded no event in 2023.

Release of radioactive materials

During the reporting year, emissions of radioactive material into the environment via waste water and exhaust air from the NPPs, the Central Interim Storage Facility (Zwilag) in Würenlingen and the nuclear facilities at PSI and Lausanne were significantly below the limits specified in the operating licences. Analyses showed that the maximum dose for persons in the immediate vicinity of a plant was less than one percent of the annual exposure to mean natural annual radiation in Switzerland.

Transport of radioactive materials

All transport of radioactive substances to and from Swiss nuclear facilities took place without any incidents or accidents during 2023. ENSI verified the correct transport of differing types of radioactive materials and waste by performing multiple inspections of the transports.

Deep geological repositories

The sectoral plan procedure (Sectoral Plan for Deep Geological Repositories, SGT) for the storage of radioactive waste led by the Federal Office of Energy has been running since 2008. Here, ENSI bears overall responsibility for the safety assessment of the geological siting areas. Stage 2 started in 2011 and concerned the reduction of potential siting areas to at least two siting areas for deep geological repositories for low and intermediate level radioactive waste as well as highly radioactive waste. In its session of November 2018, the Federal Council concluded stage 2 of the sectoral plan procedure and supported the assessment of ENSI. It decided that the three siting areas – Jura East, Zurich North-East and North of Lägern – should be

further in vestigated. In September 2022, the National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste (Nagra) announced its intention to construct a deep geological repository for all radioactive waste in the Nördlich Lägern siting area in Stadel (Canton Zurich). In the year under review, ENSI and the experts it has appointed again carried out a number of investigations and research work relevant for deep geological repositories. A large part of this work was done in the Mount Terri Rock Laboratory. ENSI monitored the state of the art in science and technology in respect of the deep geological storage of radioactive waste by participating in various international programmes.

1

1. Kernkraftwerk Beznau

1.1 Überblick

Der Block 1 des Kernkraftwerks Beznau (KKB) hatte neben dem Brennelementwechsel eine Ausserbetriebnahme einer der zwei Turbogruppen für die Reparatur einer Leckage im nicht nuklearen Teil der Anlage zu verzeichnen. Der Block 2 befand sich im ungestörten Leistungsbetrieb, abgesehen vom Revisionsstillstand. Das ENSI stellt fest, dass die bewilligten Betriebsbedingungen in beiden Blöcken stets eingehalten wurden.

Das ENSI beurteilt die Sicherheit des KKB im Berichtsjahr im Block 1 hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als gut, hinsichtlich der Betriebsvorgaben als gut, hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut und hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als gut.

Das ENSI beurteilt die Sicherheit des KKB im Berichtsjahr im Block 2 hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als gut, hinsichtlich der Betriebsvorgaben als gut, hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut und hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als gut.

Das KKB umfasst zwei weitgehend baugleiche Zwei-Loop-Druckwasserreaktor-Blöcke, die in den Jahren 1969 und 1972 den kommerziellen Betrieb aufnahmen. Die elektrische Nettoleistung beträgt pro Block 365 MW. Weitere Daten sind in den Tabellen 1 und 2 im Anhang zusammengestellt. Die Figur 5a zeigt das Funktionsschema einer Druckwasserreaktor-Anlage.

Im Block 1 kam es im Berichtsjahr zu sieben meldepflichtigen Vorkommnissen mit Bezug zur nuklearen Sicherheit. Alle Vorkommnisse wurden der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet.

Im Block 2 traten im Berichtsjahr keine meldepflichtigen Vorkommnisse auf.

Ebenfalls kam es zu keinem Vorkommnis, welches beide Blöcke betraf.

Der Brennelementwechsel im Block 1 dauerte vom 16. Mai bis zum 1. Juni 2023, der Revisionsstillstand im Block 2 vom 4. August bis zum 12. September 2023.

Im Berichtsjahr sind in beiden Blöcken keine Brennelementschäden aufgetreten.

Das ENSI führte im Rahmen seiner Aufsicht 130 Inspektionen durch. Wo erforderlich, verlangte das ENSI Verbesserungsmassnahmen und überwachte deren Umsetzung.

Der für beruflich strahlenexponierte Personen geltende Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung wurde stets eingehalten.

Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen, Iod und Edelgasen lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Grenzwerte. Die dadurch verursachten zusätzlichen Strahlendosen für die Bevölkerung waren verglichen mit der mittleren natürlichen jährlichen Strahlenexposition in der Schweiz unbedeutend.

Die Menge radioaktiver Rohabfälle entsprach dem aufgrund der durchgeführten Arbeiten zu erwartenden Umfang.

Im Berichtsjahr fanden Zulassungsprüfungen für zulassungspflichtiges Personal des KKB statt: Fünf Reaktoroperateure und zwei Schichtchefs absolvierten die Zulassungsprüfungen erfolgreich.

1.2 Betriebsgeschehen

Der Block 1 erreichte im Berichtsjahr eine Arbeitsausnutzung von 92,0 % bei einer Zeitverfügbarkeit von 95,6 %. Der unproduktive Anteil im Block 1 war primär auf den Brennelementwechsel zurückzuführen. Am 16. Juni 2023 musste eine Turbogruppe aufgrund einer Leckage an einer Speisewasserleitung, die sich im nicht nuklearen Teil der Anlage befindet, ausser Betrieb genommen werden. Nach Abschluss der Arbeiten konnte das KKB die Turbogruppe am 3. Juli wieder in Betrieb nehmen. Wegen erhöhter Aarewassertemperaturen in den Monaten Juli und August musste das KKB die Leistung des Blocks 1 mehrmals reduzieren, um gemäss der Zwischenverfügung des Bundesamts für Energie die Bedingungen für die Kühlwassereinleitung in die Aare einhalten zu können.

Kernkraftwerk Beznau. Foto: ENSI

Der Block 2 erreichte im Berichtsjahr eine Arbeitsausnutzung von 87,8 % und eine Zeitverfügbarkeit von 89,3 %. Der unproduktive Anteil im Block 2 war hauptsächlich auf den Revisionsstillstand zurückzuführen. Das KKB musste die Leistung auch im Block 2 wegen der erhöhten Aarewassertemperaturen in den Monaten Juli und August reduzieren.

Die Zeitverfügbarkeiten und die Arbeitsausnutzungen der letzten zehn Jahre sind in Figur 1 dargestellt.

Die ausgekoppelte Wärme für das regionale Fernwärmenetz REFUNA betrug im Berichtsjahr 174,3 GWh.

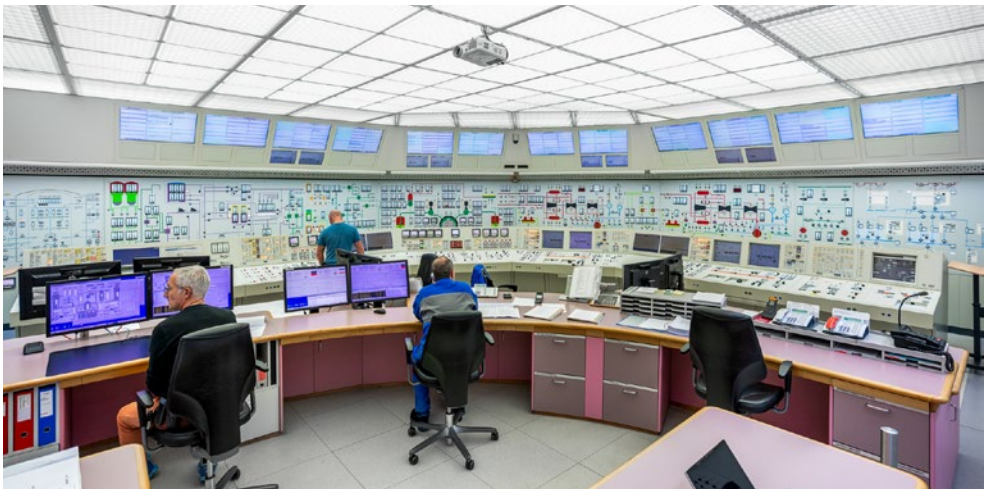
Zur Durchführung von Funktionsprüfungen und auf Anforderung des Lastverteilers erfolgten geplante kurzzeitige Leistungsreduktionen.

Im Block 1 kam es im Berichtsjahr zu sieben meldepflichtigen Vorkommnissen mit Bezug zur nuklearen Sicherheit, die das ENSI der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zuordnete.

■ Das Betriebspersonal stellte an seinem periodischen Anlagenrundgang vom 15. Februar 2023 im Block 1 des KKB an der Isolation einer Handarmatur im Chemie- und Volumenregelsystem eine Borablagerung fest. Das KKB ermittelte nach dem Entfernen der Isolation eine geringfügige Leckage mit weniger als einem Tropfen pro Minute als Ursache. Die Leckage befand sich im Bereich einer Schweissnaht, die zur Anbindung der Armatur an die angeschlossene Rohrleitung dient. Die Leckage wurde mit einer provisorischen Massnahme gestoppt und abgedichtet. Im Rahmen des Brennelementwechsels 2023 baute das KKB die Armatur aus und ersetzte nach der entsprechenden Freigabe ein Rohrstück durch eines mit gleichem Nennweitendurchmesser. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die festgestellte Leckage an einer Schweissnaht im Chemie- und Volumenregelsystem der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1, 2 und 3 sowie die Schutzziele «Kontrolle der Reaktivität», «Kühlung der Brennelemente» und «Einschluss radioaktiver Stoffe».

■ Am 10. März 2023 löste eine Störung an einem Ringraumkompressor eine Alarmmeldung im Hauptkommandoraum aus. Der Alarm wurde ordnungsgemäss zurückgestellt und anschliessend quittiert, trat aber wenige Minuten später erneut auf. Daraufhin erfolgte die Umschaltung auf den redundant vorhandenen Ringraumkompressor. Die Störungsursache konnte trotz Untersuchung nicht ermittelt werden. Am 21. März fiel der Ringraumkompressor erneut aus. Als Ursache konnte das KKB nun im Steuerkasten des Kompressors eine defekte elektronische Baugruppe ermitteln. Nach dem Austausch dieser Baugruppe wies das KKB die Betriebsbereitschaft des Kompressors mit einer Funktionskontrolle nach. Das Ringraum-Rückpumpsystem dient zur Aufrechterhaltung eines im Betrieb der Anlage einzuhaltenden Unterdruckwertes im Ringraum. Es ist stets ein Kompressor für diesen Zweck vorgesehen. Er ist aber nicht ständig in Betrieb. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Ausfall eines Ringraumkompressors der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1, 2, 3 und 4 sowie das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe».

■ Während der Arbeiten zum Entladen des Reaktordruckbehälters kam es am 11. Mai 2023 bei vollgefüllter Reaktorgrube zu einer Leckage. Sie führte zu einem Austritt von boriertem Wasser. Im Jahr 2022 war bereits eine vergleichbare Leckage aufgetreten. Die Leckagestelle konnte damals dem Bereich der Auskleidung der Reaktorgrube zugeordnet werden. Den genauen Ort hatte das KKB aber nicht eruieren und daher nicht abdichten können. Auch im Berichtsjahr konnte das KKB die genaue Stelle bei vollgefüllter Reaktorgrube zunächst nicht identifizieren. Das anfallende borhaltige Wasser wurde über die verschiedenen Bodenabläufe im Bereich des Kalottenraums, der sich unterhalb des Reaktordruckbehäl-



Kommandoraum. Foto: Axpo

ters befindet, in den Entwässerungstank des Sicherheitsgebäudes geleitet. Nach Abschluss der Arbeiten zum Beladen des Reaktors konnte das KKB am 22. Mai die Leckagestelle bei nicht gefüllter Reaktorgrube einer Schweissnaht der Auskleidung der Grube an den Flansch des Reaktordruckbehälters zuordnen. Das KKB plant die Durchführung der Reparatur im Rahmen des Revisionsstillstands 2024. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Leckage an einer Schweissnaht der Auskleidung der Reaktorgrube der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe». Die Konformität des Zonentyps ordnete das ENSI im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie für das Schutzziel «Begrenzung der Strahlenexposition».

■ Am 21. Mai 2023 stellten die Verantwortlichen bei einer monatlichen Funktionsprüfung fest, dass sich ein Ventil im Sicherheitseinspeisesystem nicht öffnete. Die Anzeige im Hauptkommandoraum signalisierte eine Zwischenstellung des Ventils. Der Operateur vor Ort meldete gleichzeitig eine Geruchsentwicklung im Bereich des elektrischen Motorantriebs. Die Funktionsprüfung wurde umgehend abgebrochen. Nach sechs Stunden konnte die Armatur von Hand geöffnet und der gemäss der Technischen Spezifikation geforderte Einspeisepfad des Sicherheitseinspeisesystems wiederhergestellt werden. Zum Zeitpunkt des Ereigniseintritts war die Anlage für den Brennelementwechsel abgestellt. Die Prüfkonfiguration im abgestellten Anlagezustand führte dazu, dass sich der freie Ventilraum der Armatur unbemerkt mit Wasser füllen konnte. Dadurch liess sich das Ventil nicht mehr öffnen. Das KKB ersetzte den elektrischen Antrieb und die Ventilspindel der Armatur. Der Nachweis der Verfügbarkeit der Armatur erfolgte im Rahmen einer Funktionsprüfung vor dem Wiederanfahren der Anlage nach Abschluss des Brennelementwechsels. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung das Nichtöffnen eines Ventils im Sicherheitseinspeisesystem während einer Funktionsprüfung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt der Betriebsvorgaben und des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 3 und 4 sowie das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

■ Am 9. Juni 2023 stellte das Betriebspersonal beim periodischen Anlagenrundgang an der Isolation einer Speisewasserleitung eine Tropfleckage fest. Nachdem das KKB die Isolation entfernt hatte, identifizierte es

eine Leckage im Bereich eines Wellrohrs. Das Wellrohr dient als Gelenkkompensator und befindet sich im nicht nuklearen Teil der Anlage. Zunächst entschied sich das KKB dazu, die betroffene Stelle zu beobachten und bei einer Zunahme der Leckagemenge weitere Massnahmen einzuleiten. Innerhalb der nächsten sieben Tage verdoppelte sich die Leckagemenge. Daraufhin entschied das KKB am 16. Juni, die betroffene Turbogruppe abzufahren und eine ordnungsgemässe Reparatur am Gelenkkompensator durchzuführen. Die Ausserbetriebnahme der Turbogruppe war notwendig, weil sich die Leckagestelle in einem nicht absperrbaren Bereich des Speisewassersystems befand. Das Speisewassersystem der zweiten Turbogruppe war nicht betroffen. Sie war weiterhin in Betrieb. Das KKB erkannte aufgrund des Abfahrens einer der beiden Turbogruppen eine Meldepflicht im Sinne des Unterkapitels 5.3 der Richtlinie ENSI-B03 (Meldungen der Kernanlagen, öffentliches Interesse) und setzte am 16. Juni eine Erstmeldung ab. Nach Abschluss der Reparaturarbeiten nahm das KKB die Turbogruppe am 3. Juli wieder in Betrieb. Im Nachgang zu dieser Meldung kam das ENSI zum Schluss, dass es sich bei der Ausserbetriebnahme der Turbogruppe als Folge der Leckage um eine ungeplante Leistungsreduktion handelte. Das ENSI verlangte, dass das KKB den Sachverhalt neu bewertet und bis zum 31. Oktober 2023 einen Ereignis- und Folgemassnahmenbericht einreicht. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung das Abfahren einer Turbogruppe infolge einer Leckage am Gelenkkompensator des Speisewassersystems der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – hinsichtlich der Leckage als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente» sowie hinsichtlich der risikotechnischen Einstufung als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit ebenen- oder barrierenübergreifender und schutzzielübergreifender Bedeutung.

■ Am 24. Juli 2023 fiel das Hochspannungsnetzteil zur elektrischen Versorgung eines der insgesamt vier vorhandenen Messkanäle des Neutronenfluss-Weitbereiches aus. Der ausgefallene Messkanal zeigte bei Volllastbetrieb mit 100 % thermischer Reaktorleistung den Wert null an. Die drei verfügbaren Messkanäle gaben den korrekten Wert der tatsächlichen Reaktorleistung an. Nach dem Austausch des defekten Netzteils war der Kanal wieder verfügbar. Die vier Messkanäle werden für die Leistungsüberwachung des Reaktors während des Vollastbetriebs nicht benötigt und lösen in diesem Anlagezustand auch keine Sicherheitsfunktionen aus. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Ausfall eines Messkanals des Neutronenfluss-Weitbereiches der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie das Schutzziel «Kontrolle der Reaktivität».

■ Am 7. Oktober 2023 stellte das KKB an einer von insgesamt drei Entlastungsleitungen einer in Betrieb stehenden Ladepumpe des Chemie- und Volumenregelsystems eine Leckage fest. Es folgte umgehend die Umschaltung auf eine redundant vorhandene Ladepumpe. Die Leckage wurde damit gestoppt. Das KKB tauschte im Rahmen der eingeleiteten Instandhaltungsmassnahmen neben der defekten Entlastungsleitung auch die beiden intakten Entlastungsleitungen präventiv aus. Als Ursache für die Leckage ermittelte das KKB einen Riss in einem Bogenabschnitt der Kleinleitung. Vergangene Vorkommnisse haben gezeigt, dass die Rissbildung in diesen Kleinleitungen als eine Kombination aus Kaltverformung beim Biegeprozess während der Erstellung des Bogenabschnitts und den pulsationsartigen Belastungen aus dem Betrieb der dreistufigen Kolbenpumpe resultiert. Da bereits zum wiederholten Male Leckagen infolge von Ermüdungsrissen an Kleinleitungen auftraten, hatte das ENSI bereits früher Gegenmassnahmen verlangt. Das KKB wird die Kleinleitungen in diesem

Bereich im Rahmen der Instandhaltung zukünftig mit einem verkürzten Intervall austauschen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Leckage an einer Entlastungsleitung einer Ladepumpe des Chemie- und Volumenregelsystems der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage für die Sicherheitsebenen 1, 2 und 3 sowie die Schutzziele «Kontrolle der Reaktivität», «Kühlung der Brennelemente» und «Einschluss radioaktiver Stoffe».

Im Block 2 traten im Berichtsjahr keine meldepflichtigen Vorkommnisse auf.

Die Anzahl Vorkommnisse in den vergangenen zehn Jahren ist im Anhang in Figur 2 dargestellt. Eine Übersicht über die meldepflichtigen Vorkommnisse im Berichtsjahr findet sich in Tabelle 4.

In den Jahren 2019 bis 2022 hatten sich im KKB mehrere Vorkommnisse im Chemie- und Volumenregelsystem ereignet. Das ENSI forderte daher im Jahr 2022 eine vertiefte Ursachenanalyse, auch im organisatorischen Bereich. Das KKB reichte die Analyse im Herbst 2023 ein. Sie zeigt auf, dass die vorhandene Organisation, die Prozesse und die Vorgehensweisen grundsätzlich geeignet sind, um übergreifende Probleme in Systemen zu erkennen.

Aufgrund der Vorkommnisse im Chemie- und Volumenregelsystem forderte das ENSI im Jahr 2022 zusätzlich:

- eine Zustandsbewertung des Systems unter Einbezug der Betriebserfahrung der letzten zehn Jahre bis Ende 2023,
- auf der Grundlage der Zustandsbewertung eine Überprüfung und gegebenenfalls Aktualisierung des Alterungsüberwachungsprogramms des Systems bis Ende 2024,
- auf der Grundlage der Zustandsbewertung und der Bewertung des Alterungsüberwachungsprogramms eine Überprüfung und gegebenenfalls Aktualisierung des Instandhaltungsprogramms bis Ende 2024.

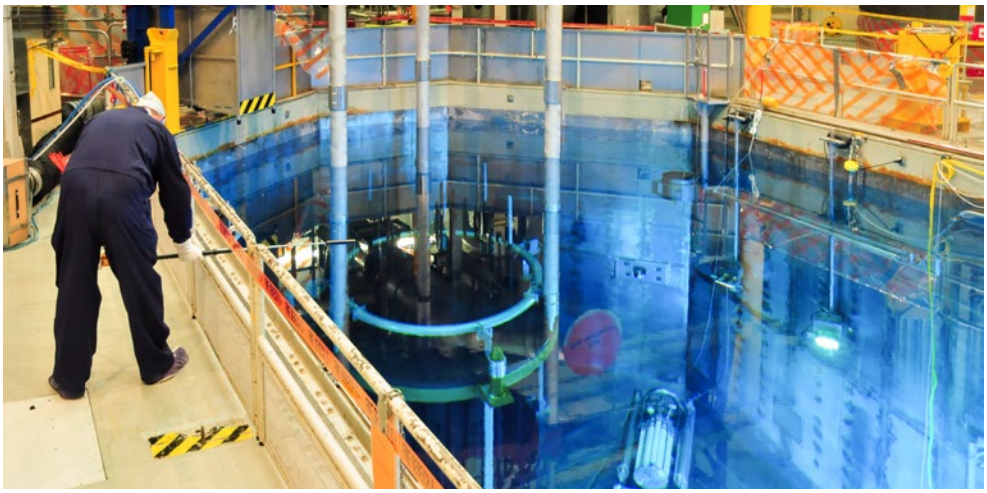
Das KKB hat die Zustandsbewertung eingereicht. Das ENSI ist daran, diese zu prüfen.

Die zwei Vorkommnisse im Chemie- und Volumenregelsystem des Blocks 1 im Jahr 2023 zeigen die Notwendigkeit dieser Massnahmen deutlich auf. Aufgrund des Alters der beiden Blöcke, der technisch sehr ähnlichen Ausführungen des Chemie- und Volumenregelsystems und des Auftretens von korrosions- und schwingungsbedingten Schädigungen in beiden Blöcken in den vergangenen Jahren ist der Zustand dieses Systems auch in beiden Blöcken gleich zu bewerten.

1.3 Inspektionen

Neben den durch das Basisinspektionsprogramm vorgegebenen Inspektionen finden jährlich diverse weitere Inspektionen im KKB statt. Je nach Inspektionsziel finden sie angekündigt oder unangekündigt statt. Den bisherigen Erfahrungen entsprechend bewertete das ENSI auch im Berichtsjahr die weit überwiegende Anzahl von Bewertungsgegenständen mit Normalität, einige mit Verbesserungebedarf. Bei einer im Berichtsjahr durchgeführten Inspektion vergab das ENSI aufgrund festgestellter Differenzen zwischen Soll- und Istzustand die Bewertung A (Abweichung):

Am 31. August 2023 führte das ENSI während der Revision im Block 2 eine angekündigte Inspektion zum Brandschutz durch. In einem vertikalen Flucht- und Rettungsweg bestand eine komplette Aufenthaltszone. Es wurden freigemessene Materialien gelagert und es war eine Bürozelle vorhanden. Diese Fremdnutzungen befanden sich ohne Brandabschnittsbildung in diesem vertikalen Fluchtweg. Gemäss Brandschutzrichtlinie der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen sind jedoch Brandabschnitte in ihrer Funktion zu erhalten und Räume unterschiedlicher Nutzung als separate Brandabschnitte auszubilden. Auch dürfen Flucht- und Rettungswege keinen anderen Zwecken dienen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Mangel in der Aufrechterhaltung von Brandabschnitten sowie die Nutzung



Brennelement-becken. Foto: Axpo

eines vertikalen Fluchtwegs zu anderen Zwecken der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit sicherheitsebenen- und schutzzielübergreifender Bedeutung.

1.4 Anlagentechnik

1.4.1 Revisionsarbeiten

Der Brennelementwechsel im Block 1 dauerte vom 16. Mai bis zum 1. Juni 2023. Neben den Arbeiten für den Brennelementwechsel fanden in geringem Umfang Prüfungen und Wartungsarbeiten statt. Das KKB erneuerte während des Stillstands zudem die Steuerung der Generatorerregung einer Turbogruppe.

Während des Brennelementwechsels im Block 1 traten zwei meldepflichtige Vorkommnisse auf. Es handelte sich dabei um die in Unterkapitel 1.2 beschriebenen meldepflichtigen Vorkommnisse: Leckage an einer Schweissnaht der Auskleidung der Reaktorgrube vom 11. Mai 2023 und Nichtöffnen eines Ventils im Sicherheitseinspeisesystem vom 21. Mai 2023. Aus den Vorkommnissen ergaben sich keine Hinweise, die gegen ein Wiederanfahren der Anlage gesprochen hätten.

Der Revisionsstillstand im Block 2 dauerte vom 4. August bis zum 12. September 2023. Neben dem Brennelementwechsel erfolgten zusätzliche Prüfungs- und Wartungsarbeiten. Es ergaben sich keine sicherheitsrelevanten Befunde.

Gemäss Wiederholungsprüfprogramm wurden alle Bodendurchführungen des Reaktordruckbehälters einem qualifizierten Wirbelstrom- und Ultraschallprüfverfahren unterzogen. Dabei stellte das KKB keine bewertungspflichtigen Anzeigen an den insgesamt 30 Bodendurchführungen fest. Ebenso führte das KKB bei allen Rohren der Kerninstrumentierung eine qualifizierte Wirbelstromprüfung durch. Es ergaben sich nur geringfügige Veränderungen gegenüber der letzten Prüfung aus dem Jahre 2019. Keine der festgestellten Anzeigen mussten als bewertungspflichtig eingestuft werden.

Die Schweissnähte der Druckausgleichsleitung und eine Mischnaht im Bereich des Druckhalters des Primärkühlkreislaufs wurden mit einem qualifizierten Ultraschall-Prüfsystem getestet. Eine bereits im Jahr 2013 festgestellte und als zulässig bewertete Anzeige wurde bestätigt. Sie wies keine Veränderungen auf. Alle anderen Prüfpositionen ergaben keine registrier- oder bewertungspflichtigen Anzeigen.

Die Summe der gemessenen Leckageraten an Containmentdurchdringungen lag in beiden Blöcken unterhalb der Limite der Technischen Spezifikation.

1.4.2 Anlageänderungen

Von den in beiden Blöcken vorgenommenen Anlageänderungen soll die folgende

Turbine.
Foto: Axpo

erwähnt sein: Das KKB ersetzte in beiden Blöcken die seit der Inbetriebnahme vorhandenen Steuergeräte zu den Frischdampf-Sicherheitsventilen durch neue.

1.4.3 Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente

Die Blöcke 1 und 2 des KKB werden mit je 121 Brennelementen betrieben. Im Rahmen des Revisionsstillstands vor dem 49. Betriebszyklus lud das KKB 16 frische Brennelemente mit Brennstoff aus wiederaufgearbeitetem Uran (WAU) im Block 1 nach. Im Block 2 wurden während des Brennelementwechsels vor dem 50. Zyklus 20 frische Brennelemente desselben Typs in den Kern geladen. Die Reaktorkerne beider Blöcke wurden mit freigegebenen und qualitätsgeprüften Brennelementen des Herstellers Framatome bestückt. Das ENSI gab die neuen Kernbeladungen beider Blöcke frei. Sie erfüllten entsprechend der Dokumentation alle Anforderungen.

■ Im Berichtszeitraum traten keine Defekte an Brennelementen auf. Die Integrität der ersten Barriere zum Schutz gegen den Austritt radioaktiver Stoffe war somit gegeben. Der auslegungsgemässe Zustand der Brennelemente wurde durch Brennelement-Inspektionen während der Revisionsabstellung 2023 im Block 2 bestätigt.

■ Im Jahr 2014 wurden alle 25 Steuerelemente beider Blöcke durch neue gleicher Bauart ersetzt. Aufgrund der guten Betriebserfahrung mit dieser Bauart sowie der steten Überwachung des Reaktorkühlkreislaufes, die keine Hinweise auf Steuerelementdefekte ergab, wurden gemäss der langfristigen Planung des KKB im Block 1 keine Steuerelementinspektionen durchgeführt. Gemäss Inspektionsintervall inspizierte das KKB während der Revisionsabstellung 2021 im Block 2 alle Steuerelemente anhand einer Wirbelstromprüfung. Es wurden keine Abweichungen vom auslegungskonformen Verhalten festgestellt. Alle Steuerelemente erfüllten die Kriterien für einen weiteren Einsatz.

■ Im Berichtsjahr wurden die Reaktorkerne beider Blöcke auslegungsgemäss und im bewilligten Rahmen betrieben. Die Anfahrmessungen beider Blöcke, die das ENSI jeweils im KKB inspiziert, verliefen plangemäss. Die Ergebnisse der reaktorphysikalischen Messungen stimmten gut mit den Ergebnissen der Kernauslegungsberechnungen überein. Das KKB hielt die erforderlichen Toleranzen klar ein.

1.5 Strahlenschutz

Das KKB verzeichnete aus Sicht des Strahlenschutzes ein erfolgreiches Betriebsjahr. Insgesamt wurden drei strahlenschutzrelevante Vorkommnisse verzeichnet: Im Block 1 führten zwei Leckagen im Bereich des Chemie- und Volumenregelsystems zu einem geringen Austritt von Radioaktivität in die kontrollierte Zone des Nebengebäudes.

Ebenfalls im Block 1 kam es zu einer Leckage an einer Schweissnaht der Auskleidung der Reaktorgrube. Die Auswirkungen der Leckagen auf das Personal und die radiologische Sauberkeit der Anlage waren gering.
Die akkumulierten Kollektivdosen lagen im Berichtsjahr mit insgesamt 443 Pers.-mSv leicht unter dem erwarteten Bereich, aber innerhalb der Planungsungenauigkeit. Bezüglich der Individualdosen wurde ein Maximalwert von 6,4 mSv erreicht. Die Inspektionen des ENSI bestätigten, dass das KKB in allen Betriebsphasen einen effizienten Strahlenschutz betrieb.
Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen, Iod und Edelgasen lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Abgabelimiten. Dies gilt auch für die radioaktiven Abgaben mit dem Abwasser. Die für Druckwasserreaktoren typischen Tritiumabgaben des KKB betrugen rund 17 % der Jahresabgabelimite. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern durch. Sie stimmten mit den vom KKB gemeldeten Analyseergebnissen überein. Aus den tatsächlich über die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnete das ENSI die potenzielle Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKB unter ungünstigen Annahmen. Die potenziellen Jahresdosen betrugen für Erwachsene, für Zehnjährige und Kleinkinder unter 0,001 mSv und lagen somit deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr gemäss der Richtlinie ENSI-G15 (Strahlenschutziele für Kernanlagen). Die Dosisleistungsmesssonden des vom ENSI betriebenen Messnetzes (MADUK) in der Umgebung des Werkes zeigten keine durch den Betrieb der Anlage erhöhten Werte. Die Thermolumineszenz-Dosimeter, die an ausgewählten Stellen am Zaun des Kraftwerkareals angebracht sind, liessen keine nennenswerte Erhöhung gegenüber der Untergrundstrahlung erkennen. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen an der Umzäunung des KKB durch, die ebenfalls keine signifikanten Erhöhungen gegenüber der Untergrundstrahlung zeigten. Die Messungen des Betreibers und des ENSI bestätigten die Einhaltung der nach Artikel 79 Absatz 2 der Strahlenschutzverordnung anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerkareals von 0,02 mSv pro Woche für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 0,1 mSv pro Woche für andere Bereiche. Für detailliertere Angaben zur radiologischen Situation innerhalb und ausserhalb des KKB wird auf den Strahlenschutzbericht 2023 des ENSI verwiesen.

1.6 Radioaktive Abfälle

Radioaktive Rohabfälle fallen im KKB regelmässig aus den Wasserreinigungssystemen sowie der Abgas- und Fortluftreinigung an. Weitere Abfälle stammen aus dem Austausch von Komponenten bei Instandhaltungs-, Umbau- oder Nachrüstungsmassnahmen und den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien. Im Berichtsjahr fielen 23 m³ radioaktive Rohabfälle an (siehe Tabelle 6). Die Menge entsprach den Erwartungen aufgrund der durchgeführten Arbeiten.
Die radioaktiven Rohabfälle werden gesammelt, kampagnenweise konditioniert und anschliessend zwischengelagert. Das KKB bewahrt die unkonditionierten Abfälle in dafür vorgesehenen Räumlichkeiten in den Nebenanlagengebäuden und im werkseigenen Zwischenlager ZWIBEZ auf. Ihr Bestand liegt mit 29 m³ im Erfahrungsbereich der vergangenen Jahre. Brennbare und weitere Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in den Anlagen der Zwilag in Würenlingen bereitgestellt und dorthin transportiert.
Als Konditionierungsverfahren für die Betriebsabfälle kommen im KKB hauptsächlich die Einbindung von Harzen in Polystyrol sowie die Zementierung von Schlämmen zum Einsatz. Für alle Verfahren liegen die erforderlichen Typengenehmigungen vor. Im Berichtsjahr wurden sieben Gebinde mit Schlämmen und 20 mit Harzen konditioniert. Weiterhin wurde ein Gebinde mit Filterkerzen produziert.

Die konditionierten Abfallgebinde werden in das Rückstandslager und in das Lager für schwachaktive Abfälle des ZWIBEZ eingelagert. Das KKB nutzt zudem die Kapazitäten des Zentralen Zwischenlagers der Zwilag. Im Berichtsjahr wurden 33 Gebinde dorthin transportiert. Bei der jährlichen Inspektion des Lagergutes im KKB zeigten sich keine meldepflichtigen Befunde. Die radioaktiven Abfälle des KKB sind in einem von allen schweizerischen Kernanlagen eingesetzten elektronischen Buchführungssystem erfasst, sodass die Information über Menge, Lagerort und radiologische Eigenschaften jederzeit verfügbar ist.

Wichtig bei der Minimierung der radioaktiven Abfälle ist die Befreiung von Materialien aus der kontrollierten Zone. Im KKB wurden im Berichtsjahr 21,1 t Material befreit.

Bestrahlte Brennelemente des KKB werden nach einigen Jahren Lagerung im betrieblichen Brennelementbecken in Transport- und Lagerbehälter verpackt und in das Lager für hochaktive Abfälle des ZWIBEZ zur Trockenlagerung überführt. Im Berichtsjahr fanden zwei Transfers mit insgesamt 38 Brennelementen statt. Weitere Angaben zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente finden sich in Kapitel 8.

1.7 Notfallbereitschaft

Die Notfallorganisation des KKB ist für die Bewältigung aller Notfälle innerhalb des Werkareals zuständig. Mit einer zweckmässigen Organisation, geeigneten Führungsprozessen und -einrichtungen zusammen mit einer entsprechenden Auslegung der Anlage hat das Werk die Notfallbereitschaft auf hohem Niveau sicherzustellen.

Das ENSI beobachtete und beurteilte die Notfallorganisation des KKB im November 2023 im Rahmen der Werksnotfallübung SEPTENDECIM mit Schwerpunkt Polizeieinsatz. Der Übung wurde folgende Ausgangslage unterstellt: Der Block 1 lief auf Volllast. Die Dampferzeugerüberwachung zeigte eine kleine Leckage innerhalb der Limiten der Technischen Spezifikation. Der Block 2 war seit März 2023 für Instandhaltungsarbeiten abgestellt. Bei Kernanlagen im nahen Ausland kam es zu verschiedenen Protestaktionen. Anti-KKW-Gruppierungen unterstrichen damit ihre Forderung nach der Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken in Europa.

Die Übung wurde mit einer Flugzeugentführung eingeleitet. In der Folge begab sich die Belegschaft in die Schutzräume. Der Notfallstab besammelte sich im Notstand des Blocks 1. Wenig später verschafften sich Aktivisten Zutritt zum Kraftwerkareal. Das KKB alarmierte die Kantonspolizei. Einer der zwei Aktivisten verfügte über Anlagekenntnisse. Die Aktivisten führten diverse Sabotagehandlungen an der Anlage durch. Die Folge war eine Reaktorschnellabschaltung im Block 1. Die Leckage im Dampferzeuger vergrösserte sich. Nun galt es, eine schnelle Abkühlung einzuleiten. Weil erschwerte Abkühlungsbedingungen vorlagen, musste das KKB den technischen Notfall erklären. Die Verantwortlichen kühlten die Anlage gemäss den Notfallvorschriften ab und stimmten das weitere Vorgehen mit dem Notfallstab und dem Technical-Support-Center ab. Sie stabilisierten den Block 1. Die Kantonspolizei bewältigte die parallel laufende Bedrohungslage und stimmte ihr Vorgehen mit dem Notfallstab und der Betriebswache des KKB ab.

Das KKB stufte die Ereignisse korrekt ein und meldete sie zeitgerecht an das ENSI. Die vorgegebenen Ziele für Werksnotfallübungen mit Schwerpunkt Polizeieinsatz gemäss der Richtlinie ENSI-B11 (Notfallübungen) wurden teilweise erreicht. Das Inspektionsteam stellte bei der Zusammenarbeit mit der Kantonspolizei Verbesserungsbedarf fest. Insgesamt gesehen verfügt das KKB indes über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.

Das ENSI löste im November 2023 ohne Voranmeldung einen Übungsalarm im KKB aus, der die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabs innerhalb der zeitlichen Vorgaben gemäss der Richtlinie ENSI-B11 bestätigte.

Eine Inspektion im November 2023 zeigte zudem, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit waren.

1.8 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr erhöhte sich der Personalbestand des KKB auf 509 Personen (ohne Lernende), welche 495 Vollzeitstellen besetzen (Ende 2022: 501 Personen, ohne Lernende). Per 1. Januar 2023 kam es im KKB zu einer Änderung in der Kraftwerksleitung. Der bisherige Kraftwerksleiter wechselte in die Leitung der Division Kernenergie der Axpo Power AG.

Das KKB führte im Berichtsjahr keine organisatorischen Änderungen durch, die eine Freigabe des Kraftwerkreglements erfordert hätten.

Das Managementsystem des KKB besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm SN EN ISO 9001:2015. Die Rezertifizierung fand im Jahr 2021 statt.

Das KKB versuchte dem Fachkräftemangel entgegenzuwirken, indem es sich auf dem Arbeitsmarkt als attraktiver Arbeitgeber präsentierte. Es sprach dabei insbesondere jüngere, klimabewusste Personen an. Nach wie vor wird der Entwicklung von Führungskompetenzen ein grosser Stellenwert eingeräumt. Den Führungspersonen stehen Werkzeuge zur Verfügung, die sie unter anderem dabei unterstützen, gute Arbeitsbeziehungen aufzubauen und zu stärken oder den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern Entwicklungs- und Lernmöglichkeiten aufzuzeigen.

Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion zum Managementsystem durch mit dem Thema «Erkennung und Behandlung von geringfügigen Abweichungen und Beinahe-Ereignissen». Das KKB legte dem ENSI im Rahmen der Inspektion dar, dass sein Managementsystem über die geeigneten Prozesse verfügt, um geringfügige Abweichungen und Beinahe-Ereignisse zu erkennen, zu behandeln und die Wirksamkeit der daraus abgeleiteten Massnahmen zu überprüfen. Damit erfüllen die entsprechenden Prozesse des Managementsystems die zugehörigen Vorgaben des Artikels 41 der Kernenergieverordnung und der Richtlinie ENSI-G07 (Organisation von Kernanlagen). Zudem überprüfte das ENSI im Rahmen einer weiteren Inspektion die Prozesse des Managementsystems im Bereich der Alterungsüberwachung und Instandhaltung sowie zur Berücksichtigung der internen und externen Betriebserfahrung bei maschinentechnischen Komponenten am Beispiel des Speisewasserbehälters. Das KKB erfüllt die Anforderungen der Artikel 32 und 36 der Kernenergieverordnung und der Richtlinie ENSI-G07.

Das KKB beschäftigte sich im Berichtsjahr intensiv mit der vertieften Analyse von Vorkommnissen mit Fokus auf menschliche und organisatorische Aspekte. Das ENSI führte mit dem KKB im Berichtsjahr verschiedene Gespräche über die Vorgehensweise, die Resultate und die vom KKB aus der Analyse abgeleiteten Massnahmen. Das KKB liess die Analyse extern erarbeiten. Zu den abgeleiteten Massnahmen gehören insbesondere Verbesserungen im Rahmen der Ereignisbearbeitung. Die Analyse zeigte, dass sich das KKB umfassend und proaktiv mit dieser Thematik auseinandergesetzt hat. Bereits vorgängig resultierte aus dem Erfahrungsaustausch mit den Schweizer Kernkraftwerken und aus Gesprächen während des WANO-Peer-Reviews 2022 die Notwendigkeit, im KKB eine Organisationseinheit zu etablieren, die sich vertiefter mit der Ereignisbearbeitung befasst. Im Berichtsjahr startete das KKB mit dem Aufbau dieser Organisationseinheit.

Im Berichtsjahr legten fünf Reaktoroperateure und zwei Schichtchefs ihre Zulassungsprüfung mit Erfolg ab. Die Zulassungsprüfung besteht aus einem theoretischen und einem praktischen Teil. Im theoretischen Teil weisen die Kandidaten ihre detaillierten Kenntnisse zum Aufbau und Verhalten der Anlage und den anzuwendenden Vorschriften nach. Der praktische Teil erfolgt am eigenen Anlagesimulator und besteht aus einer Demonstration der Anwendung der Kenntnisse in simulierten Normal- und Störfallsituationen. Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in Tabelle 3 zusammengestellt.

Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2022 und zur Planung des Aus-

bildungsprogramms 2023 der Abteilung Betrieb durch. Gegenstand der Inspektion waren die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator und die allgemeine Wiederholungsschulung sowie deren Änderungen und Neuerungen. Ferner wurde das Ausbildungsprogramm des Personals der Abteilung «Reaktor & Sicherheit» auf die Einhaltung der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen und der Richtline ENSI-B10 (Ausbildung, Wiederholungsschulung und Weiterbildung von Personal) überprüft. Die Ausbildungsprogramme des KKB in den inspizierten Bereichen erfüllten die Anforderungen.

1.9 Sicherheitsbewertung

1.9.1 Block 1

Im Jahr 2023 beurteilte das ENSI mit dem im Anhang (Erläuterungen zur Sicherheitsbewertung) beschriebenen System sämtliche Inspektionsgegenstände, Ergebnisse von Zulassungsprüfungen, Einzelaspekte von Vorkommnisabläufen und Sicherheitsindikatoren bezüglich ihrer Bedeutung für die nukleare Sicherheit (einschliesslich die für beide Blöcke relevanten Beurteilungen). Dabei kam das ENSI für die einzelnen Zellen der Sicherheitsbewertungsmatrix zu den nachfolgenden zusammenfassenden Beurteilungen.

Zellen ohne Bewertung bedeuten, dass weder Inspektionsergebnisse, Zulassungsprüfungen, Vorkommnisse noch Sicherheitsindikatoren eine Bedeutung für diese Zellen hatten. Die Zellenbewertungen richten sich nach der höchsten einer Zelle zugeordneten Bewertung eines Sachverhalts.

Zusammenfassend kommt das ENSI zu folgenden Gesamtbewertungen:

Auslegungsvorgaben

Bei der Beurteilung der Auslegungsvorgaben hat das ENSI die Auslegung der Anlage bezüglich Redundanzgrad, Diversität, räumlicher Separation und Robustheit gegen auslösende Ereignisse bewertet. Da die Auslegungsvorgaben des KKB die Minimalanforderungen und den Stand ausländischer Anlagen desselben Typs übertreffen, bewertet das ENSI die Sicherheit des Blocks 1 des KKB hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als gut.

Betriebsvorgaben

Das ENSI beurteilt die in Unterkapitel 1.2 beschriebene Abweichung im Bereich der Betriebsvorgaben als Abweichung mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Weil Bewertungen der Kategorie A unterhalb der internationalen Ereignisskala INES vorliegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des Blocks 1 des KKB hinsichtlich der Betriebsvorgaben als gut.

Zustand und Verhalten der Anlage

Das ENSI beurteilt die in Unterkapitel 1.2 beschriebenen Abweichungen im Bereich des Zustands und Verhaltens der Anlage als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Weil Bewertungen der Kategorie A unterhalb der internationalen Ereignisskala INES vorliegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des Blocks 1 des KKB hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut.

Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

Das ENSI beurteilt die in Unterkapitel 1.3 beschriebene Abweichung im Bereich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Da sich die Feststellungen bezüglich des Brandschutzes sowohl auf den Block 1 als auch auf den Block 2 des KKB beziehen, beurteilt das ENSI die Sicherheit beider Blöcke hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als gut.

1.9.2 Block 2

Im Jahr 2023 beurteilte das ENSI mit dem im Anhang (Erläuterungen zur Sicherheitsbewertung) beschriebenen System sämtliche Inspektionsgegenstände, Ergebnisse von Zulassungsprüfungen, Einzelaspekte von Vorkommnisabläufen und Sicherheits-

indikatoren bezüglich ihrer Bedeutung für die nukleare Sicherheit (einschliesslich die für beide Blöcke relevanten Beurteilungen). Dabei kam das ENSI für die einzelnen Zellen der Sicherheitsbewertungsmatrix zu den nachfolgenden zusammenfassenden Beurteilungen.
Zellen ohne Bewertung bedeuten, dass weder Inspektionsergebnisse, Zulassungsprüfungen, Vorkommnisse noch Sicherheitsindikatoren eine Bedeutung für diese Zellen hatten. Die Zellenbewertungen richten sich nach der höchsten einer Zelle zugeordneten Bewertung eines Sachverhalts.
Zusammenfassend kommt das ENSI zu folgenden Gesamtbewertungen:

Auslegungsvorgaben

Bei der Beurteilung der Auslegungsvorgaben hat das ENSI die Auslegung der Anlage bezüglich Redundanzgrad, Diversität, räumlicher Separation und Robustheit gegen auslösende Ereignisse bewertet. Da die Auslegungsvorgaben des KKB die Minimalanforderungen und den Stand ausländischer Anlagen desselben Typs übertreffen, bewertet das ENSI die Sicherheit des Blocks 2 des KKB hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als gut.

Betriebsvorgaben

Spezifisch für den Block 2 liegen keine Bewertungen der Kategorien A und höher vor. Die in Unterkapitel 1.2 für den Block 1 beschriebene Abweichung im Bereich der Betriebsvorgaben gilt sowohl für den Block 1 als auch den Block 2, da die entsprechenden Betriebsvorgaben beziehungsweise die Vorgaben für die Änderungen von Betriebsvorschriften für beide Blöcke identisch sind. Daher bewertet das ENSI die Sicherheit des Blocks 2 des KKB hinsichtlich der Betriebsvorgaben, genauso wie für den Block 1 (siehe Unterkapitel 1.9.1), als gut.

Zustand und Verhalten der Anlage

Spezifisch für den Block 2 liegen keine Bewertungen der Kategorien A und höher vor. Allerdings ist der Zustand des Chemie- und Volumenregelsystems in beiden Blöcken als grundsätzlich gleich einzuschätzen (siehe Unterkapitel 1.2), auch wenn sich im Block 2 im Jahr 2023 kein Vorkommnis in diesem System ereignet hat. Daher bewertet das ENSI den Zustand und das Verhalten des Blocks 2 des KKB, in Analogie zu Block 1, als gut.

Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

Das ENSI beurteilt die in Unterkapitel 1.3 beschriebene Abweichung im Bereich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Da sich die Feststellungen bezüglich des Brandschutzes sowohl auf den Block 1 als auch auf den Block 2 des KKB beziehen, beurteilt das ENSI die Sicherheit beider Blöcke hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als gut.

Ziele \ Bewertungsgegenstand		Anforderungen		Betriebsgeschehen	
		Auslegungs-vorgaben	Betriebs-vorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation
Sicherheitsebenen	Ebene 1	V	N	A	V
	Ebene 2	V	N	A	N
	Ebene 3	V	A	A	N
	Ebene 4		A	A	N
	Ebene 5			N	N
Barrieren	Integrität der Brennelemente			N	N
	Integrität des Primärkreises		N	N	N
	Integrität des Containments			N	
Ebenen- oder barrierenübergreifende Bedeutung			N	A	A

Sicherheitsbewertung 2023 KKB 1: Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge
Bewertungen bezüglich Transporten zu und von den Kernkraftwerken werden im Text behandelt, aber für die anlagenspezifische Gesamtbewertung nicht berücksichtigt.

Ziele \ Bewertungsgegenstand		Anforderungen		Betriebsgeschehen	
		Auslegungs-vorgaben	Betriebs-vorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation
Schutzziele	Kontrolle der Reaktivität		N	A	N
	Kühlung der Brennelemente	V	A	A	N
	Einschluss radioaktiver Stoffe		N	A	V
	Begrenzung der Strahlenexposition			N	V
	Schutzzielübergreifende Bedeutung		N	A	A

Sicherheitsbewertung 2023 KKB 1: Schutzziel-Perspektive
Anmerkung: alternative Darstellung derselben Sachverhalte wie in der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge, aber mit zusätzlicher Darstellung radiologischer Auswirkungen.

Ziele \ Bewertungsgegenstand		Anforderungen		Betriebsgeschehen	
		Auslegungs-vorgaben	Betriebs-vorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation
Sicherheitsebenen	Ebene 1	V	N	N	V
	Ebene 2	V	N	N	N
	Ebene 3	V	A	N	N
	Ebene 4		A	N	N
	Ebene 5			N	
Barrieren	Integrität der Brennelemente			N	N
	Integrität des Primärkreises		N	N	N
	Integrität des Containments			N	N
Ebenen- oder barrierenübergreifende Bedeutung			N	N	A

Sicherheitsbewertung 2023 KKB 2: Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge
Bewertungen bezüglich Transporten zu und von den Kernkraftwerken werden im Text behandelt, aber für die anlagenspezifische Gesamtbewertung nicht berücksichtigt.

Ziele \ Bewertungsgegenstand		Anforderungen		Betriebsgeschehen	
		Auslegungs-vorgaben	Betriebs-vorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation
Schutzziele	Kontrolle der Reaktivität			N	N
	Kühlung der Brennelemente	V	A	N	N
	Einschluss radioaktiver Stoffe		N	N	N
	Begrenzung der Strahlenexposition			N	N
	Schutzzielübergreifende Bedeutung		N	N	A

Sicherheitsbewertung 2023 KKB 2: Schutzziel-Perspektive
Anmerkung: alternative Darstellung derselben Sachverhalte wie in der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge, aber mit zusätzlicher Darstellung radiologischer Auswirkungen.

2

2. Kernkraftwerk Gösgen

2.1 Überblick

Das Kernkraftwerk Gösgen (KKG) befand sich abgesehen vom Revisionsstillstand im Leistungsbetrieb. Das ENSI stellt fest, dass die bewilligten Betriebsbedingungen immer eingehalten wurden.

Das ENSI beurteilt die Sicherheit des KKG hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als hoch, hinsichtlich der Betriebsvorgaben als hoch, hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut und hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als hoch.

Das KKG ist eine Drei-Loop-Druckwasserreaktor-Anlage und nahm seinen kommerziellen Betrieb im Jahr 1979 auf. Die elektrische Bruttoleistung beträgt 1060 MW, die elektrische Nettoleistung 1010 MW. Weitere Daten sind in den Tabellen 1 und 2 des Anhangs zusammengestellt. Figur 5a zeigt das Funktionsschema einer Druckwasserreaktor-Anlage.

Im Berichtsjahr gab es im KKG acht meldepflichtige Vorkommnisse mit Bezug zur nuklearen Sicherheit zu verzeichnen, die das ENSI alle der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zuordnete.

Der Revisionsstillstand dauerte vom 27. Mai bis zum 25. Juni 2023. Neben dem Austausch von Brennelementen fanden Prüfungen und Inspektionen an Komponenten und Systemen statt. Es zeigten sich keine Befunde, die einem sicheren Betrieb entgegengestanden hätten.

Das ENSI führte im Rahmen seiner Aufsicht 90 Inspektionen durch. Wo erforderlich, verlangte das ENSI Verbesserungen und überwachte deren Umsetzung.

Die Kollektivdosis war sowohl während des Revisionsstillstands als auch im Leistungsbetrieb tief. Die Dosisgrenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen wurden eingehalten. Die Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung lagen unter den behördlich festgelegten Grenzwerten. Die dadurch verursachten zusätzlichen Strahlendosen für die Bevölkerung waren verglichen mit der mittleren natürlichen jährlichen Strahlenexposition in der Schweiz unbedeutend.

Die Messwerte der kontinuierlichen Überwachung der Primärkühlmittelaktivität zeigten keine Anzeichen für defekte Brennstäbe.

Die Menge radioaktiver Rohabfälle entsprach dem aufgrund der durchgeführten Arbeiten zu erwartenden Umfang.

Im Berichtsjahr bestanden drei Schichtchefs die Zulassungsprüfung.

2.2 Betriebsgeschehen

Das KKG erreichte im Berichtsjahr eine Arbeitsausnutzung von 91,2 % und eine Zeitverfügbarkeit von 92,0 %. Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung der letzten zehn Jahre sind in Figur 1 dargestellt. Die Nichtverfügbarkeit der Anlage war hauptsächlich auf den Revisionsstillstand zurückzuführen.

Die ausgekoppelte Prozesswärme für die Versorgung einer nahegelegenen Kartonfabrik und einer benachbarten Papierfabrik belief sich auf 223,1 GWh.

Zur Durchführung geplanter Prüfungen erfolgten kurzzeitige Leistungsabsenkungen.

Im Berichtsjahr waren acht meldepflichtige Vorkommnisse mit Bezug zur nuklearen Sicherheit zu verzeichnen, die das ENSI alle der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zuordnete.

■ Am 11. April 2023 stellte das KKG nach Inbetriebnahme der Brunnenwasserpumpe im Rahmen der Reaktorschutzprüfung eine geringe Leckage an einer Rohrleitung des Brunnenwassersystems fest. Nach der Abschaltung der Brunnenwasserpumpe wurde die Leckage mit einer provisorischen Abdichtung verschlossen. Das KKG überprüfte die Abdichtung der Leckagestelle mit einem erneuten Probelauf der Brunnenwasserpumpe. Als Ursache stehen Alterungsmechanismen (Korrosion) im Vordergrund. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Leckage an einer Rohrleitung des Brunnenwassersystems der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als

Kernkraftwerk Gösgen. Foto: ENSI

Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

■ Nach starken lokalen Niederschlägen führte die Aare am 7. Mai 2023 viel Sedimentfracht und Geschwemmsel. Diese belasteten die Wasserreinigung im Einlaufbauwerk der ersten Wasserfassung so stark, dass kurze Abschalt- und Umschaltzyklen der Siebtrommeln nötig waren. Ein starker Niveauabfall beim Dükereintritt der Wasserfassung führte über die Kühlwasserschutzlogik zum Start der beiden Dieselpumpen der zweiten Wasserfassung. Grund für den Niveauabfall, welcher den Start der Dieselpumpen der zweiten Wasserfassung verursachte, war der kurzzeitige Stillstand der Siebtrommeln der ersten Wasserfassung. Der Stillstand der Siebtrommeln führte zu einer Verstopfung durch das Geschwemmsel. Der auslegungsgemässe automatische Start der Dieselpumpen der zweiten Wasserfassung entlastete die erste Wasserfassung: Die Kühlwassermenge im Einlaufbauwerk sank und das Druckgefälle über die Siebtrommeln nahm ab. Dadurch stieg der Pegelstand am Düker der ersten Wasserfassung in kurzer Zeit wieder an und die Kriterien aus der Kühlwasserschutzlogik waren nicht mehr erfüllt. Die Kühlwasserversorgung für die konventionellen und nuklearen Nachkühlketten wurde durchgehend gewährleistet. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Anforderung der Dieselpumpen der zweiten Wasserfassung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

■ Während der Jahreshauptrevision 2023 stellte das KKG am 23. Juni 2023 fest, dass sich ein Regelventil des Brennelement-Beckenreinigungssystems nicht vollständig schliessen liess. Eine Unterlegscheibe verhinderte ein vollständiges Schliessen des Ventils. Der Fremdkörper wurde geborgen. Das KKG konnte während der Inspektion keine Beschädigungen am Regelventil ausmachen. Die Sicherheits- und Systemfunktionen waren nicht betroffen. Wahrscheinliche Eindringpfade sind zwei Bodenabläufe der Reaktorgrube. Weitergehende Untersuchungen zeigten, dass die Unterlegscheibe nicht im Neutronenfeld des Reaktors aktiviert worden war. Konkrete Aussagen über die Art und Weise sowie die Ursachen des Fremdkörpereintrags liessen sich trotz umfangreicher Untersuchungen nicht treffen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Fremdkörper in einem Regelventil des Beckenreinigungssystems der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit schutzzielübergreifender Bedeutung und mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1.

■ Bei einem Rundgang in der Nacht des 5. August 2023 wurde eine Wasserleckage vor dem Empfangsgebäude des KKG festgestellt. Der aufgebotene Fachbereich konnte die Leckage auf eine klassierte Leitung des Trink- und Löschwassernetzes eingrenzen. Die Verantwortlichen schalteten die betroffene Leitung frei und erstellten eine provisorische Einspeisung von Trink- und Löschwasser für das Personalrestaurant. Sie konnten die Freilegung der Leitung und die Reparatur am gleichen Tag durchführen. Die Rohrleitung zeigte eine Muldenkorrosion, ausgehend von der äusseren Oberlfäche. Sie wurde wahrscheinlich durch die Beschaffenheit des Kiesbetts begünstigt, in dem die Rohrleitung verlegt worden war. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Leckage an einer Rohrleitung des Trink- und Löschwassernetzes der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

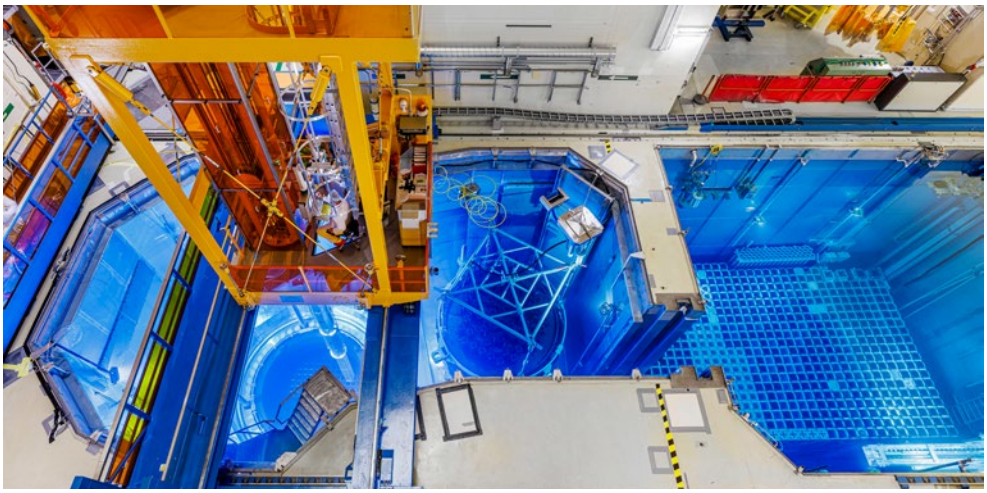
■ Am 26. August 2023 kam es nach einem fehlerhaften Schliessen einer Abfangregelklappe zu einer ungeplanten Leistungsreduktion auf 500 MW, gesteuert durch die Turbinenleistungsregelung. In der Folge

Generator.
Foto: KKG

der Leistungsreduktion führte das KKG eine Untersuchung der gesamten Prüfmotoransteuerung der betroffenen Abfangklappen durch. Ursache für die Leistungsreduktion war die Fehlfunktion eines Koppelrelais im Schaltanlageneinschub, der dem Prüfmotor direkt vorgelagert ist. Nach dem Austausch der betroffenen Baugruppe konnte die Anlage wieder auf Volllast gefahren werden. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Ausfall eines Koppelrelais im Schaltanlageneinschub einer Abfangklappe der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie die Schutzziele «Kontrolle der Reaktivität» und «Kühlung der Brennelemente».

■ Bei einer geplanten Messung der Leistungsverteilung am 1. September 2023 stellte das KKG fest, dass das Kugelmesssystem nicht verfügbar war. Dieser Störung ging eine Ausser- und Wiederinbetriebnahme des Kugelmessystems aufgrund von Arbeiten an der Normalnetzschiene voraus. Die folgenden Untersuchungen zeigten, dass das Kugelmesssystem aufgrund von Fehlern am Konverter-Kommunikationsmodul sowie am internen Prüfgenerator nicht funktionsfähig war. Das KKG tauschte die Komponenten aus. Das Kugelmessystem war am 7. September wieder verfügbar. Das Kugelmesssystem wird zur genauen dreidimensionalen Messung des Neutronenflussprofils genutzt, das für die Kalibrierung der Leistungsverteilungsdetektoren verwendet wird. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Störung bei der Wiederinbetriebnahme des Kugelmessystems der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie das Schutzziel «Kontrolle der Reaktivität».

■ Am 29. Oktober 2023 kam es zu einem Sicherungsfall in einem Steuerschrank. Ein Teil des Steuerschranks wurde spannungslos. Die von der elektrischen Notstandschiene versorgten Systeme konnten dadurch von der Warte aus nicht mehr manuell bedient werden. Die automatische Ansteuerung der Komponenten durch das gesicherte Reaktorschutzsystem sowie die manuelle Bedienung mittels Notstandleitstand waren zu jeder Zeit gewährleistet. Der Sicherungsfall regte zudem ein betriebliches Schutzsignal zum Schliessen der Hochdruck-Reduzierstation an. Dies führte durch die fehlende Entnahme zu einem Anstieg des Druckhalterniveaus. Die Verantwortlichen kompensierten die fehlende Entnahme mit dem manuellen Zufahren des Sperrwasser-Regelventils. Eine nachfolgende Untersuchung der zuständigen Fachabteilung ergab, dass mit grosser Wahrscheinlichkeit eine defekte Überspannungsschutzdiode



Entladen des Reaktors. Foto: KKG

den Sicherungsfall ausgelöst hatte. Das KKG tauschte die Diode aus und überprüfte die Ansteuerbarkeit der zuvor betroffenen Komponenten. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Sicherungsfall in einem Steuerschrank der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

■ Am 20. November 2023 kam es zu einer ungeplanten Reaktorleistungsabsenkung, verursacht durch das fehlerhafte Auslösen eines Schutzsignals und die daraufhin folgende Abschaltung einer Hauptkühlmittelpumpe. Das Stecken einer Grenzwertkarte verursachte das Anregen des Pumpenschutzes. Die Grenzwertkarte hatte für eine Simulierung einer Temperaturmessung aus und wieder eingesteckt werden müssen. Das KKG stabilisierte die Anlage auslegungsgemäss bei einer Leistung von 286 MW. Die Anlage blieb für zirka 105 Minuten auf diesem Leistungsniveau. Eine Untersuchung der Grenzwertkarte und der Simulierung zeigten keine Auffälligkeiten. Es ist wahrscheinlich, dass der Steckvorgang an sich das Auslösen des Grenzwerts und das Abschalten der Hauptkühlmittelpumpe verursacht hatte. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Ausfall einer Hauptkühlmittelpumpe mit folgender Leistungsreduktion der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

Die Anzahl Vorkommnisse in den vergangenen zehn Jahren ist im Anhang in Figur 2 dargestellt. Eine Übersicht über die meldepflichtigen Vorkommnisse im Berichtsjahr findet sich in Tabelle 4.

2.3 Inspektionen

Neben den durch das Basisinspektionsprogramm vorgegebenen Inspektionen finden jährlich diverse weitere Inspektionen im KKG statt. Je nach Inspektionsziel finden sie angekündigt oder unangekündigt statt. Den bisherigen Erfahrungen entsprechend bewertete das ENSI auch im Berichtsjahr die weit überwiegende Anzahl von Bewertungsgegenständen mit Normalität, einige mit Verbesserungsbedarf. Bei einer im Berichtsjahr durchgeführten Inspektion vergab das ENSI die Bewertung G (Gute Praxis):

Am 16. Juni 2023 führte das ENSI im KKG eine angekündigte Inspektion zum Thema «Organisatorischer Brandschutz während der Jahreshauptrevision» durch. Es wurden nur geringe Mengen an mobilen Brandlasten angetroffen. Die Lagerung von Materialien erfolgte überwiegend in nicht brennbaren, geschlossenen Behältnissen. Insbesondere in der Wäscherei lagerte eine ungewöhn-

lich geringe Menge an Wäsche, welche unmittelbar verarbeitet wurde. Damit sind die Prozesse zur Behandlung und Lagerung von mobilen Brandlasten in der Wäscherei vorbildlich etabliert. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die vorbildliche Etablierung des Managements mobiler Brandlasten in der Wäscherei der Kategorie G (Gute Praxis) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit sicherheitsebenen- und schutzzielübergreifender Bedeutung.

2.4 Anlagentechnik

2.4.1 Revisionsarbeiten

Während des Revisionsstillstands vom 27. Mai bis zum 25. Juni 2023 erfolgten Brennelementwechsel, Brennelementinspektionen, Prüfungen elektrischer und mechanischer Einrichtungen, zerstörungsfreie Prüfungen, wiederkehrende Funktionsprüfungen an Komponenten und Systemen sowie Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten.
Die folgenden Arbeiten an mechanischen Komponenten seien genannt:

- Das KKG führte am Druckhalter eine mechanisierte indirekte visuelle Prüfung der Innenoberflächen durch. Die bekannten Auffälligkeiten aus früheren Prüfungen haben sich nicht verändert.
- An den Gewinden der Sacklöcher im Flansch des Reaktordruckbehälters wurden mechanisierte Wirbelstromprüfungen durchgeführt. Das KKG detektierte an drei Gewindesacklöchern bewertungspflichtige Anzeigen. Sie wurden als zulässig bewertet.
- Das KKG führte auch an den Schraubenbolzen der Deckelverschraubung des Reaktordruckbehälters mechanisierte Wirbelstromprüfungen durch. Sie ergaben keine Befunde.
- Das KKG prüfte die Mischnähte an den Druckrohren der Steuerstabantriebe am Deckel des Reaktordruckbehälters und die Mischnähte der Kerninstrumentierungsstutzen mechanisiert mit Ultraschall. Es wurden keine registrier- oder bewertungspflichtigen Anzeigen festgestellt.
- An einem Dampferzeuger wurden magnetische Prüfungen und manuelle Ultraschallprüfungen ohne registrier- oder bewertungspflichtige Befunde vorgenommen.
- Das KKG führte an Rohrleitungsschweissnähten diverser Systeme magnetische Prüfungen beziehungsweise Farbeindringprüfungen sowie manuelle Ultraschallprüfungen durch. Sie ergaben keine registrier- oder bewertungspflichtige Befunde.
- Die drei in der Jahreshauptrevision 2022 detektierten Risse in der Wasserkammer-Trennwand eines Dampferzeugers wurden erneut mit einem qualifizierten, mechanisierten indirekten visuellen System geprüft. Im Anschluss daran legte das KKG in Abstimmung mit dem SVTI-N und dem ENSI die jeweilige Erodiertiefe in Abhängigkeit der mit Ultraschall ermittelten Risstiefen und unter Berücksichtigung der Messunsicherheiten fest und entfernte die Risse durch Senkerodieren. Eine erneute mechanisierte indirekte visuelle Prüfung mit einer zehnfachen Vergrösserung bestätigte die Rissfreiheit.

2.4.2 Anlageänderungen

Folgende Anlageänderungen seien an dieser Stelle erwähnt:

- Erneuerung der Neutronenfluss-Aussenintrumentierung: Das KKG ersetzte Detektoren für den Impulsbereich sowie Bedienelemente und Visualisierungen der Leittechnik in den Redundanzen 1 bis 4 im Kommandoraum. Der Umbau und die Inbetriebsetzung der Neutronenfluss-Ausseninstrumentierung erfolgte im Rahmen der Jahreshauptrevision 2023. Mit einer Inspektion überzeugte sich das ENSI von der ordnungsgemässen Umsetzung und Einbindung in die Anlage.
- «Betriebliches Abfahren 100 K/h»: Die bereits vorhandenen betrieblichen Frischdampf-Abblaseregelungen wurden im Berichtsjahr um eine automatisierte Zuschaltung erweitert. Der Umbau und die Inbetriebsetzung der Funktion «Betriebliches Abfahren 100 K/h» erfolgten im Rahmen der Jahreshauptrevision 2023. Das KKG schulte das zuständige Betriebspersonal und überprüfte die betroffenen Kapitel des Störfall-

Betriebshandbuchs. Die automatisierte Zuschaltung wurde erst nach erfolgter Ausbildung und der Validierung des Betriebshandbuchs am Anlagensimulator aktiviert.

■ Austausch der Brandschutzklappenantriebe: Das KKG hatte Ende 2016 im Rahmen von Anlageversuchen ein nicht vollständiges Schliessen von Brandschutzklappen als Vorkommnis gemeldet (siehe Seite 49 im Aufsichtsbericht 2016). Eine reaktive Inspektion zum Thema Brandschutzklappen zeigte Mängel in den Bereichen Funktion und Unterhalt sowie für das Vorgehen bei Modifikationen. Im Berichtsjahr setzte das KKG den Austausch der Brandschutzklappen erfolgreich fort.

■ Projekt zur Erweiterung der Notstandfunktionen: Das KKG führte im Berichtsjahr die Erweiterung der Notstandfunktionen fort. Unter anderem stellte es den Kabelrohrblock zwischen dem Schaltanlagen- und dem Notstandgebäude sowie die Kabelzugschächte fertig, inklusive Abnahme und Prüfprotokolle. Das KKG führte mit dem ENSI Fachgespräche und erarbeitete Gesuchsunterlagen.

2.4.3 Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente

Geringe Aktivitätskonzentrationen im Primärkühlmittel liessen den Schluss zu, dass im 44. Betriebszyklus (2022/2023) keine Brennstabdefekte mit Aktivitätsfreisetzung aufgetreten sind. Während des Revisionsstillstands wurden 36 frische Uran-Brennelemente in den Reaktorkern geladen, der damit im 45. Betriebszyklus insgesamt 124 Uran- und 53 WAU-Brennelemente (wiederaufgearbeitetes Uran) enthält.

Bei umfangreichen Inspektionen der Standard-Brennelemente mit Uran- und WAU-Brennstoff und verschiedenen Standzeiten wurden auslegungsgemässe Zustände festgestellt. Dies gilt auch für die Brennelementverbiegung. Die an Brennstäben mit verschiedenen Hüllrohrmaterialien gemessenen Oxidschichtdicken sind gering und liegen im erwarteten Bereich.

Das KKG stellte die Einsatztauglichkeit der im Zyklus 45 eingesetzten Steuerelemente durch Messungen der Wanddicke oder administrative Massnahmen sicher. Damit wird gewährleistet, dass die mögliche Durchmesserzunahme nicht zu einer Rissbildung führt und alle Sicherheitskriterien eingehalten werden.

Das ENSI hat sich davon überzeugt, dass das KKG neue Brennelemente und Steuerelemente einsetzt, die den Qualitätsanforderungen für einen sicheren Betrieb entsprechen und nur bestrahlte Brennelemente und Steuerelemente mit defektfreien Hüllrohren in den Reaktor einsetzt.

Im Berichtsjahr wurde der Reaktorkern auslegungsgemäss und im bewilligten Rahmen betrieben. Die Ergebnisse der reaktorphysikalischen Messungen stimmten gut mit den Ergebnissen der Kernauslegungsberechnung überein. Die Betriebsgrenzen wurden eingehalten.

Niederdruckturbine. Foto: KKG

2.5 Strahlenschutz

Das Berichtsjahr verlief aus strahlenschutztechnischer Sicht gut für das KKG. Im Frühsommer absolvierte das KKG eine umfangreiche Revision. Insgesamt betrug die Kollektivdosis im Berichtsjahr 380 Pers.-mSv, die maximale Individualdosis 5,8 mSv.

Die wasserchemische Behandlung des Primärkühlmittels mit der seit 2005 betriebe-

nen Zinkeinspeisung erweist sich weiterhin als erfolgreich. An den mit Primärkühlmittel benetzten Komponenten des Kernkraftwerks sank die Dosisleistung um durchschnittlich 77 %. Die Inspektionen des ENSI bestätigten, dass das KKG in allen Betriebsphasen einen effizienten Strahlenschutz betrieb.

Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen, Iod und Edelgasen lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Abgabelimiten. Dies gilt auch für die Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser ohne Tritium. Die für Druckwasserreaktoren typischen Tritiumabgaben des KKG betrugen rund 27 % der Jahresabgabelimite. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern durch. Sie stimmten gut mit den vom KKG gemeldeten Analyseergebnissen überein. Aus den tatsächlich über die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnete das ENSI die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKG unter ungünstigen Annahmen. Die potenziellen Jahresdosen lagen für Erwachsene, Zehnjährige und für Kleinkinder unter 0,001 mSv und damit deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr gemäss der Richtlinie ENSI-G15 (Strahlenschutzziele für Kernanlagen). Die Dosisleistungsmesssonden des vom ENSI betriebenen Messnetzes (MADUK) in der Umgebung des Werks zeigten keine durch den Betrieb der Anlage erhöhten Werte. Die EDIS-Dosimeter (Environmental Direct Ion Storage Dosimeter) am Zaun des Areals registrierten keine signifikante Erhöhung gegenüber der Untergrundstrahlung. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen an der Umzäunung des KKG durch, die ebenfalls keine signifikanten Erhöhungen gegenüber der Untergrundstrahlung zeigten. Die Messungen des Betreibers und des ENSI bestätigten die Einhaltung der nach Artikel 79 Absatz 2 der Strahlenschutzverordnung anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerkareals von 0,02 mSv pro Woche für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 0,1 mSv pro Woche für andere Bereiche. Für detailliertere Angaben zur radiologischen Situation innerhalb und ausserhalb des KKG wird auf den Strahlenschutzbericht 2023 des ENSI verwiesen.

2.6 Radioaktive Abfälle

Radioaktive Rohabfälle fallen im KKG regelmässig aus den Wasserreinigungssystemen sowie der Abgas- und Fortluftreinigung an. Weitere Abfälle stammen aus dem Austausch von Komponenten bei Instandhaltungs-, Umbau- oder Nachrüstungsmassnahmen und den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien. Im Berichtsjahr fielen 23 m³ radioaktive Rohabfälle an (siehe Tabelle 6). Die Menge entsprach den Erwartungen aufgrund der durchgeführten Arbeiten.

Die radioaktiven Rohabfälle werden gesammelt, kampagnenweise konditioniert und anschliessend zwischengelagert. Das KKG bewahrt die unkonditionierten Abfälle in dafür vorgesehenen Räumlichkeiten der kontrollierten Zone auf. Ihr Bestand lag mit 28 m³ im Erfahrungsbereich der vergangenen Jahre. Brennbare und weitere Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in den Anlagen der Zwilag in Würenlingen bereitgestellt und dorthin transportiert.

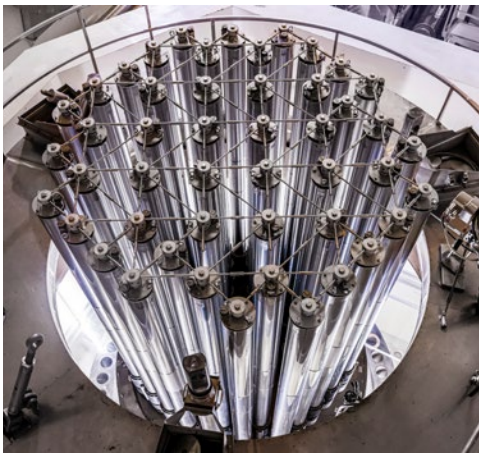
Als Konditionierungsverfahren für die Betriebsabfälle kommen im KKG hauptsächlich die Bituminierung von Harzen und Konzentraten zur Anwendung. Weiterhin werden im Rahmen von periodischen Kampagnen Reaktorabfälle (Coreschrotte) zerlegt und in MOSAIK-Behältern verpackt beziehungsweise in Fässern einzementiert. Für alle angewandten Verfahren liegen die erforderlichen behördlichen Typengenehmigungen vor. Im Berichtsjahr wurden drei Fässer mit Borkonzentrat sowie 43 Harzfässer mit Bitumen verfestigt.

Die konditionierten Abfallgebinde werden im werkseigenen Zwischenlager eingelagert. Das KKG nutzt zudem die Kapazitäten des Zentralen Zwischenlagers der Zwilag.

Im Berichtsjahr wurden drei Fässer mit Borkonzentrat dorthin transportiert. Bei der jährlichen Inspektion des Lagergutes im KKG zeigten sich keine meldepflichtigen Befunde. Die radioaktiven Abfälle des KKG sind in einem von allen schweizerischen Kernanlagen eingesetzten elektronischen Buchführungssystem erfasst, sodass die Information über Menge, Lagerort und radiologische Eigenschaften jederzeit verfügbar ist.
Wichtig bei der Minimierung der radioaktiven Abfälle ist die Befreiung von Materialien aus der kontrollierten Zone. Im KKG wurden im Berichtsjahr 20,9 t Material befreit.
Im Berichtsjahr führte das KKG zwei innerbetriebliche Transporte mit insgesamt 24 abgebrannten Brennelementen aus dem Brennelementbecken des Reaktorgebäudes ins werkseigene externe Nasslager durch. Weitere Information zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente findet sich in Kapitel 8.

2.7 Notfallbereitschaft

Die Notfallorganisation des KKG ist für die Bewältigung aller Notfälle innerhalb des Werkareals zuständig. Mit einer zweckmässigen Organisation, geeigneten Führungsprozessen und -einrichtungen zusammen mit einer entsprechenden Auslegung der Anlage hat das KKG die Notfallbereitschaft auf hohem Niveau sicherzustellen.
Das ENSI beobachtete und beurteilte die Notfallorganisation des KKG im Oktober 2023 im Rahmen der Werksnotfallübung LORENA. Das Szenario unterstellte eine anhaltende Schlechtwetterlage mit Sturmböen und Starkregen. Die Schichtmanschaft führte aufgrund dieser Wetterbedingungen präventive Arbeiten und Kontrollen durch. Der Sturm fegte an diversen Stellen die Uferböschung der Aare weg. Ein Teil dieses Schlamms trieb direkt in die Wasserfassung. Die Siebtrommeln der Reinigungsanlage verstopften. Die Bypassklappen öffneten. Somit drang das Schmutzwasser bis zu den Kühlstellen. Parallel dazu erhielt die zweite Wasserfassung über die Kühlwasserschutzlogik ein Startsignal. Das entsprechende Dieselaggregat der zweiten Wasserfassung geriet kurze Zeit nach dem Start in Brand. Dies schränkte den Zugang zur zweiten Wasserfassung für Handeingriffe stark ein. Die Sturmböen beschädigten den Kühlturm, sodass sich Betonbrocken lösten. Gleichzeitig fielen dicht gestaffelt die beiden Hauptkühlwasserpumpen aus. Der Verlust der Hauptwärmesenke machte eine Reaktorschnellabschaltung erforderlich. Anschliessend stellten sich Hüllrohrschäden und ein Dampferzeugerheizrohrbruch ein. Beim Unterschreiten der mittleren Kühlmitteltemperatur von 220 °C trat im Containment ein nicht absperrbares Leck in der Speisewasserleitung zu einem Dampferzeuger auf, gefolgt von einem zweiten Leck in der gleichen Leitung unmittelbar bei der Gebäudeabschlussarmatur. Die Armatur liess sich elektrisch nicht schliessen und war wegen des Lecks vorerst nicht zugänglich. Kurze Zeit später wurde ein Brandalarm in einem Rechnerraum ausgelöst, der zum Ausfall der Rechner führte.
Das KKG stufte die Ereignisse korrekt ein und meldete sie zeitgerecht an das ENSI. Die vorgegebenen Übungsziele für Werksnotfallübungen gemäss der Richtlinie ENSI-B11 (Notfallübungen) wurden erreicht. Das KKG verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation. Eine Inspektion im November 2023 zeigte zudem, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit waren.
Ferner löste das ENSI im November 2023 ohne Voranmeldung einen Übungsalarm



Steuerstabführungsrohre.
Foto: KKG

im KKG aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabs innerhalb der zeitlichen Vorgaben gemäss der Richtlinie ENSI-B11 bestätigt wurde.

2.8 Personal und Organisation

Der Personalbestand des KKG erhöhte sich im Berichtsjahr auf 598 Personen (ohne Lernende), welche 570 Vollzeitstellen besetzten (Ende 2022: 582 Personen, ohne Lernende). Das KKG setzte im Berichtsjahr insbesondere innerhalb der Abteilungen Sicherheit und Maschinentechnik organisatorische Änderungen um. In der Abteilung Sicherheit wurde per 1. Januar 2023 neben den beiden Ressorts Probabilistik und Deterministik das Ressort «Erdbeben und Anlagenauslegung» geschaffen. Diese Änderung ermöglicht eine ausgewogene Aufteilung der umfangreichen Aufgaben und trägt zur Stärkung der Koordination und Kommunikation innerhalb der Abteilung und abteilungsübergreifend bei. In der Abteilung Maschinentechnik wurde die Gruppe «Projekte und Support» in ein gleichnamiges Ressort überführt. Diese Änderung ist unter anderem eine Folge der Fokussierung der Abteilung ERNOS (ehemals Abteilung Langzeitbetrieb) auf die Arbeiten im Zusammenhang mit der Erweiterung der Notstandsfunktionen im Jahr 2022. Dadurch wurden einige Aufgaben der ehemaligen Abteilung Langzeitbetrieb im Zusammenhang mit der Planung und Führung grösserer Projekte zurück in die Abteilung Maschinentechnik verschoben.

Das ENSI führte mit dem KKG auch im Berichtsjahr Gespräche mit dem Ziel, die Abwicklung von Freigabeverfahren im Rahmen von Projekten zu verbessern. Aus der Sicht des ENSI können die identifizierten Handlungsfelder und erarbeiteten Vorgehensweisen künftig zu einer Verbesserung der Projektabwicklung beitragen.

Vor dem Hintergrund eines sich zuspitzenden Know-how- und Kapazitätsverlustes auf dem Lieferanten- und Arbeitsmarkt verfolgt das KKG weiterhin das Ziel, das erforderliche Wissen und die notwendigen Ressourcen für den Langzeitbetrieb selbst aufzubauen und zu erhalten. Den Herausforderungen bei der Rekrutierung und dem Erhalt von qualifiziertem Personal begegnet das KKG mit Anpassungen und der Weiterentwicklung seiner Instrumente und Praktiken bei der Personalrekrutierung und -entwicklung.

Das KKG führte im Berichtsjahr sein Programm zur Weiterentwicklung der Sicherheitskultur fort. Die eingeführten Instrumente und Praktiken wurden in der gesamten Organisation weiter etabliert. Das KKG führte Workshops zur Stärkung der menschlichen und organisatorischen Aspekte der nuklearen Sicherheit durch: Ein signifikanter Teil der KKG-Belegschaft nahm im Berichtsjahr an den Workshops teil. Das ENSI begleitete die Arbeiten des KKG im Bereich der Sicherheitskultur aufsichtlich.

Das Managementsystem des KKG besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm SN EN ISO 9001:2015. Die Rezertifizierung fand im Jahr 2022 statt.

Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion zum Managementsystem durch mit dem Thema «Erkennung und Behandlung von geringfügigen Abweichungen und Beinahe-Ereignissen». Das KKG legte dem ENSI im Rahmen der Inspektion dar, dass sein Managementsystem über die geeigneten Prozesse verfügt, um geringfügige Abweichungen und Beinahe-Ereignisse zu erkennen, zu behandeln und die daraus abgeleiteten Massnahmen zu überprüfen. Damit erfüllen die entsprechenden Prozesse des Managementsystems die zugehörigen Vorgaben des Artikels 41 der Kernenergieverordnung und der Richtline ENSI-G07 (Organisation von Kernanlagen). Zudem überprüfte das ENSI im Rahmen einer weiteren Inspektion die Prozesse des Managementsystems im Bereich der Alterungsüberwachung und Instandhaltung sowie zur Berücksichtigung der internen und externen Betriebserfahrung bei maschinentechnischen Komponenten am Beispiel des Speisewasserbehälters. Das KKG erfüllt die Anforderungen der Artikel 32 und 36 der Kernenergieverordnung und der Richtlinie ENSI-G07.

Im Berichtsjahr legten drei Schichtchefs ihre Zulassungsprüfung mit Erfolg ab. Die Zulassungsprüfung besteht aus einem theoretischen und einem praktischen Teil. Im theoretischen Teil weisen die Kandidaten ihre detaillierten Kenntnisse zum Aufbau und Verhalten der Anlage und den anzuwendenden Vorschriften nach. Der praktische Teil erfolgt am eigenen Anlagesimulator und besteht aus einer Demonstration der Anwendung der Kenntnisse in simulierten Normal- und Störfallsituationen. Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in Tabelle 3 zusammengestellt.

Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2022 und zur Planung des Ausbildungsprogramms 2023 der Abteilung Betrieb durch. Gegenstand der Inspektion waren die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator und die allgemeine Wiederholungsschulung sowie deren Änderungen und Neuerungen. Ferner wurde das Ausbildungsprogramm des Personals der Abteilung Sicherheit auf die Einhaltung der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen und der Richtlinie ENSI-B10 (Ausbildung, Wiederholungsschulung und Weiterbildung von Personal) überprüft. Die Ausbildungsprogramme des KKG in den inspizierten Bereichen erfüllten die Anforderungen.

2.9 Periodische Sicherheitsüberprüfung

Im Berichtsjahr hat das ENSI die Prüfung der Dokumentation und nachgereichter Unterlagen für die Periodische Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) abgeschlossen. In seiner Stellungnahme zur PSÜ 2018 hält das ENSI fest, dass das KKG im Beurteilungszeitraum 2008 bis 2017 mit der notwendigen Sorgfalt betrieben wurde und sicherheitstechnisch auf einem guten Niveau war. Das ENSI hat 64 Forderungen formuliert, um das Sicherheitsniveau weiterhin zu erhöhen. Die Forderungen zielen beispielsweise darauf ab, die systematische Überprüfung der Auslegung weiterzuführen oder die deterministischen Störfallnachweise zu verbessern.

Im Jahr 2019 ging das KKG nach vier Jahrzehnten in den Langzeitbetrieb über. Aufgrund der sich mit dem Stand von Wissenschaft und Technik entwickelnden Anforderungen und der voranschreitenden Alterung der Anlage hat das KKG neben der Aktualisierung seines Alterungsüberwachungsprogramms ein Nachrüstungskonzept erarbeitet und mit dessen Umsetzung begonnen. Das ENSI beurteilt das Nachrüstungskonzept des KKG für den Langzeitbetrieb als adäquat und fordert eine zeitgerechte Umsetzung. Für die Grosskomponenten (Reaktordruckbehälter, Primärkreislauf, Stahldruckschale und Betonhülle) führt der Betreiber gestützt auf das Alterungsüberwachungsprogramm die erforderlichen Nachweise, da sie schwer oder gar nicht zu ersetzen sind. Den Zustand der Grosskomponenten beurteilt das ENSI als gut. Damit sind die Voraussetzungen für einen sicheren Langzeitbetrieb erfüllt.

2.10 Sicherheitsbewertung

Im Jahr 2023 beurteilte das ENSI mit dem im Anhang (Erläuterungen zur Sicherheitsbewertung) beschriebenen System sämtliche Inspektionsgegenstände, Ergebnisse von Zulassungsprüfungen, Einzelaspekte von Vorkommnisabläufen und Sicherheitsindikatoren bezüglich ihrer Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Dabei kam das ENSI für die einzelnen Zellen der Sicherheitsbewertungsmatrix zu den nachfolgenden Beurteilungen.

Zellen ohne Bewertung bedeuten, dass weder Inspektionsergebnisse, Zulassungsprüfungen, Vorkommnisse noch Sicherheitsindikatoren eine Bedeutung für diese Zellen hatten. Die Zellenbewertungen richten sich nach der höchsten einer Zelle zugeordneten Bewertung eines Sachverhalts.

Zusammenfassend kommt das ENSI zu folgenden Gesamtbewertungen:

Ziele \ Bewertungsgegenstand		Anforderungen		Betriebsgeschehen	
		Auslegungs-vorgaben	Betriebs-vorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation
Sicherheitsebenen	Ebene 1	N	V	A	N
	Ebene 2	N	N	N	N
	Ebene 3	N	N	A	N
	Ebene 4		N	N	N
	Ebene 5			N	N
Barrieren	Integrität der Brennelemente			N	N
	Integrität des Primärkreises		N	N	N
	Integrität des Containments			N	
Ebenen- oder barrierenübergreifende Bedeutung			N	A	N

Sicherheitsbewertung 2023 KKG: Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge
Bewertungen bezüglich Transporten zu und von den Kernkraftwerken werden im Text behandelt, aber für die anlagenspezifische Gesamtbewertung nicht berücksichtigt.

Ziele \ Bewertungsgegenstand		Anforderungen		Betriebsgeschehen	
		Auslegungs-vorgaben	Betriebs-vorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation
Schutzziele	Kontrolle der Reaktivität		N	A	N
	Kühlung der Brennelemente	N	V	A	N
	Einschluss radioaktiver Stoffe		N	N	N
	Begrenzung der Strahlenexposition			N	N
	Schutzzielübergreifende Bedeutung		N	A	N

Sicherheitsbewertung 2023 KKG: Schutzziel-Perspektive
Anmerkung: alternative Darstellung derselben Sachverhalte wie in der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge, aber mit zusätzlicher Darstellung radiologischer Auswirkungen.

Auslegungsvorgaben

Da keine Bewertungen der Kategorie A und höher vorliegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKG hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als hoch.

Betriebsvorgaben

Da keine Bewertungen der Kategorie A und höher vorliegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKG hinsichtlich der Betriebsvorgaben als hoch.

Zustand und Verhalten der Anlage

Das ENSI beurteilt die in Unterkapitel 2.2 beschriebenen Abweichungen im Bereich des Zustands und Verhaltens der Anlage als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Weil Bewertungen der Kategorie A unterhalb der internationalen Ereignisskala INES vorliegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKG hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut.

Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

Da keine Bewertungen der Kategorie A und höher vorliegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKG hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als hoch.

3

3. Kernkraftwerk Leibstadt

3.1 Überblick

Das KKL befand sich im ungestörten Leistungsbetrieb, abgesehen von der Jahreshauptrevision und einem kurzen Unterbruch aufgrund einer Turbinenabschaltung im Juni 2023. Das ENSI stellt fest, dass die bewilligten Betriebsbedingungen immer eingehalten wurden.

Das ENSI beurteilt die Sicherheit des KKL hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als gut, hinsichtlich der Betriebsvorgaben als gut, hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut und hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation ebenfalls als gut.

Das KKL ist eine Siedewasserreaktor-Anlage, die ihren kommerziellen Betrieb im Jahr 1984 aufnahm. Die elektrische Nettoleistung beträgt 1233 MW. Weitere Daten sind in den Tabellen 1 und 2 des Anhangs zu finden. Figur 5b zeigt das Funktionsschema einer Siedewasserreaktor-Anlage.

Im Berichtsjahr 2023 kam es zu sieben meldepflichtigen Vorkommnissen mit Bezug zur nuklearen Sicherheit, die das ENSI auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 0 zuordnete.

Die Jahreshauptrevision begann planmässig am 1. Mai mit der Trennung des Generators vom Netz und endete am 31. Mai 2023 mit der Netzsynchronisation.

Das ENSI führte 107 Inspektionen durch. Wo erforderlich, verlangte das ENSI Verbesserungsmassnahmen und überwachte deren Umsetzung.

Die Dosisgrenzwerte der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen wurden stets eingehalten. Die Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung lagen deutlich unter den behördlich festgelegten Grenzwerten. Die dadurch verursachten zusätzlichen Strahlendosen für die Bevölkerung waren verglichen mit der mittleren natürlichen jährlichen Strahlenexposition in der Schweiz unbedeutend.

Die Menge radioaktiver Rohabfälle entsprach dem aufgrund der durchgeführten Arbeiten zu erwartenden Umfang.

Im Berichtsjahr bestanden sechs Reaktoroperateure ihre Zulassungsprüfung.

3.2 Betriebsgeschehen

Das KKL verzeichnete im Berichtsjahr eine Arbeitsausnutzung von 89,8 % und eine Zeitverfügbarkeit von 91,5 %. Die Zeitverfügbarkeit und die Arbeitsausnutzung der letzten zehn Jahre sind im Anhang in Figur 1 dargestellt. Die zeitliche Nichtverfügbarkeit der Anlage war durch die Jahreshauptrevision und einen kurzen Unterbruch im Juni bedingt.

Im Berichtsjahr kam es zu sieben meldepflichtigen Vorkommnissen mit Bezug zur nuklearen Sicherheit. Das ENSI ordnete alle der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zu.

■ Zu einem ersten meldepfichtigen Vorkommnis kam es am 24. März 2023 im Rahmen der Revision einer Division, welche unter anderem eine Wartung des Notstromdiesels beinhaltete. Beim Befüllen der Startluftbehälter vor der Durchführung eines Probelaufs stellten die Verantwortlichen bei der Hartlötverbindung zwischen der Rohrleitung und dem Rippenkühlrohr des Startluftkompressors eine Druckluftleckage fest. Dieser Befund hatte keine Auswirkungen auf den Start des Notstromdiesels. Das Befüllen der Startluftbehälter war auch mit der Luftleckage möglich. Bei der daraufhin durchgeführten visuellen Kontrolle der restlichen baugleichen Rohrleitungsverbindungen an beiden Startluftkompressoren der betroffenen Division stellten die Verantwortlichen keine weiteren Befunde fest. Sie reparierten die schadhafte Stelle. Das Vorkommnis hatte keine Auswirkungen auf den Anlagebetrieb. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die rissbedingte Leckage an der Lötverbindung zwischen Rohrleitung und Rippenkühlrohr eines Startluftkompressors der Kategorie A

Kernkraftwerk Leibstadt. Foto: ENSI

(Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

■ Am 31. März 2023 kam es zu einem Unterbruch der elektrischen Anspeisung einer Reaktorumwälzpumpe von zirka zwei Sekunden. Ursache war ein Fehler in der Zellensteuerung und Regelung des Frequenzumformers des Kanals A. Dieser führte zur Umschaltung auf die redundante Zellensteuerung des Kanals B und damit zu einer Drehzahlreduktion der Umwälzpumpe von 91 % auf 84,3 %. Daraufhin überstieg die Differenz der Umwälzkreislaufdurchflüsse kurzzeitig den in der Technischen Spezifikation vorgegebenen Grenzwert von 5 %. Die Reaktorleistung sank von 3600 MW (100 %) auf 3530 MW. Innerhalb des Reaktorkerns kam es zu keiner Schieflast. Das Ereignis beeinflusste die thermischen Limiten des Brennstoffs nicht. Das ENSI beurteilt die sicherheitstechnische Bedeutung des Vorkommnisses als gering. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Störung in der Steuerung und Regelung des Frequenzumrformers einer Umwälzpumpe der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

■ Das KKL entdeckte am 9. Mai 2023 während der Jahreshauptrevision an einer Armatur einer Entleerungsleitung einer Reaktorwasserumwälzschleife eine Tropfleckage. Sie kam aus der anströmseitigen Schweissnaht. Die betroffene Entleerungsleitung war durch zwei Absperrungen gesichert. Die Tropfleckage befand sich an der inneren Seite der äusseren Absperrung. Zusätzlich war das Handrad der betroffenen Armatur beschädigt. Bei geschlossener Erstabsperrung steht im Normalbetrieb kein Reaktorwasser an der betroffenen Entleerungsleitungsarmatur an. Die Leckage war folglich nur im Zuge der Entleerung der Umwälzschleife sichtbar. Als Schadensursache ist von einem Ermüdungsriss auszugehen. Das KKL untersucht den Einfluss von Rohrleitungsschwingungen in diesem Bereich. Das Vorkommnis hat nach Einschätzung des ENSI eine geringe sicherheitstechnische Bedeutung. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Leckage an der Schweissnaht einer Armatur einer Entleerungsleitung einer Reaktorwasserumwälzschleife der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2, die Barrierenintegrität des Primärkreislaufs sowie die Schutzziele «Einschluss radioaktiver Stoffe» und «Kühlung der Brennelemente».

■ Am 29. Mai 2023 kam es während des Anfahrens der Anlage nach der Jahreshauptrevision bei zirka 2,6 % thermischer Reaktorleistung zu einer automatischen Reaktorschnellabschaltung infolge eines tiefen Reaktorniveaus. Ursache war ein eingeschränkter Speisewasserfluss zum Reaktor. Die Betriebsmannschaft hatte den Reaktoreinspeiseschieber im Speisewasserstrang fälschlicherweise geschlossen gehalten. Im Anschluss an die Reaktorschnellabschaltung stabilisierte die Betriebsmannschaft das Reaktorniveau und nahm den Anfahrprozess wieder auf. Das Vorkommnis hatte keine Auswirkungen auf die in Bereitschaft stehenden Sicherheitssysteme. Insgesamt hatte das Vorkommnis eine geringe sicherheitstechnische Bedeutung. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die automatische Reaktorschnellabschaltung während des Anfahrens nach der Jahreshauptrevision der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit ebenen- und schutzzielübergreifender Bedeutung. Die Anwendung der Systemfahrvorschriften und der vorhandenen Hilfsmittel ordnete das ENSI im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung ebenfalls der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens von

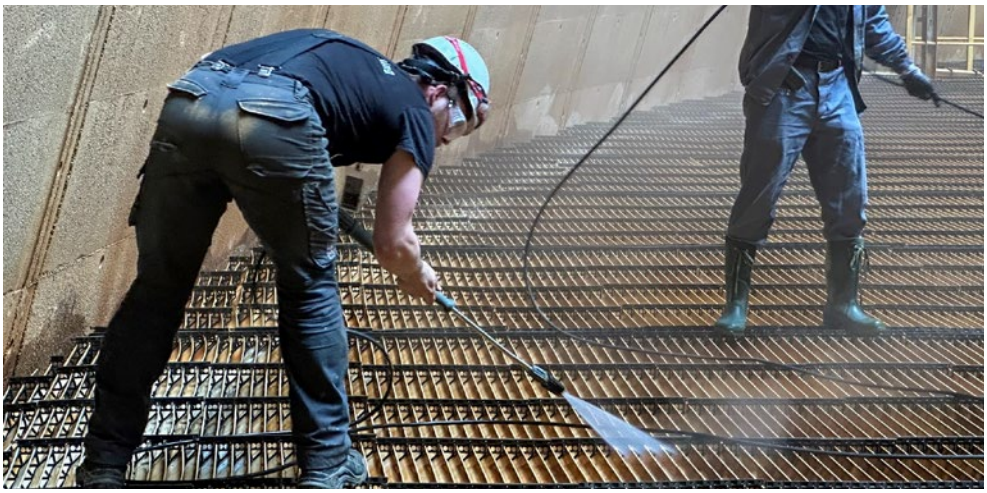
Revisionsarbeiten an der Turbine. Foto: KKL

Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

■ Die Anlage befand sich am 20. Juni 2023 im ungestörten Volllastbetrieb, als eine Turbinenschnellabschaltung ausgelöst wurde. Der Generatorschalter öffnete und die Reaktorleistung wurde durch das automatische Einschiessen vorgewählter Steuerstäbe und das Zurückfahren der Umwälzpumpen auf eine Drehzahl von 55 % reduziert. Alle Systeme funktionierten auslegungsgemäss. Im Rahmen der Vorkommnisanalyse konnte das KKL keine eindeutige Ursache ermitteln. Das Werk tauschte die relevanten Leittechnik-Baugruppen vorbeugend aus. Das Vorkommnis hatte eine geringe sicherheitstechnische Bedeutung. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Turbinenschnellabschaltung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie die Schutzziele «Kontrolle der Reaktivität» und «Kühlung der Brennelemente».

■ Bei der Durchführung des Systemfunktionstests «SEHR-Lüftung und Abluft 2. Containment» am 3. August 2023 erreichte eine Isolationsklappe die Endlage nicht. Ein Kugelgelenk war ausgehängt, weil es falsch montiert worden war. Die Verantwortlichen montierten das Kugelgelenk wieder und ergänzten es mit dem fehlenden Sicherungselement. Die Funktion der Isolationsklappe wurde am darauffolgenden Tag überprüft. Das Vorkommnis hatte eine geringe sicherheitstechnische Bedeutung. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die nicht spezifikationsgemässe Montage, die Dokumentation und die Instandhaltungsunterlagen einer Isolationsklappe der SEHR-Lüftung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt der Auslegungsvorgaben, der Betriebsvorgaben und des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 3 und 4 sowie das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

■ Am 6. Oktober 2023 stellte das KKL während eines Kontrollrundgangs nach erfolgreichem Funktionstest einer Division des Notkühlwassers eine Kleinstleckage an einer Absperrklappe fest. Die Absperrklappe war geschlossen. Die Leckage befand sich an der drucklosen Seite der Klappe in Richtung Kühlturmbecken. Ursache für die Leckage ist Erosion, begünstigt durch ein frühzeitiges, lokales Versagen der Korrosionsbeschichtung. Die Verantwortlichen dichteten die schadhafte Stelle vorübergehend durch eine Rohrschelle ab. Innerhalb von vier Tagen tauschte das KKL die Armatur aus. Das Notkühlwasser der betroffenen Division war zu jedem Zeitpunkt uneingeschränkt verfügbar. Das Vorkommnis hatte eine geringe sicherheitstechnische Bedeutung. Das ENSI



Kühlturmreinigung. Foto: KKL

ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Leckage an einer Absperrklappe einer Division des Notkühlwassers der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

Die Anzahl Vorkommnisse in den vergangenen zehn Jahren ist im Anhang in Figur 2 dargestellt. Eine Übersicht über die meldepflichtigen Vorkommnisse im Berichtsjahr findet sich in Tabelle 4.

3.3 Inspektionen

Neben den durch das Basisinspektionsprogramm vorgegebenen Inspektionen finden jährlich diverse weitere Inspektionen im KKL statt. Je nach Inspektionsziel finden sie angekündigt oder unangekündigt statt. Den bisherigen Erfahrungen entsprechend bewertete das ENSI auch im Berichtsjahr die weit überwiegende Anzahl von Bewertungsgegenständen mit Normalität, einige mit Verbesserungebedarf. Bei zwei im Berichtsjahr durchgeführten Inspektionen vergab das ENSI aufgrund festgestellter Differenzen zwischen Soll- und Istzustand die Bewertung A (Abweichung):

Am 8. Mai 2023 traf das ENSI um 20.40 Uhr im KKL zu einer unangekündigten Inspektion zum Thema «Zutritt zur Kernanlage sowie Anwesenheit und Ausbildung des Strahlenschutzpersonals» ein. Dem ENSI wurde um 20.47 Uhr vom Schichtchef der Wache der Zutritt zur Anlage mit der Begründung verweigert, dass das ENSI die Anlage nur in Begleitung eines Strahlenschutz-Sachverständigen betreten dürfe. Um 21.23 Uhr und damit innerhalb der vom KKL für diesen Pikettdienst vorgesehenen Zeitspanne traf der Strahlenschutz-Verantwortliche ein, der von der Wache angefordert worden war. Dem ENSI wurde der Zutritt auf das Gelände schliesslich nach 43 Minuten gewährt. Diese Zeitspanne ist zu lang. Dem ENSI ist jederzeit ein rascher Zutritt zu gewähren. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die zeitweilige Verweigerung des Zugangs der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit sicherheitsebenen- und schutzzielübergreifender Bedeutung.

Am 10. Oktober 2023 führte das ENSI im KKL eine angekündigte Inspektion zum Thema «Massnahmen bei Extremwetterbedingungen» durch. Im Rahmen dieser Inspektion wurde stichprobenartig geprüft, ob die Vorkehrungen gegen Extremwetter angemessen umgesetzt waren. Eine Vorschrift, in welcher die Massnahmen nach einem Vereisungsregen beschrieben sind, war entgegen der Ankündigung des KKL nicht erstellt worden. Enteisungsmittel (Chemika-

Einsetzen des Rotors in den Generator. Foto: KKL

lien und Sprühsystem) standen jedoch auf dem Anlageareal zur Verfügung. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung das Fehlen der Vorschrift für Massnahmen nach einem Vereisungsregen der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt der Betriebsvorgaben mit sicherheitsebenen- und schutzzielübergreifender Bedeutung.

3.4 Anlagentechnik

3.4.1 Revisionsarbeiten

Die Jahreshauptrevision dauerte vom 1. bis zum 31. Mai 2023. Bestimmend für die Länge der Revision waren unter anderem die durchgeführten Arbeiten am Steuerstabfahr- und Anzeigesystem sowie die Divisionsrevisionen. Parallel dazu fanden Instandhaltungsarbeiten und Inspektionen an mechanischen und elektrischen Einrichtungen sowie an Bauwerken statt, ausserdem zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen sowie wiederkehrende Funktionsprüfungen und Begehungen an Systemen. Die ursprünglich vorgesehene Reparatur am Steigrohr zweier Strahlpumpen hat das KKL auf die nächste Jahreshauptrevision verschoben.

Erwähnt seien folgende Arbeiten und Prüfergebnisse:

- Die indirekten visuellen Inspektionen der Reaktordruckbehälter-Bodenkalotte, die mechanisierten Ultraschallprüfungen an vier Reaktordruckbehälter-Stutzen und an den Mischnähten von zwei Reaktordruckbehälter-Stutzen sowie die manuellen Ultraschallprüfungen der Reaktordruckbehälter-Gewindesacklöcher ergaben keine bewertungspflichtigen Befunde.
- Das KKL wiederholte während der Jahreshauptrevision 2023 die visuellen Inspektionen am Steigrohr zu einem Strahlpumpen-Paar. Die Anzeigen ergaben kein weiteres Risswachstum.
- Es wurden Kalibrierungen an drei Divisionen durchgeführt.

3.4.2 Anlageänderungen

Folgende Anlageänderungen seien erwähnt:

- Das KKL realisierte den ersten Teil einer Modifikation der Reaktordruckbehälter-Füllstandsmessung, die in anderen BWR-6-Anlagen bereits in ähnlicher Form umgesetzt ist. Die Änderung führt eine kontinuierliche Nachspeisung der Referenzsäulen der Messung ein. Das erhöht die Robustheit der Messung.
- Das KKL setzte den neu gewickelten Generatorrotor ein und führte gleichzeitig eine grosse Generatorrevision sowie notwendige Anpassungen an Erregung und Blockschutz durch.
- Der Ersatz der Mauell-Pultbausteine im Kommandoraum und der Ersatz der Rosemount-Transmitter wurden fortgesetzt.
- Im Abgassystem wurde ein Gebläse ersetzt.

3.4.3 Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente

Der Reaktor wurde im Berichtsjahr bis zur Abstellung für die Jahreshauptrevision Anfang Mai planmässig betrieben. Es traten keine Defekte an Brennelementen auf. Die Integrität der ersten Barriere zum Schutz gegen den Austritt radioaktiver Stoffe war somit jederzeit gegeben.

Für den laufenden Betriebszyklus wurden 132 frische Brennelemente nachgeladen. Davon stammen 108 von Framatome und 24 von Westinghouse Electric Sweden AB.

Wie in den Jahren zuvor führte das KKL auch während der Jahreshauptrevision 2023 Inspektionen an Brennelementen durch. Das Erscheinungsbild und die Messergebnisse aller Brennelemente bestätigten das auslegungsgemässe Verhalten. Sie können weiterhin im Reaktor eingesetzt werden.

Die permanenten Analysen der Wasserchemie zeigten die Integrität der Steuerstäbe auf. Da die maximal zulässigen Abbrandgrenzwerte für alle eingesetzten Steuerstäbe bis zum Ende des 40. Betriebszyklus eingehalten werden, ersetzte das KKL in der Jahreshauptrevision keine Steuerstäbe.

Das KKL betrieb den Reaktorkern auslegungsgemäss und im bewilligten Rahmen. Die Ergebnisse der reaktorphysikalischen Messungen stimmten gut mit den Ergebnissen der Kernauslegungsberechnung überein. Die Betriebsgrenzen wurden eingehalten.

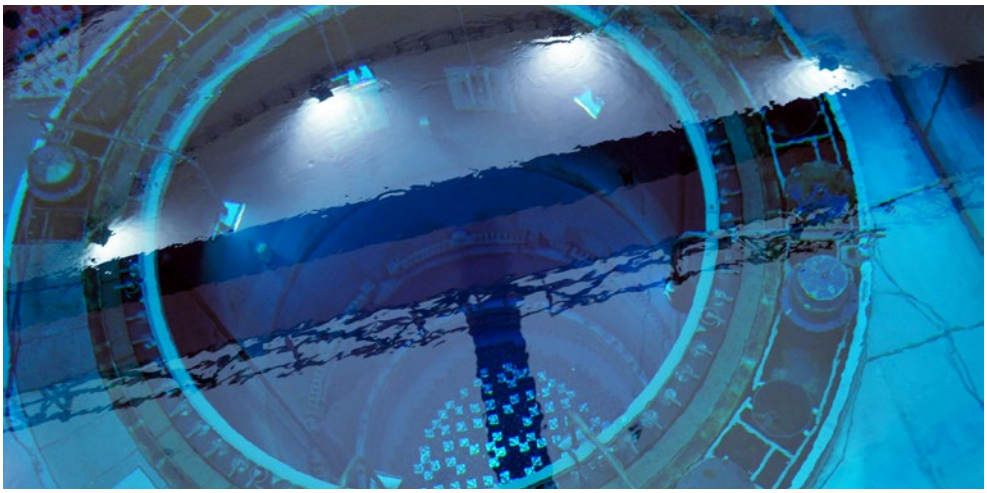
3.5 Strahlenschutz

Das KKL führte auch aus der Sicht des Strahlenschutzes eine erfolgreiche Jahreshauptrevision 2023 durch. Sie ergab eine Kollektivdosis von 946 Pers.-mSv und eine maximale Individualdosis von 5,9 mSv. Die tatsächliche akkumulierte Kollektivdosis lag damit rund 22 % tiefer als die Plandosis von 1214 Pers.-mSv. Im Berichtsjahr setzte sich die Rekontamination von Systemen nach den umfangreichen Systemdekontaminationen während der Jahreshauptrevision im Jahr 2021 fort. Daraus resultierte ein moderater Anstieg der Ortsdosisleistungen im Bereich der Umwälzschleifen.

Das ENSI untersuchte das Vorkommnis «Abweichungen bei Dichtheitsprüfungen an Strahlenquellen» vom 23. Dezember 2022 im Berichtsjahr detailliert. Dieses Vorkommnis erachtet das ENSI als relevant für die Organisation des betrieblichen Strahlenschutzes. Die Leckage an der Schweissnaht einer Armatur einer Entleerungsleitung einer Reaktorwasserumwälzschleife vom 9. Mai 2023 hingegen stuft das ENSI in seiner Bedeutung für den Strahlenschutz als gering ein. In beiden Fällen adressierte das KKL die gewonnenen Erkenntnisse in angemessener Weise.

Die Inspektionen des ENSI bestätigten, dass das KKL in allen Betriebsphasen einen zielführenden Strahlenschutz betrieb.

Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen, Iod und Edelgasen lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Abgabelimiten. Die gleiche Aussage gilt auch für die radioaktiven Abgaben mit dem Abwasser ohne Tritium. Die Tritiumabgaben des KKL betrugen rund 1 % der Jahresabgabelimite. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern durch. Sie stimmten mit den vom KKL gemeldeten Analyseergebnissen überein. Aus den tatsächlich über die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnete das ENSI die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKL unter ungünstigen Annahmen. Die potenziellen Jahresdosen betrugen rund 0,002 mSv für Erwachsene, 0,003 mSv für Zehnjährige sowie 0,005 mSv für Kleinkinder und lagen damit deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr gemäss der Richtlinie ENSI-G15 (Strahlenschutzziele für Kernanlagen). Die Dosisleistungsmesssonden des vom ENSI betriebenen Messnetzes (MADUK) in der Umgebung des Werkes zeigten keine durch den Betrieb der Anlage erhöhten Werte. Im Nahbereich eines Siedewasserreaktors ist die Ortsdosisleistung durch Direkt- und Streustrahlung aus dem Maschinenhaus erhöht. Die Thermolumineszenz-Dosimeter, die an mehreren Stellen am



Offener Kern.
Foto: KKL

Zaun des Kraftwerkareals angebracht sind, zeigten mit einem Höchstwert von 0,02 mSv pro Woche einen vergleichbaren Wert wie im Vorjahr. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen an der Umzäunung des KKL durch, die ebenfalls keine signifikanten Veränderungen zeigten. Die Messungen des Betreibers und des ENSI bestätigten die Einhaltung der nach Artikel 79 Absatz 2 der Strahlenschutzverordnung anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerkareals von 0,02 mSv pro Woche für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 0,1 mSv pro Woche für andere Bereiche. Für detailliertere Angaben zur radiologischen Situation innerhalb und ausserhalb des KKL wird auf den Strahlenschutzbericht 2023 des ENSI verwiesen.

3.6 Radioaktive Abfälle

Radioaktive Rohabfälle fallen im KKL regelmässig aus den Wasserreinigungssystemen sowie der Abgas- und Fortluftreinigung an. Weitere Abfälle stammen aus dem Austausch von Komponenten bei Instandhaltungs-, Umbau- oder Nachrüstungsmassnahmen und von den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien. Im Berichtsjahr fielen 57 m³ radioaktive Rohabfälle an (siehe Tabelle 6). Die Menge entsprach den Erwartungen aufgrund der durchgeführten Arbeiten. Die radioaktiven Rohabfälle werden gesammelt, kampagnenweise konditioniert und anschliessend zwischengelagert. Das KKL bewahrt die unkonditionierten Abfälle in dafür vorgesehenen Räumlichkeiten der kontrollierten Zone auf. Ihr Bestand liegt mit 5 m³ im Erfahrungsbereich der vergangenen Jahre. Brennbare und weitere Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in den Anlagen der Zwilag in Würenlingen bereitgestellt und dorthin transportiert.

Als Konditionierungsverfahren für die Betriebsabfälle kommt im KKL hauptsächlich die Zementierung von Harzen und Konzentraten zum Einsatz. Für alle angewandten Verfahren liegen die behördlichen Typengenehmigungen vor. Im Berichtsjahr wurden 28 Gebinde konditioniert.

Die konditionierten Abfallgebinde werden im werkseigenen Zwischenlager eingelagert. Das KKL nutzt zudem die Kapazitäten des Zentralen Zwischenlagers der Zwilag. Im Berichtsjahr wurden 30 Gebinde dorthin transportiert. Bei der jährlichen Inspektion des Lagerguts im KKL zeigten sich keine meldepflichtigen Befunde. Die radioaktiven Abfälle des KKL sind in einem von allen schweizerischen Kernanlagen eingesetzten elektronischen Buchführungssystem erfasst, sodass die Information über Menge, Lagerort und radiologische Eigenschaften jederzeit verfügbar ist.

Wichtig bei der Minimierung der radioaktiven Abfälle ist die Befreiung von Materialien aus der kontrollierten Zone. Im KKL wurden im Berichtsjahr insgesamt 124,9 t Material befreit.

Bestrahlte Brennelemente werden nach einigen Jahren Lagerung im werkseigenen Brennelementbecken in Transport- und Lagerbehälter verpackt und in das Zentrale Zwischenlager der Zwilag zur Trockenlagerung überführt. Im Berichtsjahr fanden drei Transporte mit insgesamt 207 Brennelementen statt. Weitere Angaben zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente finden sich in Kapitel 8.

3.7 Notfallbereitschaft

Die Notfallorganisation des KKL ist für die Bewältigung aller Notfälle innerhalb des Werkareals zuständig. Mit einer zweckmässigen Organisation, geeigneten Führungsprozessen und -einrichtungen zusammen mit einer entsprechenden Auslegung der Anlage hat das KKL die Notfallbereitschaft auf hohem Niveau sicherzustellen.

Das ENSI beobachtete und beurteilte die Notfallorganisation des KKL im März 2023 im Rahmen der Stabsnotfallübung UFORUDSET. Es wurde folgende Ausgangslage unterstellt: Die Anlage befand sich im ungestörten Volllastbetrieb. Aufgrund von Reparaturarbeiten war eine Steuerstabantriebspumpe nicht verfügbar. Ein LKW hatte Wasserstoff angeliefert und befand sich in der Schleuse auf der Fahrt nach draussen. Zur gleichen Zeit versammelten sich zahlreiche Umweltaktivisten vor dem KKL und forderten die Abschaltung des Werks. Die Aktivisten blockierten die Ausfahrt des LKWs und schleuderten zwei Brandsätze in dessen Richtung. Der LKW fing Feuer. Zahlreiche Mitglieder der Notfallorganisation mussten sich immer wieder ablösen lassen, weil sie verdorbenes Essen zu sich genommen hatten.

Im weiteren Verlauf der Übung kam es zu einer Dampfleckage in einer Messleitung im Containment mit anschliessendem Messleitungsbruch. Ein Operateur verletzte sich. In der Folge wurde der Start einer Division und das dampfgetriebene Kernkühlsystem angeregt. Der Druck im Containment stieg an. Beim eingeleiteten Abfahren fiel die noch verbliebene Steuerstabantriebspumpe wegen eines Motorschadens aus. Die daraufhin erforderliche Reaktorschnellabschaltung funktionierte nicht vollständig. Der weitere Übungsverlauf fand somit unter ATWS-Bedingungen (Anticipated Transient without Scram) statt. Eine Fehlfunktion am Vergiftungssystem erforderte schliesslich die alternative Boreinspeisung, um den Reaktor abzuschalten.

Die vorgegebenen Übungsziele für Stabsnotfallübungen gemäss der Richtlinie ENSI-B11 (Notfallübungen) wurden erreicht. Das KKL verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation. Eine Inspektion im August 2023 zeigte zudem, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit waren.

Ferner löste das ENSI im November 2023 ohne Voranmeldung einen Übungsalarm im KKL aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Werknotfallstabs innerhalb der zeitlichen Vorgaben gemäss der Richtlinie ENSI-B11 bestätigt wurde.

3.8 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr erhöhte sich der Personalbestand des KKL auf 502 Personen (ohne Lernende), welche 494 Vollzeitstellen besetzten (Ende 2022: 479 Personen, ohne Lernende). Der Personalaufbau ist Teil der langfristigen Strategie im Hinblick auf den Langzeitbetrieb.

Nach Abschluss des Projektes Sicherheitskultur im Jahr 2022 führte das KKL viele der damals initiierten periodischen Massnahmen als integralen Bestandteil der Entwicklung der Unternehmenskultur weiter, unter anderem Monatsthemen mit speziellen Aktionen. Ebenfalls führte das KKL im Berichtsjahr eine Mitarbeiterumfrage durch, mit dem Ziel der Selbstbewertung der eigenen Sicherheitskultur.

Bei zwei Vorkommnissen aus den Jahren 2022 und 2023 identifizierte das KKL Grundursachen im Bereich «Mensch und Organisation». Im Berichtsjahr zeigte sich bei einem Vorkommnis Handlungsbedarf bezüglich des Wissenstransfers. Das nahm das KKL zum Anlass, den Wissenstransfer effektiver zu gestalten. Ausgehend vom Vorkommnis «Abweichungen bei Dichtheits-

prüfungen an Strahlenquellen» vom 23. Dezember 2022 stellte das KKL in der Abteilung Überwachung einen Ressourcenbedarf fest. Geplant ist eine Aufstockung der personellen Ressourcen um rund 25 %.
Das Managementsystem des KKL besitzt eine bis zum 1. Juli 2025 gültige Zertifizierung gemäss der Norm SN EN ISO 9001:2015. Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion zum Managementsystem durch mit dem Thema «Erkennung und Behandlung von geringfügigen Abweichungen und Beinahe-Ereignissen». Das KKL legte dem ENSI im Rahmen der Inspektion dar, dass sein Managementsystem über geeignete Prozesse verfügt, um geringfügige Abweichungen und Beinahe-Ereignisse zu erkennen, zu behandeln und die Wirksamkeit der daraus abgeleiteten Massnahmen zu überprüfen. Damit erfüllen die entsprechenden Prozesse des Managementsystems die zugehörigen Vorgaben des Artikels 41 der Kernenergieverordnung und der Richtlinie ENSI-G07 (Organisation von Kernanlagen). Zudem überprüfte das ENSI im Rahmen einer weiteren Inspektion die Prozesse des Managementsystems im Bereich der Alterungsüberwachung und Instandhaltung sowie zur Berücksichtigung der internen und externen Betriebserfahrung bei maschinentechnischen Komponenten am Beispiel des Speisewasserbehälters. Das KKL erfüllt die Anforderungen der Artikel 32 und 36 der Kernenergieverordnung und der Richtlinie ENSI-G07.
Im Berichtsjahr führte das KKL keine Zulassungsprüfungen durch. Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in Tabelle 3 zusammengestellt.
Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2022 und zur Planung des Ausbildungsprogramms 2023 der Abteilung Betrieb durch. Gegenstand der Inspektion waren die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator und die allgemeine Wiederholungsschulung sowie deren Änderungen und Neuerungen. Ferner wurde das Ausbildungsprogramm des Personals der Abteilung Sicherheit auf die Einhaltung der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen und der Richtlinie ENSI-B10 (Ausbildung, Wiederholungsschulung und Weiterbildung von Personal) überprüft. Die Ausbildungsprogramme des KKL in den inspizierten Bereichen erfüllten die Anforderungen.

3.9 Periodische Sicherheitsüberprüfung

Das KKL reichte dem ENSI die Dokumente für die Periodische Sicherheitsüberprüfung einschliesslich eines Sicherheitsnachweises für den Langzeitbetrieb fristgerecht per Ende 2022 ein. Das ENSI unterzog die eingereichte Dokumentation einer Grobprüfung. Am 3. August 2023 teilte das ENSI dem KKL das Ergebnis der Grobprüfung mit insgesamt 19 Nachforderungen mit. Die Nachforderungen betreffen unter anderem die Auslegung und Qualifikation der mechanisch aktiven Komponenten sowie den Brandschutz.

3.10 Sicherheitsbewertung

Im Jahr 2023 beurteilte das ENSI mit dem im Anhang (Erläuterungen zur Sicherheitsbewertung) beschriebenen System sämtliche Inspektionsgegenstände, Ergebnisse von Zulassungsprüfungen, Einzelaspekte von Vorkommnisabläufen und Sicherheitsindikatoren bezüglich ihrer Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Dabei kam das ENSI für die einzelnen Zellen der Sicherheitsbewertungsmatrix zu den nachfolgenden Beurteilungen.
Zellen ohne Bewertung bedeuten, dass weder Inspektionsergebnisse, Zulassungsprüfungen, Vorkommnisse noch Sicherheitsindikatoren eine Bedeutung für diese Zellen hatten. Die Zellenbewertungen richten sich nach der höchsten einer Zelle zugeordneten Bewertung eines Sachverhalts.
Zusammenfassend kommt das ENSI zu folgenden Gesamtbewertungen:

Auslegungsvorgaben

Das ENSI beurteilt die in Unterkapitel 3.2 aufgeführte Abweichung im Bereich der

Auslegungsvorgaben als Abweichung mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Weil Bewertungen der Kategorie A unterhalb der internationalen Ereignisskala INES vorliegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich der Auslegungsvoragaben als gut.

Betriebsvorgaben

Das ENSI beurteilt die in den Unterkapiteln 3.2 und 3.3 aufgeführten Abweichungen im Bereich der Betriebsvorgaben als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Weil Bewertungen der Kategorie A unterhalb der internationalen Ereignisskala INES vorliegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich der Betriebsvorgaben als gut.

Zustand und Verhalten der Anlage

Das ENSI beurteilt die in Unterkapitel 3.2 aufgeführten Abweichungen im Bereich des Zustands und Verhaltens der Anlage als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Weil Bewertungen der Kategorie A unterhalb der internationalen Ereignisskala INES vorliegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut.

Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

Das ENSI beurteilt die in den Unterkapiteln 3.2 und 3.3 beschriebenen Abweichungen im Bereich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als Abweichung mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Weil Bewertungen der Kategorie A unterhalb der internationalen Ereignisskala INES vorliegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als gut.

Ziele \ Bewertungsgegenstand		Anforderungen		Betriebsgeschehen	
		Auslegungs-vorgaben	Betriebs-vorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation
Sicherheitsebenen	Ebene 1	N	V	A	A
	Ebene 2	N	V	A	A
	Ebene 3	A	A	A	N
	Ebene 4	A	A	A	N
	Ebene 5			N	N
Barrieren	Integrität der Brennelemente			N	
	Integrität des Primärkreises	N	V	A	N
	Integrität des Containments			N	N
Ebenen- oder barrierenübergreifende Bedeutung			A	A	A

Sicherheitsbewertung 2023 KKL: Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge
Bewertungen bezüglich Transporten zu und von den Kernkraftwerken werden im Text behandelt, aber für die anlagenspezifische Gesamtbewertung nicht berücksichtigt.

Ziele \ Bewertungsgegenstand		Anforderungen		Betriebsgeschehen	
		Auslegungs-vorgaben	Betriebs-vorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation
Schutzziele	Kontrolle der Reaktivität		V	A	N
	Kühlung der Brennelemente	A	A	A	A
	Einschluss radioaktiver Stoffe		V	A	N
	Begrenzung der Strahlenexposition			N	N
	Schutzzielübergreifende Bedeutung		A	A	A

Sicherheitsbewertung 2023 KKL: Schutzziel-Perspektive
Anmerkung: alternative Darstellung derselben Sachverhalte wie in der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge, aber mit zusätzlicher Darstellung radiologischer Auswirkungen.

4

4. Kernkraftwerk Mühleberg

4.1 Überblick

Das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) stellte seinen Leistungsbetrieb am 20. Dezember 2019 endgültig ein. Im Jahr 2020 wurden die für die Etablierung des sicheren technischen Nachbetriebs erforderlichen Massnahmen umgesetzt. Am 15. September 2020 löste die Stilllegungsverfügung des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK die Betriebsbewilligung ab. Seitdem gilt das KKM als endgültig ausser Betrieb genommen. Im Jahr 2023, während der Stilllegungsphase 1, wurden die restlichen 215 Brennelemente in das Zentrale Zwischenlager der Zwilag in Würenlingen abtransportiert. Das ENSI erteilte am 5. Juli 2023 die Konzeptfreigabe für die Stilllegungsphase 2 unter Auflagen. Zusätzlich bearbeitete es die nötigen separaten Einzelfreigaben. Nachdem das ENSI den Abschluss der Stilllegungsphase 1, die Kernbrennstofffreiheit und die Erfüllung der Auflagen geprüft hatte, bestätige es am 6. September 2023 den Übergang in die Stilllegungsphase 2.

Im Zentrum der Aufsicht des ENSI steht weiterhin die Sicherstellung der Einhaltung der verbleibenden Schutzziele zur Gewährleistung der nuklearen Sicherheit: «Einschluss radioaktiver Stoffe» und «Begrenzung der Strahlenexposition».

Das KKM, das seinen kommerziellen Betrieb im Jahr 1972 aufnahm und im Jahr 2019 beendete, war eine Siedewasserreaktor-Anlage mit 373 MW elektrischer Nettoleistung. Weitere Daten sind in den Tabellen 1 und 2 des Anhangs zu finden. Figur 5b zeigt das Funktionsschema einer Siedewasserreaktor-Anlage.

Das ENSI führte im Berichtsjahr im Rahmen seiner Aufsicht 50 Inspektionen durch. Wo erforderlich, verlangte das ENSI Verbesserungsmassnahmen und überwachte deren Umsetzung.

Die für beruflich strahlenexponierte Personen geltenden Dosisgrenzwerte wurden eingehalten.

Die radioaktiven Abgaben lagen deutlich unterhalb der in der Stilllegungsverfügung festgelegten Limiten.

Die Menge radioaktiver Rohabfälle entsprach dem aufgrund der durchgeführten Arbeiten zu erwartenden Umfang.

4.2 Vorkommnisse

Im Berichtsjahr war ein meldepflichtiges Vorkommnis mit Bezug zur Sicherung zu verzeichnen, welches das ENSI der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 0 zuordnete.

■ Am 2. Oktober 2023 fiel die Stromversorgung der Sicherungszentrale aus. Eine vorgängig fehlerhaft ausgeführte Absicherung für die geplante Wartung des Notstromdiesels hatte dazu geführt, dass die Sicherungszentrale unbemerkt nur noch durch Batterien versorgt wurde. Nachdem deren Kapazität erschöpft war, kam es zu Systemausfällen. Die Anlage und die Systeme verhielten sich auslegungsgemäss. Die Schutzziele der Sicherung waren jederzeit gewährleistet. Die Verantwortlichen setzten die definierten Ersatzmassnahmen um. Das Zutrittskontrollsystem sowie das Dosimetriesystem waren vom Stromausfall nicht betroffen. Die Verantwortlichen identifizierten die Ursache für den Systemausfall und stellten die Stromversorgung wieder her. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Ausführung der Absicherung für die Wartung eines Notstromdiesels und die Einhaltung der Meldekriterien der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

Die Anzahl Vorkommnisse in den vergangenen zehn Jahren ist im Anhang in Figur 2 dargestellt. Eine Übersicht über die meldepflichtigen Vorkommnisse im Berichtsjahr findet sich in Tabelle 4.

Kernkraftwerk Mühleberg. Foto: ENSI

Systeme, die ausser Betrieb sind, werden markiert.
Foto: BKW

4.3 Anlageänderungen

Das KKM hat im Berichtsjahr mehrere Anlageänderungen durchgeführt. Darüber hinaus wurden dem ENSI zahlreiche Ausserbetriebnahmen und Demontagen von Systemen, Strukturen und Komponenten in den unterschiedlichen Bereichen der Anlage gemeldet. Das ENSI hat sie aufsichtlich begleitet:

- Das KKM konnte die Zerlegung der Kerneinbauten im Reaktorgebäude auf der Ebene +29 m aufgrund von Abweichungen von der ursprünglich geplanten Vorgehensweise nicht bis Ende 2021 abschliessen. Die Arbeiten mussten während des Abtransports der Brennelemente zwischen April 2022 und September 2023 zudem unterbrochen werden. Das ENSI hat die Massnahmen für die nötigen Änderungen der Hilfseinrichtungen für die weitere Zerlegung der Kerneinbauten nach dem Unterbruch freigegeben. Unter anderem wurde ein Dichtschott für das Einbautenbecken installiert und getestet und das vorhandene Quertrenngerät ertüchtigt.
- Das ENSI hat für die vorbereitenden Massnahmen und für die Demontagen von Systemen, Strukturen und Komponenten im Sicherheitsbehälter eine Freigabe erteilt. Im Rahmen der Vorbereitung spülte das KKM unter anderem die Sicherheitsventile und setzte Trennstellen zum Reaktordruckbehälter.
- Das KKM schloss die segmentweise Zerlegung des inneren Torus im Reaktorgebäude im Berichtsjahr unter Gefahrstoffbelastung zum Grossteil ab.
- Im Rahmen der Vorbereitung für die Demontage von Systemen und Komponenten im Maschinenhaus und im Reaktorgebäude erforderten Asbestfunde zusätzliche Sanierungen.
- Das KKM beendete die Demontage der Speisewasserpumpen im Maschinenhaus. Auch hier erforderten Asbestfunde zusätzliche Sanierungen.
- Die Demontage des Zusatzwassertanks im Maschinenhaus wurde abgeschlossen.
- Ein externer Dienstleister begann mit der Demontage eines Wasserabscheider-Zwischenüberhitzers im Maschinenhaus und dem Verpacken der Teile in LC86-Container.

Die Gefahrstoffproblematik benötigt im Hinblick auf die Arbeitssicherheit des Personals, neben der radiologischen Situation, weiterhin eine erhöhte Aufmerksamkeit des ENSI und der Suva.

Das KKM nahm zahlreiche Systeme ausser Betrieb. Dazu gehörten insbesondere das Versetzen der vorhandenen mechanischen Trennstellen des nuklearen Dampferzeuger-Systems im Drywell, der Ausbau der Reaktor-Sicherheitsventile sowie der Verschluss der Frischdampfleitungen mit Blindflanschen. Auch die Aktivwäscherei im Betriebsgebäude und der Zwischenkühlkreis im Reaktorgebäude wurden ausser Betrieb genommen.

Halle mit freigemessenem Material. Foto: BKW

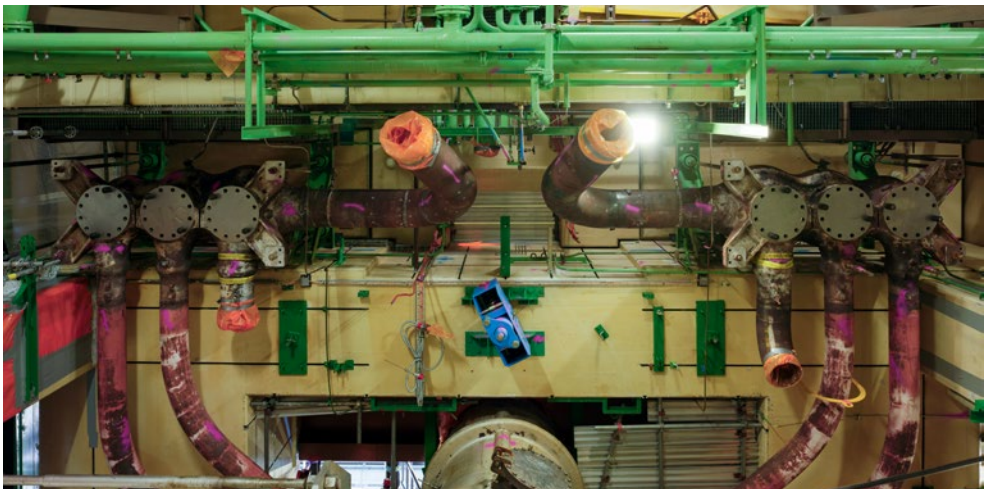
Das ENSI begleitete alle Anlageänderungen mit teilweise umfangreichen Freigabeverfahren. Zudem führte das ENSI eine Vorabkontrolle der Ausserbetriebnahme- und Demontagemeldungen durch und begleitete die korrekte Umsetzung mit Fachgesprächen und Inspektionen im KKM.

4.4 Brennelemente

Nach der Einstellung des Leistungsbetriebs am 20. Dezember 2019 wurden die Brennelemente aus dem Reaktorkern entladen. Im Berichtsjahr wurden die restlichen 215 Brennelemente im Rahmen von vier Kampagnen in das Zentrale Zwischenlager der Zwilag transportiert. Der letzte Transport fand am 1. September 2023 statt. Weitere Angaben zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente finden sich in Kapitel 8.

4.5 Strahlenschutz

Das KKM schloss im Berichtsjahr den Abtransport der Brennelemente ab und reichte am 31. August den Antrag auf Feststellung der Kernbrennstofffreiheit ein. Die Bestätigung des ENSI erfolgte anhand einer dedizierten Inspektion am 6. September 2023. Das ENSI gab im Berichtsjahr die Stilllegungsphase 2 frei und prüfte die damit verbundene Anpassung des Zonenkonzeptes.
Trotz der vielfältigen und komplexen Rückbauarbeiten konnte das KKM einen radiologisch sauberen Anlagezustand aufrechterhalten. Es kam zu keinen unerwarteten Kontaminationen oder erhöhten Dosisleistungen. Davon konnte sich das ENSI an seinen Inspektionen überzeugen.
Insgesamt betrug die Kollektivdosis im Berichtsjahr 415 Pers.-mSv bei einer maximalen Individualdosis von 8,0 mSv.
Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen und Edelgasen lagen deutlich unterhalb der in den Abgabereglementen festgelegten Limiten. Dies gilt auch für die radioaktiven Abgaben mit dem Abwasser ohne Tritium. Die Tritiumabgaben des KKM betrugen einige wenige Prozente der Jahresabgabelimite. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Aerosolfiltern durch. Sie stimmten mit den vom KKM gemeldeten Analyseergebnissen überein. Aus den tatsächlich über die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnete das ENSI die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKM unter ungünstigen Annahmen. Die potenziellen Jahresdosen betrugen rund 0,002 mSv für Erwachsene, Zehnjährige und Kleinkinder und lagen somit deutlich unter dem quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0,3 mSv pro Jahr gemäss der Richtlinie ENSI-G15 (Strahlenschutzziele für Kernanlagen). Die Dosisleistungsmesssonden des vom ENSI betriebenen Messnetzes in der Umgebung des Werkes (MADUK) zeigten keine durch den Betrieb der Anlage erhöhten Werte.



Demontage im Maschinenhaus. Foto: BKW

Die mit der Stilllegung verbundenen Logistik-Vorgänge auf dem Areal führten zu einer zulässigen, örtlichen und temporären Erhöhung der Ortsdosisleitung am Zaun. Die quartalsweise ausgewerteten Thermolumineszenz-Dosimeter, welche an mehreren Stellen am Zaun des Kraftwerkareals angebracht sind, zeigten einen Höchstwert von 0,016 mSv pro Woche. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen am Zaun des Kraftwerkareals durch. Die Messungen zeigten vereinzelte, temporäre Erhöhungen der Ortsdosisleistung, die auf die Rückbauarbeiten zurückzuführen sind. Die Messungen des Betreibers und des ENSI bestätigten die Einhaltung der nach Artikel 79 Absatz 2 der Strahlenschutzverordnung anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerkareals von 0,02 mSv pro Woche für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 0,1 mSv pro Woche für andere Bereiche. Für detailliertere Angaben zur radiologischen Situation innerhalb und ausserhalb des KKM wird auf den Strahlenschutzbericht 2023 des ENSI verwiesen.

4.6 Radioaktive Abfälle

Radioaktive Rohabfälle fallen im KKM aus dem Rückbaubetrieb, den Rückbauaktivitäten und den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien an. Im Berichtsjahr waren es 119 m³ (siehe Tabelle 6).

Die radioaktiven Rohabfälle werden gesammelt, kampagnenweise konditioniert und anschliessend zwischengelagert. Das KKM bewahrt unkonditionierte Abfälle in dafür vorgesehenen Räumlichkeiten der kontrollierten Zone auf. Brennbare und weitere Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in den Anlagen der Zwilag in Würenlingen bereitgestellt und dorthin transportiert. Metallische kontaminierte Komponenten wurden zum Einschmelzen ins Ausland transportiert. Die dabei anfallenden radioaktive Sekundärabfälle werden in die Schweiz zurückgeführt.

Als Konditionierungsverfahren für die Rückbaubetriebs- und Stilllegungsabfälle kommt im KKM hauptsächlich die Zementierung zum Einsatz. Ferner werden Stilllegungsabfälle in Betoncontainern in die Anlagen der Zwilag transferiert zur späteren Zementierung in der Konditionierungsanlage. Die erforderlichen behördlichen Typengenehmigungen liegen sowohl für Betriebs- als auch für Stilllegungsabfälle vor. Im Berichtsjahr wurden acht Abfallgebinde mit Reaktorabfällen konditioniert.

Die im KKM konditionierten Abfallgebinde werden zunächst in das werkseigene Zwischenlager eingelagert. Das KKM plant, sein Zwischenlager mittelfristig zu leeren, und nutzt dafür die Kapazitäten des Zentralen Zwischenlagers der Zwilag. Im Berichtsjahr wurden 788 konditionierte Abfallgebinde dorthin transferiert. Bei der Inspektion des Lagerguts im KKM zeigten sich keine meldepflichtigen Befunde. Die radioaktiven Abfälle

Demontagearbeiten in der Kondensation. Foto: Keystone / Peter Klaunzer

des KKM sind in einem von allen schweizerischen Kernanlagen eingesetzten elektronischen Buchführungssystem erfasst, sodass die Information über Menge, Lagerort und radiologische Eigenschaften jederzeit verfügbar ist.

Wichtig bei der Minimierung der radioaktiven Abfälle ist die Befreiung von Materialien aus der kontrollierten Zone. Im KKM wurden im Berichtsjahr insgesamt 670 t Material befreit.

Im Berichtsjahr fanden vier Transportskampagnen statt, in deren Verlauf Brennelemente zunächst in das Zentrale Zwischenlager der Zwilag transportiert und dort für die Zwischenlagerung in vier Transport- und Lagerbehälter umgeladen wurden. Insgesamt wurden während dieser vier Kampagnen 215 Brennelemente abtransportiert. Mit dem Abschluss der vierten Transportkampagne wurde das KKM im September 2023 brennstofffrei.

4.7 Notfallbereitschaft

Die Notfallorganisation des KKM ist für die Bewältigung aller Notfälle innerhalb des Werkareals zuständig. Mit einer zweckmässigen Organisation, geeigneten Führungsprozessen und -einrichtungen zusammen mit einer entsprechenden Auslegung der Anlage hat das KKM die Notfallbereitschaft auf hohem Niveau sicherzustellen.

Das ENSI beobachtete und beurteilte die Notfallorganisation des KKM zusammen mit der kantonalen Aufsichtsbehörde für das Feuerwehrwesen im November 2023 im Rahmen der Werksnotfallübung NEPTUN mit Schwerpunkt Feuerwehreinsatz. Das Szenario unterstellte, dass ein externer Servicemitarbeiter nach den abgeschlossenen Arbeiten den Heizkessel wieder in Betrieb nahm. Der Servicemitarbeiter verletzte sich schwer, als es aufgrund einer Fehlfunktion des Aggregates im Heizraum des Hilfsgebäudes zu einer Verpuffung kam. In Folge der Verpuffung kam es zu einem Brand im Hilfsgebäude. Der Brand drohte sich über den Bürotrakt in Richtung Werkstattgebäude zum unterirdischen Heizöltank auf die Pufferfläche auszubreiten. Letztere war mit Containern belegt, die mit radioaktivem Material gefüllt waren. Die Betriebssanität musste aufgrund der sich schnell ausbreitenden Rauchgase mehrere Personen mit Verdacht auf Rauchgasvergiftung behandeln. Bei der Ausserbetriebnahme der Zuluftanlage der kontrollierten Zone fielen wegen eines Kurzschlusses die 6-kV-Blockschienen aus. Die gesicherten 380-V-Schienen wurden weiter über die 16-kV-Notstromeinspeisung versorgt, die jedoch nach kuzer Zeit ebenfalls ausfiel. Dadurch standen auch die gesicherten 380-V-Schienen nicht mehr zur Verfügung.

Das KKM stufte die Ereignisse korrekt ein und meldete sie zeitgerecht an das ENSI. Aufgrund seiner Übungsbeobachtungen kam das ENSI zum Schluss, dass das KKM

Demontagearbeiten im Torus. Foto: Keystone / Peter Klaunzer

die vorgegebenen Ziele für Werksnotfallübungen mit Schwerpunkt Feuerwehreinsatz gemäss der Richtlinie ENSI-B11 (Notfallübungen) erreicht hat. Das KKM verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.
Eine Inspektion im November 2023 zeigte zudem, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit waren.
Ferner löste das ENSI im November 2023 ohne Voranmeldung einen Übungsalarm im KKM aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Notfallstabs innerhalb der zeitlichen Vorgaben gemäss der Richtlinie ENSI-B11 bestätigt wurde.

4.8 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr erhöhte sich der Personalbestand des KKM auf 273 Personen, die 266 Vollzeitstellen besetzen (Ende 2021: 270 Personen). Damit hat sich der Personalbestand des KKM 2023 geringfügig erhöht. Dies obwohl insgesamt 28 Personen das KKM verlassen haben. Die Erhöhung ist auf die Zusammenführung zweier Organisationseinheiten zurückzuführen: Die Standortorganisation und die Projektorganisation Stilllegung (bisher in der Konzernorganisation der BKW angesiedelt) mit ihren Aufgabenbereichen «strategische Entsorgung», «Abwicklung von Sonderprojekten» und «Koordination von Verfahren» wurden unter einem Dach zusammengefasst. Die neue Organisationsstuktur des KKM beinhaltet neben den Abteilungen «Anlage», «Überwachung» und «Rückbau» neu auch die Abteilung «Nukleare Strategie & Assets». Zudem wurde die Organisationseinheit «Fachstab und Support» aufgelöst und deren Aufgaben und Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf die beiden Abteilungen «Anlage» und «Nukleare Strategie & Assets» aufgeteilt.
Die Personalreeduktion der Standortorganisation entspricht der im Jahr 2017 prognostizierten Personalentwicklung (siehe Kostenstudie Stilllegung) und stellt die nukleare Sicherheit nicht in Frage.
Mit Beginn der Stilllegungsphase 2 wechselte das KKM vollständig in den Rückbaubetrieb. Das führte zu einer Änderung der Aufgaben und der erforderlichen Qualifikation des Personals im Kommandoraum und machte insbesondere die zulassungspflichtigen Funktionen des Reaktoroperateurs und des Schichtchefs obsolet (siehe Artikel 6 und 7 der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen). Entsprechend verantworten den Betrieb und die Überwachung der Anlage nun die neu geschaffenen Personengruppen «Gruppenleiter Betrieb» und «Mitarbeiter Betrieb».
Das Managementsystem ist nach den Normen ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 und ISO 45001:2018 zertifiziert. Die Rezertifizierung für den Stilllegungsbetrieb und den Rückbau fand im Jahr 2022 statt.

Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion zum Managementsystem durch mit dem Thema «Erkennung und Behandlung von geringfügigen Abweichungen und Beinahe-Ereignissen». Das KKM legte dem ENSI im Rahmen der Inspektion dar, dass sein Managementsystem über die geeigneten Prozesse verfügt, um geringfügige Abweichungen und Beinahe-Ereignisse zu erkennen, zu behandeln und die daraus abgeleiteten Massnahmen zu überprüfen. Damit erfüllen die entsprechenden Prozesse des Managementsystems die zugehörigen Vorgaben des Artikels 41 der Kernenergieverordnung und der Richtlinie ENSI-G07 (Organisation von Kernanlagen).

Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2022 und zur Planung des Ausbildungsprogramms 2023 in der Abteilung Anlage durch. Gegenstand der Inspektion waren die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung sowie Änderungen und Neuerungen. Ferner wurde das Ausbildungsprogramm des Personals der Fachstelle «Fachstab & Support» auf die Einhaltung der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen und der Richtlinie ENSI-B10 (Ausbildung, Wiederholungsschulung und Weiterbildung von Personal) überprüft. Die Ausbildungsprogramme des KKM in den inspizierten Bereichen erfüllten die Anforderungen.

5

5. Zentrales Zwischenlager Würenlingen

Das Zentrale Zwischenlager (ZZL) der Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG umfasst mehrere Zwischenlagergebäude, eine Konditionierungsanlage sowie eine Verbrennungs- und Schmelzanlage (Plasma-Anlage).

5.1 Zwischenlagergebäude

Die Zwischenlagergebäude der Zwilag dienen der Lagerung von abgebrannten Brennelementen und radioaktiven Abfällen aller Kategorien über mehrere Jahrzehnte bis zu deren Einlagerung in ein geologisches Tiefenlager. Die Lagergebäude umfassen die Behälterlagerhalle für abgebrannte Brennelemente und verglaste hochaktive Abfälle (Glaskokillen) aus der Wiederaufarbeitung (HAA-Lager), das Lagergebäude M für mittelaktive Abfälle (MAA-Lager) und das Lagergebäude S für schwach- und mittelaktive Abfälle (SAA-/MAA-Lager). Zum Zwischenlager gehören auch das Empfangsgebäude und die Heisse Zelle.

Im Berichtsjahr wurden sieben beladene Transport- und Lagerbehälter (T/L-Behälter) mit abgebrannten Brennelementen im HAA-Lager eingelagert, davon vier Behälter mit Brennelementen aus dem Kernkraftwerk Mühleberg, die erst in der Heissen Zelle des ZZL beladen wurden. Die Anlieferung dieser Brennelemente erfolgte mit kleineren Transportbehältern. Aus dem Kernkraftwerk Leibstadt wurden drei Transport- und Lagerbehälter angeliefert und eingelagert. Ende 2023 betrug der Lagerbestand 84 T/L-Behälter, davon 23 T/L-Behälter mit insgesamt 632 Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung von Brennelementen, 60 T/L-Behälter mit insgesamt 4113 abgebrannten Brennelementen aus dem Betrieb der Kernkraftwerke (KKW) sowie ein CASTOR®-Behälter mit den Brennelementen aus dem stillgelegten Forschungsreaktor Diorit des Paul Scherrer Instituts (PSI). Die Belegung des HAA-Lagers betrug per Ende 2023 41,5 %. Neben den erwähnten T/L-Behältern mit abgebrannten Brennelementen und Glaskokillen befinden sich in der Behälterlagerhalle seit September 2003 auch die sechs Grossbehälter mit Stilllegungsabfällen aus dem ehemaligen Versuchsatomkraftwerk Lucens.

Im Berichtsjahr fanden 87 Anlieferungen von konditionierten Gebinden zur Einlagerung in den Gebäuden M und S statt. Ende 2023 betrug die Ausnutzung des Lagergebäudes M 49,0 %. Viele der im Lagergebäude M eingelagerten Gebinde erfüllen auch die Annahmebedingungen des Lagergebäudes S und könnten somit umgelagert werden. Ende 2023 war das Lagergebäude S zu 7,4 % belegt.

5.2 Konditionierungsanlage

Die Konditionierungsanlage dient der Behandlung schwachaktiver Abfälle aus Betrieb und Rückbau der schweizerischen KKW sowie von weiteren radioaktiven Abfällen, beispielsweise aus der Sammelstelle des Bundes (Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung), sofern diese einen geringen Anteil an Alphastrahlern enthalten.

Abfälle aus den KKW, die nicht als verbrennbarer oder schmelzbarer Abfall direkt in der Plasma-Anlage verarbeitet werden können, werden hier der Konditionierung beziehungsweise der Dekontamination mit unterschiedlichen Behandlungsverfahren unterzogen. Das Ziel ist es, eine möglichst grosse Menge zu befreien und die verbleibenden radioaktiven Reststoffe in eine konditionierte Form zu überführen, die den Anforderungen der Richtlinie ENSI-B05 (Konditionierung radioaktiver Abfälle) entspricht. Im ZZL wurden im Berichtsjahr insgesamt 50,6 t Material gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B04 (Befreiung von Kontroll- und Überwachungsbereichen sowie Materialien von der Bewilligungspflicht und Aufsicht) befreit.

Das Hochregallager der Konditionierungsanlage wird auch als Eingangslager für die in

Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG. Foto: ENSI

Plasma-Anlage.
Foto: Zwilag

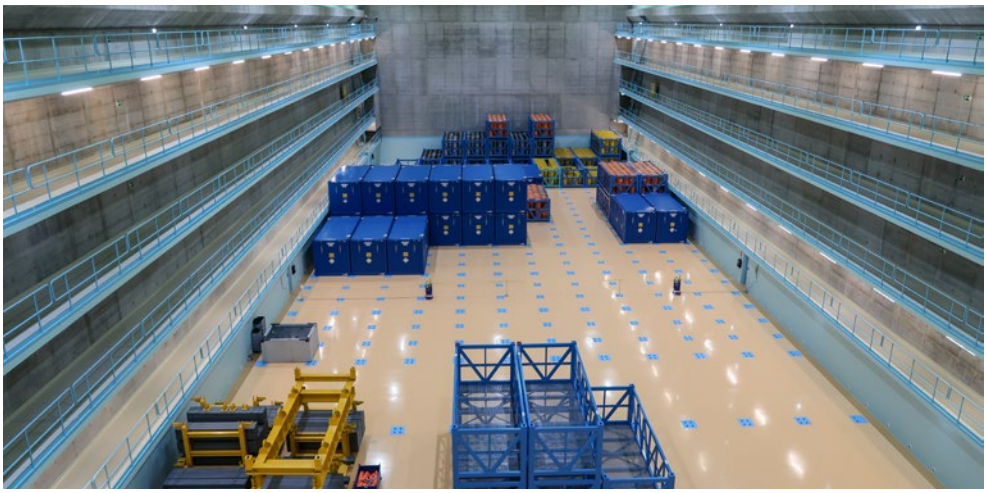
der Plasma-Anlage zu verbrennenden und entsprechend vorkonditionierten Rohabfälle benutzt. Zu einem späteren Zeitpunkt werden diese ins Hochregallager der Plasma-Anlage transferiert und von dort der Verarbeitung zugeführt.
Im Berichtsjahr konnten aufgrund von Baumassnahmen zur Optimierung der Konditionierungsanlage die Konditionierungsarbeiten nur in einem eingeschränkten Rahmen durchgeführt werden.

5.3 Plasma-Anlage

Aufgabe der Plasma-Anlage ist es, die organischen Stoffanteile aus den brenn- und schmelzbaren schwachaktiven Abfällen durch Verbrennung zu entfernen und die radioaktiven Reste in eine inerte Schlackenmatrix zu überführen. Hierbei wird zudem eine erhebliche Volumenreduktion erzielt. Dieses Endprodukt stellt nach entsprechender Verpackung eine zwischen- und endlagerfähige Abfallform dar. Zur Verarbeitung gelangen Abfälle aus Betrieb und Rückbau der schweizerischen Kernanlagen sowie aus Medizin, Industrie und Forschung.
Im Berichtsjahr wurden zwei Kampagnen in der Plasma-Anlage durchgeführt. Beide Kampagnen mussten aufgrund von Störungen vorzeitig beendet werden. Trotzdem haben sie durch die spezifikationsgerechte Verarbeitung von 849 Fässern mit radioaktivem Abfall zu 179 konditionierten Gebinden geführt.

5.4 Strahlenschutz

Im Berichtsjahr optimierte das ZZL kontinuierlich den Strahlenschutz und setzte entsprechende Massnahmen erfolgreich um.
Die akkumulierte Kollektivdosis betrug im Berichtsjahr 36,5 Pers.-mSv und lag damit um zirka 5 % über dem Planwert. Diese geringfügige Überschreitung kam aufgrund von unvorhergesehenen Instandhaltungsarbeiten zum Ende des zweiten Quartals mit schwer einzuschätzenden Jobdosen zustande. Die maximale Individualdosis lag bei 2,7 mSv und unterhalb des für beruflich strahlenexponierte Personen festgelegten gesetzlichen Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr. Das ENSI erachtet den praktizierten Strahlenschutz im ZZL als erfolgreich und zielgerichtet.
Die radioaktiven Abgaben über die Abluft und das Abwasser lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Abgabelimiten. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen von Abwasserproben und Aerosolfiltern durch. Sie stimmten mit den von der Zwilag gemeldeten Analyseergebnissen überein. Die aufgrund der Abgaben unter ungünstigen Annahmen berechnete Jahresdosis für fiktive Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des ZZL lag mit weniger als 0,001 mSv für Erwachsene, Zehnjährige und Kleinkinder deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,05 mSv. Das ZZL und das PSI teilen sich einen gemeinsamen



Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle. Foto: Zwilag

Standort. Das PSI führt mit Thermolumineszenz-Dosimetern (TLD) die Umgebungsüberwachung für den gesamten Standort durch. Die TLD in der Umgebung und am Arealzaun des ZZL zeigten keine dem Betrieb der beiden Anlagen zuzuschreibende Erhöhung gegenüber der Untergrundstrahlung. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollen an der Umzäunung des ZZL durch, die ebenfalls keine signifikanten Veränderungen zeigten. Die Messungen des Betreibers und des ENSI bestätigten die Einhaltung der nach Artikel 79 Absatz 2 der Strahlenschutzverordnung anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Betriebsareals von 0,02 mSv pro Woche für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 0,1 mSv pro Woche für andere Bereiche.
Die Tätigkeiten in den Anlagen des ZZL wurden unter Einhaltung der gesetzlichen und internen Strahlenschutzvorgaben durchgeführt. Die Ergebnisse der Inspektionen bestätigen, dass das ZZL einen konsequenten und gesetzeskonformen Strahlenschutz praktizierte. Für detailliertere Angaben zur radiologischen Situation innerhalb und ausserhalb des gemeinsamen Standortes des ZZL und PSI wird auf den Strahlenschutzbericht 2023 des ENSI verwiesen.

5.5 Notfallbereitschaft

Die Notfallorganisation der Zwilag ist für die Bewältigung aller Notfälle innerhalb des Werkareals zuständig. Mit einer zweckmässigen Organisation und geeigneten Führungsprozessen und -einrichtungen zusammen mit einer entsprechenden Auslegung der Anlagen hat die Zwilag die Notfallbereitschaft auf hohem Niveau sicherzustellen.
Das ENSI beobachtete und überprüfte die Notfallorganisation der Zwilag im Juni 2023 an der Werksnotfallübung ARKTOS. Als Ausgangslage wurde der Normalbetrieb im Zwilag unterstellt. Ein Defekt an einer messtechnischen Einrichtung führte zu einem Brand in einem Raum, in dem die Zwilag ein Langzeitexperiment durchführte. Der Brandrauch breitete sich infolge einer offenen Tür in einen angrenzenden Raum aus. Bei einem ersten erfolglosen Löschversuch zog sich ein Mitarbeiter schwere Verbrennungen zu. Er konnte sich jedoch ins Treppenhaus retten. Zeitgleich mit der Auslösung des Brandalarms führte eine ruckartige Bewegung beim Umladen von Brennelementen in der Heissen Zelle zu einer erheblichen Beschädigung eines Brennelements. Das Brennelement war bereits zu einem Drittel in den Lagerbehälter eingefahren. Die Brennstoff-Pellets fielen aus dem Brennelement und mehrheitlich in den Lagerbehälter. Der Vorfall führte zur Auslösung des Alarms «Aktivität hoch». Daraufhin flüchteten der Kranbediener und ein weiterer Mitarbeiter über das Treppenhaus zum Sammelplatz. Der Kranbediener fiel hin und verletzte sich. Im weiteren Verlauf der Übung war die Notfallorganisation zusätzlich mit einem kan-

Lagehalle für hochaktive Abfälle. Foto: Zwilag

tonsweiten Stromausfall konfrontiert. Die Kommunikation nach aussen war nur noch über Polycom, das Sicherheitsfunknetz der Schweiz, möglich.
Die Zwilag stufte das Ereignis korrekt ein und meldete es dem ENSI zeitgerecht. Aufgrund seiner Übungsbeobachtungen kam das ENSI zum Schluss, dass die vorgegebenen Ziele für Werksnotfallübungen gemäss der Richtlinie ENSI-B11 (Notfallübungen) erreicht wurden. Die Zwilag verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.
Eine Inspektion im August 2023 zeigte zudem, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit waren.
Ferner löste das ENSI im November 2023 ohne Voranmeldung einen Übungsalarm in der Zwilag aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabes innerhalb der zeitlichen Vorgaben gemäss der Richtlinie ENSI-B11 bestätigt wurde.

5.6 Personal und Organisation

In der ersten Hälfte des Berichtsjahrs kam es in der Zwilag zu einem Führungswechsel. Per 24. Januar 2023 übernahm der Leiter der Abteilung Technik die Funktion des Geschäftsführers ad intermin. Der Verwaltungsrat ernannte ihn am 14. Juni definitiv zum neuen Geschäfsführer. Ebenfalls anfangs 2023 wurden die Unternehmensfunktionen Qualitätsmanagement und Dokumentation zusammengeführt. Per 1. Januar 2023 übernahm der Leiter des Qualitätsmanagements die Leitung des Ressorts Dokumentation, das in die Abteilung Administration eingegliedert ist. Die Anzahl der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ist gegenüber dem Vorjahr leicht auf 95 Personen angestiegen.
Das Managementsystem der Zwilag besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm SN EN ISO 9001:2015. Die Rezertifizierung fand im Jahr 2021 statt. Im Oktober 2023 fand ein Aufrechterhaltungsaudit statt, bei welchem keine Abweichungen identifiziert wurden.
Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion zum Managementsystem durch mit dem Thema «Erkennung und Behandlung von geringfügigen Abweichungen und Beinahe-Ereignissen». Die Zwilag legte dem ENSI im Rahmen der Inspektion dar, dass ihr Managegementsystem über die geeigneten Prozesse verfügt, um geringfügige Abweichungen und Beinahe-Ereignisse zu erkennen, zu behandeln und die Wirksamkeit der daraus abgeleiteten Massnahmen zu überprüfen. Hingegen stellte das ENSI fest, dass die überprüften Prozesse nicht immer wie vorgesehen angewendet wurden. Somit wurden drei von vier Bewertungsgegenstände auf der Grundlage des Artikels 41 der Kernenergieverordnung und der Richtline ENSI-G07 (Organisation von Kernanlagen) mit Normalität und einer wurde mit Abweichung bewertet.

Das ENSI führte im Berichtsjahr zum zweiten Mal eine Sitzung zur Orientierung im personellen und organisatorischen Bereich durch. Sowohl die Zwilag als auch das ENSI nahmen die Sitzung als konstruktiven und gewinnbringenden Austausch wahr. Dieser dient dazu, frühzeitig meldepflichtige Themen im personellen und organisatorischen Bereich zu identifizieren. An der Sitzung diskutierten die Zwilag und das ENSI über die Chancen und Risiken von Mehrfachrollen, das heisst über Stellen, die mit Personen besetzt sind, die neben operativen Tätigkeiten auch Beauftragtenfunktionen wahrnehmen.

5.7 Vorkommnisse

Im Berichtsjahr gab es in der Zwilag keine meldepflichtigen Vorkommnisse gemäss der Richtline ENSI-B03 (Meldungen der Kernanlagen).

5.8 Gesamtbeurteilung

Das ENSI kam zum Schluss, dass die Zwilag die verschiedenen Anlagen des ZZL im Berichtsjahr sicher betrieb und dabei jederzeit die bewilligten Betriebsbedingungen einhielt. Die nukleare Sicherheit und Sicherung und somit der Schutz von Mensch und Umwelt vor Gefährdungen durch ionisierende Strahlen waren im Berichtsjahr gewährleistet. Unter Anwendung der im Managementsystem festgelegten Prozesse erzielte das Personal gute Ergebnisse in Bezug auf die gestellten Entsorgungsaufgaben. Alle Anlagenteile befanden sich in einem guten Zustand.

6

6. Paul Scherrer Institut

Das Paul Scherrer Institut (PSI) ist das grösste Forschungsinstitut für Natur- und Ingenieurwissenschaften in der Schweiz. Es entwickelt, baut und betreibt Grossforschungsanlagen und forscht zu den Themenbereichen Zukunftstechnologie, Energie und Klima, «Health Innovation» und Grundlagen der Natur. Zudem betreibt das PSI die Sammelstelle des Bundes. Das PSI nimmt die ablieferungspflichtigen radioaktiven Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung der gesamten Schweiz entgegen und sorgt für die Konditionierung und Zwischenlagerung.

Das Hotlabor (siehe Unterkapitel 6.1), die sich in der Stilllegung befindenden Forschungsreaktoren Saphir, Diorit und Proteus, die Versuchsverbrennungsanlage (siehe Unterkapitel 6.2) und die Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (siehe Unterkapitel 6.3) sind Kernanlagen und werden durch das ENSI beaufsichtigt.

Im Berichtsjahr waren zwei meldepflichtige Vorkommnisse gemäss der Richtlinie ENSI-B03 (Meldungen der Kernanlagen) zu verzeichnen. Der Betrieb der Kernanlagen des PSI führte zu keinen unzulässigen radiologischen Auswirkungen auf die Umwelt und Bevölkerung. Der Schutz von Mensch und Umwelt vor Gefährdungen durch ionisierende Strahlen war im Berichtsjahr gewährleistet.

Im Bereich der Abfallentsorgung sind die initiierten Anstrengungen fortzusetzen. Betreffend die geplante Weiterverwendung der Kernmaterialien aus dem Proteus muss das PSI seine Anstrengungen mit Nachdruck weiterverfolgen.

6.1 Hotlabor

Im Hotlabor werden hochradioaktive Substanzen im Labormassstab gehandhabt. Die Abteilung Hotlabor und das Forschungslabor für nukleare Materialien untersuchen mit unterschiedlichen makro- und mikroskopischen Methoden unter anderem bestrahlte Werkstoffe und Kernbrennstoffe aus Reaktoren oder Beschleunigern. Die PSI-Labore für Radiochemie und Endlagersicherheit benutzen das Hotlabor für wissenschaftliche Untersuchungen seltener Radioisotope beziehungsweise des Transportverhaltens von Radionukliden in Gesteinen.

Im Hotlabor erfolgt auch die Konditionierung der radioaktiven Abfälle aus dem Betrieb seiner Heissen Zellen. Darunter fallen flüssige Abfälle, die bei der Brennstoffanalytik anfallen und die Aktinide sowie Spalt- und Aktivierungsprodukte enthalten. Zur Verfestigung dieser Abfälle hat das PSI die Fixbox-3-Anlage gebaut und von 2013 bis 2019 eine Typenprüfung durchgeführt. Für den routinemässigen Betrieb dieser Anlage benötigt das PSI noch eine Typengenehmigung gemäss Artikel 54 Absatz 4 der Kernenergieverordnung (KEV). Nach Verfügung des ENSI im Jahr 2019 überarbeitete das PSI seine Gesuchsunterlagen mehrmals. Im Berichtsjahr fand ein Fachgespräch zum Entwurf der überarbeiteten Gesuchsunterlagen statt. Daraufhin reichte das PSI den geforderten Erdbebenstandfestigkeitsnachweis mit einem Ertüchtigungsvorschlag für die Fixbox-3-Anlage ein. In seiner diesbezüglichen Stellungnahme stufte das ENSI die vorgeschlagenen Ertüchtigungsmassnahmen als zweckmässig und zielführend ein. Den formellen Typengenehmigungsantrag hat das PSI bis Ende 2023 noch nicht eingereicht.

Bei der Brennstoffanalytik fallen im Hotlabor auch feste bestrahlte Kernbrennstoff- und Strukturmaterialabfälle an. Diese Abfälle werden hochdruckverpresst und in Stahlzylinder verpackt. Von 2015 bis 2017 wurden die hierfür erforderlichen Einrichtungen im Hotlabor erneuert. Auch für den routinemässigen Betrieb dieser Anlage benötigt das PSI noch eine Typengenehmigung gemäss Artikel 54 Absatz 4 der KEV. Nach Verfügung des ENSI im Jahr 2019 überarbeitete das PSI seine Gesuchsunterlagen mehrmals. Im Berichtsjahr reichte das PSI schliesslich einen

Paul Scherrer Institut. Foto: PSI

neuen Antrag auf Typengenehmigung ein. In seiner Stellungnahme kam das ENSI zum Schluss, dass die Voraussetzungen zur Erteilung der Typengenehmigung unter Berücksichtigung von 16 Auflagen, darunter die Durchführung einer Typenprüfung, grundsätzlich gegeben sind. Das PSI hat die Typenprüfung im Berichtsjahr gestartet.

Im Berichtsjahr führte das PSI im Hotlabor verschiedene Nachbestrahlungsuntersuchungen an Kernbrennstoffproben durch. Das ENSI erwartet, dass das PSI nach Erteilung der oben genannten Typengenehmigungen die Konditionierung der radioaktiven Abfälle aus der Brennstoffanalytik unverzüglich fortführt.

Mit der Aktiv-Abwasseranlage im Hotlabor wurden im Berichtsjahr 889 m³ Abwässer (Vorjahr: 672 m³) behandelt und kontrolliert über die Abwasserüberwachungsanlage des PSI-Ost an die Aare abgegeben. Rund 22 % dieser Abwässer stammten aus dem Hotlabor, der Rest aus anderen Bereichen des PSI, insbesondere aus der Wäscherei und der Radiopharmazie.

Zur Sicherstellung des längerfristigen Betriebs des Hotlabors hat das PSI im Jahr 2018 das Projekt «Hotlabor 25+» gestartet. Unter dieses Projekt fallen zum Beispiel die Sanierung der Fassade und der Lüftungsanlagen, die Erneuerung des Haupteingangs sowie die Modernisierung der Beleuchtung und des Gebäudeleitsystems. Die Teilprojekte werden gestaffelt durchgeführt. Im Berichtsjahr hat das PSI den Ersatz des Gebäudeleitsystems sowie der USV-Anlagen 3 und 4 umgesetzt. Die Teilprojekte «Ersatz des Haupteingangs» und «Anhebung der Sicherung» wurden zusammengefasst im Teilprojekt Sicherungskonzept. Bezüglich des im Vorjahr vorgestellten Teilprojekts zur Sanierung der Zuluftanlagen hat das PSI die Klärung der Finanzierung vorangetrieben.

Neben den üblichen Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten nahm das PSI im Berichtsjahr weitere Ertüchtigungen im Hotlabor vor beziehungsweise führte entsprechende bereits in den Vorjahren initialisierte Vorhaben fort. Zudem reichte es mehrere Freigabeanträge für Experimentier- und Forschungsausrüstungen ein. Im Jahr 2023 wurden aus dem Kontrollbereich des Hotlabors rund 6,5 t Materialien gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B04 (Befreiung von Kontroll- und Überwachungsbereichen sowie Materialien von der Bewilligungspflicht und Aufsicht) befreit.

An den Grossforschungsanlagen werden Objekte gezielt untersucht. Foto: PSI

6.2 Kernanlagen in der Stilllegung oder im Rückbau

Vier Kernanlagen des PSI befinden sich in unterschiedlichen Phasen der Stilllegung. Dabei handelt es sich um die ehemaligen Forschungsreaktoren Saphir, Diorit und Proteus sowie um die ehemalige Versuchsverbrennungsanlage.

6.2.1 Saphir

Der Rückbau des 1994 ausser Betrieb genommenen Forschungsreaktors Saphir ist weit fortgeschritten. Das PSI muss für die Anlage noch den Nachweis der Kontaminationsfreiheit erbringen. Dazu charakterisiert das PSI die einzelnen Räume fortlaufend mit Dosisleistungs- und Kontaminationsmessgeräten sowie mit gammaspektrometrischen In-situ-Messungen. Räume, in denen die Kontaminationsfreiheit nachgewiesen werden konnte, werden gemäss einem vom ENSI geprüften Rückzugskonzept versiegelt. Im Bereich des ehemaligen Reaktorpools wurden leicht aktivierte Stellen im Beton abgetragen. Zudem reinigte das PSI den Pumpensumpf und bereitete den Nachweis der Kontaminationsfreiheit vor. Mit der Demontage der Krananlage in der Reaktorhalle wurden 36 269 kg Stahl und anderes Material demontiert und nach erfolgreicher Be-

freiung entsorgt. Weiter entfernte das PSI in der Anlage Zuluftkanäle, eine Beschattungsanlage, die Passerelle und eine Zugangstreppe in der Reaktorhalle. So konnten im Berichtsjahr insgesamt 48 372 kg Material befreit werden.
Das PSI führte den Unterhalt an Gebäude und Anlagen sowie Funktionsprüfungen an den Infrastrukturanlagen und Kalibrierungen an den Messgeräten gemäss den Vorgaben durch.

6.2.2 Diorit

Im Berichtsjahr wurden in der 1977 ausser Betrieb genommenen Kernanlage Diorit die seit der Covid-19-Pandemie ruhenden Rückbauarbeiten wieder aufgenommen. Basierend auf der Abbruchbewilligung von 1994 reichte das PSI den Freigabeantrag für die Rückbauphase 4 ein. Die Phase 4 ist wiederum in drei Arbeitspakete unterteilt. Nach erfolgter Freigabe des ENSI für die Phase 4 und der Zustimmung zum Arbeitspaket 1 begann eine Fremdfirma mit dem Ausbau diverser Leitungen aus der unteren Reaktorkammer. Die im Arbeitspaket 1 vorgesehenen Arbeiten wurden planmässig und erfolgreich durchgeführt. Das ENSI hat sich an einer Inspektion von der sicheren Ausführung der Arbeiten überzeugt, die erstmals in der Schweiz mit der Hilfe eines ferngesteuerten Rückbauroboters durchgeführt wurden. Des Weiteren hat das PSI je nach Verfügbarkeit des Personals Aufräumarbeiten in der Anlage durchgeführt. Insgesamt hat das PSI 4496 kg Material aus dem Diorit befreit.
In einem hierfür bestimmten Raum fanden weitere Dekontaminationsarbeiten an Abfällen aus dem PSI-Ost statt. Zudem lagern im Diorit noch diverse radioaktive Rohabfälle, darunter etwa 1,5 t Aluminium-Stilllegungsabfälle aus dem Rückbau der Forschungsreaktoren Saphir und Diorit. Für deren Entsorgung hat das PSI im Berichtsjahr ein Entsorgungskonzept vorgestellt.
Im Berichtsjahr wurden zwei KC-T30-Container und ein KC-T12-Container mit Abfällen aus dem PSI-West sowie sechs KC-T12-Container mit Innenbehältern aus dem Rückbau der Versuchsverbrennungsanlage im «Tiefen Gang» des Diorits mit Zementmörtel verfüllt und ins Bundeszwischenlager verschoben.
Da die Gebäulichkeiten des Diorit nach den aktualisierten Plänen des PSI vollständig zurückgebaut werden sollen, muss das PSI ein dafür bestimmtes ergänzendes Stilllegungsprojekt vorlegen. Das PSI stellte die Einreichung des Projekts bei den Behörden für das Berichtsjahr in Aussicht. Die Unterlagen befanden sich Ende 2023 noch in Ausarbeitung.
Das PSI führte den Unterhalt an Gebäude und Anlagen sowie die Funktionsprüfungen an den Infrastrukturanlagen und die Kalibrierungen an den Messgeräten gemäss den Vorgaben durch.
Im Berichtsjahr ereignete sich im Diorit-Hochkamin ein meldepflichtiges Vorkommnis (siehe Unterkapitel 6.7).

6.2.3 Proteus

Der ehemalige Forschungsreaktor Proteus wurde 2011 ausser Betrieb genommen. Im Berichtsjahr führte das PSI Arbeiten im Rahmen der vom ENSI freigegebenen Rückbauphase 2 aus. So wurde das ehemalige Brennstablager zerlegt, befreit und zur externen PCB-Sanierung aus der Anlage entfernt. Anschliessend demontierte das PSI die Blockringe 2 bis 7, die aus einzelnen, mehrere Tonnen schweren Betonblöcken bestanden. Die Betonblöcke werden auf dem Areal der Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle bis zur Charakterisierung temporär deponiert. Nebst den Betonblöcken wurden acht Stahlstützen aus dem Reaktor ausgebaut und dem jeweiligen Entsorgungspfad zugeführt. Somit konnte das PSI den gesamten ehemaligen Forschungsreaktor im Berichtsjahr erfolgreich zurückbauen. Auch wurden nach der Freigabe des ENSI einzelne Arbeiten aus der Rückbauphase 3 vorgezogen und ausgeführt. Dazu gehörte der Ausbau der Wasserversorgung und der Druckluftversorgung sowie die Demontage von Teilen der Elektroinstallationen. Der ehemalige Kommandoraum wurde radiologisch befreit und zu einem Büro umfunktioniert.
Insgesamt wurden im Berichtsjahr 28 244 kg Material aus dem Proteus befreit und ent-

sorgt. Weitere 12 046 kg wurden gemäss Artikel 117 der Strahlenschutzverordnung für die Abklinglagerung radiologisch charakterisiert.
Im Berichtsjahr trieb das PSI die Planung zur Weiterverwendung des Treiberbrennstoffs sowie weiterer auf der Anlage verbleibender Kernmaterialien voran, ohne wesentliche Durchbrüche zu erzielen. Das ENSI anerkennt die Bemühungen des PSI zur Weiterverwendung oder Entsorgung der Kernmaterialien aus dem Proteus. Das ENSI erwartet, dass das PSI die Anstrengungen diesbezüglich weiter mit Nachdruck verfolgt.
Das PSI führte den Unterhalt an Gebäude und Anlagen sowie Funktionsprüfungen an den Infrastrukturanlagen und Kalibrierungen an den Messgeräten gemäss den Vorgaben durch.

6.2.4 Versuchsverbrennungsanlage

Der Rückbau der 2002 ausser Betrieb genommenen Versuchsverbrennungsanlage (VVA) verzeichnet deutliche Verzögerungen gegenüber der Planung. Nachdem in den Vorjahren der Verbrennungsofen und die drei Rauchgasfilter erfolgreich zurückgebaut wurden, begann das PSI im Berichtsjahr mit der Entsorgung der bereits im Vorjahr demontierten Rauchgasleitung. Das PSI zerteilte die Rauchgasleitung in vordefinierte kleinere Segmente. Die Hohlräume der Leitung wurden mit Zement verfüllt und die Rohrenden mit Deckeln verschlossen. Es ist vorgesehen, dass diese Leitungssegmente in KC-T12-Behältern konditioniert werden. Im Berichtsjahr war die Befüllung und das Vergiessen erster Behälter mit Rauchgasleitungen vorgesehen. Aufgrund anderer Priorisierungen wurden diese Arbeiten noch nicht durchgeführt.
Für die Demontage der asbesthaltigen Sockel der Leuchtstoffröhren im zweiten Stock musste das PSI einen Schwarzbereich errichten, der das gesamte Stockwerk umfasste.
In der Anlage selbst sind sämtliche radioaktiven Komponenten ausgebaut. Die Anlage ist somit bereit für den Nachweis der Kontaminationsfreiheit.
Beim Rückbau des Ofens sowie der zwei Grob- und des Feinfilters sind insgesamt 160 VVA-Innenbehälter angefallen, was den Prognosen entspricht. 16 der 160 VVA-Innenbehälter müssen noch endkonditioniert werden (siehe Unterkapitel 6.3.1).
Während des Rückbaus fielen zudem asbesthaltige, radioaktiv kontaminierte und brennbare Sekundärabfälle an. Dabei handelt es sich um mehrere Hundert Kilogramm Material, die in 160 Säcken auf dem Areal des PSI in einem abschliessbaren Brandschutzcontainer temporär aufbewahrt werden. Es ist vorgesehen, diese Abfälle zu verbrennen. Ansonsten wurde im Berichtsjahr kein Material aus der VVA befreit.
Das PSI führte den Unterhalt an Gebäude und Anlagen sowie Funktionsprüfungen an den Infrastrukturanlagen und Kalibrierungen an den Messgeräten gemäss den Vorgaben durch.

6.2.5 Aktiv-Abwassernetz Ost

Das PSI hat im Jahr 2017 den Rückbau des alten Aktiv-Abwassernetzes des PSI-Ost initiiert. Die geplante Projektdauer beträgt zehn Jahre. Im Rahmen dieses Projektes soll auch das Rückhaltebecken Wald entleert, gereinigt und endgültig ausser Betrieb genommen werden. Dieses diente der Aufnahme der radioaktiven Abwässer aus den Anlagen des PSI-Ost. Heute erfolgt die Aktiv-Abwasserbehandlung über die Anlage im Hotlabor (siehe Unterkapitel 6.1). Mit Blick auf die geplante Sanierung des Rückhaltebeckens Wald hat das PSI im Berichtsjahr ein Konzept zu dessen Entkoppelung erarbeitet und dem ENSI zur Beurteilung vorgelegt. Das Gesamtprojekt ist in einzelne Teilprojekte gegliedert, die jeweils eine separate Freigabe erfordern.
Im Berichtsjahr konnte das PSI noch vorhandene Kontaminationen in diversen Becken mit einer Fräsmaschine erfolgreich entfernen. Pump-, Misch- und Sammelbecken in einem der Gebäude konnten anschliessend radiologisch befreit werden. Im Rahmen einer Inspektion hat das ENSI die Kontaminationsfreiheit bestätigt. Die Becken wurden danach ausgezont. Des Wei-

Die Grossforschungsanlage «Synchrotron Lichtquelle Schweiz». Foto: PSI

teren begann das PSI mit der Sanierung der Becken in einem anderen Gebäude. Aus einem Sammelbecken und einer Kontrollkammer barg das PSI rund 4200 kg radioaktiven Schlamm. Die kontaminierten Flächen in den Becken wurden abgetragen und verschiedene Rohrdurchführungen entfernt.
Im Berichtsjahr ereignete sich im Rahmen des Rückbaus des Aktiv-Abwassernetzes ein meldepflichtiges Vorkommnis (siehe Unterkapitel 6.7).

6.3 Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle

6.3.1 Behandlung radioaktiver Abfälle

Das PSI betreibt die Sammelstelle des Bundes für radioaktive Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (Artikel 120 der Strahlenschutzverordnung). Ebenfalls im Eigentum des Bundes sind die im PSI anfallenden radioaktiven Abfälle aus den Anwendungen radioaktiver Isotope in Forschungsprojekten, insbesondere von Brennstoffuntersuchungen, aus aktivierten Materialien aus den Beschleunigeranlagen, aus dem Rückbau von Forschungsanlagen sowie aus dem Betrieb der nuklearen Infrastruktur. Die genannten Abfälle sind sowohl chemisch als auch physikalisch unterschiedlich, sodass vor ihrer Endkonditionierung oft eine Triage und Vorbehandlungen notwendig sind. Zudem sind unterschiedliche Konditionierungs- und Verpackungskonzepte erforderlich, was im Vergleich mit den Kernkraftwerken zu einem umfangreicheren und sich häufig ändernden Spektrum an Abfallgebindetypen führt.
Zur Behandlung der radioaktiven Abfälle betreibt das PSI die Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (AERA). Darunter befinden sich das Betriebsgebäude und insbesondere auch das Abfalllabor. Für diese zwei Kernanlagen muss das PSI im Ergebnis einer Sicherheitsbewertung des ENSI die Sicherheitsberichte, die Störfallanalysen und weitere zugehörige Dokumente überarbeiten und erneut einreichen. Bis diese vom ENSI akzeptiert sind, gelten die ursprünglichen Sicherheitsberichte und die darin festgelegten maximalen Aktivitätsinventare. Dies kann spürbare Auswirkungen auf den Betrieb der Sammelstelle des Bundes haben.
Für das Abfalllabor erliess das ENSI im August 2023 eine Verfügung betreffend die Aktualisierung der Sicherheitsnachweise. Ende 2023 reichte das PSI für das Abfalllabor eine überarbeitete Erdbebenüberprüfung und daraus abgeleitete Ertüchtigungsmassnahmen ein.
Im Hinblick auf einen mittelfristigen Ersatz des Abfalllabors hat das PSI in der Berichtsperiode das Projekt «Anforderungen für die Sammelstelle des Bundes, Analyse, Rahmenbedingungen» gestartet. Im Rahmen dieses Projekts sollen die Anforderungen beziehungsweise Rahmenbedingungen bezüglich der Gestaltung der notwendigen zukünftigen Infrastruktur der Sammelstelle

Modernisierung der «Synchrotron Lichtquelle Schweiz». Foto: PSI

des Bundes abgeleitet werden. Dieses Projekt bildet die Grundlage für weitere Diskussionen mit dem Bund bezüglich Finanzierung unmittelbar notwendiger Bauprojekte (Abfallbehandlungszentrum) der Sammelstelle.

Im Berichtsjahr wurden insgesamt rund 34,7 m³ Abfälle (Vorjahr: 36,9 m³) bei der Sammelstelle des Bundes angeliefert, davon 24,21 m³ (Vorjahr: 32,51 m³) aus dem PSI und 10,47 m³ (Vorjahr: 4,43 m³) aus der jährlichen Sammelaktion des Bundesamts für Gesundheit (BAG). Die 10,47 m³ enthalten einen endkonditionierten KC-T12-Container mit Beschleunigerabfällen aus dem CERN sowie 101 extern konditionierte Stahlzylinder mit Industrieabfällen. Ausserdem fielen drei vorkonditionierte Innenbehälter mit VVA-Rückbauabfällen (siehe Unterkapitel 6.2.4) an. Aktuell befinden sich in den AERA insgesamt 16 derartige Innenbehälter, die bis spätestens Ende 2024 auf der Betonieranlage im Diorit zu konditionieren sind. Aus der Zwilag wurden im Berichtsjahr keine Abfälle zurückgeliefert.

Zur Behandlung in der Plasma-Anlage der Zwilag wurden im Berichtsjahr 32 Fässer à 200 Liter (Vorjahr: 34 Stück) mit sortierten und verpressten Abfällen bereitgestellt. Gegen Ende des Berichtsjahres wurden 27 Stück davon an die Zwilag abgeliefert. Dadurch konnte die Brandlast im Betriebsgebäude auf rund 450 MJ/m² gesenkt werden.

Im Zuständigkeitsbereich der AERA wurden in der Berichtsperiode zudem noch insgesamt sieben KC-T-Container auf der Betonieranlage im Diorit mit Zementmörtel verfüllt und endkonditioniert (siehe Unterkapitel 6.2.2).

6.3.2 Lagerung radioaktiver Abfälle

Im Bundeszwischenlager (BZL) werden konditionierte Abfälle vorwiegend in 200-Liter-Fässern und Kleincontainern (4,5 m³) eingelagert, bis das geologische Tiefenlager zur Verfügung steht. Fallweise werden mit spezifischer Zustimmung des ENSI unkonditionierte Komponenten in Kleincontainern temporär aufbewahrt, sofern dies dem Optimierungsgebot gemäss Artikel 4 der Strahlenschutzverordnung entspricht und nicht im Widerspruch zu Artikel 54 Absatz 1 der Kernenergieverordnung steht.

Grundlage für den Nachweis der Einhaltung der Schutzziele beim BZL-Betrieb bildet die Störfallanalyse gemäss Auflage 3.2 der bundesrätlichen Verfügung vom 3. Dezember 2004 betreffend die Änderung der Betriebsbewilligung für das BZL. Diese Analyse ist periodisch zu aktualisieren, wobei insbesondere die Entwicklung des Lagerinventars sowie der jeweilige Stand von Wissenschaft und Technik zu berücksichtigen sind. Nach grundlegender Überarbeitung der BZL-Störfallanalyse entwickelte das PSI ein Rechenprogramm (BZL-Dosistool), mit dem die Einhaltung der Störfalldosen für den

jeweils aktuellen Lagerzustand sowie prospektiv für den im Folgejahr vorgesehenen Zustand nachgewiesen beziehungsweise prognostiziert werden kann. Im September 2020 gab das ENSI das BZL-Dosistool mit Auflagen frei. Ende Februar 2023 reichte das PSI fristgerecht die vom ENSI geforderten jährlichen Dosisrechnungen (Istzustand per Ende 2022 und Prognose 2023/24) ein. Das ENSI beurteilte die Dosisrechnungen positiv und bestätigte die Einhaltung des Schutzziels.

Per Ende des Berichtsjahres betrug das BZL-Inventar an extern konditionierten Stahlzylindern 2501 Stück. Sie werden in 14 KC-T12-Containern gelagert. Weitere 156 Zylinder mit tritiumhaltigen Abfällen aus industrieller Fertigung lagern seit 2016 zur Dichtheitsüberwachung lose in 200-Liter-Fässern, die zu diesem Zweck mit Ventilen versehen sind. Ende des Berichtsjahres standen zusätzlich 167 Zylinder in der BZL-Umladehalle. Es handelt sich dabei um die fünf umkonditionierten Altzylinder, die 61 bereits im Vorjahr angelieferten sowie um die 101 im Berichtsjahr neu angelieferten Zylinder.

Im Berichtsjahr wurden keine neu konditionierten 200-Liter-Fässer in das BZL eingelagert. Somit war der mit 200-Liter-Fässern belegte Raum per Ende 2023 unverändert mit 4903 Gebinden gefüllt. Dies entspricht einem Belegungsgrad von rund 77 %. Im Berichtsjahr wurden zehn KC-T12-Container in das BZL eingelagert. Drei weitere, im Berichtsjahr endkonditionierte KC-T12/30-Container standen Ende 2023 noch in der BZL-Umladehalle. Damit belief sich das Inventar im BZL-Container-Teil per Ende 2023 auf insgesamt 118 endkonditionierte KC-T12/30-Container. Unter Berücksichtigung weiterer KC-T-Container, in denen triagierbare Beschleunigerabfälle beziehungsweise endkonditionierte Stahlzylinder aufbewahrt werden, betrug der Belegungsgrad des Container-Bereichs im BZL per Ende 2023 rund 83 %.

Zur Entlastung des BZL erstellt das PSI ein neues Zwischenlager (BZL 2) mit einer Kapazität von 480 KC-T12/30-Containern und einem GC-T15/20-Grosscontainer. Nachdem das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK im September 2018 die Bau- und Betriebsbewilligung und das ENSI die nötigen Freigaben erteilt hatte, nahm das PSI im Jahr 2021 die Bauarbeiten auf. Ende 2022 waren die Bauarbeiten weitgehend abgeschlossen. Das BZL 2 wird über einen neu erstellten Zonenübergang im Mitteltrakt des angrenzenden Betriebsgebäudes erschlossen. Die bautechnischen Abnahmen konnten aufgrund brandschutz- und lüftungstechnischer Mängel nicht planmässig im Jahr 2023 durchgeführt werden.

In den Hallen des Betriebsgebäudes und in weiteren Hallen der AERA lagern entsprechend den betrieblichen Erfordernissen sowohl nicht konditionierte als auch konditionierte Abfälle sowie ausgediente Komponenten, namentlich die alten Hotlabor-Abwassertanks und weiteres radioaktives Material zum Abklingen. Hinsichtlich der noch nicht konditionierten Abfälle erwartet das ENSI vom PSI unverändert eine zeitnahe Weiterverarbeitung.

Im Jahr 2020 überprüfte das ENSI gemäss Artikel 117 Absatz 2 der Strahlenschutzverordnung die Abklinglagerung bei den AERA und forderte das PSI auf, ein Konzept zur Neubeurteilung der Einhaltung der Entscheidungskriterien für die verschiedenen Materialtypen einzureichen sowie Weisungen zum Prozess der Abklinglagerung auszuarbeiten und in seinem Qualitätsmanagementsystem zu verankern. Im Berichtsjahr hat das PSI die im Jahr 2022 initiierte radiologische Charakterisierung der vorhandenen Altlasten planmässig fortgeführt.

Das PSI nutzt dasselbe elektronische Buchführungssystem wie die Kernkraftwerke, sodass die Information über Mengen, Lagerort und radiologische Eigenschaften der radioaktiven Abfälle jederzeit verfügbar ist. Das PSI berichtet dem ENSI vierteljährlich über die Inventare der radioaktiven Abfälle.

6.4 Strahlenschutz

Der Strahlenschutz am PSI im Aufsichtsbereich des ENSI war geprägt von den Tätigkeiten im Hotlabor sowie den laufenden

Rückbau- und Entsorgungstätigkeiten. Die Arbeiten in den Forschungsreaktoren Saphir, Diorit und Proteus sowie in der VVA waren mit vergleichsweise geringen Dosen für das Personal verbunden. Die Kollektivdosis betrug 3 Pers.-mSv, die maximale Individualdosis lag bei 0,5 mSv. Im Berichtsjahr ereigneten sich zwei strahlenschutzrelevante Vorkommnisse (siehe Unterkapitel 6.7).
Gesamthaft lag die Strahlenexposition des eingesetzten Personals auf einem tiefen Niveau. Dies zeugt von einem zweckmässigen operationellen Strahlenschutz.
Das ENSI führt quartalsweise Kontrollmessungen von Wasserproben und Aerosolfiltern durch. Sie stimmten mit den vom PSI gemeldeten Analyseergebnissen überein. Aus den bilanzierten Abgaben radioaktiver Stoffe über die Fortluftanlagen und über das Abwassersystem wurde unter konservativen Annahmen für den ungünstigsten Aufenthaltsort ausserhalb des überwachten PSI-Areals eine Jahresdosis für fiktive Einzelpersonen der Bevölkerung von weniger als 0,004 mSv pro Jahr berechnet. Ins Gewicht fallen hier die Abgaben von Anlagen im PSI-West, die keine Kernanlagen sind und zum Aufsichtsbereich des BAG gehören. Diese potenzielle Jahresdosis lag deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,15 mSv pro Jahr gemäss PSI-Abgabereglement.
Für detailliertere Angaben zu den Personendosen sowie zu den Abgaben über die Abluft und das Abwasser wird auf den Strahlenschutzbericht 2023 des ENSI verwiesen.

6.5 Notfallbereitschaft

Die Notfallorganisation des PSI ist für die Bewältigung aller Notfälle innerhalb des Werkareals zuständig. Mit einer zweckmässigen Organisation, geeigneten Führungsprozessen und -einrichtungen zusammen mit einer entsprechenden Auslegung seiner Anlagen hat das PSI die Notfallbereitschaft sicherzustellen.
Das ENSI beobachtete und überprüfte die Notfallorganisation des PSI im November 2023 an der Stabsnotfallübung GOLF und wurde dabei durch das BAG unterstützt. Als Szenario wurde unterstellt, dass es auf dem Betriebsareal des PSI bei der Anlieferung von radioaktiven Abfällen aus einer Sammelaktion vor dem Abfalllabor zu einer Explosion mit nachfolgendem Brand des Lastwagens kam. Das PSI löste den Brand- und Evakuierungsalarm durch Drücken eines Handalarmtasters aus. Es bestand der Verdacht auf Austritt von Radioaktivität. Einige Personen, die unter Schock standen, irrten auf dem Areal herum. Sie wurden erst im späteren Verlauf der Übung gefunden. Zwei Mitarbeiter, einer leicht und einer schwer verletzt, wurden ins Spital gebracht. Während des Transports ins Spital verstarb der schwerverletzte Mitarbeiter. Im zweiten Teil der Übung gab ein Fahrradkurier bei der Sicherheitszentrale des PSI ein Couvert zuhanden der Geschäftsleitung ab. Es handelte sich um einen Erpresserbrief mit Geldforderung.
Das PSI stufte das Szenario korrekt ein und meldete es dem ENSI zeitgerecht. Aufgrund seiner Übungsbeobachtungen kam das ENSI zum Schluss, dass die vorgegebenen Ziele für Stabsnotfallübungen gemäss der Richtlinie ENSI-B11 (Notfallübungen) erreicht wurden. Das PSI verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.
Eine Inspektion im November 2023 zeigte zudem, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit waren.

6.6 Personal und Organisation

Die Abteilung «Strahlenschutz und Sicherheit» sowie die Abteilung «Hotlabor» und das Labor für nukleare Materialien haben eigene Managementsysteme, welche gemäss ISO/IEC 17020 und 17025 akkreditiert beziehungsweise nach der Norm SN EN ISO 9001:2015 zertifiziert sind.
Das ENSI führte im Berichtsjahr im Hotlabor eine Inspektion zum Managementsystem durch mit dem Thema «Erkennung und Behandlung von geringfügigen Abweichungen und Beinahe-Ereignisse». Das Hotlabor legte dem ENSI im Rahmen der Inspektion dar, dass sein Managementsystem

über die geeigneten Prozesse verfügt, um geringfügige Abweichungen und Beinahe-Ereignisse zu erkennen, zu behandeln und die daraus abgeleiteten Massnahmen zu überprüfen. Damit erfüllen die entsprechenden Prozesse des Managementsystems die zugehörigen Vorgaben des Artikels 41 der Kernenergieverordnung und der Richtlinie ENSI-G07 (Organisation von Kernanlagen).

Zur Optimierung der Sektion Betriebsstrahlenschutz führte die Abteilung «Strahlenschutz und Sicherheit» im Berichtsjahr eine Anpassung der Organisation durch. Personen aus dem Sektionsstab wechselten in die bestehende Gruppe Entsorgung. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die für den Rückbau tätig sind, wurden in der neuen Gruppe Rückbau zusammengelegt. Somit liegt der Fokus der Gruppe Entsorgung auf der Entsorgung radioaktiver Abfälle und die Gruppe Rückbau kann sich auf den operationellen Rückbau fokussieren. Letztere arbeitet dabei unabhängig von der Rückbau-Projektleitung der Sektion «Expertisen und Analysen», die für den konzeptionellen Rückbau tätig ist.

Im Berichtsjahr konnte nach einer längeren Vakanz die Funktion des Sicherungsbeauftragten wieder besetzt werden.

6.7 Vorkommnisse

Im Berichtsjahr waren zwei meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen gemäss der Richtlinie ENSI-B03 (Meldungen der Kernanlagen):

■ Am 12. Mai 2023 wurde im Rahmen der Sanierung des Zulaufbeckens OFLF auf dem Areal PSI-Ost in einem Schacht neben dem Gebäude OPHA eine Oberflächenkontamination von 12 CS im Bereich des Bodens und des Wasserablaufs festgestellt. Der Zugang zum unterirdischen Schacht war mit einem massiven Schachtdeckel versperrt. Durch die Abschirmwirkung des Deckels kann eine Exposition beim Vorbeigehen ausgeschlossen werden. Das PSI konnte die Ursache für die Kontamination nicht ermitteln. Aufgrund der aufgefundenen Nuklide steht für das PSI ein noch unbekanntes älteres Vorkommnis in einem der ehemaligen Forschungsreaktoren im Vordergrund. Das Vorkommnis war meldepflichtig gemäss Unterkapitel 5.2.1.4 Buchstabe h der Richtlinie ENSI-B03 (Meldungen der Kernanlagen). Das Vorkommnis hat eine sicherheitstechnische Bedeutung, da sich Personen bei einem Zugang zum Schacht aufgrund der fehlenden kontrollierten Zone und den damit einhergehenden Schutzmassnahmen einer unbemerkten Strahlenexposition hätten aussetzen können. Das ENSI ordnete das Vorkommnis auf der internationalen Ereignisskala INES vorläufig der Stufe 0 zu.

■ Am 2. Oktober 2023 fiel die Fortluftüberwachungs- und Bilanzierungsanlage im Hochkamin OZFA aus. Damit konnten die radioaktiven Stoffe in der Fortluft der Kernanlage Diorit nicht mehr bilanziert werden. Die Unterdruckhaltung in der Anlage war sichergestellt, die Lüftungsanlage lief normal. Die Überwachung und die Bilanzierung der radioaktiven Stoffe in der Fortluft der übrigen an den Hochkamin angeschlossenen Kernanlagen war durch deren Strangüberwachungen gewährleistet. Die Verantwortlichen stellten wegen des Ausfalls der Fortluftüberwachungs- und Bilanzierungsanlage sämtliche Arbeiten mit radioaktiven Stoffen in der Kernanlage Diorit und im «Nagra-Labor» sofort ein. Das PSI ersetzte den defekten Frequenzumrichter und überführte die Fortluftüberwachung am 9. Oktober wieder in den Normalbetrieb. Das Vorkommnis war meldepflichtig gemäss Unterkapitel 5.2.1.2 Buchstabe a der Richtlinie ENSI-B03 (Meldungen der Kernanlagen). Das ENSI stufte die sicherheitstechnische Bedeutung des Vorkommnisses als gering ein. Das ENSI ordnete das Vorkommnis auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 0 zu. Die Schutzziele wurden zu jeder Zeit eingehalten.

7

7. École Polytechnique Fédérale de Lausanne

Die Kernanlagen der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) umfassen den Forschungsreaktor CROCUS, das Neutronenexperiment CARROUSEL, die Neutronenquelle LOTUS und die angegliederten Labors. Diese Anlagen gehören zum «Laboratoire de physique des réacteurs et de comportement des systèmes».

Im Berichtsjahr stand der Reaktor CROCUS insbesondere den Ingenieur- und Physikstudentinnen und -studenten der EPFL, den Studentinnen und Studenten des Swiss-Nuclear-Engineering-Masterkurses der ETH Zürich und der EPFL während 186 Stunden bei kleiner Leistung (unter 50 W) für Ausbildungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 396 Wh thermische Energie erzeugt. Das Experiment CARROUSEL wurde für Praktika verwendet. Die Neutronenquelle LOTUS ist seit mehreren Jahren ausser Betrieb. Die Anlage wird zurzeit für Bestrahlungsexperimente verwendet.

Im Berichtsjahr haben zwei Reaktoroperateure und ein Reaktorphysiker die Zulassungsprüfung bestanden. Das ENSI war jeweils in der Prüfungskommission vertreten. Neben den anlagen- und fachspezifischen Kenntnissen der Kandidaten beurteilte das ENSI auch die korrekte Durchführung der Zulassungsprüfungen. Bei der Zulassungsprüfung für Reaktorphysiker beurteilte das ENSI zusätzlich die Notfallübung.

Die 12 beruflich strahlenexponierten Personen an der EPFL akkumulierten im Berichtsjahr eine Kollektivdosis von weniger als 1 Pers.-mSv. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luftpfad ist unbedeutend: Es wird keine Bilanzierung verlangt. Abgaben über den Abwasserpfad werden vor Abgabe gemäss Artikel 106 der Strahlenschutzverordnung freigemessen und befreit.

Die EPFL meldete im Berichtsjahr keine meldepflichtigen Vorkommnise gemäss der Richtlinie ENSI-B03 (Meldungen der Kernanlagen).

Im November 2023 führte das ENSI seine Jahresinspektion durch, besprach technische, organisatorische und personelle Änderungen und inspizierte verschiedene Anlagenräume sowie die Lagerung der geschlossenen radioaktiven Quellen. Das ENSI kam zum Schluss, dass die EPFL die verschiedenen Kernanlagen im Berichtsjahr sicher betrieb und dabei jederzeit die bewilligten Betriebsbedingungen einhielt.

Forschungsreaktor CROCUS.
Foto: ENSI

8

8. Transporte und Behälter

8.1 Genehmigungen nach Gefahrgutgesetzgebung

Die schweizerischen Vorschriften für den Transport radioaktiver Stoffe auf Strasse und Schiene basieren auf dem europäischen Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR; SR 0.741.621) beziehungsweise auf der Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter (RID). Bei allen Verkehrsträgern kommen die Empfehlungen der International Atomic Energy Agency (IAEA) für die sichere Beförderung radioaktiver Stoffe zur Anwendung. Basierend auf diesen Empfehlungen wird das internationale Transportrecht regelmässig angepasst. Diese Empfehlungen wurden 2018 aufdatiert (IAEA Safety Standard SSR-6, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material). Ihre Einarbeitung in die modalen Transportvorschriften für die einzelnen Verkehrsträger erfolgte per Anfang 2021. Im nationalen Transportrecht für Gefahrgüter der Klasse 7 (radioaktive Stoffe) gelten unter anderem die Verordnung vom 29. November 2002 über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR; SR 741.621) und die Verordnung vom 31. Oktober 2012 über die Beförderung gefährlicher Güter mit der Eisenbahn und mit Seilbahnen (RSD; SR 742.401.6).

Die nach diesen Rechtsvorschriften erforderlichen Genehmigungen betreffen je nach Anwendungsfall die Versandstücke, die zu befördernden Stoffe oder den Beförderungsvorgang. Sie bilden eine Voraussetzung für die Bewilligungen nach Kernenergie- oder Strahlenschutzgesetz (siehe folgende Unterkapitel). Das ENSI ist die zuständige schweizerische Behörde für die Ausstellung von Genehmigungszeugnissen und Bauart-Zulassungsscheinen beziehungsweise für die entsprechenden Anerkennungen gemäss Gefahrgutgesetzgebung. Letztere gilt unabhängig davon, ob es sich beim Transportgut um radioaktive Stoffe aus Kernanlagen oder aus anderen Betrieben handelt.

Das ENSI stützt sich bei der Prüfung von Bauartzulassungen in der Regel auf die umfassenden Beurteilungen von Versandstückmustern durch die zuständige Behörde im jeweiligen Ursprungsland der Bauart. In diesen Fällen prüft das ENSI die Vollständigkeit des zugehörigen Sicherheitsberichts, insbesondere hinsichtlich des Nachweises, dass alle gemäss ADR/RID und IAEA-Safety-Standard SSR-6 vorgeschriebenen Anforderungen erfüllt sind. Geprüft werden auch die Kritikalitätssicherheit und Aspekte, die spezifisch für die Verwendung des Versandstückmusters in der Schweiz sind. Falls keine vorgängigen Beurteilungen anderer Behörden vorliegen, erfolgt eine vollständige Prüfung der Bauart auf Erfüllung aller gefahrgutrechtlichen Anforderungen. Beförderungsgenehmigungen sind dann erforderlich, wenn die Erfüllung der gefahrgutrechtlichen Anforderungen nicht allein durch das Versandstückmuster, sondern auch durch die Einhaltung von Massnahmen während des Beförderungsvorgangs gewährleistet wird. Das ENSI prüft anhand der eingereichten Dokumente, ob Verpackung, Inhalt und beförderungsspezifische Massnahmen alle gefahrgutrechtlichen Anforderungen erfüllen.

Im Berichtsjahr beurteilte das ENSI ein Gesuch nach Gefahrgutgesetzgebung und stellte die entsprechende Genehmigung aus. Das Gesuch betraf die Anerkennung eines Typ-IF-Versandstückmusters für die Verwendung in der Schweiz auf der Basis einer vorliegenden ausländischen Zulassung.

8.2 Bewilligungen nach Strahlenschutzgesetzgebung

Gemäss Artikel 2 des Strahlenschutzgesetzes sind der Transport auf öffentlichen Verkehrswegen sowie die Ein- und Ausfuhr von radioaktiven Stoffen bewilligungspflichtige Tätigkeiten. Die Voraussetzungen für die Erlangung solcher Bewilligungen sind im Strahlenschutzgesetz und in der Strahlen-

Anlieferung eines Castor-Behälters. Foto: Zwilag

schutzverordnung festgehalten. Derartige Bewilligungen sind über einen längeren Zeitraum befristet und hinsichtlich der Anzahl Transporte üblicherweise nicht begrenzt. Im Bereich der Kernanlagen ist das ENSI die zuständige Behörde, für den sonstigen Bereich ist das Bundesamt für Gesundheit (BAG) zuständig. Die Zuständigkeiten sind auf der Internet-Seite des ENSI unter der Rubrik Entsorgung erläutert. Unter dem Stichwort Transportbewilligungen finden in- und ausländische Gesuchsteller Information und Musterformulare in den Sprachen Englisch, Deutsch und Französisch.

Im Berichtsjahr wurden zwei Transportbewilligungen für Transportfirmen aus Schweden und der Schweiz erteilt. Insgesamt verfügten 14 in- und ausländische Speditionen, Dienstleister und Prüffirmen über eigenständige strahlenschutzrechtliche Transportbewilligungen oder Anerkennungen von BAG-Bewilligungen seitens des ENSI und sind somit berechtigt, Transporte von radioaktiven Stoffen im Verkehr mit den Schweizer Kernanlagen durchzuführen.

8.3 Bewilligungen nach Kernenergiegesetzgebung

Nach den Artikeln 6 und 34 des Kernenergiegesetzes (KEG) bedarf der Umgang mit Kernmaterialien und radioaktiven Abfällen aus Kernanlagen einer Bewilligung des Bundes. Artikel 3 des KEG präzisiert den Begriff Umgang als Forschung, Entwicklung, Herstellung, Transport, Einfuhr, Ausfuhr, Durchfuhr und Vermittlung. Zuständig für die Erteilung solcher Bewilligungen ist das Bundesamt für Energie (BFE). Im Hinblick auf die kernenergierechtliche Bewilligung von Transporten prüft das ENSI als Fachbehörde, ob die nukleare Sicherheit und Sicherung gewährleistet und die Vorschriften über die Beförderung gefährlicher Güter erfüllt sind. Das BFE erteilt die Bewilligung erst, wenn eine positive Beurteilung durch das ENSI vorliegt. Diese Bewilligungen sind maximal ein Jahr gültig und können einmalig um maximal sechs Monate verlängert werden.

Im Berichtsjahr beurteilte das ENSI 13 kernenergierechtliche Transportgesuche sowie vier Verlängerungsgesuche. Dabei handelte es sich vorwiegend um Gesuche für den Transport von radioaktiven Betriebsabfällen zur Zwilag in Würenlingen, für die Einfuhr von frischen Brennelementen und für den Abtransport abgebrannter Brennelemente zur Zwilag.

Anlieferung eines Behälters in der Zwilag.
Foto: Zwilag

8.4 Beschaffung von Transport- und Lagerbehältern

Das Konzept der Zwischenlagerung von bestrahlten Brennelementen und von hochaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung (Glaskokillen) besteht darin, diese Abfälle in störfallsicheren Transport- und Lagerbehältern (T/L-Behältern) einzuschliessen, deren Dichtheit im Zwischenlager kontinuierlich überwacht wird. Im Falle des Kernkraftwerks Gösgen erfolgt vor dieser «trockenen» Behälterlagerung eine verlängerte Lagerung unter Wasser im störfallsicheren externen Nasslager auf dem Betriebsgelände des Werkes.

Die T/L-Behälter werden von den Kernkraftwerken zum jeweiligen Zwischenlager transportiert, dort in der Behälterlagerhalle abgestellt und an ein Überwachungssystem angeschlossen, das die Dichtheit überwacht. Die Behälter müssen die Sicherheit für den gesamten Zeitraum der Zwischenlagerung gewährleisten. Deshalb sind hierfür gegenüber einem reinen Transportbehälter nochmals erhöhte Anforderungen zu erfüllen. Details und Verfahren hierzu regeln die

Transport eines Lagerbehälters. Foto: KKL

Richtlinien ENSI-G05 (Auslegung und Fertigung von Transport- und Lagerbehältern für die Zwischenlagerung) und ENSI-B17 (Betrieb von Zwischenlagern für radioaktive Abfälle). In der Richtlinie ENSI-G05 sind nicht nur die Anforderungen an die Auslegung der T/L-Behälter spezifiziert, sondern auch die Anforderungen an die Qualität, die begleitenden Kontrollen und die Dokumentation bei der Behälterfertigung. Bei der Fertigung der T/L-Behälter sind festgelegte und vom ENSI freigegebene Abläufe einzuhalten. Diese werden im Auftrag des ENSI von unabhängigen Fachleuten kontrolliert. Für jedes einzelne Behälterexemplar bestätigt das ENSI schliesslich den qualitätsgerechten Abschluss der Fertigung durch seine Freigabe zur Verwendung (KEG; Richtlinie ENSI-G05, Kapitel 4) und im Gefahrgutrecht durch die Registrierung des Serienmusters als Versandstück für radioaktive Stoffe.

Ende 2023 befanden sich 29 Transport- und Lagerbehälter in den verschiedenen Fertigungsphasen, von der Fertigungsvorbereitung bis zur Freigabe zur Verwendung oder der Registrierung durch das ENSI. Aktuell werden zwei unterschiedliche Bauarten für abgebrannte Brennelemente gefertigt. Soweit sich Abweichungen bei der Fertigung ergaben, wurden diese von den Herstellern korrigiert oder nach eingehender Prüfung als akzeptabel qualifiziert, nachdem die auslegungsgemässe Sicherheit des jeweiligen Behälters nachgewiesen werden konnte.

Das ENSI zieht zur Fertigungsüberwachung externe Sachverständige hinzu, zum überwiegenden Teil aus der Schweiz, in Einzelfällen auch aus den Herstellungsländern. Ergänzend zu den Kontrollen im Bereich der laufenden Fertigung von T/L-Behältern wird die Zulassung für eine neue, speziell für die Schweiz vorgesehene Behälterbauart für bestrahlte Brennelemente bearbeitet und deren Vorabfertigung überwacht. Wie bereits in den vorangegangenen Jahren wurden Inspektionen und Fachgespräche mit Aufsichtsbehörden anderer Länder durchgeführt: mit der Aufsichtsbehörde Autorité du sûreté nucléaire (ASN), dem Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) aus Frankreich und mit der belgischen Aufsichtsbehörde FANC und deren Sachverständigen Bel V.

Im Berichtsjahr nahm das ENSI neun Behälterexemplare gemäss der Richtlinie ENSI-G05 ab und gab sie als beladene Behälter zur Einlagerung im Zwischenlager ZWIBEZ des Kernkraftwerks Beznau beziehungsweise im Zentralen Zwischenlager der Zwilag frei. Ebenso wurden neun Transport- und Lagerbehälter beim ENSI gemäss dem Leitfaden für Verpackungen radioaktiver Stoffe registriert.

Zurzeit befinden sich zwei neue Behälterbauarten im Bauartfreigabeverfahren gemäss der Richtlinie ENSI-G05, Kapitel 3. Aufgrund des teilweise innovativen Charakters dieser Behälterbauarten wird die Begutach-

Bahntransport.
Foto: ENSI

tung auch unter Beizug externer Expertinnen und Experten abgewickelt.

8.5 Aufsicht und Inspektionen

Bei der Beförderung radioaktiver Stoffe müssen zur Sicherheit des Transportpersonals und der Bevölkerung die Strahlenschutz- und Transportvorschriften eingehalten werden. Die Qualitätssicherungsprogramme der Konstrukteure und Hersteller von Verpackungen sowie jene der Spediteure, Absender, Beförderer und Empfänger von radioaktiven Stoffen müssen die Einhaltung der Vorschriften gewährleisten. Im Rahmen der in den Unterkapiteln 8.1 bis 8.3 beschriebenen Bewilligungsverfahren wird dies vom ENSI generisch überprüft. Zudem inspiziert das ENSI regelmässig übergeordnete organisatorische Aspekte, die als gute Indikatoren für ein gelebtes Qualitätsbewusstsein dienen.

Das ENSI führte im Jahr 2023 in seinem Aufsichtsbereich acht Inspektionen zu Transporten radioaktiver Stoffe durch. Die Inspektionen betrafen den Versand von bestrahlten Brennstäben, Proben und radioaktiven Abfällen. Zudem wurden zwei Inspektionen zur Beladung von Transportbehältern, zwei Inspektionen zum Betrieb der Heissen Zelle sowie eine Inspektion zur Lagerbewirtschaftung durchgeführt. Die gefahrgutrechtlichen Grenzwerte, insbesondere für Kontamination und Dosisleistung wurden in allen Fällen eingehalten. Es wurde dreimal ein Verbesserungsbedarf bezüglich Vorgabedokumentation festgestellt. Alle anderen Aspekte wurden mit Normalität bewertet.

Externe Bewilligungsinhaber von schweizerischen Bewilligungen für den Transport radioaktiver Stoffe (Beförderer) wurden im Zusammenhang mit ihren Tätigkeiten für die Kernanlagen bewertet. Dabei ergaben sich in einem Fall Beanstandungen, die zu einem Neuantrag der Bewilligung führte. Im Rahmen des Gesuches um Erneuerung der strahlenschutzrechtlichen Bewilligung für den Transport wurde ein Fachgespräch mit den zuständigen Stellen des Gesuchstellers und dessen Gefahrgutbeauftragten geführt.

9

9. Geologische Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle

9.1 Einleitung

In der Schweiz fallen radioaktive Abfälle an. Gemäss schweizerischer Kernenergiegesetzgebung müssen diese auch in der Schweiz in einem geologischen Tiefenlager entsorgt werden. Das seit 2008 laufende Standortauswahlverfahren für geologische Tiefenlager (Sachplan geologische Tiefenlager, SGT) wird vom Bundesamt für Energie (BFE) geleitet. Die Gesamtverantwortung für die sicherheitstechnische Beurteilung der im Verfahren gemachten Vorschläge für geologische Standortgebiete und Standorte liegt in den Händen des ENSI (siehe Unterkapitel 9.2). Für die dritte und letzte Etappe des Auswahlverfahrens wurden in den verbleibenden drei Standortgebieten von der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) 3D-seismische Messungen durchgeführt und insgesamt neun Tiefbohrungen abgeteuft. Das ENSI hat die Tiefbohrungen aufsichtlich begleitet (siehe Unterkapitel 9.3). Auf der Basis der dabei gewonnenen Daten gab die Nagra im September 2022 ihre Wahl des Tiefenlagerstandorts bekannt (siehe Unterkapitel 9.2).

Vorgängig zum für das Jahr 2024 geplanten Einreichen des Rahmenbewilligungsgesuchs (RBG) für ein geologisches Tiefenlager hat die Nagra im Berichtsjahr an vier RBG-Seminaren die Resultate aus ihren Untersuchungen und Datenerhebungen präsentiert (siehe Unterkapitel 9.2). An diesen Sitzungen nahmen neben dem ENSI, dem BFE und der Eidgenössischen Kommission für nukleare Sicherheit (KNS) auch Vertreter der Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung (EGT) des ENSI, des Beirats Entsorgung, der Kantone und aus deren Expertengruppe, des Bundesamtes für Landestopografie swisstopo sowie Fachvertreter ausländischer Behörden teil. Dem ENSI haben diese Präsentationen dazu gedient, seine Beurteilungsarbeiten zum Vorschlag der Nagra und dem RBG vorzubereiten.

Das ENSI ist für die Überprüfung des alle fünf Jahre einzureichenden Entsorgungsprogramms (samt zugehörigem Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplan) zuständig, das durch die Nagra erstellt wird. Das ENSI hat sein Gutachten im Mai 2023 und der Bundesrat seine Verfügung zum Entsorgungsprogramm im Dezember 2023 veröffentlicht (siehe Unterkapitel 9.4).

Die aktuellen Arbeiten des ENSI zur sicherheitstechnischen Beurteilung auf dem Gebiet der Entsorgung radioaktiver Abfälle werden durch eine grosse Anzahl von externen Experten, insbesondere durch die international zusammengesetzte EGT unterstützt, die eigene Stellungnahmen erarbeitet und auf ihrer Internetseite veröffentlicht (siehe Unterkapitel 9.5). Die Zuarbeit dieser Expertengruppe dient dem ENSI bei der Vorbereitung der Prüfarbeiten im Rahmen des SGT, aber auch bei weiteren aufsichtlichen Aufgaben. So wurde im Jahr 2023 beispielsweise eine Empfehlung der EGT in die Verfügung des Bundesrates zum Entsorgungsprogramm 2021 aufgenommen.

Zu klärende Fachfragen des ENSI werden im Rahmen der regulatorischen Forschung des ENSI angegangen. Forschungsarbeiten werden dabei in Zusammenarbeit mit diversen Fachleuten aus Universitäten, Forschungseinrichtungen und privaten Unternehmen durchgeführt, eine Reihe davon im Felslabor Mont Terri (siehe Unterkapitel 9.6). Zu den aktuell laufenden Forschungsprojekten finden sich detaillierte Ausführungen im Erfahrungs- und Forschungsbericht 2023 des ENSI.

Neben den Forschungsarbeiten aktualisiert und erweitert das ENSI seinen Wissensstand auch auf der Basis seiner Mitarbeit in internationalen Gremien und Forschungsprogrammen (siehe Unterkapitel 9.7). Anhand dieser Zusammenarbeit sammelt das ENSI Erfahrungen aus anderen nationalen Entsorgungsprogrammen und prüft deren

Felslabor Mont Terri. Foto: swisstopo

Arbeiten im Felslabor Mont Terri. Foto: swisstopo

Übertragbarkeit auf die Entsorgung radioaktiver Abfälle in der Schweiz.

9.2 Sachplan geologische Tiefenlager

Mit dem Start der Etappe 3 des SGT im November 2018 hatte der Bundesrat entschieden, dass die drei Standortgebiete Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost weiter untersucht werden sollen. In der noch laufenden Etappe 3 wurden alle drei Standortgebiete mit erdwissenschaftlichen Untersuchungen weiter analysiert (siehe Unterkapitel 9.3).

Das ENSI veröffentlichte Ende November 2018 seine sicherheitstechnischen Vorgaben für die Etappe 3. Diese Vorgaben präzisieren das Vorgehen der Entsorgungspflichtigen bei der Standortwahl und den notwendigen Detaillierungsgrad der entsprechenden RBG.

Am 12. September 2022 hat die Nagra angekündigt, dass sie ein RBG für ein Kombilager für alle radioaktiven Abfälle im Standortgebiet Nördlich Lägern in Stadel (Kanton Zürich) und ein RBG für eine Brennelementverpackungsanlage neben dem Standort des bestehenden Zentralen Zwischenlagers der Zwilag in Würenlingen (Kanton Aargau) einreichen will. Die Nagra plant die Unterlagen für die RBG im November 2024 einzureichen.

Im Jahr 2023 setzte das ENSI die Vorbereitungsarbeiten zu seiner sicherheitstechnischen Prüfung der beiden RBG fort. Hierzu gehörten unter anderem die Abstimmung mit dem BFE zu Konkretisierungen im Ablauf der RBG-Verfahren und zu den Anforderungen an die RBG sowie die Erstellung von Rechenmodellen und Expertenverträgen für die Prüfung. Zudem hat das ENSI damit begonnen, vorzeitig eingereichte Unterlagen zum modellhaften Inventar radioaktiver Materialien, zum bautechnischen Dossier oder zu Daten aus den Tiefbohrungen zu prüfen.

RBG-Seminare

Im Jahr 2023 fanden vier RBG-Seminare unter der Leitung des ENSI statt. Diese neue Reihe von Seminaren hat die früheren Behördenseminare sowie die Sitzungsreihe des Fachgremiums erdwissenschaftliche Untersuchungen abgelöst. Im Rahmen der RBG-Seminare stellt die Nagra den involvierten Behörden, Gremien und Fachleuten ihr Vorgehen beim Erstellen der RBG vor, erläutert bereits eingereichte Berichte und beantwortet Fragen zu seiner angekündigten Standortwahl. Die RBG-Seminare helfen dem ENSI, seine Beurteilungsarbeiten zu planen und zu den bereits veröffentlichten Berichten Fragen zu stellen.

Das erste RBG-Seminar fand am 28. März 2023 statt. In diesem Seminar präsentierte die Nagra das Lüftungs- und Kühlungskonzept für die untertägigen Anlagen des geologischen Tiefenlagers, das Rückholungs-

konzept, die Methodik und das Vorgehen für den Sicherheitsnachweis sowie für die Sicherheitsanalysen.

Am zweiten RBG-Seminar vom 29. Juni 2023 wurden der Istzustand der geologischen Barriere für die Sicherheitsanalysen, die von der Nagra geplanten Radionuklidtransportmodellierungen für den ungestörten Schichtstapel zwischen Malm und Muschelkalk, der vorläufige Schutzbereich und die dazu geplanten Nutzungsbeschränkungen sowie der Vorschlag für Eignungskriterien der Nagra dargestellt.

Am 31. August 2023 hat die Nagra im Rahmen des dritten RBG-Seminars die Bedeutung des Spannungsfelds für das geologische Tiefenlager, die geomechanischen Eigenschaften, die bautechnische Eignung und bautechnische Risikoanalyse im Hinblick auf die Bewertung der Kriteriengruppe 4 sowie ihre Vorschläge zur Festlegung der maximalen Lagerkapazität vorgestellt.

Das vierte RBG-Seminar fand am 30. November 2023 statt und stand thematisch im Zeichen der regionalen Tektonik und deren langzeitlicher Entwicklung, der Dateninterpretation zur 3D-Seismik, der hydrogeologischen Eigenschaften von Störungen im Opalinuston, der Robustheit der geologischen Barriere gegenüber Störungseinflüssen und des Prozesses der Selbstabdichtung im Opalinuston. Darauf aufbauend wurde deren Berücksichtigung im Standortvergleich und im Sicherheitsnachweis diskutiert. Im Weiteren hat die Nagra geologische Szenarien für die Beurteilung des Einflusses von Erdbeben, den Umgang mit Störungen und die provisorische Konzeptualisierung der Störungen im Rahmen der radiologischen Konsequenzenanalysen im Hinblick auf den Standortvergleich und Sicherheitsnachweis für das geologische Tiefenlager thematisiert. Ausserdem wurden durch einen Experten der Kantone eigene hydrogeologische Modellierungen vorgestellt und unter den Gremien diskutiert.

Arbeiten im Felslabor Mont Terri. Foto: swisstopo

Technisches Forum Sicherheit

Das Technische Forum Sicherheit (TFS) dient im Rahmen des SGT als Informations- und Austauschplattform. Im TFS werden technische und wissenschaftliche Fragen zur Sicherheit und Geologie aus der Bevölkerung, von Gemeinden, Standortregionen, Organisationen, Kantonen und aus dem Gemeinwesen betroffener Nachbarstaaten diskutiert und beantwortet. Das TFS besteht aus Fachpersonen der verfahrensleitenden Behörde (BFE), der überprüfenden (ENSI, KNS) beziehungsweise unterstützenden Behörde (swisstopo), von verfahrensbegleitenden Gremien (Beirat Entsorgung, EGT, ESchT), von Nichtregierungsorganisationen, der Entsorgungspflichtigen (Nagra) sowie aus delegierten Personen der Standortregionen, Standortkantone, betroffenen Nachbarkantone sowie aus Deutschland und Österreich. Das ENSI leitet das TFS, es sammelt die Fragen, koordiniert die Beantwortung der Fragen der Forumsmitglieder und organisiert die TFS-Sitzungen. Die eingegangenen Fragen und darauf formulierten Antworten werden der Öffentlichkeit auf der Website des ENSI unter www.ensi.ch/de/technisches-forum-sicherheit zur Verfügung gestellt. Im Berichtsjahr fanden drei Sitzungen des TFS statt. Von den bis Ende 2023 im TFS aufgenommenen 169 Fragen waren zu diesem Zeitpunkt 164 beantwortet.

Neben der Beantwortung eingereichter Fragen wurden im Berichtsjahr an den Sitzun-

Infopavillon der Nagra.
Foto: Nagra

gen verschiedene Fachthemen vertieft diskutiert: An der Sitzung vom März 2023 stellte die EGT ihr Positionspapier zum Datenmanagement-Plan für ein geologisches Tiefenalger vor. An der Sitzung vom November 2023 präsentierten das BFE und die KNS ihre Stellungnahmen sowie das ENSI sein Gutachten zum Entsorgungsprogramm 2021 der Nagra. Das BFE gab zudem einen Ausblick auf das nächste Entsorgungsprogramm, das im Jahr 2026 einzureichen sein wird.

Öffentlichkeitsarbeit

Im Berichtsjahr unterstützte das ENSI das BFE im Rahmen von Ausbildungsmodulen zum SGT in den Anlagen der Zwilag sowie im Felslabor Mont Terri. Zusätzlich nahm das ENSI an diversen Vollversammlungen der Regionalkonferenz Nördlich Lägern teil und stand der dazugehörigen Fachgruppe Sicherheit für Auskünfte zu Fachthemen zur Verfügung.

Im Jahr 2023 führte das ENSI verschiedene Besuchergruppen durch das Felslabor Mont Terri und stand für Auskünfte zur Verfügung.

9.3 Sondierbohrungen für die Etappe 3

Für die Tiefbohrungen der Nagra ist das ENSI als Leitbehörde für die Freigaben von Bau, Betrieb, Verschluss und gegebenenfalls der Langzeitbeobachtung sowie für die Kontrolle der Auflagen aus den jeweiligen Bewilligungen des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK und aus den ENSI-Freigaben zuständig. Mit den Freigaben zu einzelnen Phasen auf dem Bohrplatz präzisiert und konkretisiert das ENSI die in den Bewilligungen allgemein formulierten Anforderungen an die Auslegung der Bohrungen, den Bohrbetrieb und deren Verschluss. Sowohl der Bohrbetrieb als auch der Einbau von Langzeitbeobachtungssystemen wurde im Jahr 2022 abgeschlossen.

Im Berichtsjahr erfolgten Qualitätsbeurteilungen der Verrohrungszementationen für die Bohrungen Stadel 2-1 und Trüllikon 1-1. Diese wurden in intensivem Autausch mit den zuständigen kantonalen Fachstellen (AG und ZH) durchgeführt. Im Mai 2023 erteilte das ENSI die Freigaben für die Verschlussarbeiten der Bohrungen Bözberg 2-1, Stadel 2-1 und Trüllikon 1-1. Im Auftrag des BFE erstellte das ENSI im Juni 2023 ein Gutachten betreffend die Verlängerung der Bewilligung für den Betrieb des Bohrplatzes Trüllikon 1. Hintergrund war, dass die Bohrung Trüllikon 1-1 eventuell einer Nachnutzung zugeführt werden soll. Mit der Verlängerung der Betriebsbewilligung wurden die administrativen Vorraussetzungen für die Vorbereitung eines Übernahmegesuchs geschaffen.

Ebenfalls im Juni 2023 erfolgte auf Antrag der Nagra eine Revision der Freigabe der Verschlussarbeiten für die Bohrung Stadel 2-1. Sie betraf einen Teilverschluss von

der Endtiefe bis zirka 380 m unter Terrain. In den verbleibenden oberen Teil des Bohrlochs soll, sofern die nötigen kantonalen Bewilligungen erteilt werden können, eine Erdwärmesonde eingebaut werden. In diesem Zusammenhang führte das ENSI im Oktober 2023 eine Grobprüfung des Gesuchs um Änderung der Anforderungen an den Rückbau des Bohrplatzes Stadel 2 vor der Entlassung aus der Bewilligungshoheit des Bundes durch.

Im Berichtsjahr führte das ENSI auch Begehungen der verbliebenen Bohrplätze durch. Es beaufsichtigte unter anderem die Verschlussarbeiten der Bohrungen Bözberg 2-1 und den Teilverschluss der Bohrung Stadel 2-1 vor Ort.

9.4 Entsorgungsprogramm

Die Kernenergieverordnung legt in Artikel 52 fest, dass die Entsorgungspflichtigen ein Entsorgungsprogramm vorlegen müssen, das alle fünf Jahre anzupassen ist. Zuständig für die Überwachung der Einhaltung des Programms sind das ENSI und das BFE. Die Nagra veröffentlichte im Dezember 2021 gemäss der Verfügung des Bundesrates zum Entsorgungsprogramm 2008 vom 22. August 2013 einen Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplan (RD&D-Plan) als Teil des Entsorgungsprogramms.

Am 23. Mai 2023 veröffentlichte das ENSI sein Gutachten. Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Nagra mit dem Einreichen des Entsorgungsprogramms und des RD&D-Plans den gesetzlichen Auftrag gemäss Artikel 32 des Kernenergiegesetzes (KEG) und Artikel 52 der Kernenergieverordnung (KEV) – bezogen auf die vom ENSI zu prüfenden Aspekte – erfüllt hat. Die Nagra hat mit den im RD&D-Plan enthaltenen Roadmaps die wichtigen offenen Fragen aufgelistet und einen Zeitplan für deren Beantwortung erstellt. Damit hat die Nagra das Thema der offenen Fragen angemessen behandelt. Der Realisierungsplan bildet die aufeinanderfolgenden nuklearen Bewilligungsverfahren korrekt und transparent ab; dies gilt auch für das Verfahren zur Standortwahl. Das ENSI hat sieben neue Auflagenanträge formuliert, die in zukünftigen Entsorgungs- und Forschungsprogrammen zu berücksichtigen sind. Die neuen Auflagenanträge betreffen die Themen Verpackungskonzept, Pilotlager, Datenmanagement-Plan, Bau des Tiefenlagers, Stellplätze bei der Zwilag, Fortschritte im RD&D-Plan und digitale Konzepte.

Am 8. Dezember 2023 wurde die Verfügung des Bundesrates zum Entsorgungsprogramm 2021 veröffentlicht, in der die Auflagenanträge des ENSI inhaltlich übernommen und verfügt wurden. Der Bundesrat verfügte, dass die Entsorgungspflichtigen mit dem von der Nagra eingereichten Entsorgungsprogramm 2021 ihren gesetzlichen Auftrag gemäss Artikel 32 des KEG sowie Artikel 52 der KEV erfüllt haben. Die Entsorgungspflichtigen haben das nächste Entsorgungsprogramm im Jahr 2026, gleichzeitig mit der Kostenstudie 2026, einzureichen.

9.5 Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung

Gemäss Pflichtenheft des SGT unterstützt die Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung (EGT) das ENSI in seiner Arbeit zu den sicherheitstechnischen Beurteilungen, verfasst Stellungnahmen zuhanden des ENSI zur geologischen Beurteilung der Standortgebiete und Standorte und zur bautechnischen Machbarkeit der geologischen Tiefenlager und nimmt Stellung zu Gesuchen für erdwissenschaftliche Untersuchungen. Für das ENSI ist die EGT eine wichtige Wissensträgerin, da darin von der Nagra unabhängige Fachleute vertreten sind. Die EGT und das ENSI legen jährlich gemeinsam die Schwerpunkte der Arbeiten der EGT fest. Der EGT gehörten im Berichtsjahr acht Mitglieder aus dem Hochschulbereich des In- und Auslands an, welche verschiedene in der geologischen Tiefenlagerung relevante Fachbereiche abdecken. Das ENSI führt das Sekretariat der EGT.

Im Berichtsjahr fanden fünf ganztägige, reguläre Plenarsitzungen der EGT statt. Zudem war die EGT an den vier vom ENSI organisierten RBG-Seminaren und an den vier Sitzungen des TFS (siehe Unterkapitel 9.2)

vertreten. Zusätzlich vertraten Mitglieder die EGT in Fachsitzungen mit der Nagra zu den Themen «Charakterisierung von Adern im Opalinuston», «Gas-Transport-Siegel-Experiment im Felslabor Grimsel», «Stoffmodel für den Opalinuston», «3D-Seismik-Processing und -Interpretation» und «Verschlusskonzept für ein geologisches Tiefenlager».
Im Jahr 2023 publizierte die EGT ein Positionspapier zur Genese, Typisierung und Korrelation von «harten Bänken» in den Rahmengesteinen des Opalinustons und eine Stellungnahme zum Konzept der Nagra für die Versiegelung und den Verschluss eines geologischen Tiefenlagers. In letztgenannter Stellungnahme stellt die EGT die Frage, ob die Nagra im RBG einen genügend belastbaren Nachweis für die langfristige Funktionsfähigkeit der Sand-/Bentonit-Siegel erbringen kann. Im Jahr 2023 hat der Bundesrat über das Entsorgungsprogramm 2021 bestimmt (siehe Unterkapitel 9.5) und dabei einen von der EGT vorgeschlagenen Auflagenantrag zu einem Datenmanagement-Plan übernommen und dessen Berücksichtigung bei zukünftigen Entsorgungsprogrammen verfügt.
Weitere Themen, mit denen sich die EGT im Berichtsjahr intensiv auseinandersetzte, umfassten die 3D-seismische Datenverarbeitung, die Tektonik und Geodynamik in den Standortgebieten, das Rückholungskonzept der Nagra, die Lithostratigraphie des Opalinustons und seiner Rahmengesteine sowie die Qualität der geologischen Barriere in den Standortgebieten.

9.6 Felslaboratorien

In der Schweiz betreibt swisstopo das Felslabor Mont Terri und die Nagra das Felslabor Grimsel. In beiden Felslaboratorien werden unter Beteiligung internationaler Partner umfangreiche Forschungsprojekte zur geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle durchgeführt. Ziel der Forschung ist die Charakterisierung und Erfassung der geotechnischen, geochemischen und hydraulischen Eigenschaften der dortigen Gesteinsformationen und die Entwicklung und Überprüfung von Lagerkonzepten für den sicheren Einschluss radioaktiver Abfälle sowie von Techniken zur Erfassung der relevanten Daten. Um die für die Sicherheitsbeurteilung erforderlichen Datensätze zum Gesamtverhalten des Barrierensystems zu gewinnen, werden ausserdem in Demonstrationsversuchen die Eigenschaften und das Verhalten technischer Barrieren (Bentonit, Zement, Stahlbehälter) in Wechselwirkung untereinander und mit der geologischen Barriere untersucht.
Das ENSI ist seit 2003 im Felslabor Mont Terri mit eigenen Experimenten an der Erforschung des Opalinustons und ausgewählter tiefenlagerrelevanter Prozesse beteiligt. Damit wird die behördeninterne Fachkompetenz erweitert und es werden für die aufsichtliche Beurteilung eigene Datensätze und Modelle entwickelt. Details zu den aktuellen Experimenten unter der Leitung oder Beteiligung des ENSI sind im Erfahrungs- und Forschungsbericht 2023 beschrieben.
In dem von der Nagra betriebenen Felslabor Grimsel hat das ENSI einen Beobachterstatus und beteiligt sich nicht aktiv an den Experimenten. Von Interesse für das ENSI sind vor allem diejenigen Experimente, die unabhängig vom Wirtgestein Prozesse in den technischen Barrieren untersuchen sowie dejenigen, die Techniken zur Erfassung sicherheitsrelevanter Daten entwickeln.

9.7 Internationaler Wissenstransfer

Basis der fachlichen Beurteilungsarbeit des ENSI ist die Festlegung des Standes von Wissenschaft und Technik. Das ENSI legt daher grossen Wert auf seine Mitarbeit in nationalen und internationalen Arbeitsgruppen, um Fragestellungen im Bereich der Entsorgung radioaktiver Abfälle in geologischen Tiefenlagern, vor allem im europäischen Rahmen, zu verfolgen und sich bezüglich des Standes von Wissenschaft und Technik und der aktuellen Entwicklungen in anderen Ländern zu informieren. Neben der Beteiligung an der internationalen Forschung im Felslabor Mont Terri (siehe Unterkapitel 9.6) engagiert sich das ENSI in internationalen Forschungsprojekten zur Entsorgung wie zum Beispiel

Arbeiten im Felslabor. Foto: swisstopo

DECOVALEX. Das ENSI verfolgt auch verschiedene Arbeitspakete wie GAS und HITEC des Europäischen Forschungsprogramms EURAD (European Joint Programme on radioactive Waste Management) und arbeitet in verschiedenen internationalen Gremien wie zum Beispiel BIOPROTA mit.
Das ENSI beteiligte sich im Berichtsjahr zudem an den Aktivitäten der Arbeitsgruppen der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) und der Nuclear Energy Agency (NEA). Diese umfassen die «Integration Group for the Safety Case» (IGSC), die «Working Group on Measurements and Physical Understanding of Groundwater Flow through Argillaceous Media» (Clay Club) und die «Expert Group on Operational Safety» (EGOS). Die Mitarbeit des ENSI in den Gremien der OECD und NEA ermöglicht den Zugang zu wichtigen internationalen Informationsplattformen. Im Zentrum steht dabei der Wissenstransfer zur Anwendung von Sicherheitsnachweisen für geologische Tiefenlager, zur Tongesteinsforschung und zu bereits bestehender Betriebserfahrung.

DECOVALEX

Das Projekt DECOVALEX ist eine internationale Forschungskooperation, die vom Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) koordiniert wird. Sie soll das Verständnis für gekoppelte thermische, hydraulische, mechanische und chemische Prozesse (THMC) in geologischen Systemen vertiefen und die Fähigkeit zur numerischen Modellierung dieser Prozesse verbessern. DECOVALEX steht für «DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments in nuclear waste isolation». Im April 2020 begann die bis Ende 2023 laufende Phase VIII des Projekts. Neben dem ENSI nehmen 17 finanzierende Organisationen teil. Diese können zusätzliche Forschungsteams beauftragen.
Das ENSI hat das Arbeitspaket C vorgeschlagen und leitet dieses mit Unterstützung der englischen Firma Quintessa. An diesem Arbeitspaket beteiligen sich neben dem ENSI Organisationen aus China, Deutschland, Kanada, Südkorea, den USA und der Schweiz. Das Arbeitspaket befasst sich mit der Modellierung des Heizexperiments im Massstab 1:1 (Full-Scale-Emplacement-Experiment, FE) im Felslabor Mont Terri. Die Daten wurden von der Nagra und den anderen Partnern des Experiments zur Verfügung gestellt. Die Details zu den aktuellen Ergebnissen sind im Erfahrungs- und Forschungsbericht 2023 beschrieben.

BIOPROTA

BIOPROTA ist ein internationales Kooperationsforum, das die Beantwortung zentraler Fragestellungen in Bezug auf Biosphärenaspekte bei der Bewertung langfristiger Auswirkungen von Schadstofffreisetzungen im Zusammenhang mit der Entsorgung ra-

Führung im Felslabor. Foto: Nagra

dioaktiver Abfälle und der Bewirtschaftung kontaminierter Flächen unterstützt. Das ENSI ist seit 2012 Mitglied des Forums. Die Mitgliedschaft dient der Kompetenzerweiterung des ENSI im Bereich der Biosphärenmodellierung. Die Arbeiten fokusieren unter anderem auf den Umgang mit Ungewissheiten bei der Modellierung der Umweltauswirkungen und der entsprechenden Strahlenexposition im Zusammenhang mit dem Sicherheitsnachweis für geologische Tiefenlager. Das Forum trifft sich jährlich, um die Ergebnisse von aktuellen Forschungsarbeiten zu diskutieren und zukünftige Forschungsschwerpunkte festzulegen. Im September 2023 wurde mit Beteiligung des ENSI das Schwerpunktprojekt zum Thema «Transport von C-14 in terrestrischer und aquatischer Umgebung» fertiggestellt und veröffentlicht. Ausserdem fanden Videokonferenzen zu weiteren Themen statt.

IGSC

Im Oktober 2023 fand das jährliche Treffen der «Integration Group for the Safety Case», IGSC, in Paris statt. An diesem Treffen wurde das Thema «Erfahrungen aus anderen nuklearen Anlagen im Betrieb» diskutiert.

Clay Club

Die «Working Group on Measurements and Physical Understanding of Groundwater Flow through Argillaceous Media», kurz Clay Club, verfolgt auf internationaler Ebene den aktuellen Stand der Tongesteinsforschung und tauscht Erfahrungen dazu aus. Die Jahressitzung des Clay Clubs fand im September 2023 in Szekszard, Ungarn, statt. Dort wurde umfangreich über den Stand des ungarischen Entsorgungsprogramms für radioaktive Abfälle informiert. Wichtige weitere Themen waren die Länderberichte, der Status zum geplanten Forschungsprojekt zu anomalen Drücken in Tongesteinen sowie die Ergebnisse des Projekts ClayWat (Binding state and mobility of WATer in CLAY-rich media). Dabei geht es um die Verbesserung der Methoden zur Bestimmung des Porenwassergehaltes in Tonen und Schiefertonen, die Interpretation der Porenwasser-Zusammensetzung aus Extraktionsexperimenten, die advektive Mobilität des Porenwassers und die Evaluation geeigneter Methoden zur Charakterisierung des Bindungszustands von Porenwasser. Details zum ClayWat-Projekt sind im Erfahrungs- und Forschungsbericht 2023 des ENSI beschrieben.

EGOS

Die «Expert Group on Operational Safety», EGOS, dient dem Austausch von technischen und regulatorisch-gesetzgeberischen Erfahrungen in Bezug auf die nukleare und radiologische Betriebssicherheit eines geologischen Tiefenlagers. Im Berichtsjahr überarbeitete die EGOS die drei Berichtsentwürfe zu den Themen «Fire and Ventilation», «Development of Waste Acceptance Crite-

ria» und «Gefährdungsbilder für den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers». Um den Bericht «Fire and Ventilation» auf den aktuellen Stand zu bringen, fand ein Workshop statt, an dem die aktuellen Entwicklungen zu diesem Thema besprochen wurden.
Zudem befasste sich die EGOS im Rahmen ihrer Jahressitzung schwerpunktmässig mit den Methoden und bewährten Verfahren zur Ermittlung von Gefährdungsbildern für den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers, die als Grundlage für die Sicherheitsanalysen dienen.

10

80000
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
Jan
Feb
Mar
Apr
May
Jun
Jul
Aug
Sep
Oct

10. Anlagenübergreifende Themen

10.1 Probabilistische Sicherheitsanalysen

Mit der Probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) wird unter anderem das Risiko abgeschätzt, dass ein schwerer Unfall in einem Kernkraftwerk (KKW) auftritt. Als schwerer Unfall wird ein Störfall bezeichnet, bei dem der Reaktorkern nicht mehr gekühlt werden kann und in der Folge zu schmelzen beginnt.

Eine PSA kann in drei Stufen unterteilt werden: Ausgehend von einem breiten Spektrum von auslösenden Ereignissen werden in der Stufe-1-PSA alle möglichen Unfallsequenzen bis zum Kernschaden (Kernschmelze) betrachtet. Die auslösenden Ereignisse umfassen sowohl anlageninterne Störfälle – wie Brände, Brüche von kühlmittelführenden Leitungen oder Ausfälle der Wärmeabfuhr – als auch Störfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage, wie Erdbeben, unfallbedingte Flugzeugabstürze oder externe Überflutungen. Aufbauend auf den Ergebnissen der Stufe-1-PSA wird in der Stufe-2-PSA der weitere Verlauf des Kernschmelzunfalls bis zu einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umwelt untersucht. In der Stufe-3-PSA wird schliesslich der Schaden in der Umgebung des Kraftwerks analysiert.

Basierend auf Artikel 41 der Kernenergieverordnung verlangt das ENSI für die KKW der Schweiz PSA-Studien der Stufen 1 und 2. Eine Quantifizierung von Risiken, die sich aus Sabotage, Terroranschlägen oder Kriegshandlungen ergeben, ist üblicherweise nicht Gegenstand einer PSA für KKW und wird dementsprechend auch in den PSA der Schweiz nicht vorgenommen. Die Anforderungen an die Erstellung und Anwendung einer PSA sind in den Richtlinien ENSI-A05 (PSA: Qualität und Umfang) und ENSI-A06 (PSA: Anwendungen) festgehalten. Jeder Betreiber hat eine anlagenspezifische PSA entwickelt und aktualisiert diese regelmässig.

Im Berichtsjahr wurden im Wesentlichen folgende Arbeiten durchgeführt:

- Im Rahmen der Umsetzung der Erdbebengefärdungsannahmen ENSI-2015 schloss das ENSI die Prüfung der probabilistischen Analysen ab, die in die deterministischen Störfallanalysen der Betreiber eingebunden sind. Die Betreiber haben hinsichtlich der nächsten Aktualisierung der Extremwettergefährdungsannahmen Grundlagenberichte erstellt und dem ENSI eingereicht.
- Das Kernkraftwerk Beznau (KKB) nahm eine Bewertung von möglichen risikomindernden Massnahmen vor. Das KKB sieht mit der Anpassung von Notfallvorschriften zur Beherrschung von auslegungsüberschreitenden Störfällen eine Optimierungsmöglichkeit. Die Anpassung führt zu einer geringfügigen Reduktion der Kernschadenshäufigkeit.
- Das ENSI schloss die Überprüfung des vom Kernkraftwerk Gösgen (KKG) im Rahmen der Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) eingereichten PSA-Modells und der dazugehörigen Dokumentation ab. Die Ergebnisse der Überprüfung sind Bestandteil der sicherheitstechnischen Stellungnahme des ENSI zur PSÜ 2018 des KKG.
- Das Kernkraftwerk Leibstadt (KKL) hatte mit der Einreichung der PSÜ 2022 alle Aktionspunkte aus der PSÜ 2016 abgearbeitet. Das ENSI nahm eine Grobprüfung der mit der PSÜ 2022 eingereichten PSA vor und stellte Forderungen. Sie betrafen das Modell und die Dokumentation.

Die International Atomic Energy Agency (IAEA) empfiehlt für bereits bestehende Anlagen im Leistungsbetrieb ein probabilistisches Sicherheitsziel einer Kernschadenshäufigkeit von kleiner als 10^{-4} pro Jahr. Die KKW Beznau, Gösgen und Leibstadt halten dieses Ziel gemäss den per Ende 2023 vorliegenden Analysen ein. Das KKW Mühleberg ist seit dem Abtransport der letzten Brennelemente im Herbst 2023 frei vom Risiko eines Kern- respektive Brennstoffschadens.

Anlagenübergreifende Themen. iStockphoto

10.2 Risikotechnische Beurteilung der Betriebserfahrung

Die probabilistische Bewertung der Betriebserfahrung der KKW der Schweiz erfolgt auf zwei Arten: einerseits durch eine zusammenfassende Bewertung des gesamten Vorjahres und andererseits laufend durch die risikotechnische Bewertung einzelner Vorkommnisse. Im Folgenden wird auf die beiden Analysen eingegangen.

Alle Kernkraftwerksbetreiber reichten eine probabilistische Bewertung der Betriebserfahrung des Vorjahres (2022) ein. Bei diesem Bewertungsverfahren wird anhand des PSA-Modells der Einfluss von unvorhergesehenen Kraftwerksabschaltungen sowie von Komponentenunverfügbarkeiten infolge Instandsetzungen, Wartung oder Funktionstests auf das Risiko eines Kernschmelzunfalls ermittelt.

Sowohl das wartungsbedingte, inkrementelle kumulative Risiko als auch die wartungsbedingten Risikospitzen für das Jahr 2022 erfüllten die Anforderungen gemäss der Richtlinie ENSI-A06.

Ein latenter Fehler einer Komponente liegt vor, wenn diese während ihres Bereitschaftszustands nicht vollumfänglich funktionsfähig ist. Für das kumulative Risiko können sie wichtig sein, weil hier neben der momentanen Risikoerhöhung durch eine Komponentenunverfügbarkeit auch die Dauer der Unverfügbarkeit eine Rolle spielt. Im Jahr 2022 wurde in keinem der Schweizer KKW ein latenter Fehler mit risikotechnischem Einfluss beobachtet.

Meldepflichtige Vorkommnisse werden gemäss der Richtlinie ENSI-B03 (Meldungen der Kernanlagen) und ENSI-A06 in Ergänzung zur deterministischen Betrachtungsweise systematisch mit der PSA bewertet. Dazu wird die inkrementelle bedingte Kernschadenswahrscheinlichkeit eines Vorkommnisses ($ICCDP_{Vorkommnis}$) gemäss der Richtlinie ENSI-A06 berechnet. Vorkommnisse mit einer $ICCDP_{Vorkommnis}$ grösser als 10^{-8} werden anhand der $ICCDP_{Vorkommnis}$ einer der Stufen 0 bis 3 der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet.

Im Jahr 2023 waren alle meldepflichtigen Vorkommnisse risikotechnisch unbedeutend. Das heisst, sie wurden auf der internationalen Ereignisskala INES aufgrund der Risikobewertung der Stufe 0 zugeordnet ($ICCDP_{Vorkommnis}$ mindestens 10^{-8}, jedoch kleiner als 10^{-6}) oder nicht eingestuft ($ICCDP_{Vorkommnis}$ kleiner als 10^{-8}).

10.3 ADAM-System

Dem ENSI werden über ein separates Übermittlungsnetz im Zweiminutentakt von jedem Schweizer KKW relevante Anlagenparameter (ANPA) zugestellt. Im ENSI werden die ANPA-Werte vom ADAM-System (Accident Diagnostics, Analysis and Management) verarbeitet.

Das System besteht aus vier Modulen mit unterschiedlichen Funktionen:

- Das PI-Modul unterstützt den Pikettingenieur (PI) des ENSI im Einsatzfall. Es bereitet die ANPA-Werte grafisch so auf, dass sich der PI bei einem Störfall rasch über dessen Ablauf und Ausmass ins Bild setzen kann.
- Das Diagnosemodul interpretiert die ANPA-Werte und liefert Hinweise zu möglichen Ursachen eines Störfalls und zum Zustand wichtiger Anlagenteile.
- Mit dem Simulationsmodul können Unfallabläufe simuliert werden. Damit kann der Eintrittszeitpunkt bestimmter kritischer Ereignisse bei einem schweren Unfall (Kernschaden, Versagen des Reaktordruckbehälters, gefilterte Druckentlastung usw.) abgeschätzt werden.
- Das STEP-Modul (Source Term Estimation Program) verwendet ANPA-Werte und Benutzereingaben, um Quellterme (Menge und Zeitverlauf der Freisetzung radioaktiver Stoffe) bei einem schweren Unfall abzuschätzen. Diese Quellterme wiederum können für Ausbreitungsrechnungen verwendet werden.

Im Jahr 2023 wurden ENSI-interne Schulungen im Umgang mit dem Programm durchgeführt.

10.4 Kerntechnische Ausbildung

Die Betreiber der KKW gründeten im August 2020 die Nukleartechnikerschule (NTS). Die Schule ist in den Räumlichkeiten der ABB Technikerschule in Baden eingemietet. Die NTS bezweckt die Aus- und Weiterbildung im Bereich der Nukleartechnologie und insbesondere die kerntechnische Grundausbildung für das zulassungspflichtige Personal der KKW. Damit werden die Anforderungen im Bereich der kerntechnischen Grundlagenausbildung gemäss der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen und der Richtlinie ENSI-B10 (Ausbildung, Wiederholungsschulung und Weiterbildung von Personal) erfüllt. Die NTS bietet Kurse und Lehrgänge auf dem Niveau einer höheren Fachschule gemäss dem Bundesgesetz über die Berufsbildung und den einschlägigen Verordnungen an. Vor der Gründung der NTS hat die ehemalige Reaktorschule des Paul Scherrer Instituts diese Kurse angeboten. Seit dem 1. Januar 2022 ist die NTS komplett selbstständig. Ihr Qualitätsmanagementsystem wurde im Berichtsjahr gemäss der ISO-Norm 21001:2018, Managementsysteme für Bildungsorganisationen, zertifiziert.

Im Januar 2022 konnte die kerntechnische Grundausbildung mit 19 Teilnehmerinnen und Teilnehmern gestartet werden. Diese werden voraussichtlich im April 2024 ihre Ausbildung abschliessen. Im Berichtsjahr fanden keine Abschlüsse statt.

10.5 Aus- und Fortbildung im Strahlenschutz

Das ENSI übt gestützt auf die Strahlenschutz-Ausbildungsverordnung die Aufsicht über die Ausbildung im Strahlenschutz aus. Hierzu zählt unter anderem die Anerkennung von Kursen für das Strahlenschutzpersonal, welches in den Kernanlagen eingesetzt wird. Die gesetzlichen Vorgaben regeln dabei gezielt die Einsatzgebiete und die sogenannten «erlaubten Tätigkeiten» für das Strahlenschutz-Personal in den drei Kategorien Strahlenschutz-Sachverständige, Strahlenschutztechnikerinnen und -techniker und Strahlenschutzfachkräfte. Für die Anerkennung der Ausbildung wird die Teilnahme an einem vom ENSI anerkannten Ausbildungskurs von mehreren Wochen Dauer sowie ausreichende praktische Erfahrungen im Strahlenschutz vorausgesetzt.

10.5.1 Aus- und Fortbildungen am PSI

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

Im Berichtsjahr wurde zusätzlich ein Kurs zur Ausbildung von IHK-Fachkräften (Industrie- und Handelskammer) im Strahlenschutz mit eingeschränktem Einsatzbereich (K333) anerkannt. Der Kurs hat eine Kursdauer von drei Tagen und setzt eine abgeschlossene anerkannte Ausbildung einer deutschen IHK zur Strahlenschutzfachkraft voraus. Der Einsatz von Strahlenschutzfachkräften mit eingeschränktem Tätigkeitsbereich ist auf den Einsatz in Schweizer Kernanlagen beschränkt. Der Einsatz bei Röntgenanlagen oder Beschleunigeranlagen ist ausgeschlossen. Zusätzlich wurde ein entsprechender Aufbaukurs (K334) anerkannt, der gemeinsam mit dem Kurs K333 einen uneingeschränkten Einsatz von IHK-Fachkräften als Strahlenschutzfachkraft im Aufsichtsbereich des ENSI ermöglicht.

Der Ausbildungskurse für Strahlenschutz-Sachverständige (K310) sowie für Strahlenschutztechnikerinnen und -techniker (K312) fanden im ersten Quartal 2023 statt, der Ausbildungskurs zur Strahlenschutzfachkraft (K314) im vierten Quartal. Ferner führte das Bildungszentrum des PSI im März, Juli und Oktober 2023 insgesamt drei Fortbildungskurse für Strahlenschutzpersonal der drei Berufsgruppen in Kernanlagen durch.

Insgesamt führte das Bildungszentrum des PSI sieben Aus- und Fortbildungskurse für die schweizerischen Kernanlagen durch, an denen insgesamt 73 Personen teilnahmen. 56 Personen absolvierten neun Kurse mit Bezug zu Transporten radioaktiver Gefahrgüter.

10.5.2 Zusatzkurse für Strahlenschutzfachkräfte

Vorwiegend mit Deutschland findet ein länderübergreifender Austausch von Fachpersonal statt, um den temporär erhöhten Bedarf an fachkundigem Personal während der Jahresrevisionen in den KKW zu decken. Dabei ist es unerlässlich, länderspezifische Unterschiede, vor allem bezüglich der Vorgaben der Strahlenschutzgesetzgebung, gezielt zu schulen.

Das ENSI anerkannte im Jahr 2021 einen entsprechenden, von der Gruppe der schweizerischen Kernkraftwerksleitern (GSKL) entwickelten Kurs für Fachkräfte mit IHK-Zertifikat. Im April 2023 veranstaltete die GSKL im KKL einen solchen Kurs für Fachkräfte aus Deutschland. 13 Personen haben die Ausbildung erfolgreich abgeschlossen und konnten als Strahlenschutzfachkraft in schweizerischen Kernanlagen anerkannt werden.

Anhang

Erläuterungen zur Sicherheitsbewertung		105
Abbildung 1:	ENSI-Sicherheitsbewertungsskala	106
Abbildung 2:	Definition der ENSI-Kategorien G, N, V und A	108
Tabelle 1:	Hauptdaten der schweizerischen Kernkraftwerke 2023	109
Tabelle 2:	Betriebsdaten der schweizerischen Kernkraftwerke 2023	109
Tabelle 3:	Bestand an zulassungspflichtigem Personal und Gesamtbelegschaft in den Kernkraftwerken Ende 2023	109
Tabelle 4:	Meldepflichtige Vorkommnisse im Bereich der nuklearen Sicherheit 2023	110
Tabelle 5:	Kollektivdosen in den schweizerischen Kernkraftwerken im Berichtsjahr	111
Tabelle 6:	Radioaktive Abfälle in den Kernkraftwerken und bei der Sammelstelle des Bundes am PSI per 31.12.2023	111
Tabelle 7:	Radioaktive Abfälle in den Anlagen der Zwilag per 31.12.2023	111
Figur 1:	Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung 2014–2023	112
Figur 2:	Meldepflichtige Vorkommnisse 2014–2023	113
Figur 3:	Ungeplante Reaktorschnellabschaltungen (Scrams) 2014–2023	114
Figur 4:	Brennstabschäden (Anzahl Stäbe) 2014–2023	115
Figur 5a:	Funktionsschema eines Kernkraftwerks mit Druckwasserreaktor	116
Figur 5b:	Funktionsschema eines Kernkraftwerks mit Siedewasserreaktor	116

Erläuterungen zur Sicherheitsbewertung

Das ENSI hat die Grundzüge der systematischen Sicherheitsbewertung im Dokument «Integrierte Aufsicht: ENSI-Bericht zur Aufsichtspraxis» (ENSI-AN-8526) dargestellt. Dieser Bericht ist auf der ENSI-Website verfügbar.

Das ENSI hat die Ergebnisse von Inspektionen, Zulassungsprüfungen, Vorkommnisanalysen und die Sicherheitsindikatoren nach dem beschriebenen System bewertet. Für die Kernkraftwerke hat es die Bewertungen zu einem umfassenden Gesamtbild zusammengefügt. Das ENSI betrachtet die Transporte von und zu den Kernkraftwerken bei der systematischen Sicherheitsbewertung separat.

Zentrale Ergebnisse der systematischen Sicherheitsbewertung der Kernkraftwerke sind jeweils am Schluss der Kapitel 1 bis 3 unter dem Punkt «Sicherheitsbewertung» dargestellt.

Abbildung 1: ENSI-Sicherheitsbewertungsskala, basierend auf der internationalen Ereignisskala INES

	Vorkommnisklassierungen: Radioaktive Abgaben an die Umwelt (Teilskala 1)	Vorkommnisklassierungen: Strahlenexposition des Personals (Teilskala 2)	Vorkommnisklassierungen: Gestaffelte Sicherheitsvorsorge (Teilskala 3)
7	**Schwerwiegender Unfall** Kriterien gemäss INES-Manual		
6	**Ernsthafter Unfall** Kriterien gemäss INES-Manual		
5	**Unfall mit Gefährdung der Umgebung** Kriterien gemäss INES-Manual		**Unfall mit Gefährdung der Umgebung** Kriterien gemäss INES-Manual
4	**Unfall ohne signifikante Gefährdung der Umgebung** radioaktive Abgaben an die Umwelt > JAL und Dosis der off-site meist exponierten Person > 1 mSv	**Unfall ohne signifikante Gefährdung der Umgebung** Kriterien gemäss INES-Manual	**Unfall ohne signifikante Gefährdung der Umgebung** Kriterien gemäss INES-Manual **Schäden an der Anlage**
3	**Ernsthafter Zwischenfall** radioaktive Abgaben an die Umwelt > JAL und Dosis der off-site meist exponierten Person > 0,1 mSv und < 1 mSv	**Ernsthafter Zwischenfall** Kriterien gemäss INES-Manual	**Ernsthafter Zwischenfall** Kriterien gemäss INES-Manual
2	**Zwischenfall** radioaktive Abgaben an die Umwelt < JAL und > 0,1 mSv Dosis der off-site meist exponierten Person oder > JAL und Dosis der off-site meist exponierten Person < 0,1 mSv	**Zwischenfall** Kriterien gemäss INES-Manual	**Zwischenfall** Kriterien gemäss INES-Manual
1	**Anomalie** radioaktive Abgaben an die Umwelt > KAL und < JAL und Dosis der meist exponierten Person < 0,1 mSv	**Anomalie** Kriterien gemäss INES-Manual	**Anomalie** Kriterien gemäss INES-Manual
0	Kriterien gemäss INES-Manual	Kriterien gemäss INES-Manual	Kriterien gemäss INES-Manual

		INES	ENSI	
		7		7 Schwerwiegender Unfall
		6		6 Ernsthafter Unfall
		5		5 Unfall mit Gefährdung der Umgebung
4 Unfall ohne signifikante Gefährdung der Umgebung $ICCDP_{Vork.} = 1$		4		4 Unfall ohne signifikante Gefährdung der Umgebung
3 Ernsthafter Zwischenfall $1E\text{-}2 < ICCDP_{Vork.} < 1$		3		3 Ernsthafter Zwischenfall
2 Zwischenfall $1E\text{-}4 < ICCDP_{Vork.} < 1E\text{-}2$		2		2 Zwischenfall
1 Anomalie $1E\text{-}6 < ICCDP_{Vork.} < 1E\text{-}4$		1		1 Anomalie
0 $ICCDP_{Vork.} < 1E\text{-}6$	unterhalb der Skala		A	A Abweichung
			V	V Verbesserungsbedarf
			N	N Normalität
			G	G Gute Praxis
Vorkommnisklassierungen: $ICCDP_{Vorkommnis}$ gemäss ENSI-A06				Zellenbewertungen in Sicherheitsbewertungsmatrix

Teilskala 4

Kategorien	Kriterien
≥ 1	nach INES-Kriterien
A Abweichung	– als Vorkommnis gemäss Richtlinie ENSI-B03 meldepflichtiger Sachverhalt, der nicht als INES ≥ 1 einzustufen ist – Abweichung von einem Gesetz, einer Verordnung, einer behördlichen Richtlinie, welche gesetzliche Anforderungen präzisiert, oder von Vorgaben in freigabepflichtigen Dokumenten, falls die Abweichung eine relevante Auswirkung auf die nukleare Sicherheit hat – bei Vorkommnissen: $10^{-8} < ICCDP_{Vork.} < 10^{-6}$
V Verbesserungsbedarf	– generell: zu behebende Schwachstelle mit Bedeutung für die nukleare Sicherheit, die kein Kriterium für eine höhere Einstufung erfüllt – Abweichung von einem Gesetz, einer Verordnung, einer behördlichen Richtlinie, welche gesetzliche Anforderungen präzisiert, oder von Vorgaben in freigabepflichtigen Dokumenten, falls die Abweichung eine Auswirkung von klar untergeordneter Bedeutung auf die nukleare Sicherheit hat – Abweichung von Vorgaben in nicht freigabepflichtigen Dokumenten, falls die Abweichung eine Bedeutung für die nukleare Sicherheit hat Im Fall einer besonderen Bedeutung, ist eine Höherstufung auf A möglich.
N Normalität	– Erfüllung der Vorgaben
G Gute Praxis	– Erfüllung der Vorgaben und deutliches Übertreffen der Praxis in anderen Anlagen

Abbildung 2: Definition der ENSI-Kategorien G, N, V und A

	KKB 1	KKB 2	KKG	KKL
Thermische Leistung [MW]	1130	1130	3002	3600
Elektrische Bruttoleistung [MW]	380	380	1060	1285
Elektrische Nettoleistung [MW]	365	365	1010	1233
Reaktortyp	Druckwasser	Druckwasser	Druckwasser	Siedewasser
Reaktorlieferant	Westinghouse	Westinghouse	KWU	GE
Turbinenlieferant	BBC	BBC	KWU	BBC
Generatordaten [MVA]	2·228	2·228	1250	1360
Kühlung	Flusswasser	Flusswasser	Kühlturm	Kühlturm
Kommerzielle Inbetriebnahme	1969	1972	1979	1984

Tabelle 1: Hauptdaten der schweizerischen Kernkraftwerke 2023

	KKB 1	KKB 2	KKG	KKL
Thermisch erzeugte Energie [GWh]	9157,6	8765,6	24154,1	28701,4
Abgegebene elektrische Nettoenergie [GWh]	2937,1	2804,4	7973,0	9677,1
Abgegebene thermische Energie [GWh]	164,8	9,4	223,1	0
Zeitverfügbarkeit[1] [%]	95,6	89,3	92,0	91,5
Nichtverfügbarkeit durch Jahresrevision [%]	7,4	11,4	8,3	8,5
Arbeitsausnutzung[2] [%]	92,0	87,8	91,2	89,8
Anzahl ungeplanter Schnellabschaltungen (Scrams)	0	0	0	1
Unvorhergesehenes Abfahren der Anlage	0	0	0	0
Störungsbedinge Leistungsreduktionen[3] (> 10 % Pn)	1	0	2	1

Tabelle 2: Betriebsdaten der schweizerischen Kernkraftwerke 2023

1 Zeitverfügbarkeit (in %): Zeit, in der das Werk in Betrieb beziehungsweise in betriebsbereitem Zustand ist
2 Arbeitsausnutzung (in %): Produzierte Energie, bezogen auf die Nennleistung und eine hundertprozentige Zeitverfügbarkeit
3 > 10 % Pn an der Tagesleistung gemessen

	KKB 1 + 2	KKM	KKG	KKL
Reaktoroperateure	34 (34)	9 (11)	28 (34)	32 (33)
Schichtchefs	29 (28)	10 (10)	19 (18)	15 (15)
Pikettingenieure	15 (16)	11[1] (12)[1]	12 (13)	13 (13)
Strahlenschutz-Sachverständige	8 (8)	3 (4)	7 (7)	5 (5)
Strahlenschutzfachkräfte	11 (11)	15 (14)	6 (6)	13 (12)
Strahlenschutztechniker	7 (7)	15 (8)	6 (6)	5 (5)
Gesamtbelegschaft (Personen, FTE[2])	509 ≙ 494 FTE (501 ≙ 486 FTE)	273 ≙ 266 FTE (270 ≙ 264 FTE)	598 ≙ 570 FTE (582 ≙ 558 FTE)	502 ≙ 494 FTE (479 ≙ 471 FTE)

Tabelle 3: Bestand an zulassungspflichtigem Personal und Gesamtbelegschaft in den Kernkraftwerken (ohne Lernende) Ende 2023 (in Klammern Werte von 2022)

1 Die Funktion des Pikettingenieurs wird seit Beginn der Stilllegung «Mitarbeiter in Rufbereitschaft» benannt.
2 Full-Time-Equivalent

Tabelle 4: Meldepflichtige Vorkommnisse im Bereich der nuklearen Sicherheit 2023

Datum*	KKW	Vorkommnis	Einstufung INES
15.02.2023	KKB 1	Leckage an einer Schweissnaht im Chemie- und Volumenregelsystem	0
10.03.2023	KKB 1	Ausfall eines Ringraumkompressors	0
24.03.2023	KKL	Rissbedingte Leckage an der Lötverbindung zwischen Rohrleitung und Rippenkühlrohr eines Startluftkompressors	0
31.03.2023	KKL	Störung in der Steuerung und Regelung des Frequenzumformers einer Umwälzpumpe	0
11.04.2023	KKG	Leckage an einer Rohrleitung des Brunnenwassersystems	0
07.05.2023	KKG	Anforderung der Dieselpumpen der zweiten Wasserfassung	0
09.05.2023	KKL	Leckage an der Schweissnaht einer Armatur einer Entleerungsleitung einer Reaktorumwälzschleife	0
11.05.2023	KKB 1	Leckage an einer Schweissnaht der Auskleidung der Reaktorgrube	0
12.05.2023	PSI	Oberflächenkontamination ausserhalb einer kontrollierten Zone	0
21.05.2023	KKB 1	Nichtöffnen eines Ventils im Sicherheitseinspeisesystem während einer Funktionsprüfung	0
29.05.2023	KKL	Automatische Reaktorschnellabschaltung während des Anfahrens nach der Jahreshauptrevision	0
16.06.2023	KKB 1	Abfahren einer Turbogruppe infolge einer Leckage an einem Gelenkkompensator des Speisewassersystems	0
20.06.2023	KKL	Turbinenschnellabschaltung	0
23.06.2023	KKG	Fremdkörper in einem Regelventil des Beckenreinigungssystems	0
24.07.2023	KKB 1	Ausfall eines Messkanals des Neutronenfluss-Weitbereichs	0
03.08.2023	KKL	Nicht spezifikationsgemässe Montage einer Isolationsklappe der SEHR-Lüftung	0
05.08.2023	KKG	Leckage an einer Rohrleitung des Trink- und Löschwassernetzes	0
26.08.2023	KKG	Ausfall eines Koppelrelais im Schaltanlageneinschub einer Abfangklappe	0
01.09.2023	KKG	Störung bei der Wiederinbetriebnahme des Kugelmesssystems	0
02.10.2023	PSI	Ausfall der Fortluftüberwachungs- und Bilanzierungsanlage in einem Hochkamin	0
06.10.2023	KKL	Leckage an einer Absperrklappe einer Division des Notkühlwassers	0
07.10.2023	KKB 1	Leckage an einer Entlastungsleitung einer Ladepumpe des Chemie- und Volumenregelsystems	0
29.10.2023	KKG	Sicherungsfall in einem Steuerschrank	0
20.11.2023	KKG	Ausfall einer Hauptkühlmittelpumpe mit folgender Leistungsreduktion	0

* Vorkommniseintritt oder Zeitpunkt, zu dem das Vorliegen eines meldepflichtigen Vorkommnisses erkannt worden ist

	KKB 1		KKB 2		KKG		KKL		KKM	
Betriebszustand	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023
Brennelementwechsel		57	40							
Revisionsstillstand	528			318	261	300	982	673		
Stilllegung									290	415
Leistungsbetrieb*	33	35	40	33	84	80	467	273		
Total	**561**	**92**	**80**	**351**	**345**	**380**	**1449**	**946**	**290**	**415**

* Die ausgewiesenen Kollektivdosen für den Leistungsbetrieb beinhalten alle Dosen, die nicht während eines Brennelementwechsels oder des Revisionsstillstands angefallen sind.

Tabelle 5: Kollektivdosen (gerundet) in den schweizerischen Kernkraftwerken im Berichtsjahr (pro Werk in Pers.-mSv)

	unkonditioniert			konditioniert		
	Anfall	Auslagerung[1]	Bestand	Produktion	Auslagerung[2]	Bestand
PSI	44	6	538	45	–	1710
KKB	23	26	29	6	7	1208
KKM	119	96	145	2	166	49
KKG	23	22	28	10	1	102
KKL	57	55	5	6	6	1445
Total	**266**	**205**	**745**	**69**	**180**	**4514**
				Zugang		**Bestand**
Anzahl Behälter mit Brennelementen im KKB				2	–	19

1 Bruttovolumen der im Berichtsjahr zur Zwilag transferierten Abfälle für die Behandlung in der Plasma-Anlage und der Konditionierungsanlage
2 Transfer konditionierter Abfälle zur Zwischenlagerung bei der Zwilag

Tabelle 6: Radioaktive Abfälle in den Kernkraftwerken und bei der Sammelstelle des Bundes am PSI per 31.12.2023 (inklusive Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung), Bruttovolumina gerundet in m³

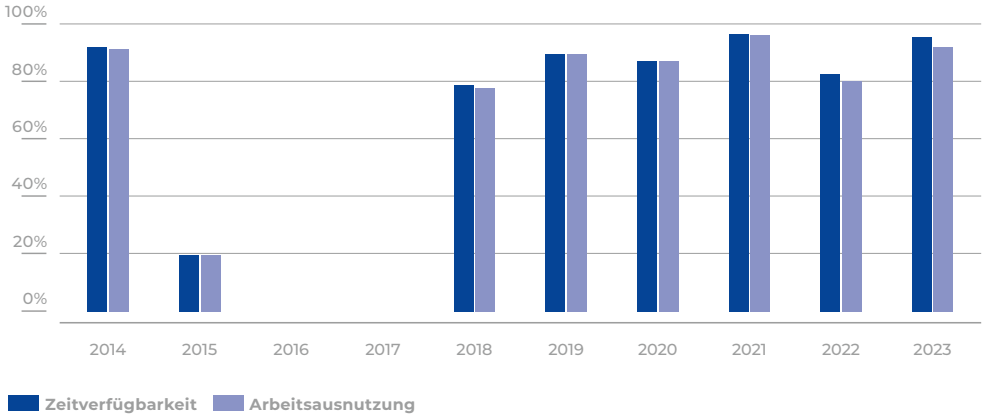
	unkonditioniert			konditioniert
	Anfall[1,2]	Annahme zur Konditionierung beziehungsweise Triage[2]	Bestand[3]	Produktion
Verarbeitung [m³]	92	267	2101	38
Bestand (konditionierte Abfälle)		**Einlagerung**	**Auslagerung**	**Bestand**
Bruttovolumen konditionierter Abfälle[4] [m³]		220	–	3329
Anzahl Behälter mit Brennelementen		7	–	61
Anzahl Behälter mit Glaskokillen		–	–	23
Anzahl Behälter mit Lucens-Abfällen		–	–	6

1 Hierin enthalten sind:
– Sekundärabfälle aus allen Betriebsbereichen der Zwilag
2 Nur teilweise radioaktiver Abfall
3 Hierin enthalten sind 38 Gebinde (8 m³) mit leicht angereichertem uranhaltigem Material aus dem Versuchsatomkraftwerk Lucens.
4 Alle Lagerteile der Zwilag ausgenommen separat aufgeführtem Bestand des HAA-Lagers

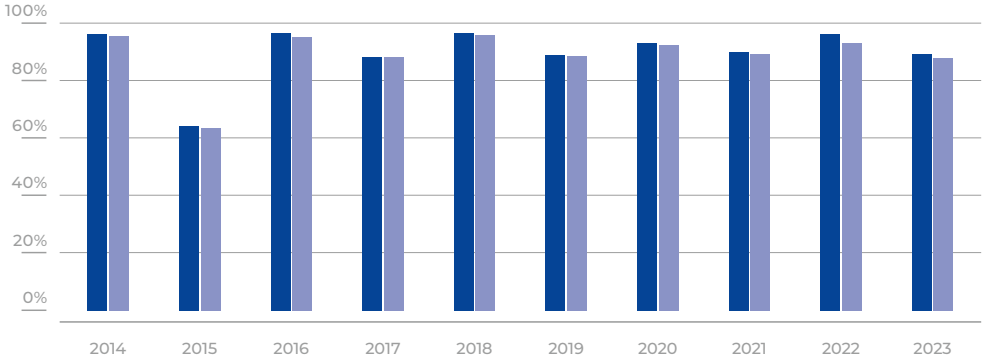
Tabelle 7: Radioaktive Abfälle in den Anlagen der Zwilag per 31.12.2023

Figur 1: Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung 2014–2023

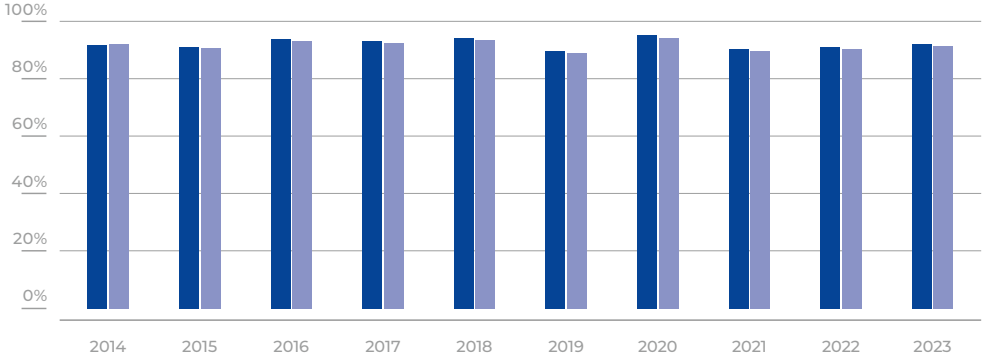
KKB 1



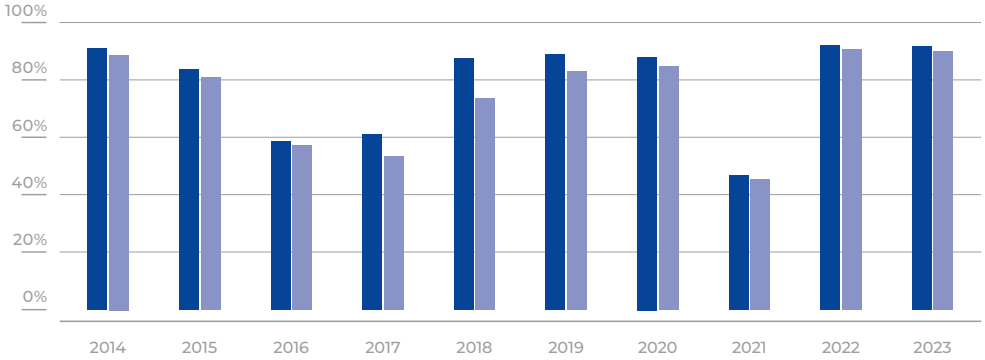
KKB 2



KKG

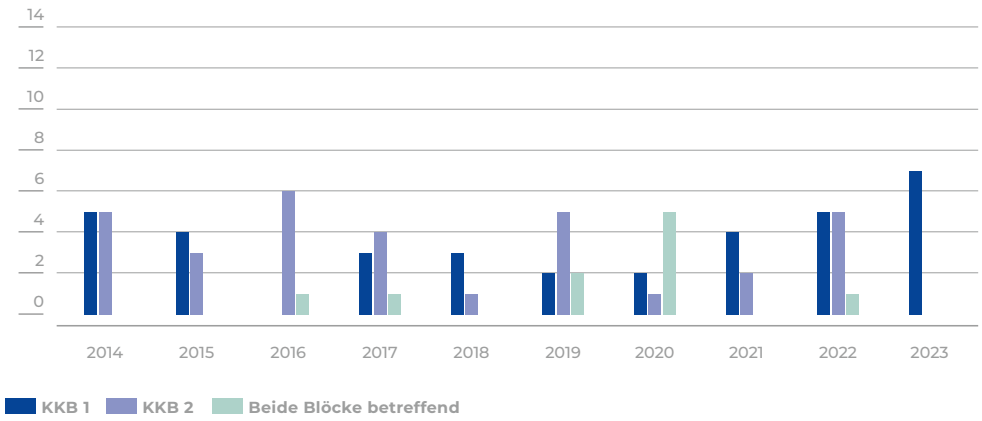


KKL

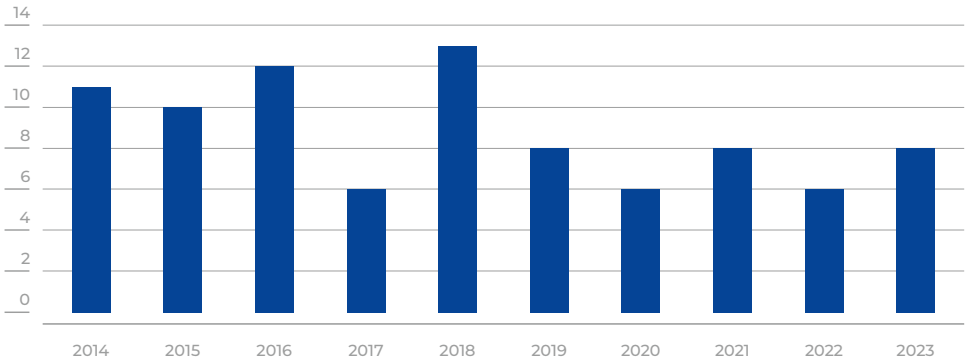


Figur 2: Meldepflichtige Vorkommnisse im Bereich der nuklearen Sicherheit 2014–2023

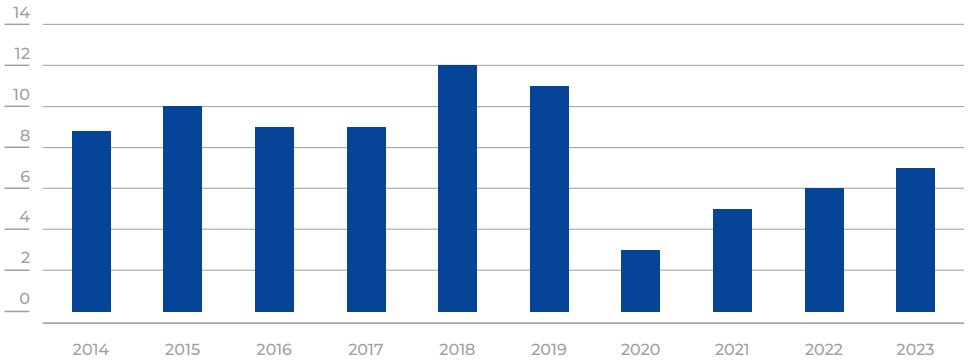
KKB 1+2



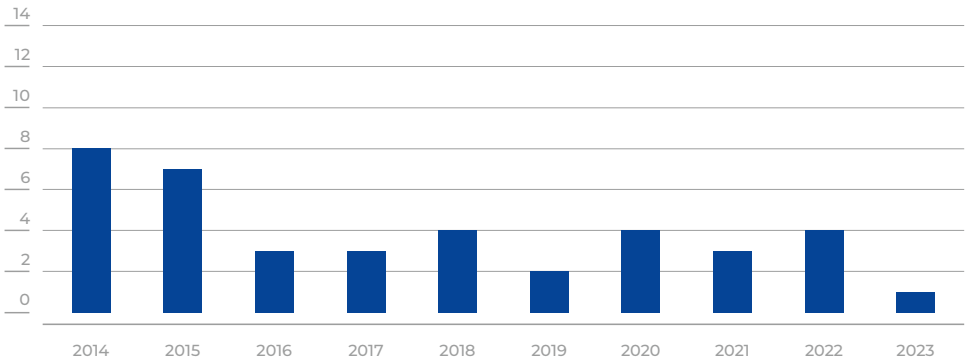
KKG



KKL

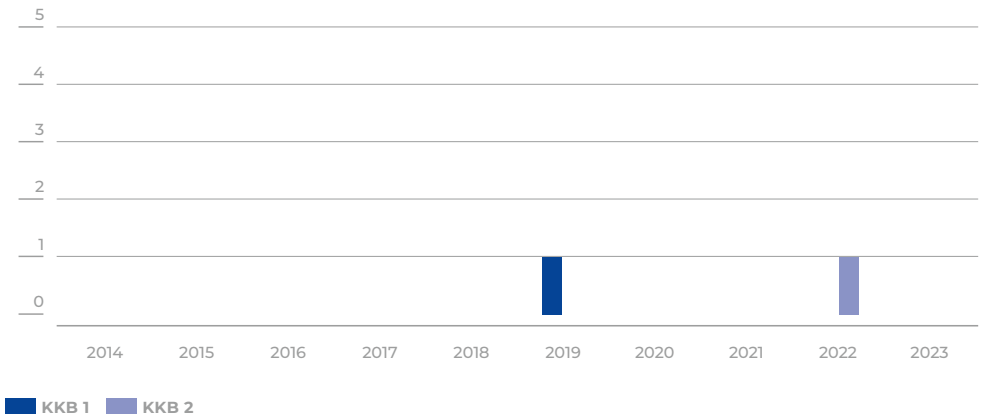


KKM

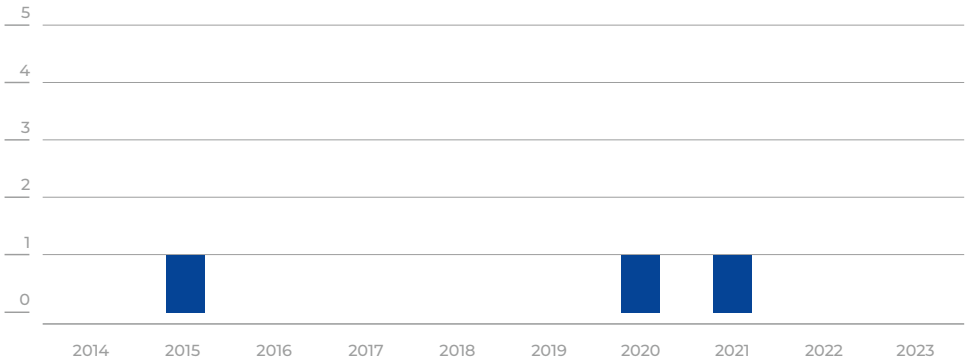


Figur 3: Ungeplante Reaktorschnell-abschaltungen (Scrams) 2014–2023

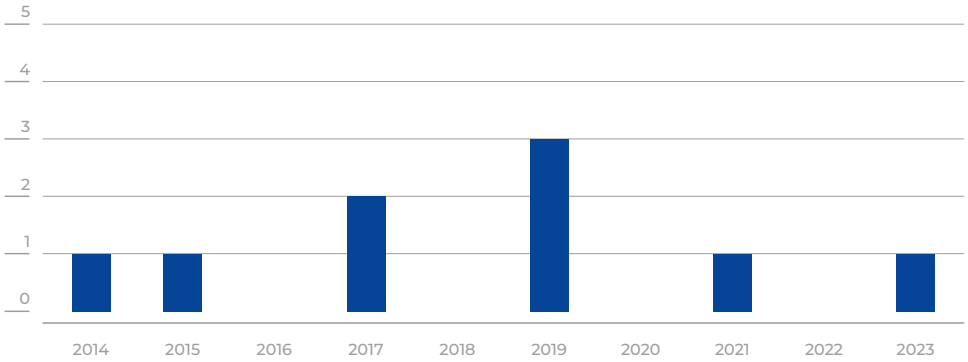
KKB 1+2



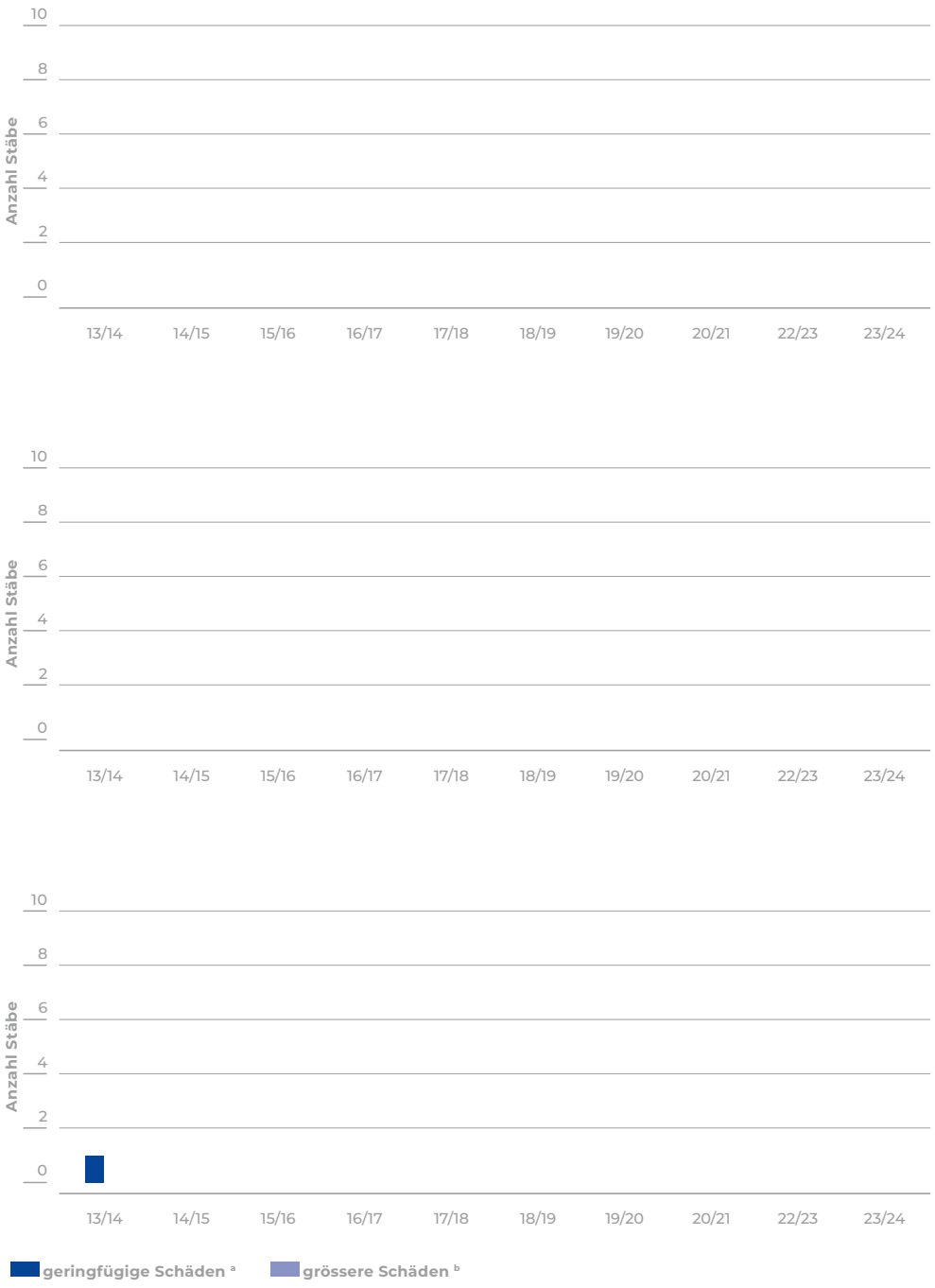
KKG



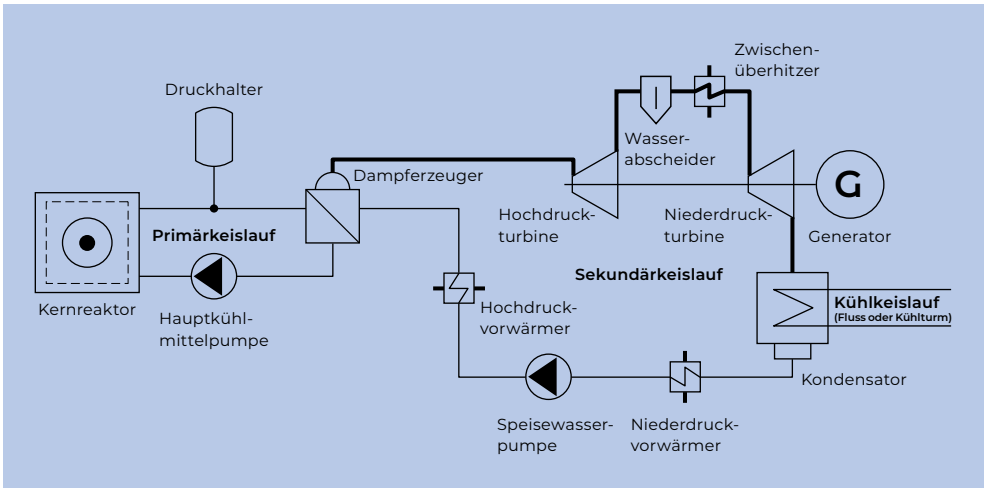
KKL



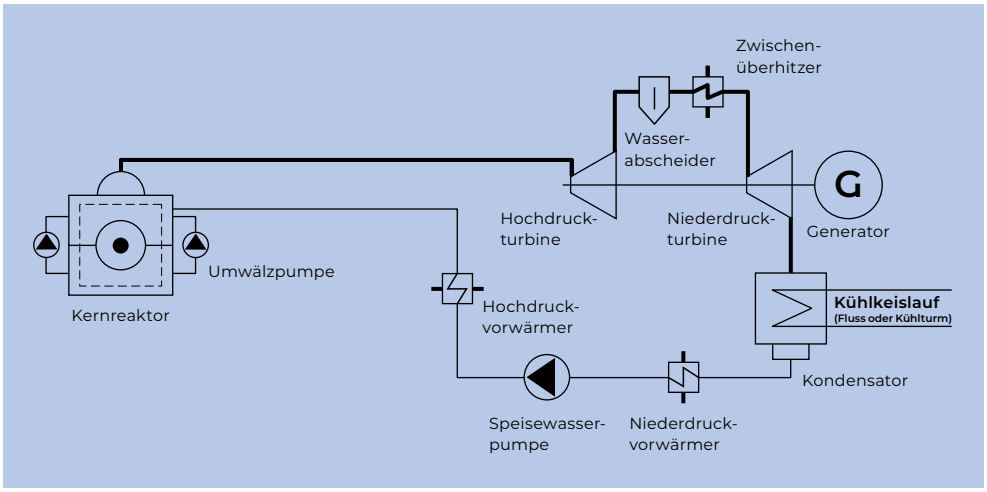
Figur 4: Brennstabschäden (Anzahl Stäbe) 2014–2023



[a] z. B. Haarrisse im Hüllrohr
[b] z. B. grosser Riss oder Bruch des Hüllrohrs mit Brennstoff-auswaschung



Figur 5a: Funktionsschema eines Kernkraftwerks mit Druckwasserreaktor



Figur 5b: Funktionsschema eines Kernkraftwerks mit Siedewasserreaktor

Herausgeber:
Eidgenössisches
Nuklearsicherheits-
inspektorat ENSI
Industriestrasse 19
CH-5201 Brugg

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

© ENSI, Juni 2024

ENSI-AN-11888
ISSN 1661-2876 (Online)

ENSI
Industriestrasse 19
5201 Brugg
Schweiz

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