

AUFSICHTS- BERICHT 2021

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 2021

zur nuklearen Sicherheit in den
schweizerischen Kernanlagen

Rapport de Surveillance 2021

sur la sécurité nucléaire dans les installations
nucléaires en Suisse

Regulatory Oversight Report 2021

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 Anlagentechnik	23
1.4 Strahlenschutz	25
1.5 Radioaktive Abfälle	26
1.6 Notfallbereitschaft	27
1.7 Personal und Organisation	27
1.8 Periodische Sicherheitsüberprüfung	28
1.9 Sicherheitsbewertung	28
2. Kernkraftwerk Gösgen	33
2.1 Überblick	33
2.2 Betriebsgeschehen	33
2.3 Anlagentechnik	37
2.4 Strahlenschutz	39
2.5 Radioaktive Abfälle	40
2.6 Notfallbereitschaft	41
2.7 Personal und Organisation	41
2.8 Periodische Sicherheitsüberprüfung	43
2.9 Sicherheitsbewertung	43
3. Kernkraftwerk Leibstadt	47
3.1 Überblick	47
3.2 Betriebsgeschehen	47
3.3 Anlagentechnik	50
3.4 Strahlenschutz	52
3.5 Radioaktive Abfälle	52
3.6 Notfallbereitschaft	53
3.7 Personal und Organisation	54
3.8 Sicherheitsbewertung	56
4. Kernkraftwerk Mühleberg	59
4.1 Überblick	59
4.2 Vorkommnisse	59
4.3 Anlageänderungen	61
4.4 Brennelemente	62
4.5 Strahlenschutz	62
4.6 Radioaktive Abfälle	63
4.7 Notfallbereitschaft	64
4.8 Mensch und Organisation	65
5. Zentrales Zwischenlager Würenlingen	67
5.1 Zwischenlagergebäude	67
5.2 Konditionierungsanlage	67
5.3 Plasma-Anlage	68
5.4 Strahlenschutz	68
5.5 Notfallbereitschaft	69
5.6 Personal und Organisation	69
5.7 Vorkommnisse	70
5.8 Gesamtbeurteilung	70

6. Paul Scherrer Institut	73
6.1 Hotlabor	73
6.2 Kernanlagen in der Stilllegung oder im Rückbau	74
6.3 Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle	76
6.4 Strahlenschutz	78
6.5 Notfallbereitschaft	78
6.6 Personal und Organisation	79
6.7 Vorkommnisse	80
7. Weitere Kernanlagen	83
7.1 École Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL	83
7.2 Universität Basel	83
8. Transporte und Behälter	87
8.1 Genehmigungen nach Gefahrgutgesetzgebung	87
8.2 Bewilligungen nach Strahlenschutzgesetzgebung	87
8.3 Bewilligungen nach Kernenergiegesetzgebung	88
8.4 Beschaffung von Transport- und Lagerbehältern	89
8.5 Inspektionen und Audits	90
9. Geologische Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle	93
9.1 Einleitung	93
9.2 Sachplan geologische Tiefenlager	94
9.3 Sondierbohrungen für die Etappe 3	96
9.4 Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung	97
9.5 Felslaboratorien	98
9.6 Internationaler Wissenstransfer	99
10. Anlagenübergreifende Themen	102
10.1 Probabilistische Sicherheitsanalysen	102
10.2 Risikotechnische Beurteilung der Betriebserfahrung	102
10.3 ADAM-System	103
10.4 Kerntechnische Ausbildung	103
10.5 Aus- und Fortbildung im Strahlenschutz	104
Anhang	107

Vorwort

Mit rund 500 Inspektionen konnten wir uns im Jahr 2021 vom guten sicherheitstechnischen Zustand der in Betrieb stehenden Kernkraftwerke überzeugen. Die Anzahl an meldepflichtigen Vorkommnissen lag im Berichtsjahr mit 24 unter dem Durchschnitt der Vorjahre. Die Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt via Abwasser und Abluft lagen wiederum weit unterhalb der in den Bewilligungen festgelegten Limiten. Der Betrieb der Kernkraftwerke Beznau 1 und 2, Gösgen und Leibstadt verlief grösstenteils plangemäss. Eine Ausnahme war die Verlängerung der Jahreshauptrevision im Kernkraftwerk Leibstadt (KKL), welche auf zwei umfangreiche Modernisierungsprojekte zurückzuführen war: Das KKL ersetzte das Reaktorummwälzsystem, das neu mit drehzahlgeregelten Motoren anstatt mit Regelventilen gesteuert wird, und tauschte den Kondensator aus. Der neue Kondensator führt zu einer leichten Erhöhung der elektrischen Leistung bei gleichbleibender Reaktorleistung.

Seit November 2021 umfasst die Aufsicht des ENSI eine Kernanlage weniger: Das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) hat den Forschungsreaktor der Universität Basel aus der Kernenergiegesetzgebung entlassen. Damit ist das erste Stilllegungsprojekt unter der aktuellen Kernenergiegesetzgebung abgeschlossen. Die Erfahrungen aus der Stilllegung des ehemaligen Basler Reaktors werden für vergleichbare Anlagen genutzt: Wir beaufsichtigen derzeit vier Stilllegungsprojekte am Paul Scherrer Institut sowie die erste Stilllegungsphase des Kernkraftwerks Mühleberg (KKM). Diese dauert voraussichtlich bis 2024. Dann wird der Transport aller hochradioaktiven Brennelemente ins Zwischenlager nach Würenlingen abgeschlossen sein. Im Berichtsjahr nahm das KKM einerseits Einrichtungen zur Materialbehandlung in Betrieb, so beispielsweise eine Anlage für die Dekontamination von metallischen Materialien und Kunststoffen. Andererseits demontierte

das KKM zahlreiche Systeme, Teilsysteme und Komponenten wie zum Beispiel Torus-einbauten, Hochdruckvorwärmer, Teile der Frischdampfleitungen und die Hauptkühlwasserleitungen. Wir vergewisserten uns fortlaufend, dass die Arbeiten gesetzeskonform ausgeführt werden.

Der Aufsichtsbereich des ENSI reicht vom Betrieb über die Stilllegung von Kernanlagen bis zur Entsorgung der radioaktiven Abfälle in einem geologischen Tiefenlager. Für Letzteres läuft seit 2008 das Standortauswahlverfahren. In der aktuellen dritten und letzten Etappe des Sachplans geologische Tiefenlager werden die drei verbleibenden Standortgebiete Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost weiter untersucht: Seit April 2019 wurden innerhalb der Standortgebiete neun Tiefbohrungen abgeteuft – eine davon läuft noch –, die wir mit Audits und Inspektionen begleitet haben. Aufgrund der erhobenen Daten wird die Nagra voraussichtlich im Herbst 2022 ihre Empfehlung für eines von zwei Szenarien bekanntgeben: einen Standort, welcher sich am besten für ein Kombilager eignet, oder geeignete Standorte für zwei separate Lager – eines für hochaktive Abfälle und eines für schwach- und mittelaktive Abfälle. Unsere Aufgabe wird es dann sein, die Rahmenbewilligungsgesuche der Nagra, die gemäss Planung im Jahr 2024 erwartet werden, aus sicherheitstechnischer Sicht zu beurteilen.

Ich danke allen Kolleginnen und Kollegen für ihre gewissenhafte und engagierte Arbeit im Dienst der nuklearen Sicherheit und Sicherung der Kernanlagen in der Schweiz. Dank ihrem Know-how und Einsatz konnten wir auch im Jahr 2021 gewährleisten, dass der Betrieb der Kernanlagen den gesetzlichen Vorgaben entsprach.

Marc Kenzelmann
Direktor
Juni 2022



Marc Kenzelmann

Préface

Quelque 500 inspections nous ont permis en 2021 de nous assurer du bon état de sécurité technique des centrales nucléaires en service. Le nombre d'événements devant être obligatoirement notifiés se situait avec 24 unités au cours de l'année sous revue en dessous de la moyenne des années précédentes. Les rejets de substances radioactives dans l'environnement via les eaux usées et l'air évacué ont à nouveau été largement inférieurs aux limites fixées dans les autorisations.

L'exploitation des centrales nucléaires de Beznau 1 et 2, Gösgen et Leibstadt s'est déroulée en grande partie comme prévu. La prolongation de la révision principale annuelle de la centrale nucléaire de Leibstadt (CNL) a constitué une exception, due à deux importants projets de modernisation. La CNL a remplacé le système de recirculation du réacteur, qui est désormais commandé par des moteurs à vitesse variable et non plus par des soupapes de réglage, et a remplacé le condenseur. Le nouveau condenseur entraîne une légère augmentation de la puissance électrique tout en conservant la puissance du réacteur.

Depuis novembre 2021, la surveillance de l'IFSN comprend une installation nucléaire de moins. Le Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC) ne soumet plus le réacteur de recherche de l'Université de Bâle à la législation sur l'énergie nucléaire. Le premier projet de désaffectation sous la législation actuelle sur l'énergie nucléaire est ainsi terminé. L'expérience acquise lors de la désaffectation de l'ancien réacteur bâlois sera utilisée pour des installations comparables. Nous supervisons actuellement quatre projets de désaffectation à l'Institut Paul Scherrer, ainsi que la première phase de désaffectation de la centrale nucléaire de Mühleberg (CNM). Cette première phase devrait durer jusqu'en 2024, date à laquelle le transport de tous les éléments combustibles hautement radioactifs vers le dépôt intermédiaire de Würenlingen sera terminé. Au cours de l'année sous revue, la CNM a d'une

part mis en service des installations de traitement des matériaux, comme par exemple une installation de décontamination des matériaux métalliques et des matières plastiques. D'autre part, la CNM a démonté de nombreux systèmes, sous-systèmes et composants, tels que les constructions du torus, les préchauffeurs haute pression, des parties des conduites de vapeur vive et les conduites principales d'eau de refroidissement. Nous nous sommes assurés en permanence que les travaux étaient effectués conformément à la législation.

Le domaine de surveillance de l'IFSN s'étend de l'exploitation à la désaffectation des installations nucléaires, en passant par l'évacuation des déchets radioactifs dans un dépôt en couches géologiques profondes. En ce qui concerne ce domaine, la procédure de sélection de sites est en cours depuis 2008. Dans l'actuelle troisième et dernière étape du plan sectoriel « Dépôts en couches géologiques profondes », les trois domaines d'implantation restants, soit Jura-est, Nord des Lägern et Zurich nord-est, font l'objet d'études complémentaires. Depuis avril 2019, neuf forages en profondeur ont été réalisés à l'intérieur des domaines d'implantation, dont l'un d'entre eux est encore en cours, que nous avons accompagnés par des audits et des inspections. Sur la base des données recueillies, la Nagra devrait publier à l'automne 2022 sa recommandation pour l'un des deux scénarios : un site qui se prête le mieux à un dépôt combiné ou des sites appropriés pour deux dépôts séparés, l'un pour les déchets de haute activité et l'autre pour les déchets de faible et moyenne activité. Notre tâche consistera ensuite à évaluer, du point de vue de la sécurité technique, les demandes d'autorisation générale de la Nagra qui, selon la planification, sont attendues en 2024.

Je remercie tous les collègues pour leur travail consciencieux et engagé au service de la sécurité nucléaire et de la sûreté des installations nucléaires en Suisse. Grâce à leur savoir-faire et à leur engagement, nous avons pu garantir en 2021 également que l'ex-

exploitation des installations nucléaires était conforme aux prescriptions légales.

Marc Kenzelmann
Directeur
Juin 2022

Foreword

With around 500 inspections in 2021, we were able to satisfy ourselves of the good nuclear safety of the plants in operation. Twenty-four reportable events were recorded in the reporting year, below the average of previous years. The amount of radioactive material released into the environment via waste water and exhaust air was again significantly below the limits specified in the operating licenses.

The Beznau 1 and 2, Gösgen and Leibstadt nuclear power plants were operated largely according to plan. One exception was the extension of the main annual overhaul at the Leibstadt nuclear power plant, which was attributable to two extensive modernisation projects: The Leibstadt nuclear power plant replaced the reactor circulation system that is now controlled with variable-speed motors instead of control valves, and replaced the condenser. The new condenser results in a slight increase in electrical output while the reactor power remains the same.

Since November 2021, ENSI's oversight has included one less nuclear installation: The Federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communications (DETEC) has released the research reactor at the University of Basel from the Nuclear Energy Act. This marks the completion of the first decommissioning project under the current Nuclear Energy Act. The experience gained from the decommissioning of the former Basel reactor will be used for comparable installations. We are currently overseeing four decommissioning projects at the Paul Scherrer Institute as well as the first decommissioning phase of the Mühleberg nuclear power plant. This is expected to last until 2024. By then, the transport of all highly radioactive fuel elements to the interim storage facility in Würenlingen will have been completed. During the reporting year, the Mühleberg nuclear power plant commissioned facilities for material treatment, such as a facility for decontaminating metallic materials and plastics. On the other hand, the Mühleberg nuclear power plant

dismantled numerous systems, subsystems and components, such as torus internals, high-pressure pre-heaters, parts of the fresh steam lines and the main cooling water lines. We continuously ensured that the work was carried out in compliance with the legal and regulatory requirements.

ENSI's area of supervision ranges from the operation and decommissioning of nuclear installations to the disposal of radioactive waste in a deep geological repository. The site selection procedure for the latter has been under way since 2008. In the current third and final stage of the sectoral plan for deep geological repositories, the three remaining siting areas of Jura East, North of Lägern and Zurich North-East are being further investigated: Since April 2019, nine deep boreholes have been drilled within the siting areas – one of which is still in progress – that we have accompanied with audits and inspections. Based on the data collected, Nagra is expected to announce its recommendation for one of two scenarios in autumn 2022: a site that is best suited for a combined repository or suitable sites for two separate repositories – one for high level waste and one for low and intermediate level waste. Our task is then to assess from a safety perspective Nagra's general licence applications that, according to plan, are expected in 2024.

I would like to thank all my colleagues for their conscientious and committed work in the service of nuclear safety and security of nuclear installations in Switzerland. Thanks to their know-how and commitment, we were again able to ensure that the operation of the nuclear installations complied with the legal requirements in 2021.

Marc Kenzelmann
Director General
June 2022

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 Zwiilag 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 Website des ENSI, www.ensi.ch, 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 www.ensi.ch. 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. Die Zusammenfassungen werden auf Französisch und Englisch übersetzt. Das ENSI publiziert seine Berichte auch 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 erste Stilllegungsphase 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 Zwiilag in Würenlingen behandelt. Die Kapitel 6 und 7 widmen sich den Kernanlagen des PSI, dem Forschungsreaktor der EPFL und dem ausser Betrieb genommenen Forschungsreaktor der Universität Basel. 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

Die in der Schweiz in Betrieb stehenden Kernkraftwerke (KKW) und die Stilllegungsarbeiten des Kernkraftwerks Mühleberg waren im vergangenen Jahr sicher. Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Betreiberinnen 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 2021 zu 22 meldepflichtigen Vorkommnissen: Vier Vorkommnisse betrafen den Block 1 und zwei den Block 2 des KKW Beznau. Acht Vorkommnisse betrafen das KKW Gösgen, fünf das KKW Leibstadt und drei das KKW Mühleberg. 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 Zwiilag in Würenlingen umfasst mehrere Zwischenlagergebäude, die Konditionierungsanlage und die Plasma-Anlage (Verbrennungs- und Schmelzanlage). Ende 2021 befanden sich in der Behälterlagerhalle 69 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 Versuchatomkraftwerk Lucens. Im Jahr 2021 wurde keine Kampagne zur Verbrennung und Einschmelzung von radioaktiven Abfällen durchgeführt. Bei der Zwiilag

verzeichnete das ENSI im Berichtsjahr kein meldepflichtiges Vorkommnis. Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Zwiilag 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 2021 zwei meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen. Der Forschungsreaktor der EPFL verzeichnete im Jahr 2021 kein Vorkommnis. Über den Forschungsreaktor der Universität Basel berichten wir in diesem Aufsichtsbericht letztmalig: Das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) hat den ehemaligen Forschungsreaktor Ende 2021 aus der Aufsicht des Bundes entlassen. Das ENSI kommt zum Schluss, dass sowohl die Kernanlagen des PSI als auch der Forschungsreaktor der EPFL die bewilligten Betriebsbedingungen eingehalten haben. Die Infrastruktur der Anlage des ehemaligen Forschungsreaktors der Universität Basel wurde regulär unterhalten.

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 Basel und 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 2021 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 Beurteilung 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. Zudem muss die Nagra in der Etappe 3 die Vor- und Nachteile eines Kombilagers im Vergleich zu zwei Lagern in separaten Standortgebieten darlegen. 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 Zwiilag 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, 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 événements et constats dans les installations nucléaires, par exemple dans le cadre de réunions publiques, d'exposés spécialisés, ou à travers son site Internet www.ifs.ch. 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. Les résumés sont traduits en français et en anglais. L'IFSN publie aussi 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 première phase de 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 Zwiilag à Würenlingen. Les chapitres 6 et 7 sont consacrés aux installations nucléaires du PSI, ainsi qu'au réacteur de recherche de l'EPFL, et au réacteur de recherche mis hors service à l'Université

de Bâle. 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

Les centrales nucléaires se trouvant en exploitation en Suisse et les travaux de désaffectation de la centrale nucléaire de Mühleberg étaient sûrs l'année sous revue. L'IFSN arrive à la conclusion que les sociétés exploitantes 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 2021, les centrales nucléaires ont connu 22 événements soumis à obligation de notification. Quatre événements ont concerné la tranche 1 et deux événements la tranche 2 de la centrale nucléaire de Beznau. Huit événements ont concerné la centrale de Gösgen, cinq la centrale de Leibstadt et trois la centrale nucléaire de Mühleberg. Tous les événements 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 événements qui doivent être obligatoirement notifiés, mais aussi d'autres informations, notamment celles découlant du résultat des inspections.

Dépôt de stockage intermédiaire Zwiilag à Würenlingen

Le dépôt de stockage intermédiaire Zwiilag à Würenlingen comprend plusieurs bâtiments d'entreposage intermédiaire, l'instal-

lation de conditionnement et l'installation plasma (station d'incinération et de fusion). Fin 2021, la halle des conteneurs abritait 69 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 2021, aucune campagne d'incinération et de fonte de déchets radioactifs n'a eu lieu. Lors de l'exercice sous revue, l'IFSN a recensé au Zwiilag aucun événement soumis au devoir de notification. L'IFSN en conclut que le Zwiilag a respecté en 2020 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 événements soumis à une obligation de notification ont été recensés dans les installations nucléaires du PSI en 2021. Le réacteur de recherche de l'EPFL n'a enregistré aucun événement en 2021. Ce Rapport de surveillance est le dernier qui rend compte du réacteur de recherche de l'Université de Bâle : le Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC) a déclassé l'ancien réacteur de recherche de la surveillance de la Confédération fin 2021. L'IFSN conclut qu'aussi bien les installations nucléaires du PSI que le réacteur de recherche de l'EPFL ont respecté les conditions d'exploitations autorisées. L'infrastructure de l'installation de l'ancien réacteur de recherche de l'Université de Bâle a fait l'objet d'un entretien régulier.

Rejets de substances radioactives

Sur l'année sous revue, les rejets de substances radioactives dans l'environnement via les eaux usées et l'air rejeté des centrales nucléaires, du dépôt de stockage intermédiaire Zwiilag à Würenlingen, des installations nucléaires du PSI, ainsi qu'à Bâle et 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 d'éléments radioactifs en provenance, ou en direction, des installations nucléaires de la Suisse se sont passés sans accident en 2021. 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 de 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. La Nagra doit en outre examiner et exposer au cours de l'étape 3 les avantages et les inconvénients d'un dépôt combiné en comparaison avec deux dé-

pôts situés dans deux domaines d'implantation distincts. 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 that would 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, www.ensi.ch, under the heading Documents / 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 www.ensi.ch. 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 summaries 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, the research reactor of the EPFL and the decommissioned research reactor of the University of Basel. 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

The nuclear power plants (NPP) in operation in Switzerland and the decommissioning

of the Mühleberg NPP were safe last year, and ENSI concluded that each 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 2021, there were 22 reportable events at the NPPs: Beznau 1 NPP had four events and Beznau 2 NPP had two events. Gösgen NPP was affected by eight, Leibstadt NPP by five and Mühleberg NPP was affected by three events. 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 (Zwilag) in 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 2021, the cask storage hall contained 69 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. No campaign to incinerate and melt radioactive waste was carried out in 2021. ENSI recorded no reportable events 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 materi-

als including the Federal Government's interim storage facility. Two reportable events occurred at the PSI nuclear facilities during 2021. The EPFL research reactor recorded no event in 2021. This is the last time we will report on the research reactor at the University of Basel in this Oversight Report: the Federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communications (DETEC) has released the former research reactor from federal supervision at the end of 2021. ENSI concluded that the nuclear facilities at PSI and the research reactor at EPFL had complied with their approved operating conditions. The infrastructure of the former research reactor at the University of Basel was subject to regular maintenance.

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, Basel 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 2021. 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 sit-

ing 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 investigated. In addition, in stage 3, Nagra must present a comparison of the advantages and disadvantages of a combined store relative to two repositories in separate siting areas. 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

Beide Blöcke des Kernkraftwerks Beznau (KKB) befanden sich abgesehen vom Revisionsstillstand beziehungsweise vom Brennelementwechsel im Leistungsbetrieb. Das ENSI stellt fest, dass die bewilligten Betriebsbedingungen immer eingehalten wurden. Das ENSI beurteilt die Sicherheit des KKB im Berichtsjahr im Block 1 hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als gut, hinsichtlich der Betriebsvorgaben als hoch, hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut sowie 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 hoch, hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut sowie hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als gut. Das KKB umfasst zwei weitgehend baugleiche Zwei-Loop-Druckwasserreaktor-Blöcke (KKB1 und KKB2), 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 vier meldepflichtigen Vorkommnissen mit Bezug zur nuklearen Sicherheit. Sie wurden der Stufe 0 der Internationalen Ereignisskala INES zugeordnet. Im Block 2 kam es im Berichtsjahr zu zwei meldepflichtigen Vorkommnissen. Sie wurden der Stufe 0 der Internationalen Ereignisskala INES zugeteilt. Es kam zu keinem Vorkommnis, welches beide Blöcke betraf. Der Brennelementwechsel im Block 1 dauerte vom 11. bis 24. Mai 2021, der Revisionsstillstand im Block 2 vom 6. August bis 12. September 2021. Im Berichtsjahr sind in beiden Blöcken keine Brennelementschäden aufgetreten.

Das ENSI führte im Rahmen seiner Aufsicht 115 Inspektionen durch. Wo erforderlich, verlangte das ENSI Verbesserungsmaßnahmen und überwachte deren Umsetzung. Der für beruflich strahlenexponierte Personen geltende Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung wurde 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 keine Zulassungsprüfungen für zulassungspflichtiges Personal des KKB statt.

1.2 Betriebsgeschehen

Der Block 1 erreichte im Berichtsjahr eine Arbeitsausnutzung von 96,1% und eine Zeitverfügbarkeit von 96,4%. Der unproduktive Anteil im Block 1 war primär auf den Brennelementwechsel zurückzuführen. Zusätzlich führte eine Handabschaltung einer Turbogruppe wegen einer Ölleckage bei den Turbineneinlassventilen (siehe Vorkommnis vom 27. April 2021) zu einem Produktionsausfall. Der Block 2 erreichte im Berichtsjahr eine Arbeitsausnutzung von 89,2% und eine Zeitverfügbarkeit von 89,9%. Der unproduktive Anteil im Block 2 war hauptsächlich auf den Revisionsstillstand zurückzuführen. 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 184,6 GWh. Zur Durchführung von Funktionsprüfungen und auf Anforderung des Lastverteilers erfolgten geplante kurzzeitige Leistungsre-



**Einbau des Läufers
der Niederdruck-
turbine.
Foto: KKB**

duktionen. Für eine Reparatur im nicht nuklearen Teil der Anlage im Januar 2021 sowie wegen eines Durchflusses von mehr als 1800 m³/s in der Aare im Juli 2021 verminderte das KKB die Leistung im Block 1 vorübergehend geringfügig.

Infolge der Covid-19-Pandemie traf das KKB umfassende und auf der Basis der Erfahrungen aus dem Jahr 2020 optimierte Schutzmassnahmen, insbesondere für den Brennelementwechsel im Block 1 und den Revisionsstillstand im Block 2. Dadurch war ein ausreichender Personalbestand zur Erfüllung aller sicherheitsrelevanten Aufgaben jederzeit gewährleistet.

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

■ Am 27. April 2021 stellte das KKB im nicht nuklearen Teil der Anlage bei einer der beiden Turbogruppen eine Ölleckage fest. Die betroffene Turbogruppe wurde umgehend manuell abgeschaltet. Zur Sicherstellung des Brandschutzes und zum Auffangen des ausgelaufenen Öls wurde die KKB-Feuerwehr aufgeboten. Da die Turbogruppe abgeschaltet war, wurde das Ölsystem nicht mehr benötigt und konnte abgestellt werden. So konnte die Leckage gestoppt werden. Nach Abschluss der Reparatur- und Reinigungsarbeiten wurde die Turbogruppe am 28. April 2021 wieder mit dem Netz synchronisiert. Eine externe Analyse

des betroffenen Leitungsstücks ergab, dass die Ölleckage auf einen Ermüdungsschwingungsriss im Bereich der Schweissnaht zurückzuführen war. Das betroffene Leitungsstück war im Rahmen des Ersatzes der Hochdruckturbinen 1995 eingebaut worden. Der Riss war vermutlich im Zeitraum nach dem im Jahr 2004 durchgeführten Umbau des Ölsystems entstanden, denn erst danach wurden stärkere Vibrationen an den Ölleitungen festgestellt. Die Vibrationen der Ölleitungen konnten durch den Einbau von Pulsationsdämpfern minimiert werden. Der Einbau der Pulsationsdämpfer im betroffenen Leitungsbereich erfolgte im Jahr 2012. Das Vorkommnis hatte keine Auswirkungen auf die in Betrieb oder in Bereitschaft stehenden Systeme. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Ölleckage, die zu einer ungeplanten Leistungsreduktion führte, 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 «Kühlung der Brennelemente».

■ Am 13. September 2021 führte das KKB ein Versuchsprogramm zu den Auswirkungen der Einleitung der Abwässer aus Duschen und Wäscherei in die KKB-interne Abwasserreinigungsanlage (ARA) durch. Ziel dieses Versuchsprogramms war es, den Einfluss der Einleitung auf das Leistungsvermögen der ARA zu bestimmen. Das aus dem Du-

schen- und Wäschereitank aus der kontrollierten Zone abgeleitete Abwasser war vorgängig radiologisch kontrolliert und für die Abgabe freigegeben worden. Infolge eines fehlenden Rohrabschnittes kam es zu einem Austritt von zirka 1,5 m³ Wasser in einem Versorgungskanal ausserhalb der kontrollierten Zone. Durch das austretende Wasser wurden in der Rohrleitung vorhandene lose Kontaminationen ausgeschwemmt. Die Kontaminationsverbreitung wurde rasch entdeckt. Das KKB sperrte den betroffenen Bereich ab und richtete einen temporären Zonentyp III ein, um eine Kontaminationsverschleppung zu verhindern. Gleichzeitig wurde das offene Rohr mit einer Verschlusskappe dicht verschlossen. Anschliessend begannen Strahlenschutz-Fachkräfte des KKB mit der Dekontamination. Die Kontaminationen im Rohrleitungsabschnitt stammten aus der Zeit vor 1985. Damals wurden die Duschen- und Wäschereiabwässer über den Pfad der ARA an die Umgebung abgegeben. Später erfolgte die Abgabe des zuvor kontrollierten Abwassers direkt in den Oberwasserkanal. Der betroffene Leitungsabschnitt war somit seit 1985 nicht mehr in Betrieb. Die für die beabsichtigte Testabgabe aus dem Sammeltank der Duschen- und Wäschereiabwässer verwendete Rohrleitung war vor ihrer Verwendung weder auf ihre Funktionstüchtigkeit noch auf allfällige Altkontaminationen hin überprüft worden. Aufgrund des fehlenden Rohrabschnittes entsprach die Abgabeleitung nicht dem Zustand, der in der Anlagendokumentation aufgeführt war. Selbst wenn das Rohrstück nicht gefehlt hätte, wäre eine signifikante Aktivitätsmenge in die ARA gelangt und hätte so mutmasslich zu einer Kontamination des Klärschlammes geführt. Die beabsichtigte Abgabe an die ARA des KKB stellte deswegen aus Sicht des ENSI eine Freisetzung flüssiger Aktivität über einen nicht kontrollierten und nicht dafür vorgesehenen Freigabepfad dar. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Kontamination ausserhalb der kontrollierten Zone sowie die Abgabe radioaktiver Abwässer über einen dafür nicht vorgese-

henen Abgabepfad der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekte des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie für die Schutzziele «Einschluss radioaktiver Stoffe» und «Begrenzung der Strahlenexposition». Darüber hinaus ordnete es im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die fehlende Nachführung der Anlagendokumentation der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit sicherheitsebenenübergreifender und schutzzielübergreifender Bedeutung.

■ Am 2. Dezember 2021 kam es zu einem Ausfall eines Notstand-Fortluftventilators. Auslegungsgemäss erfolgte eine automatische Umschaltung auf den redundanten Notstand-Fortluftventilator. Damit war die Unterdruckhaltung im betroffenen Teil des Notstandgebäudes und die gerichtete Strömung zum Fortluftkamin weiterhin gewährleistet.

Die Fehlersuche ergab beim Motor des betroffenen Fortluftventilators einen Erdschluss bei einer der drei Phasen. Nach dem Austausch des defekten Motors gegen einen Reservemotor, einer Installationskontrolle der Verkabelung und einer anschliessenden Vibrationsmessung konnte der Ventilator am 3. Dezember 2021 wieder in Betrieb genommen werden. Beim Ausfall des Fortluftventilators handelte es sich um einen Einzelfehler. Er hatte keinen Einfluss auf die Verfügbarkeit des Notstandsystems.

Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Ausfall des Notstand-Fortluftventilators der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit schutzzielübergreifender Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1, 2 und 3.

■ Am 17. Dezember 2021 kam es zu einem kurzzeitigen Ausfall einer Ladepumpe im Chemie- und Volumenregelsystem. Während des Volllastbetriebs sind jeweils zwei der drei Ladepumpen in Betrieb und fördern

boriertes Wasser in den Reaktorkühlkreislauf und Sperrwasser zu den Dichtungen der beiden Reaktorhauptpumpen. Da zum Ereigniszeitpunkt eine Instandhaltungsmassnahme an einer weiteren Ladepumpe durchgeführt wurde und diese für die notwendigen Arbeiten ordnungsgemäss freigeschaltet worden war, konnte der kurzzeitige Ausfall der einen Ladepumpe nicht durch eine automatische Umschaltung auf die redundante Ladepumpe kompensiert werden. Ein kurzer Unterbruch der Sperrwasserversorgung ist zulässig und hat keinen Einfluss auf die Reaktorhauptpumpe. Falls im Anforderungsfall keine Ladepumpe zur Sperrwasserversorgung verfügbar wäre, würde durch das Notstandschutzsystem das Notstand-Sperrwassersystem oder das Notsperrwassersystem gestartet und damit die Sperrwasserversorgung gewährleistet. Die Anlage befand sich zum Zeitpunkt des Ausfalls der Ladepumpe im ungestörten Vollastbetrieb. Der Ausfall der Ladepumpe hatte keinen Einfluss auf den Betrieb der Anlage. Die Ereignisanzeige vor Ort zeigte eine Störung im Bereich des Frequenzumformers an, die durch einen kurzzeitig anstehenden Erdschluss im Stromwandler entstanden war. Die drei Stromwandler des Frequenzumformers wurden ausgetauscht und die Ladepumpe anschliessend wieder in Betrieb genommen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den kurzzeitigen Ausfall einer Ladepumpe im Chemie- und Volumenregelsystem der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage für die Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie für die Schutzziele «Kontrolle der Reaktivität» und «Einschluss radioaktiver Stoffe». Im Block 2 kam es zu zwei meldepflichtigen Vorkommnissen, die das ENSI der Stufe 0 der Internationalen Ereignisskala INES zuordnete.

■ Das Containment-Spülluftsystem wird während des Abfahrens und bei einer Abstellung des Blocks in Betrieb genommen, um die Luft im Containment laufend zu erneuern. Jede Durchführung dieses Sys-

tems durch die Wand des Containments ist mit drei Klappen isoliert, die im Leistungsbetrieb normalerweise geschlossen sind. Bei einer Dichtheitsprüfung im Rahmen des Wiederanfahrens nach dem Revisionsstillstand konnte am 9. September 2021 an einer der Klappen die geforderte Dichtheit nicht nachgewiesen werden. Der Nachweis der Dichtheit war notwendig, um die Containmentintegrität für das weitere Anfahren und den Leistungsbetrieb sicher zu gewährleisten. Als Ursache konnte eine Leckage im Bereich des Klappentellers beim Klappengehäuse festgestellt werden. Die Spülluftklappe wurde mit einem für diese Armatur vorhandenen Blinddeckel verschlossen und der Dichtheitstest erfolgreich durchgeführt. Nach dem Abfahren der Anlage für den Brennstoffwechsel 2022 wird der Blinddeckel wieder entfernt, die Spülluftklappe demontiert und instandgesetzt. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die unzulässige Leckrate an der Spülluftklappe im Abluftpfad 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 für das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe».

■ Das Sicherheitseinspeisesystem gewährleistet die Kühlung und die Unterkritikalität des Reaktors nach Kühlmittelverluststörfällen und nach einem Dampferzeugerrohrbruch sowie darüber hinaus die Niveau- und Druckhaltung im Primärkreislauf bei einem Frischdampfleitungsbruch. Bei intaktem Primärkreislauf kann das System auch zur Nachwärmeabfuhr eingesetzt werden. Bei der Durchführung einer Funktionsprüfung am 9. September 2021 zum Nachweis der Verfügbarkeit einer Sicherheitseinspeisepumpe konnte der Leistungsschalter der Pumpe aufgrund eines zu tiefen Löschgases nicht eingeschaltet werden. In der Folge startete die Sicherheitseinspeisepumpe nicht ordnungsgemäss. Der Nachweis der Verfügbarkeit der Sicherheitseinspeisepumpe erfolgte im Rahmen des Wiederanfahrens des Blocks 2 nach dem

Brennelementwechsel und dem erfolgreichen Abschluss der Revisionsarbeiten und war eine Bedingung für die Aufnahme des Leistungsbetriebs. Die nachträgliche Auswertung der Alarme zeigte, dass es bereits am 7. September 2021 im Rahmen der Schutzprüfungen zum Verlust des Löschgases kam. Bei diesen Schutzprüfungen werden alle Sicherheitseinspeisepumpen ein- und ausgeschaltet. Ein im Anschluss an die Prüfung weiterhin anstehender Alarm wurde nicht bemerkt. Der defekte Leistungsschalter wurde ersetzt und anschliessend ein erfolgreicher Probelauf durchgeführt. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung das Startversagen einer Sicherheitseinspeisepumpe während einer Funktionsprüfung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 3 und 4 sowie für 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.

Am 18. November 2021 führte das ENSI im KKB eine Schwerpunktinspektion zum Zustand der Grundwasserfassungen durch. Im Rahmen dieser Schwerpunktinspektion bewertete es die Erfüllung der Vorgaben der Technischen Spezifikation (Fördermengen und Grundwasserniveau) sowie den Zustand der Grundwasserfassungen. Zudem wurden die Strahlenschutz- und Überwachungsmassnahmen an relevanten Arbeitsplätzen in der Nähe der Grundwasserfassungen bezüglich Strahlenexposition durch Radon überprüft. Das ENSI beurteilte auch die Durchführung und Dokumentation der wiederkehrenden Prüfungen entsprechend den Vorgaben der Richtlinie ENSI-G07. Der Nachweis der Funktionstüchtigkeit der Grundwasserfassungen wurde gemäss Sicherheitsbericht und Technischer Spezifikation erbracht. Die Durchführung und die Dokumentation der Wiederholungsprüfun-

gen entsprachen den Vorgaben der Richtlinie ENSI-G07. Das KKB hatte jedoch kein Radon-Screening von potenziell betroffenen Arbeitsplätzen durchgeführt. Geeignete Messgeräte waren während der Inspektion nicht vorhanden. Das Strahlenschutzpersonal kannte die radiologische Situation bei den Grundwasserfassungen nicht. Das ENSI stellte während der Inspektion des Notbrunnens stichprobenartig Messwerte für Rn-222 im Bereich des Schwellenwertes von 1000 Bq/m³ fest. Daher hat die Betreiberin die Pflicht, die radiologische Lage in Bezug auf Radon genauer zu erfassen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den operationellen Strahlenschutz in Bezug auf die Radondosisüberwachung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie für das Schutzziel «Begrenzung der Strahlenexposition».

1.3 Anlagentechnik

1.3.1 Revisionsarbeiten

Der Block 1 wurde vom 11. bis 24. Mai 2021 für den Brennelementwechsel abgestellt. Neben dem Brennelementwechsel erfolgten weitere Prüfungen und Wartungsarbeiten unter verschärften Covid-19-Schutzmassnahmen. Es ergaben sich keine sicherheitsrelevanten Befunde.

Um den Dieselrußgrenzwert der Luftreinhalteverordnung von 5 mg/m³ bei 5% Restsauerstoffgehalt im Abgas während der periodischen Testläufe der Notstromdieselgruppen einhalten zu können, wurde an einem Dieselaggregat der Abgaspfad erweitert und eine Filteranlage mit Kamin nachgerüstet. Im Rahmen der Inbetriebsetzung des Notstromdiesels wurden Daten zur umgebauten Anlage in einem Versuchsprogramm erfasst. Durch den Austausch einzelner Filterelemente konnte für die Filteranlage eine Konfiguration gefunden werden, welche eine Probetriebsphase unter Einhaltung

der sicherheitstechnischen Kennwerte des Dieselaggregats erlaubt.

An der Aussenseite des Deckels des Reaktordruckbehälters (RDB) wurde mit einem mechanisierten Prüfsystem eine indirekte visuelle Prüfung durchgeführt. Diese diente dem Auffinden von Anzeigen für Leckagen im Bereich der RDB-Deckeldurchführungen. Dabei wurde an einer Deckeldurchführung eine Anzeige festgestellt, die zunächst als bewertungspflichtiger Befund festgehalten worden war. Es handelte sich um eine grau-weiße Ablagerung, zirka 10 mm oberhalb der Deckeloberfläche. Die Untersuchung einer Belagsprobe ergab, dass es sich dabei wahrscheinlich um Farbrückstände handelte. Nach der Entfernung des Belags konnte die Befundfreiheit der Deckeldurchführung nachgewiesen werden.

Gemäss Wiederholungsprüfprogramm wurde an den Heizrohren der beiden Dampferzeuger eine mechanisierte Wirbelstromprüfung durchgeführt. Die letzte Prüfung der Dampferzeuger-Heizrohre hatte während des Revisionsstillstands im Jahr 2017 stattgefunden. Es wurden keine bewertungspflichtigen Anzeigen an der Dampferzeuger-Berohrung festgestellt.

Während des Anfahrens ereigneten sich zwei im Kapitel 1.2 beschriebene meldepflichtige Vorkommnisse: undichte Spülluftklappe im Abluftpfad und Startversagen einer Sicherheitseinspeisepumpe bei einer Funktionsprüfung. Aus den beiden Vorkommnissen ergaben sich keine Hinweise, die gegen ein Wiederanfahren der Anlage gesprochen hätten.

Der Revisionsstillstand im Block 2 dauerte vom 6. August bis 12. September 2021. Während des Stillstands wurden unter Einhaltung der Covid-19-Schutzmassnahmen neben dem Brennelementwechsel verschiedene Prüfungen und Wartungsarbeiten durchgeführt.

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

1.3.2 Anlageänderungen

Von den in beiden Blöcken vorgenommenen Anlageänderungen seien die folgenden erwähnt:

- Im Rahmen der Periodischen Sicherheitsüberprüfung wurde gezeigt, dass die Reaktortrip-Signalübertragung vom Notstandssystem auf die Steuerstabantrieb-Umformer bezüglich der Relais einsträngig ausgeführt war. Mit dem Verdoppeln dieser Relais wurde das Signal auf die Steuerstabantrieb-Umformer-Erregung einzelfehlensicher ausgebildet.

- Die Versorgung der 6-kV-Schienen des KKB von der 50-kV-Schaltanlage des Unterwerks Beznau erfolgt über 50-kV-/110-kV-Schalter. Mit dem Ziel, die alleinige Steuerhoheit über die zugehörigen Leistungsschalter und Trenner auf das KKB zu übertragen, wurden im Block 2 Steuerungen und Rückmeldungen realisiert. Diese Umrüstung ist auch für den Block 1 geplant. Das KKB führte entsprechende Vorarbeiten für die geplante Realisierung im Jahr 2022 aus.

- Im Block 2 wurden bei Filterabschirmungen des Chemie- und Volumenregelsystems, des Brennelementlagerkühlsystems und des Containmentsprühsystems die Verankerungen in die Baustruktur ertüchtigt. Die Ertüchtigung dient dazu, die Standfestigkeit der nicht klassierten Bleiabschirmung bei Erdbebeneinwirkung zu erhöhen und eine mögliche Beschädigung der sicherheitstechnisch klassierten Filter durch die Abschirmung zu verhindern. Eine Ertüchtigung der Abschirmungen im Block 1 wird im Jahr 2022 erfolgen.

1.3.3 Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente

Die Blöcke 1 und 2 des KKB werden mit je 121 Brennelementen betrieben. Im Berichtszeitraum traten keine Defekte an Brennelementen auf. Die Integrität der ersten Barriere zum Schutz gegen den Austritt radioaktiver Stoffe war somit gegeben. Während des Brennelementwechsels 2021 im Block 1 wurden 20 abgebrannte Brennelemente durch frische Brennelemente des Typs AGORA 4H ersetzt. Diese enthalten



Inspektion der Hochdruckturbinen.
Foto: KKB

als Brennstoff wiederaufgearbeitetes Uran (WAU). Der Reaktorkern des Blocks 1 enthält im 47. Betriebszyklus 89 WAU-Brennelemente des Typs FOCUS und 32 WAU-Brennelemente des Typs AGORA 4H.

Während des Revisionsstillstands 2021 im Block 2 wurden 20 abgebrannte Brennelemente durch frische Brennelemente des Typs AGORA 4H ersetzt. Diese enthalten als Brennstoff WAU. Der Reaktorkern enthält damit im 48. Betriebszyklus 69 WAU-Brennelemente des Typs FOCUS und 52 WAU-Brennelemente des Typs AGORA 4H.

Die Reaktorkerne beider Blöcke des KKB wurden mit freigegebenen und qualitätsgeprüften Brennelementen bestückt. Das ENSI gab die neuen Kernbeladungen des KKB 1 und KKB 2 frei. Sie erfüllten entsprechend der Dokumentation alle Anforderungen.

Im Jahr 2014 wurden in beiden Blöcken jeweils alle 25 Steuerelemente durch neue gleicher Bauart ersetzt. Aufgrund der guten Betriebserfahrung mit Steuerelementen dieser Bauart sowie der stetigen Überwachung des Reaktorkühlkreislaufes, bei der keine Hinweise auf Steuerelementdefekte vorlagen, wurden gemäss der langfristigen Planung des KKB im Block 1 keine Steuerelementinspektionen durchgeführt. Gemäss Inspektionsintervall wurden im KKB 2 alle Steuerelemente mittels Wirbelstromprüfung inspiziert. Es wurden keine Abweichungen vom auslegungskonformen Verhalten

festgestellt. Alle Steuerelemente erfüllten die Kriterien für einen weiteren Einsatz.

Im Berichtszeitraum wurden die Reaktorkerne beider Blöcke auslegungsgemäss und im bewilligten Rahmen betrieben. Die Anfahrmessungen, die das ENSI jeweils vor Ort inspiziert, verliefen plangemäss. Die Ergebnisse der reaktorphysikalischen Messungen stimmten gut mit den Ergebnissen der Kernausslegungsberechnungen überein. Die Toleranzen wurden klar eingehalten.

1.4 Strahlenschutz

Aus Sicht des Strahlenschutzes waren im Jahr 2021 weder während des Leistungsbetriebs noch während des Brennelementwechsels im Block 1 oder der Revisionsabstellung im Block 2 meldepflichtige Vorkommnisse oder Befunde zu verzeichnen. Die akkumulierten Kollektivdosen für die oben erwähnten Betriebszustände lagen mit insgesamt 371 Pers.-mSv alle im erwarteten Bereich. Bezüglich der Individualdosen hält das ENSI fest, dass sie auf einem tiefen Niveau waren. Der Maximalwert betrug 5,5 mSv. Die Inspektionen des ENSI bestätigten, dass im KKB ein effizienter Strahlenschutz betrieben wird.

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 betragen rund 13% 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 fiktive Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKB unter ungünstigen Annahmen. Die Dosen betragen weniger als 0,001 mSv für Erwachsene, Zehnjährige und Kleinkinder und lagen somit deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr gemäss der Richtlinie ENSI-G15. 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 der Betreiberin und des ENSI gaben keinen Hinweis auf eine Verletzung der nach Artikel 79 Absatz 2 der Strahlenschutzverordnung anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerksareals von 0,02 mSv pro Woche für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 0,1 mSv pro Woche für andere Bereiche. Für detailliertere Angaben zur radiologischen Situation innerhalb und ausserhalb des KKB wird auf den Strahlenschutzbericht 2021 des ENSI verwiesen.

1.5 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 In-

standhaltungs-, Umbau- oder Nachrüstmassnahmen 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 werkeigenen Zwischenlager ZWIBEZ auf. Ihr Bestand liegt mit 49 m³ im Erfahrungsbereich der vergangenen Jahre. Brennbarere und weitere Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in den Anlagen der Zwiilag 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 sechs Gebinde mit Schlämmen und 20 mit Harzen konditioniert. Die konditionierten Abfallgebände werden in das Rückstandslager und in das Lager für schwachaktive Abfälle des ZWIBEZ eingelagert. Das KKB nutzt zudem die Kapazitäten des Zentralen Zwischenlagers der Zwiilag. Bei der jährlichen Inspektion des Lagergutes wurden keine meldepflichtigen Befunde festgestellt. 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 6,5 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

fand ein Transfer mit 19 Brennelementen statt. Weitere Angaben zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente finden sich im Kapitel 8.

1.6 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 zusammen mit Inspektoren der Aargauischen Gebäudeversicherung im Juni 2021 im Rahmen der Werksnotfallübung CALIDA mit Schwerpunkt Feuerwehreinsatz. Als Ausgangslage für die Übung wurde der störungsfreie Volllastbetrieb beider Blöcke unterstellt. Das Szenario wurde durch eine angespannte Hochwassersituation eingeleitet, welche dazu führte, dass zunächst der Kernstab in Alarmbereitschaft versetzt wurde. Kurz bevor der Notfall erklärt wurde, gab es einen Kurzschluss in einem Trafo, der anschliessend in Brand geriet. Aufgrund eines Spannungsverlustes kam es auslegungsgemäss zu einer Reaktorschnellabschaltung. Ein offengebliebenes Abblaseventil führte im weiteren Verlauf zu einer Unterkühlungstransiente mit Ansprechen der Sicherheitseinspeisung. Im Block 1 war der Lastabwurf auf Eigenbedarf erfolgreich. Die Notfallorganisation des KKB war in dieser Übung mit verschiedenen Problemstellungen konfrontiert und musste mit zielgerichteten Massnahmen das Hochwasser, den Trafobrand, eine Personenrettung sowie den technischen Notfall im Block 2 beherrschen. Das KKB stufte die Ereignisse korrekt ein und meldete sie dem ENSI zeitgerecht. Die vorgegebenen Ziele für Werksnotfallübungen mit Schwerpunkt Feuerwehreinsatz gemäss der Richtlinie ENSI-B11 wurden erreicht. Das KKB verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.

Das ENSI inspizierte im Juni 2021 einen der Standorte der externen Notfallzentren (ENOZ) des KKB und überprüfte die Umsetzung der in der Richtlinie ENSI-B12 an ENOZ gestellten Anforderungen. Die Inspektion ergab, dass die ENOZ-Standorte des KKB in die Notfalldokumentation eingebunden sind und der inspizierte Standort die gemäss der Richtlinie ENSI-B12 gestellten Anforderungen vollumfänglich erfüllt.

Eine weitere Inspektion im Dezember 2021 zeigte zudem, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit waren.

Ferner löste das ENSI im November 2021 ohne Voranmeldung einen Übungsalarm im KKB aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabes innerhalb der zeitlichen Vorgaben gemäss der Richtlinie ENSI-B11 bestätigt wurde.

1.7 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr erhöhte sich der Personalbestand des KKB auf 481 Personen, die 469 Vollzeitstellen besetzen (Ende 2020: 467, ohne Lernende). Es erfolgten keine organisatorischen Änderungen, die eine Freigabe des Kraftwerkreglements erfordert hätten. Im Berichtsjahr konnten alle Stellen in der Abteilung «Reaktor & Sicherheit» besetzt werden. Das KKB unternimmt grosse Anstrengungen, um dem bevorstehenden Generationenwechsel durch frühzeitige und strategische Personalrekrutierung entgegenzuwirken.

Das Managementsystem des KKB besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2015. Die Rezertifizierung fand im Jahr 2021 statt. Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion zur periodischen Bewertung der Wirksamkeit des Managementsystems durch die Standortleitung durch. Das ENSI bezog sich dabei insbesondere auf die Erfüllung der relevanten Vorgaben aus Artikel 31 der Kernenergieverordnung, der Richtlinie ENSI-G07, dem IAEA Safety Standard GSR Part 2 und der Norm DIN ISO 9001:2015. Die entsprechenden Anforderungen wurden erfüllt. Die Geschäftsleitung der Axpo hat für die Division



**Austausch des
Motors der Reaktor-
hauptpumpe.
Foto: KKB**

Kernenergie ein unabhängiges Controlling eingeführt und ist damit internationalen Empfehlungen gefolgt.

Im Berichtsjahr fanden keine Zulassungsprüfungen statt. Ein Reaktoroperateur absolvierte im Rahmen seiner Ausbildung zum Picketingenieur die erforderlichen kerntechnischen Grundlagenkurse erfolgreich. Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in Tabelle 3 zusammengestellt. Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2020 und der Planung des Ausbildungsprogramms 2021 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 die Ausbildung des Personals der Abteilung Stilllegungsplanung auf die Einhaltung der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) und der Richtlinie ENSI-B10 überprüft. Die Ausbildungsprogramme des KKB in den inspeziierten Bereichen erfüllten die Anforderungen.

1.8 Periodische Sicherheitsüberprüfung

Die ENSI-Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) des KKB

wurde im November 2021 fertiggestellt und publiziert.

Der Beurteilungszeitraum vom 1. Januar 2012 bis 31. Dezember 2016 umfasste lediglich fünf anstelle der für PSÜ üblichen zehn Jahre. Grund dafür war der Sicherheitsnachweis für den Langzeitbetrieb, der aufgrund des Alters der Anlage bis Ende Juni 2018 eingereicht werden musste. Mit der vorliegenden PSÜ synchronisierte das KKB die Unterlagen zum Nachweis für den Langzeitbetrieb und die Berichte zur PSÜ.

Das ENSI kam im Rahmen seiner Stellungnahme zur PSÜ zum Schluss, dass das KKB im Beurteilungszeitraum 2012 bis 2016 mit der notwendigen Sorgfalt betrieben wurde. Generell war das KKB dank diversen bereits durchgeführten Nachrüstungen und einer guten Betriebsführung im Beurteilungszeitraum trotz seines Alters in einem guten Zustand. Das ENSI stellte im Rahmen seiner Stellungnahme zur PSÜ Verbesserungspotenzial fest und formulierte verschiedene Forderungen. Bei diesen Forderungen geht es insbesondere darum, die Sicherheit auch im Langzeitbetrieb zu gewährleisten.

1.9 Sicherheitsbewertung

1.9.1 Block 1

Im Jahr 2021 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 folgenden zusammenfassenden Beurteilungen: Zellen ohne Bewertung bedeuten, dass weder Inspektionsergebnisse, Zulassungsprüfungen, Vorkommnisse noch Sicherheitsindikatoren eine Bedeutung für diese Zellen hatten. Die Zellenbewertungen richteten 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 Erkenntnisse aus der letzten Periodischen Sicherheitsüberprüfung herangezogen und dabei 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

Da keine Bewertungen der Kategorien A und höher vorliegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des Blocks 1 des KKB hinsichtlich der Betriebsvorgaben als hoch.

Zustand und Verhalten der Anlage

Das ENSI beurteilt die im 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 im Unterkapitel 1.2 beschriebene Abweichung 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 Blocks 1 des KKB hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als gut.

1.9.2 Block 2

Im Jahr 2021 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 folgenden zusammenfassenden Beurteilungen: Zellen ohne Bewertung bedeuten, dass weder Inspektionsergebnisse, Zulassungsprüfungen, Vorkommnisse noch Sicherheitsindikatoren eine Bedeutung für diese Zellen hatten. Die Zellenbewertungen richteten 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 Erkenntnisse aus der letzten Periodischen Sicherheitsüberprüfung herangezogen und dabei 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

Bewertungsgegenstand		Anforderungen		Betriebsgeschehen	
		Auslegungsvorgaben	Betriebsvorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation
Ziele					
Sicherheitssebenen	Ebene 1		N	A	A
	Ebene 2		N	A	A
	Ebene 3	N	N	A	V
	Ebene 4	N	N	A	V
	Ebene 5			N	N
Barrieren	Integrität der Brennelemente			N	N
	Integrität des Primärkreises			N	
	Integrität des Containments			N	
Ebenen- oder barriärenübergreifende Bedeutung			N	A	A

Sicherheitsbewertung 2021 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.

Bewertungsgegenstand		Anforderungen		Betriebsgeschehen	
		Auslegungsvorgaben	Betriebsvorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation
Ziele					
Schutzziele	Kontrolle der Reaktivität		N	A	N
	Kühlung der Brennelemente	N	N	A	V
	Einschluss radioaktiver Stoffe		N	A	N
	Begrenzung der Strahlenexposition		N	A	N
	Schutzzielübergreifende Bedeutung		N	A	A

Sicherheitsbewertung 2021 KKB 1: Schutzziel-Perspektive

Anmerkung: alternative Darstellung derselben Sachverhalte wie in der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge, aber mit zusätzlicher Darstellung radiologischer Auswirkungen.

Bewertungsgegenstand		Anforderungen		Betriebsgeschehen	
		Auslegungsvorgaben	Betriebsvorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation
Ziele					
Sicherheitssebenen	Ebene 1	N	N	A	A
	Ebene 2	N	N	A	A
	Ebene 3	N	N	A	V
	Ebene 4	N	N	A	V
	Ebene 5			N	N
Barrieren	Integrität der Brennelemente			N	N
	Integrität des Primärkreises			N	N
	Integrität des Containments			N	
Ebenen- oder barriärenübergreifende Bedeutung			N	N	N

Sicherheitsbewertung 2021 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.

Bewertungsgegenstand		Anforderungen		Betriebsgeschehen	
		Auslegungsvorgaben	Betriebsvorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation
Ziele					
Schutzziele	Kontrolle der Reaktivität	N	N	N	N
	Kühlung der Brennelemente	N	N	A	V
	Einschluss radioaktiver Stoffe		N	A	N
	Begrenzung der Strahlenexposition		N	A	N
	Schutzzielübergreifende Bedeutung	N	N	N	N

Sicherheitsbewertung 2021 KKB 2: Schutzziel-Perspektive

Anmerkung: alternative Darstellung derselben Sachverhalte wie in der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge, aber mit zusätzlicher Darstellung radiologischer Auswirkungen.

Sicherheit des Blocks 2 des KKB hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als gut.

Betriebsvorgaben

Da keine Bewertungen der Kategorien A und höher vorliegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des Blocks 2 des KKB hinsichtlich der Betriebsvorgaben als hoch.

Zustand und Verhalten der Anlage

Das ENSI beurteilt die im 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 2 des KKB hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut.

Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

Das ENSI beurteilt die im Unterkapitel 1.2 beschriebene Abweichung 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 Blocks 2 des KKB hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als gut.

2



2. Kernkraftwerk Gösgen

2.1 Überblick

Neben dem Revisionsstillstand kam es im Kernkraftwerk Gösgen (KKG) zu einem geplanten Unterbruch des Leistungsbetriebs sowie einer Reaktorschnellabschaltung. 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 gut, hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut und hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als gut.

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 auf der Internationalen Ereignisskala INES zuordnete.

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

Der Revisionsstillstand dauerte vom 22. Mai bis 25. Juni 2021. Neben dem Austausch von Brennelementen fanden Prüfungen und Inspektionen an Komponenten und Systemen statt. Es zeigten sich keine Befunde, die einem sicheren Betrieb entgegenstehen.

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 Strah-

lenexposition 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 zwei Pickettingenieure, zwei Schichtchefs sowie ein Reaktoroperateur die Zulassungsprüfung.

2.2 Betriebsgeschehen

Das KKG erreichte im Berichtsjahr eine Arbeitsausnutzung von 89,6% und eine Zeitverfügbarkeit von 90,2%. Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung der letzten zehn Jahre sind in Figur 1 dargestellt. Die Nichtverfügbarkeit der Anlage war hauptsächlich auf den Revisionsstillstand zurückzuführen, in geringerem Mass auch auf die beiden Unterbrüche des Leistungsbetriebs.

Die ausgekoppelte Prozesswärme für die Versorgung der zwei nahegelegenen Kartonfabriken belief sich auf 236,3 GWh.

Zur Durchführung geplanter Prüfungen und auf Anforderung des Lastverteilers erfolgten kurzzeitige Leistungsabsenkungen. Infolge der Covid-19-Pandemie traf das KKG umfassende Schutzmassnahmen. Dadurch war der notwendige Personalbestand zur Erfüllung aller sicherheitsrelevanten Aufgaben jederzeit gewährleistet.

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

■ Brennelement-Austrittstemperaturmessungen werden im Rahmen des Accident-Management für die Überprüfung herangezogen, ob ein Kernschaden stattgefunden hat. Am 22. Mai 2021 wurde während des Abfahrprozesses zur Jahresrevision 2021 die Simulation der Brennelement-Austrittstemperaturmessungen vorzeitig ausgeführt. Dies führte zu einem zehnminütigen Ausfall des Wartenschreibers der Brennelement-Austrittstemperaturen. Die Messungen



**Brennelementgestell
beim Einheben in das
Nasslager.
Foto: KKG**

selbst waren immer verfügbar. Die direkte Ursache der vorzeitig ausgeführten Simulation war eine Abweichung vom Terminplan der Revisionsabstellung und eine fehlende Arbeitsfreigabe durch den amtierenden Schichtchef. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Ausfall der Brennelement-Austrittstemperaturmessung aufgrund einer vorzeitig ausgeführten Messsimulation ohne Freigabe der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 3 und 4 sowie für das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

■ Das KKG verfügt pro Loop über ein Frischdampf-Sicherheitsventil mit je drei dazugehörigen Vorsteuerventilen. Die Frischdampf-Sicherheitsventile haben die Aufgabe, die Frischdampfleitungen gegen unzulässig hohen Druck abzusichern und nach Eintritt eines Notstandfalls die sekundärseitige Wärmeabfuhr während der ersten zehn Stunden zu gewährleisten. Am 25. Mai 2021 wurde während einer Funktions- und Dichtheitsprüfung an einem Vorsteuerventil auf dem Prüfstand eine geringe Undichtigkeit im Bereich der Baugruppe Spindel festgestellt. Das KKG ersetzte daraufhin die Baugruppe und meldete dem ENSI die Instandsetzung. Während des Ab-

fahrens der Anlage am 22. Mai 2021 für die Jahreshauptrevision hatte die Funktionsprüfung des zugehörigen Frischdampf-Sicherheitsventils keinen Befund ergeben. Im Rahmen der Instandsetzung wurde der Einsatz des ausgebauten Vorsteuerventils, welcher den Faltenbalg umschliesst, entfernt. Da das KKG im Bereich des Faltenbalgs rissförmige Anzeigen registrierte, übergab es das Bauteil für weiterführende Untersuchungen an eine externe Firma. Die Firma kam zum Ergebnis, dass die Ursache für die Undichtigkeit im Bereich des Faltenbalgs auf Spannungsrisskorrosion zurückzuführen ist. Die Undichtigkeit des Faltenbalgs hatte weder einen Einfluss auf die Funktion des Vorsteuerventils noch auf die des Frischdampf-Sicherheitsventils. Auch ein komplettes Versagen eines Faltenbalgs hätte nicht zu einer Beeinträchtigung der Funktion geführt. Da Vorsteuerventile während des Normalbetriebs geschlossen sind, entsteht durch eine Undichtigkeit eines Faltenbalgs auch keine Leckage nach aussen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Leckage an einem Vorsteuerventil eines Frischdampf-Sicherheitsventils 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 «Kühlung der Brennelemente».

■ Im Zuge der geplanten Inspektionen an Brennelementen während des 42. Brennelementwechsels wurde am 26. Mai 2021 an zwei Brennelementen je eine fehlende Fusschraube festgestellt. Die zwei Schrauben konnten aus dem Reaktordruckbehälter geborgen werden. Aufgrund dieses Befundes wurden zusätzliche Brennelemente visuell inspiziert, aber keine weiteren fehlenden Fusschrauben mehr gefunden. Als Hauptursache für das Lösen der Fusschrauben während ihres Einsatzes im Reaktorkern wurden Abweichungen beim Drehmoment während des Anziehens der Fusschraube beim Schliessen der Brennelemente durch den Brennelementservice des Lieferanten identifiziert. Die Einsetzbarkeit der beiden Brennelemente mit fehlenden Fusschrauben war in Frage zu stellen, da diese Konfiguration nicht der Auslegung sowie der ENSI-Freigabe für den Einsatz dieses Brennelement-Typs im KKG entspricht. Die Überprüfung der Auslegungsnachweise ergab, dass die Integrität der Brennelementstruktur weder für den bestimmungsgemässen Betrieb noch für Betriebsstörungen und Störfälle beeinflusst war. Es wurde nachgewiesen, dass ein uneingeschränkter Wiedereinsatz von Brennelementen mit bis zu drei fehlenden Schrauben zulässig ist. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die fehlenden Fusschrauben an zwei Brennelementen der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie für das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

■ Bei der geplanten visuellen Inspektion an Brennelementen während des 42. Brennelementwechsels wurde am 28. Mai 2021 an einem Brennelement im ersten Abstandhalter ein Fremdkörper entdeckt. Das Brennelement wies keine Beschädigungen auf. Aufgrund dieses Befundes inspizierte das KKG das an der Ecke diagonal benachbarte Brennelement ebenfalls. Es zeigten sich Beschädigungen an drei Abstandhaltern. Das Schadensbild schloss einen Wiederein-

satz im folgenden Zyklus 43 ohne Reparatur aus. Im Laufe der weiteren Inspektionen wurden artgleiche Schäden an drei anderen Brennelementen sowie ein ähnlicher, durch Fretting verursachter Schaden an einem weiteren Brennelement entdeckt. Zwei Brennelemente konnten im Zyklus 43 durch den Ersatz des Brennstabs an der betroffenen Ecke durch einen Brennstabdummy wieder eingesetzt werden. Die verbleibenden Brennelemente werden zu einem späteren Zeitpunkt im Rahmen des Brennelementservices bearbeitet. Aufgrund der Aktivitätsüberwachung während des Entladens der Brennelemente bestand kein Verdacht auf einen Brennstabschaden. Die betroffenen Brennelemente entsprechen aufgrund der Schäden an den Abstandhaltern nicht mehr der Auslegung und sind ohne Reparatur nicht mehr einsetzbar. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Abstandhalterbeschädigungen an Brennelementen der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie für das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

■ Bei der geplanten Inspektion an Brennelementen während des 42. Brennelementwechsels wurde am 3. Juni 2021 an einem Brennelement am dritten Abstandhalter ein Frettingschaden entdeckt. Da das Brennelement im letzten Einsatzzyklus mit der betroffenen Seite an der Kernummantelung stand, wurden anschliessend die Bleche der Kernummantelung inspiziert. Diese zeigten Anzeichen einer Wechselwirkung mit dem schadhaften Abstandhalter. Weil das betroffene Brennelement nicht mehr der Auslegung entsprach und den vorgesehenen Abbrand erreicht hatte, kam es nicht mehr zum Einsatz. Darüber hinaus inspizierte das KKG aufgrund dieses Befundes die benachbarten Brennelemente aus den vorherigen Zyklen. Es wurden keine Auffälligkeiten festgestellt. Aufgrund der Messwerte der Aktivitätsüberwachung während des Entladens der Brennelemente bestand kein Verdacht auf einen Brennstabschaden. Das ENSI

ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Frettingschaden an einem Brennelement der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie für das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

■ Am 6. Oktober 2021 wurde bei der Durchführung einer Reaktorschutzprüfung des Gebäudeabschlusses für Lüftungstechnische Anlagen das Auslösesignal korrekt initiiert, jedoch wurden die zugeordneten Armaturen nicht wie vorgesehen automatisch in die Zu-Stellung gefahren. Der Fehler konnte in einer Relaisbaugruppe lokaisiert werden. Die Ursache für das nicht ordnungsgemässe Funktionieren des Relais war dem schwergängigen Relaisanker zuzuordnen. Während des Schaltens des Relais funktionierten nicht alle Kontakte. Da Armaturen des Lüftungstechnischen Gebäudeabschlusses betroffen waren, führte das KKG nochmals eine Reaktorschutzprüfung, welche die jeweils in Serie angelegten Gebäudeabschlussarmaturen ansteuert, durch. Im Rahmen dieser Prüfung konnten alle angesteuerten Armaturen korrekt in Zu-Stellung gefahren werden. Somit war der Lüftungstechnische Abschluss im Anforderungsfall jederzeit sichergestellt. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die defekte Relaisbaugruppe bei Gebäudearmaturen für Lüftungstechnische Anlagen der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie für die Schutzziele «Einschluss radioaktiver Stoffe» und «Begrenzung der Strahlenexposition».

■ Am 12. November 2021 fiel eine Rechnerbaugruppe der digitalen Reaktorleittechnik aus. Die ausgefallenen Funktionen wurden auslegungsgemäss durch die gleiche Rechnerbaugruppe einer anderen Redundanz übernommen. Anstelle der defekten Rechnerbaugruppe wurde eine Ersatzbaugruppe eingesetzt, welche zuvor gemäss den Vorgaben mit dem projektierten Softwarestand

programmiert wurde. Mit dem Zuschalten der Speisung startete die neue Rechnerbaugruppe und band sich automatisch ein. Im nächsten Schritt der Inbetriebnahme der neuen Rechnerbaugruppe hätten die aktuellen Anlagenparameter eingestellt werden sollen. Zu diesem Schritt kam es nicht mehr, weil aufgrund der Differenz zwischen dem projektierten Softwarestand und den aktuell eingestellten Parametern zum Zykluszeitpunkt am 12. November 2021 die Leistungsverteilungsdetektoren-Signale von drei Instrumentierungslanzen verfälscht wurden. Dadurch kam es zu einem Ansprechen von Begrenzungsfunktionen und nachfolgend zu einer ungeplanten Reaktorschneellabschaltung. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Einsatz einer Verarbeitungseinheit mit nicht angepassten Anlageparametern der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt der Betriebsvorgaben mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie für das Schutzziel «Kontrolle der Reaktivität».

■ Die Kaminfortluft wird kontinuierlich mit zwei redundanten Messstellen hinsichtlich der Beta-Aktivität und somit hinsichtlich radioaktiver Edelgase überwacht. Die Abgaben radioaktiver Edelgase an die Umwelt werden bilanziert. Bei Grenzwertüberschreitungen an beiden Messstellen werden eine automatische Verriegelung der Abgasverzögerungsstrecke (nur bei gleichzeitigem Anstehen des Grenzwertes der Messstelle zur Überwachung des Abgases nach der Gasverzögerungsstrecke) und ein automatischer Lüftungsabschluss des Containments eingeleitet. Am 7. Dezember 2021 fiel um 4.40 Uhr eine Kaminmessstelle für die Überwachung der Beta-Aktivität aus. Das Signal kehrte nach einer Ausfallzeit von 42 Minuten von alleine zurück. Die Ursache konnte aufgrund des selbstständigen Zurückkehrens des Messsignals, welches noch vor dem Eintreffen der Fachabteilung erfolgte, nicht eruiert werden. Während des kurzen Ausfalls war die Überwachung der Beta-Aktivitäten im Kamin durch die parallele Messung sichergestellt. Als mögliche Ursachen wur-

den verschiedene Baugruppen der Aktivitätsmessstelle in Betracht gezogen, da diese für die interne Stromversorgung der Messstelle verantwortlich sind. Die Baugruppen wurden im Anschluss an das Vorkommnis vorsorglich ersetzt. Um bei einem erneuten Ausfall die Ursache identifizieren zu können, wird eine externe Messwerterfassung aufgebaut, die diverse Messpunkte der Aktivitätsmessstelle aufzeichnet. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Ausfall einer Kaminmessstelle für die Überwachung der Beta-Aktivität 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».

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 Anlagentechnik

2.3.1 Revisionsarbeiten

Während des Revisionsstillstands vom 22. Mai bis 25. Juni 2021 führte das KKG folgende geplanten Tätigkeiten aus: Brennelementwechsel, Brennelementinspektionen, Prüfungen elektrischer und mechanischer Einrichtungen, zerstörungsfreie Prüfungen, wiederkehrende Funktionsprüfungen an Komponenten und Systemen sowie Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten.

Von den Arbeiten an mechanischen Komponenten seien an dieser Stelle die folgenden genannt:

- Die visuellen Prüfungen an den Schrauben des Kernbehälters und der Reaktorkernumfassung bestätigten bereits bekannte Befunde. Aufgrund des Einsatzes eines verbesserten Kamerasystems wurden zusätzliche Auffälligkeiten festgestellt, die als zulässig bewertet wurden.

- Umfangreiche zerstörungsfreie Prüfungen an Rohrleitungen und Schweißnähten des Primärkreislaufs, des Speisewassersys-

tems sowie des nuklearen Nachkühlsystems ergaben keine Auffälligkeiten.

- Bei zerstörungsfreien Prüfungen an den sekundärseitigen Schweißnähten an einem der drei Dampferzeuger wurden keine unzulässigen Befunde festgestellt.

- Trotz der nach wie vor anhaltenden Covid-19-Pandemie mussten neben dem Standardprogramm verschiedene, im letzten Jahr nicht ausgeführte Arbeiten zusätzlich umgesetzt werden. So wurde beispielsweise die sekundärseitige Rohrbodenreinigung der Dampferzeuger nachgeholt. Die ursprünglich für 2020 geplante und verschobene zweite Etappe des Speisewasser-Druckmessleitungersatzes wurde ebenfalls erfolgreich abgeschlossen.

An leit- und elektrotechnischen Einrichtungen wurden im Revisionsstillstand 2021 umfangreiche Änderungen und Nachrüstungen sowie wichtige Instandhaltungsarbeiten und Funktionsprüfungen vorgenommen. Erwähnt sei hier insbesondere das Projekt für den Ersatz des ungesicherten Reaktorschutzsystems: Das KKG setzte als Vorbereitung für die geplante Umrüstung während der Jahreshauptrevision 2022 bereits einige Arbeiten während der Revision im Berichtsjahr um.

2.3.2 Anlageänderungen

Folgende Anlageänderungen seien an dieser Stelle erwähnt:

- In einem Strang erfolgte im Jahr 2020 eine seismische Ertüchtigung der Kabeltrassen. Auf den Trassen verlaufen Kabel der internen Stromversorgung und der Leittechnik. Die Arbeiten zur Erhöhung der Erdbebenfestigkeit der Kabeltrassen des zweiten Strangs konnten im Jahr 2021 abgeschlossen werden.

- Der erste Teil der Stromversorgung der Steuerstabantriebe wurde 2019 ertüchtigt. Der für das Jahr 2020 eingeplante zweite Teil war wegen der Covid-19-Pandemie auf das Berichtsjahr verschoben worden. Der Abschluss der Arbeiten ist nunmehr erfolgt.

- Während der Jahresrevision 2021 wurden die bereits im Jahr 2020 fertiggestellten Deionatbecken über neue Rohrleitungen



**Generatorrevision:
Beim Ziehen des
Rotors ist Finger-
spitzengefühl
gefragt.
Foto: KKG**

an die bestehenden Notspeisesysteme angeschlossen. Die Deionatbecken wurden gefüllt und alle zugehörigen Systeme in Betrieb genommen, ebenso die automatische Brunnenwasser-Nachspeisung.

■ Im Herbst 2021 wurden die Fugen zwischen der Innen- und der Aussenstruktur des Notstandgebäudes teilverfüllt. Dadurch wurde die Erdbebensicherheitsmarge des Gebäudes wesentlich erhöht.

■ Das KKG hatte Ende 2016 ein nicht vollständiges Schliessen von Brandschutzklappen im Rahmen von Anlageversuchen 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.

2.3.3 Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente

Geringe Aktivitätskonzentrationen im Primärkühlmittel liessen den Schluss zu, dass im 42. Betriebszyklus (2020/2021) keine Brennstabdefekte mit Aktivitätsfreisetzung aufgetreten sind. Während des Revisionsstillstands wurden 36 frische Uran-Brennelemente in den Reaktorkern geladen, der damit im 43. Betriebszyklus insgesamt 68 Uran- und 109 WAU-Brennelemente (wiederaufgearbeitetes Uran) enthält.

Die umfangreichen Inspektionen der Standard-Brennelemente mit Uran- und WAU-Brennstoff und verschiedenen Standzeiten zeigten auslegungsgemässe Zustände. Dies betrifft auch die Brennelementverbiegung. Die an Brennstäben mit verschiedenen Hüllrohrmaterialien gemessenen Oxidschichtdicken waren gering und lagen im erwarteten Bereich.

Die Steuerstabfinger aller 48 Steuerelemente wurden während des Revisionsstillstands auf Wanddickenschwächungen und Beschädigungen untersucht. Bei einem der im Kern eingesetzten Steuerelemente wurden auffällige Signale festgestellt. Es befand sich im auslegungsgemässen Zustand, wurde aber vorsorglich für den Wiedereinsatz zurückgestellt. Alle anderen Steuerelemente befanden sich in einem auslegungsgemässen Zustand.

Das ENSI überzeugte sich davon, 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 einsetzte.

Im Berichtszeitraum 2021 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.



**Positionieren
des Einhängers ins
Motorgehäuse
der Hauptspeise-
wasserpumpe.
Foto: KKG**

2.4 Strahlenschutz

Das KKG verzeichnete aus strahlenschutztechnischer Sicht ein erfolgreiches Betriebsjahr. Nachdem im Jahr 2020 pandemiebedingt eine verkürzte Jahresrevision durchgeführt wurde, absolvierte das KKG nun eine umfangreichere. Insgesamt betrug die Kollektivdosis 329 Pers.-mSv, die maximale Individualdosis lag bei 7 mSv.

In Bezug auf die Wasserchemie im Primärkreislauf erwies sich die seit 2005 betriebene Zinkeinspeisung als erfolgreich. Die Dosisleistung reduzierte sich an den Komponenten des Kernkraftwerks um durchschnittlich 74%. Die durch das KKG ergriffenen Massnahmen im Strahlenschutz waren sowohl für die Jahreshauptrevision als auch für den Leistungsbetrieb zielführend.

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 betragen 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 fiktive 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. Die Dosisleistungsmessungen 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) 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 der Betreiberin und des ENSI gaben keinen Hinweis auf eine Verletzung 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 detaillierte Angaben zur radiologischen Situation innerhalb und ausserhalb des KKG wird auf den Strahlenschutzbericht 2021 des ENSI verwiesen.



Im Ringraum des Reaktorgebäudes: Arbeitsvorbereitung für eine geplante Revision einer Traverse, die für die Demontage der Hauptkühlmittelpumpen benötigt wird.

Foto: KKG

2.5 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 Nachrüstungs-massnahmen und den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien. Im Berichtsjahr fielen 20 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 27 m³ im Erfahrungsbereich der vergangenen Jahre. Brennbar und weitere Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in den Anlagen der Zwiilag 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 im Ladebecken des KKG 49 Steuerelemente zerlegt. Aus dieser Aktion wurden ein MOSAIK-Innenbehälter und zehn Fässer mit Coreschrott beladen. Der MOSAIK-Innenbehälter bleibt vorerst im Ladebecken, bis er vollständig beladen ist. Die zehn Fässer mit Coreschrott werden im Jahr 2022 zementiert.

Die konditionierten Abfallgebände werden im werkseigenen Zwischenlager eingelagert. Das KKG nutzt zudem die Kapazitäten des Zentralen Zwischenlagers der Zwiilag. 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 9,1t Material befreit.

Im Jahr 2021 führte das KKG vier innerbetriebliche Transporte mit insgesamt 48 abgebrannten Brennelementen aus dem Brennelementbecken des Reaktorgebäudes ins werkseigene externe Nasslager durch. Weitere Information zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente findet sich im Kapitel 8.

2.6 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 zusammen mit Inspektoren der Solothurnischen Gebäudeversicherung im November 2021 im Rahmen der Werksnotfallübung IGNAZIO mit Schwerpunkt Feuerwehreinsatz. Das Szenario unterstellte, dass nach schweren Regenfällen Schmutzwasser über eine undichte Stelle in das Tanklager eindrang. Über ein Leck gelangte das Schmutzwasser in den Dieselvorrats tank, welcher daraufhin abgepumpt, repariert und gereinigt werden musste. Beim Abpumpen des Dieselmotorkraftstoffes geriet das Tankfahrzeug in Brand und aufgrund der heftigen Windböen griff das Feuer schliesslich auf den Besucherpavillon und den Fremdnetztransformator über. Zusätzlich führte ein Leck im Volumenregelsystem zur Freisetzung von gereinigtem und mit Wasserstoff begastem Primärkühlmittel. Das Primärkühlmittel gelangte in das Reaktorhilfsanlagengebäude. Es wurde unterstellt, dass sich ein explosionsfähiges Wasserstoffgasgemisch bilden konnte. Im weiteren Verlauf kam es bei der Auslösung der Reaktorschnellabschaltung zu einem Steuerstabsauswurf und zu einem nicht absperrbaren Leck im Primärkreislauf. Das KKG stufte die Ereignisse korrekt ein und meldete sie dem ENSI zeitgerecht. Die vorgegebenen Übungsziele für Werksnotfallübungen gemäss der Richtlinie ENSI-B11 wurden erreicht. Das KKG verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.

Das ENSI inspizierte im Juni 2021 einen der Standorte der externen Notfallzentren (ENOZ) des KKG und überprüfte die Umsetzung der in der Richtlinie ENSI-B12 an ENOZ gestellten Anforderungen. Die Inspektion ergab, dass die ENOZ-Standorte des KKG

in die Notfalldokumentation eingebunden sind und der inspizierte Standort die gemäss der Richtlinie ENSI-B12 gestellten Anforderungen erfüllt.

Eine weitere Inspektion im November 2021 zeigte zudem, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit waren.

Ferner löste das ENSI im November 2021 ohne Voranmeldung einen Übungsalarm im KKG aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabes innerhalb der zeitlichen Vorgaben gemäss der Richtlinie ENSI-B11 bestätigt wurde.

2.7 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr erhöhte sich der Personalbestand des KKG auf 574 Personen (ohne Lernende), welche 555 Vollzeitstellen besetzen (Ende 2020: 566 Personen, ohne Lernende). Im Berichtsjahr setzte das KKG keine grösseren organisatorischen Änderungen um. Innerhalb der Abteilung Sicherheit fand eine Umstrukturierung statt. Das KKG verfolgt weiterhin das Ziel, vor dem Hintergrund eines sich zuspitzenden Know-how- und Kapazitäten-Verlusts auf dem Lieferanten- und Arbeitsmarkt, das erforderliche Wissen und die notwendigen Ressourcen für den Langzeitbetrieb im KKG selbst aufzubauen und zu erhalten.

Das KKG führte im Berichtsjahr sein Programm zur Stärkung der menschlichen und organisatorischen Aspekte der nuklearen Sicherheit und zur Weiterentwicklung der Sicherheitskultur fort. Zur Unterstützung dieser Aktivitäten eröffnete das KKG ein HRO-Zentrum (High Reliability Organisation), ein mit Schulungs- und Simulationsinfrastruktur ausgerüstetes Kompetenzzentrum. In diesem Zentrum führt das KKG Schulungen und Workshops für das Personal durch, in welchen Haltungen und Verhalten im Hinblick auf die Sicherheitskultur reflektiert und die Anwendung von Werkzeugen des professionellen Handelns geschult werden. Das ENSI begrüsst die Massnahmen des KKG im Rahmen dieses Programms. Zur proaktiven Beobachtung und Beurteilung der Entwicklung seiner Sicherheitskultur



**Neues Rohrbündel
vor dem Einbau
in einen Zwischen-
überhitzer-Konden-
satkühler.
Foto: KKG**

sowie seiner organisationalen und technischen Leistung hat das KKG eine Reihe von Instrumenten eingeführt (zum Beispiel eine Vorgehensweise zur Erfassung und Auswertung von Abweichungsmeldungen und ein Programm zur Stärkung der Präsenz der Führungskräfte in der Anlage). Die Massnahmen dienen dazu, Veränderungen frühzeitig zu erkennen und geeignete Massnahmen zu ergreifen. Das ENSI begrüsst die Initiativen des KKG ausdrücklich, da sie im Sinne eines Frühwarnsystems eine kurzzyklische und kontinuierliche Beobachtung des aktuellen Geschehens ermöglichen und damit einen wichtigen Beitrag zur organisationalen Resilienz leisten.

Das Managementsystem des KKG besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2015. Die Rezertifizierung fand im Jahr 2019 statt. Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion zur periodischen Bewertung der Wirksamkeit des Managementsystems durch die Standortleitung durch. Das ENSI bezog sich dabei insbesondere auf die Erfüllung der relevanten Vorgaben aus Artikel 31 der Kernenergieverordnung, der Richtlinie ENSI-G07, dem IAEA Safety Standard GSR Part 2 und der Norm DIN ISO 9001:2015. Die entsprechenden Anforderungen wurden erfüllt.

Im Berichtsjahr legten zwei Pikettingenieure, zwei Schichtchefs sowie ein Reaktoroperateur ihre Zulassungsprüfung mit

Erfolg ab. Die Zulassungsprüfungen bestehen aus einem theoretischen und einem praktischen Teil. Im theoretischen Teil weisen die Kandidaten ihre detaillierten Kenntnisse zum Aufbau und Verhalten der Anlage und zu den anzuwendenden Vorschriften nach. Der praktische Teil erfolgt am eigenen Anlagesimulator und besteht aus einer Demonstration der Anwendung der Kenntnisse. Zwei Reaktoroperateure absolvierten im Rahmen ihrer Ausbildung zum Techniker HF, Fachrichtung Grossanlagenbetrieb im Berichtsjahr die dafür erforderlichen kerntechnischen Grundlagen erfolgreich. Ein Reaktoroperateur schloss die Ausbildung zum Techniker HF, Fachrichtung Grossanlagenbetrieb mit Erfolg ab. Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in Tabelle 3 zusammengestellt.

Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2020 und der Planung des Ausbildungsprogramms 2021 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 die Ausbildung des Personals der Abteilung Langzeitbetrieb auf die Einhaltung der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) und der Richtlinie ENSI-

B10 überprüft. Die Ausbildungsprogramme des KKG in der Abteilung Betrieb erfüllen die Anforderungen. Die Abteilung Langzeitbetrieb ist eine im Aufbau begriffene Abteilung. Die Ausbildung der Mitarbeiter ist dementsprechend noch nicht vollständig systematisiert.

2.8 Periodische Sicherheitsüberprüfung

Die vom KKG Ende 2018 im Rahmen der Periodischen Sicherheitsüberprüfung eingereichte Dokumentation sowie weitere nachgereichte Unterlagen befanden sich Ende des Berichtsjahrs in der Prüfung durch das ENSI.

2.9 Sicherheitsbewertung

Im Jahr 2021 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 folgenden 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

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

Betriebsvorgaben

Das ENSI beurteilt die im Unterkapitel 2.2 beschriebene Abweichung im Bereich der Betriebsvorgaben als Abweichung mit einer geringen Bedeutung für die nukleare

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

Sicherheitsbewertung 2021 KKG: Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge

Bewertungen bezüglich Transporten zu und von den Kernkraftwerken werden im Text behandelt, aber für die anlagenspezifische Gesamtbewertung nicht berücksichtigt.

Bewertungsgegenstand		Anforderungen		Betriebsgeschehen	
		Auslegungsvorgaben	Betriebsvorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation
Ziele					
Schutzziele	Kontrolle der Reaktivität		A	V	V
	Kühlung der Brennelemente	N	V	A	A
	Einschluss radioaktiver Stoffe		N	A	N
	Begrenzung der Strahlenexposition		N	A	N
	Schutzzielübergreifende Bedeutung		N	N	V

Sicherheitsbewertung 2021 KKG: Schutzziel-Perspektive

Anmerkung: alternative Darstellung derselben Sachverhalte wie in der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge, aber mit zusätzlicher Darstellung radiologischer Auswirkungen.

Sicherheit. Weil Bewertungen der Kategorie A unterhalb der internationalen Ereignisskala INES liegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKG hinsichtlich der Betriebsvorgaben als gut.

Zustand und Verhalten der Anlage

Das ENSI beurteilt die im 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 liegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKG hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut.

Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

Das ENSI beurteilt die im Unterkapitel 2.2 beschriebene Abweichung 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 liegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKG hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als gut.

3



3. Kernkraftwerk Leibstadt

3.1 Überblick

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

Das ENSI beurteilt die Sicherheit des KKL hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als hoch, 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 KKL ist eine Siedewasserreaktor-Anlage, die ihren kommerziellen Betrieb im Jahr 1984 aufnahm. Die elektrische Nettoleistung beträgt nach dem Ersatz der beiden Umwälzschleifen und dem Austausch des Kondensators nunmehr 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 kam es zu fünf meldepflichtigen Vorkommnissen mit Bezug zur nuklearen Sicherheit, die das ENSI auf der Internationalen Ereignisskala INES der Stufe 0 zuordnete.

Das ENSI führte 121 Inspektionen durch. Wo erforderlich, verlangte das ENSI Verbesserungsmaßnahmen und überwachte deren Umsetzung.

Die Jahreshauptrevision begann am 24. Mai 2021 und dauerte bis 3. Dezember 2021. Die Dauer der Revision war durch den Ersatz der beiden Umwälzschleifen und den Austausch des Kondensators bestimmt.

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 ein Pikettingenieur und zwei Schichtchefs ihre Zulassungsprüfung.

3.2 Betriebsgeschehen

Das KKL verzeichnete im Berichtsjahr eine Arbeitsausnutzung von 45,5% und eine Zeitverfügbarkeit von 46,8%. Die Zeitverfügbarkeit und die Arbeitsausnutzung der letzten zehn Jahre sind im Anhang in Figur 1 dargestellt. Die zeitliche Nichtverfügbarkeit der Anlage war durch die lange Jahreshauptrevision mit der Umsetzung der Grossprojekte für den Ersatz der beiden Umwälzschleifen und den Austausch des Kondensators bedingt. Eine vorsorgliche Leistungsreduktion zur Ursachenabklärung der Vibrationen im Speisewassersystem führte zu einer verglichen mit der Zeitverfügbarkeit geringeren Arbeitsausnutzung.

Infolge der Covid-19-Pandemie traf das KKL umfassende Schutzmassnahmen. Dadurch war der notwendige Personalbestand zur Erfüllung aller sicherheitsrelevanten Aufgaben jederzeit gewährleistet.

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

■ Am 21. Mai 2021 wurde bei einer Überprüfung der Dokumentation eines im April 2016 beladenen Transport- und Lagerbehälters für abgebrannte Brennelemente eine Abweichung zwischen dem Zulassungsschein und der Beladung des Behälters festgestellt. Eines der eingeladenen Brennelemente verfügt über fünf anstelle der zulässigen vier Leerpositionen. Das heisst, dass ein Brennstab weniger im betroffenen Brennelement vorhanden ist als gemäss dem Zulassungsschein des Behälters erlaubt ist. Somit handelt es sich um eine Verletzung einer in der Bewilligung oder in freigabepflichtigen Dokumenten festgelegten Grenze. Ursache

war ein Prüffehler. Anders als bei den vorangegangenen Beladungsplanungen erfolgte keine abschliessende Prüfung auf die maximal zulässige Anzahl von Leerstellen im Brennelement.

Eine detaillierte Analyse zeigte, dass die Unterkritikalität im betroffenen Behälter auch mit der aktuellen Anzahl Leerstellen gewährleistet ist.

Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Verletzung einer in der Bewilligung oder in freigabepflichtigen Dokumenten festgelegten Grenze sowohl bezüglich Gefahrgutrecht als auch bezüglich Kernenergierecht der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe».

■ Am 5. Juli 2021 wurde ein externer Mitarbeiter bei Arbeiten in der kontrollierten Zone von einem Mitarbeiter des Strahlenschutzes ohne amtliches Dosimeter an der dafür vorgesehenen Stelle des Overalls bemerkt. Der Strahlenschutzmitarbeiter forderte den externen Mitarbeiter auf, das amtliche Dosimeter an der richtigen Stelle zu platzieren. Nachdem Letzterer auch einer erneuten Aufforderung zum Anbringen des amtlichen Dosimeters an der richtigen Stelle nicht nachkam, stellte sich heraus, dass er das amtliche Dosimeter in der Zonengarderobe vergessen hatte. Der Strahlenschutz geleitete den Mitarbeiter aus der Zone, damit dieser das amtliche Dosimeter holen konnte. Im Nachgang wurde mit dem elektronischen Dosimeter für den Mitarbeiter eine Dosis von 0,002 mSv für die Dauer des Aufenthaltes in der kontrollierten Zone ermittelt. Das KKL befragte den Mitarbeiter nach der Motivation für das Fehlverhalten und sperrte ihn anschliessend für den Zutritt zum KKL. Eine Gefährdung von Personen durch ionisierende Strahlung bestand nicht. Signifikante Auswirkungen auf Menschen und Umwelt waren nicht gegeben. Jedoch wurde die gesetzliche Pflicht zum Tragen des amtlichen Dosimeters für das Betreten der kontrollierten Zone des KKL

verletzt. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Nichtbeachtung der Dosimetertragepflicht der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Begrenzung der Strahlenexposition».

■ Bei Rückbauarbeiten von Equipment zur Unterwasserreinigung des Wasserabscheiders kam es am 12. Oktober 2021 zu einer unerwarteten Personenkontamination. Anders als geplant, musste ein Schlauch teilweise aus dem Wasser gehoben werden. Da die Arbeit mit dem Schlauch zudem zu einem unerwarteten Zeitpunkt stattfand, entsprachen die Schutzmittel (Tenue) nicht dem notwendigen Zonentyp. Der Strahlenschutz war somit für die Expositionssituation nicht optimiert (Tenue III anstatt IV) beziehungsweise entsprachen die Massnahmen im Strahlenschutz nicht dem Risiko. Bei der Bewältigung der unvorhergesehenen Arbeitssituation mit einem um eine Struktur am Boden des Wasserabscheiderbeckens gewickelten Schlauch wurden Fehlervermeidungstechniken wie STOP (Stopp bei Abweichung) und STAR (stop, think, act, review) nicht angewandt, sodass in der Folge die Arbeiten ohne die erforderlichen Schutzmassnahmen durchgeführt wurden.

Durch Querkontamination wurden weitere Mitarbeiter kontaminiert, die im selben Raum tätig waren. Die gemäss Strahlenschutzverordnung bestimmte maximale Hautkontamination betrug 55 Bq/cm². Die maximale Hautdosis wurde auf 5 mSv geschätzt. Die Dosisbelastung des Ganzkörpers betrug maximal 0,258 mSv pro Person, die Kollektivdosis 0,545 Pers.-mSv. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung sowohl den für die Expositionssituation nicht optimierten Strahlenschutz als auch die fehlende Anwendung von Fehlervermeidungstechniken der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicher-

heitsebene 1 und das Schutzziel «Begrenzung der Strahlenexposition».

■ Nach Arbeiten im Drywell in der kontrollierten Zone fiel einem externen Mitarbeiter am 28. Oktober 2021 das Fehlen seines amtlichen Dosimeters auf. In der Annahme, das amtliche Dosimeter befinde sich am Zonenübergang zum Drywell, betrat der externe Mitarbeiter die kontrollierte Zone erneut. Seit dem Vorkommnis vom 5. Juli 2021 prüfte ein Mitarbeiter beim Eintritt in die kontrollierte Zone hinter den Drehkreuzen das Tragen des amtlichen Dosimeters. Der Mitarbeiter bemerkte in diesem Fall dessen Fehlen nicht. Obwohl das amtliche Dosimeter am Drywellzugang nicht auffindbar war, nahm der externe Mitarbeiter die Arbeit im Drywell wieder auf und informierte den Strahlenschutz erst nach Beendigung der Arbeit. Das amtliche Dosimeter des externen Mitarbeiters wurde später in der Wäscherei in einem Overall gefunden und ausgewertet. Das KKL ermittelte für den Mitarbeiter mit dem elektronischen Dosimeter eine Dosis von 0,045 mSv für die Dauer des zweiten Aufenthaltes in der kontrollierten Zone. Die gesetzliche Pflicht zum Tragen eines amtlichen Dosimeters für das Betreten der kontrollierten Zone des KKL wurde verletzt. Der betroffene externe Mitarbeiter wurde für den Zutritt zum KKL gesperrt. Eine Gefährdung von Personen durch ionisierende Strahlung bestand nicht. Es gab keine signifikanten Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Nichtbeachtung der Dosimetertragepflicht der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Begrenzung der Strahlenexposition».

■ Am 3. Dezember 2021 erfolgte während des schrittweisen Wiederanfahrens der Anlage nach der Revisionsabstellung eine automatische Abschaltung der Abgasanlage aufgrund einer zu hohen Wasserstoffkonzentration im Abgas. Der Reaktor wurde gemäss Störfallenweisung von Hand abge-

stellt. Eine automatische Abschaltung des Reaktors erfolgte nicht, da der Reaktor noch im Anfahrprozess war und die Reaktorleistung weniger als 35% betrug.

Die zu hohe Konzentration entstand durch eine zu hohe Einspeisemenge von Wasserstoff in das Speisewasser. Ein Teil dieses Wasserstoffs sammelte sich im Kreislauf an. Nach dem Start der zweiten Speisewasserpumpe kam es zur erhöhten Mitnahme des angesammelten Wasserstoffs, zur Weiterleitung bis zur Abgasanlage und anschliessend zur auslegungsgemässen Abschaltung der Abgasanlage. Nach Austrag des Wasserstoffs mit Stickstoff konnte die Abgasanlage wieder in Betrieb genommen werden. Im Rahmen der Freigabe des Ersatzes der beiden Umwälzschleifen war festgelegt worden, dass zur Behandlung und Konditionierung der wasserbenetzten Oberflächen der neuen Komponenten die Wasserstoffeinspeisung so früh wie technisch möglich, ab 30% Anlagenleistung erfolgt, wenn zwei Speisewasserpumpen in Betrieb sind. Das KKL nahm die Einspeisung von Wasserstoff jedoch bereits bei einer Anlagenleistung von weniger als 30% vor und setzte daher die Vorgaben aus der Freigabe nicht vollständig um. Zudem war die Wasserstoffmengenmessung für den vorgesehenen Zweck ungeeignet, da die korrekte Einstellbarkeit geringer Durchflüsse bei niedriger Reaktorleistung beziehungsweise geringen Speisewasserdurchflüssen nicht gegeben war.

Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die unvollständige Umsetzung von Vorgaben der Freigabe der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt der Betriebsvorgaben mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie schutzzielübergreifender Bedeutung. Darüber hinaus ordnete es im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die mangelhafte Einstellbarkeit und Steuerungsmöglichkeit der Wasserstoffeinspeisung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für



**Millimeterarbeit
für den Ersatz des
Kondensators.
Foto: KKL**

die Sicherheitsebenen 1 und 2 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.

3.3 Anlagentechnik

3.3.1 Revisionsarbeiten

Die Jahreshauptrevision dauerte vom 24. Mai bis 3. Dezember 2021. Bestimmend für die Länge der Revision waren die beiden parallel durchgeführten Grossprojekte zum Ersatz der beiden Umwälzschleifen mit Pumpe und Motor und zum Austausch des Kondensators. Wegen der Arbeiten an den Umwälzschleifen wurde der Reaktorkern vollständig entladen und nach dem Umbau mit der neuen Kernbeladung wieder beladen. Parallel dazu fanden Instandhaltungsarbeiten und Inspektionen an mechanischen und elektrischen Einrichtungen sowie Bauwerken, zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen sowie wiederkehrende Funktionsprüfungen und Begehungen an Systemen statt. Erwähnt seien folgende Arbeiten und Befunde:

- An insgesamt sechs Mischschweissnähten von Reaktordruckbehälter-Stützen wurde ein als Mechanical Stress Improvement Process bezeichnetes Verfahren zur

Optimierung der Eigenspannungsverteilung eingesetzt. Ziel der Massnahme ist die Verminderung der Anfälligkeit gegenüber Spannungsrisskorrosion. Der geplante Arbeitsumfang konnte aufgrund technischer Schwierigkeiten nicht vollständig umgesetzt werden. Die Fortsetzung der Arbeiten ist für die Jahreshauptrevision 2022 vorgesehen. Das ENSI akzeptierte die Abweichung gegenüber der Planung.

- Während visueller Inspektionen im Reaktordruckbehälter wurden am Steigrohr zu einem Strahlpumpenpaar zwei Risse gefunden. Das KKL geht davon aus, dass sie durch Spannungsrisskorrosion entstanden sind und auch das Risswachstum ausschliesslich durch Spannungsrisskorrosion erfolgt ist. Der Vergleich mit einer Neubewertung der Ergebnisse der visuellen Inspektion aus dem Jahr 2014 zeigte einen geringen Rissfortschritt von etwa 20 mm. Das KKL kam zum Schluss, dass es in den nächsten Betriebszyklen allenfalls zu einem geringen Rissfortschritt, aber keinesfalls zu einer signifikanten Schädigung des Steigrohrs kommen kann. Das KKL beabsichtigt die Reparatur in der Jahreshauptrevision 2023 vorzunehmen sowie eine jährliche Inspektion der Anzeigen bis zum Zeitpunkt der Reparatur durchzuführen, um das reale Risswachstum nochmals zu quantifizieren. Das ENSI beurteilt die Spannungsrisskorrosion als plausible Ursache für die Initiierung der Risse. Die

Annahme, dass kein Risswachstum durch Ermüdung zu erwarten ist, ist jedoch nicht ausreichend belegt. Daher bewertete das KKL zusätzlich die Konsequenzen eines postulierten Durchrisses des Steigrohres. Es konnte aufgezeigt werden, dass die kontinuierliche Überwachung und Alarmierung im Hauptkommandoraum ausreichend ist, um nennenswerte Leckagen am Steigrohr frühzeitig zu erkennen. Die Auswirkungen eines Durchrisses des Steigrohres während des Normalbetriebs bleiben als Betriebsstörung begrenzt und würden nicht zur automatischen Abschaltung des Reaktors oder zur Auslösung von Sicherheitssystemen führen. Auch bei Unterstellung des Abrisses der beiden Jetpumpen-Oberteile des betroffenen Steigrohres als direkte Folge der Störfallbelastung durch den schwerwiegendsten Störfall «2F-Bruch an der Saugseite der Umwälzleitung» unter Berücksichtigung von Einzelfehlern und Instandhaltungsfall würden die Akzeptanzkriterien mit grosser Sicherheitsmarge eingehalten. Dem Konzept der gestaffelten Sicherheitsvorsorge wird somit ausreichend Rechnung getragen.

■ Bei Teilentladungsmessungen an Mittelspannungsdurchführungen im Rahmen des Projekts zum Ersatz der beiden Umwälzschleifen kam es an einer Phase zum Bruch eines Anschlussbolzens. Das KKL reparierte den abgebrochenen Anschlussbolzen. Die restlichen Anschlussbolzen wurden ertüchtigt. Aufgrund der danach abgeschlossenen Teilentladungsmessungen und deren Bewertung kann von der Betriebstauglichkeit beider Mittelspannungsdurchführungen ausgegangen werden. Das KKL plant während der Jahreshauptrevision 2022 eine erneute Teilentladungsmessung.

■ Die Leitungen des Haupt- und Nebenkühlwassersystems wurden gereinigt, geprüft und neu beschichtet. Die Ringkolbenschieber des Hauptkühlwassersystems wurden revidiert.

■ Das KKL revidierte während der verlängerten Jahreshauptrevision mehrere Sicherheitsdivisionen.

3.3.2 Anlageänderungen

Folgende Anlageänderungen seien erwähnt:

■ Im Rahmen des Projekts zum Ersatz der beiden Umwälzschleifen wurden zwei neue Reaktorummwälzpumpen, mehrere Armaturen, Rohrleitungen und die entsprechenden Halterungen eingebaut. Hinzu kamen die Dekontamination der beiden ausgebauten Umwälzschleifen, der Ersatz starkstromtechnischer Hauptkomponenten, die Modernisierung der zugehörigen Regelungstechnik und die Inbetriebnahme der neuen Sicherheitsleittechnik des Überdrehzahlsschutzes.

■ Der Ersatz des Kondensators umfasste im Wesentlichen die Erneuerung der kompletten Rohrbündel mit Stützstruktur, der Hauptkühlwasserübergangsstücke und strömungsoptimierten Wasserkammern.

■ Das KKL ersetzte die Steuerungsleittechnik der Hilfsdampfeinrichtungen und des Nebenkondensatsystems.

■ Die Blockschutzausrüstungen der 380-kV-Anlage wurden modernisiert.

■ Das KKL ersetzte diverse Batteriegruppen.

3.3.3 Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente

Der Reaktor wurde im Berichtszeitraum bis zur Abstellung für die Jahreshauptrevision Ende Mai 2021 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 80 frische Brennelemente nachgeladen. Davon stammen 56 von Framatome und 24 von Westinghouse Electric Sweden. Zur Vermeidung lokaler Ablagerungen werden einzelne Brennelemente von Westinghouse Electric, welche auf bestimmten Kernpositionen eingesetzt sind, vorsorglich in ihrer Leistung begrenzt.

Während der Jahreshauptrevisionen 2017, 2018, 2019 und 2021 sowie im Rahmen einer Inspektionskampagne Ende Oktober/Anfang November 2020 wurden Inspektionen an Brennelementen durchgeführt. Das Er-

scheinungsbild und die Messergebnisse aller Brennelemente waren im erwarteten Bereich und bestätigten damit das auslegungsgemässe Verhalten. Sie können weiterhin im Reaktor eingesetzt werden.

Die permanenten Analysen der Wasserchemie zeigten die Integrität der Steuerstäbe auf. Das KKL ersetzte vier Steuerelemente. Damit wird gewährleistet, dass alle Steuerelemente bis zum Ende des aktuellen Betriebszyklus unterhalb der freigegebenen Abbrandlimite bleiben.

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.

3.4 Strahlenschutz

Im KKL werden im Vergleich zu den anderen Anlagen des Typs BWR/6 des Herstellers General Electric (GE) durchschnittlich höhere jährliche Kollektivdosen akkumuliert, weil die Systeme des KKL konstruktions- und betriebsbedingt höher mit Co-60 kontaminiert sind. Während der verlängerten Jahreshauptrevision 2021 wurden umfangreiche und für den Strahlenschutz herausfordernde Umbauarbeiten durchgeführt. Insbesondere der Ersatz der Umwälzschleifen im Drywell führte zu höheren Individualdosen und einer höheren Kollektivdosis. Insgesamt betrug die Kollektivdosis 3596 Pers.-mSv. Die maximale Individualdosis lag bei 14,4 mSv. Der Strahlenschutz des KKL bewährte sich auch unter den gegebenen anspruchsvollen Bedingungen.

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 ohne Tritium. Die Tritiumabgaben des KKL betrug rund 2% der Jahresabgabelimite. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern durch. Sie stimmten mit den vom KKL ge-

meldeten Analyseergebnissen überein. Aus den tatsächlich über die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnete das ENSI die Jahresdosis für fiktive Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKL unter ungünstigen Annahmen. Die potenziellen Jahresdosen betrug rund 0,001 mSv für Erwachsene und für Zehnjährige sowie 0,002 mSv für Kleinkinder und lagen damit deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr gemäss der Richtlinie ENSI-G15. 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 Zaun des Kraftwerkareals angebracht sind, zeigten mit einem Höchstwert von 0,03 mSv pro Woche einen mit dem Vorjahr vergleichbaren Wert. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen an der Umzäunung des KKL durch, die ebenfalls keine signifikanten Veränderungen zeigten. Die Messungen der Betreiberin und des ENSI gaben keinen Hinweis auf eine Verletzung 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 2021 des ENSI verwiesen.

3.5 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



**Transport der Pumpenlaterne für den Ersatz des Reaktorumwälzsystems.
Foto: KKL**

fielen 140 m³ radioaktive Rohabfälle an (siehe Tabelle 6). Die Menge entsprach den Erwartungen aufgrund der durchgeführten umfangreichen Arbeiten während der sechsmonatigen Jahreshauptrevision (siehe Kapitel 3.3).

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 16 m³ im Erfahrungsbereich der vergangenen Jahre. Brennbare und weitere Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in der Zwiilag bereitgestellt und dorthin transportiert.

Im Berichtsjahr wurden 15 ausgediente Grosskomponenten aus dem Modernisierungsprojekt zum Ersatz der Umwälzschleifen in der Aktivlagerhalle ZENT eingelagert. Die Grosskomponenten werden spätestens zum Zeitpunkt der Stilllegung behandelt respektive entsorgt. Das ENSI erteilte die entsprechende Einlagerungsfreigabe.

Als Konditionierungsverfahren für die Betriebsabfälle kommt im KKL hauptsächlich die Zementierung von Harzen und Konzentraten zum Einsatz. Für alle angewendeten Verfahren liegen die behördlichen Typgenehmigungen vor. Im Berichtsjahr wurden 31 Gebinde zementiert.

Die konditionierten Abfallgebände werden im werkseigenen Zwischenlager eingelagert. Das KKL nutzt zudem die Kapazitäten

des zentralen Zwischenlagers der Zwiilag. 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 33t Material freigesessen.

Bestrahlte Brennelemente werden nach einigen Jahren Lagerung im werkseigenen Brennelementbecken in Transport- und Lagerbehälter verpackt und in das zentrale Zwischenlager der Zwiilag zur Trockenlagerung überführt. Im Berichtsjahr fand ein Transport mit 69 Brennelementen statt. Weitere Angaben zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente finden sich im Kapitel 8.

3.6 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 2021 im Rahmen der Werksnotfallübung DESAFIO. Als Ausgangslage wurde unterstellt, dass sich die Anlage im Volllastbetrieb befindet. Zudem war die Anlieferung von Schwefelsäure geplant. Das Gebäude der Schaltzentrale für das Kühlturmszusatzwasser war eingerüstet, weil Renovationsarbeiten stattfanden. Beim Befüllen des Tanks fiel eine Fassadenplatte des eingerüsteten Gebäudes ungünstig auf den Füllschlauch und trennte diesen ab. In der Folge trat Schwefelsäure aus. Dabei wurden zwei Personen verletzt. Die durch die Betriebsmannschaft ausgelöste Turbinenschnellabschaltung führte zu einem Wechsel der Strömungsverhältnisse im Kondensator und schliesslich zu einer Beschädigung der Kondensatorverrohrung mit nachfolgendem Kühlwassereintrich. Einer der vier Frischdampfleitungsstränge liess sich bei der nachfolgenden Reaktorschnellabschaltung nicht vollständig schliessen. Die Lage eskalierte, als nach der Isolation des Speisewassersystems auch das Kernisolationssystem ausfiel. Die Notfallorganisation des KKL wurde mit verschiedenen Problemstellungen konfrontiert. Das KKL stuft die Ereignisse korrekt ein und meldete sie dem ENSI zeitgerecht. Die vorgegebenen Übungsziele für Werksnotfallübungen gemäss der Richtlinie ENSI-B11 wurden erreicht. Das KKL verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.

Das ENSI inspizierte im September 2021 einen Standort der externen Notfallzentren (ENOZ) des KKL und überprüfte die Umsetzung der in der Richtlinie ENSI-B12 an ENOZ gestellten Anforderungen. Die Inspektion ergab, dass die ENOZ-Standorte des KKL nicht vollumfänglich in die Notfalldokumentation eingebunden sind. Das ENSI stellte eine diesbezügliche Forderung. Der inspizierte Standort erfüllte ansonsten die Anforderungen der Richtlinie ENSI-B12.

Eine weitere Inspektion im November 2021 zeigte zudem, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit waren.

Ferner löste das ENSI im November 2021 ohne Voranmeldung einen Übungsalarm im KKL aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Werknotfallstabes innerhalb der zeitlichen Vorgaben gemäss der Richtlinie ENSI-B11 bestätigt wurde.

3.7 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr verringerte sich der Personalbestand des KKL auf 506 Personen, welche 498 Vollzeitstellen besetzten (Ende 2020: 514). Das KKL erarbeitete im Jahr 2020 ein Konzept zur Anpassung der Betriebsorganisation und setzte es per 1. Januar 2021 um. Das KKL nutzte die Erfahrung anderer Kernkraftwerke und erarbeitete auf der Basis von Design-Prinzipien ein Zielbild für die Betriebsorganisation. Dieses beinhaltet eine Zentralisierung des Ausbildungsmanagements, der Arbeitsvorbereitung und des Projektmanagements, eine Straffung der Führungsspanne in verschiedenen Abteilungen durch das Zusammenlegen von Gruppen und eine Trennung zwischen ausführenden und überwachenden Aufgaben, unter anderem durch den Transfer des Ressorts «Reaktorkernauslegung- und -überwachung» von der Abteilung Betrieb in die Abteilung Überwachung. Das ENSI gab die hierfür erforderliche Änderung des Kraftwerksreglements frei.

Aufgrund der Häufung von Vorkommnissen mit wesentlichen Ursachen im Bereich «Mensch und Organisation» legt das ENSI seit 2015 einen Aufsichtsschwerpunkt auf die Umsetzung und Wirksamkeit der vom KKL getroffenen Verbesserungsmaßnahmen. Das KKL hat die Verbesserungsmaßnahmen in einem Projekt zur Sicherheitskultur gebündelt und erweitert. Im Rahmen dieses Projekts wird die Wirksamkeit der Massnahmen weiterverfolgt. Das KKL erzielte Fortschritte bei der Erarbeitung und Umsetzung von Methoden zur Wirksamkeitsevaluation. Der Fokus der Aufsicht des ENSI richtete sich vermehrt auch auf die wirksame Verbesserung der Betriebsführung zur Stärkung der gestaffelten Sicherheitsvorsorge auf den Sicherheitsebenen 1 und 2.

Das Managementsystem des KKL besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2015. Die Rezertifizierung fand im Jahr 2019 statt. Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion zur periodischen Bewertung der Wirksamkeit des Managementsystems durch die Standortleitung durch. Das ENSI bezog sich dabei insbesondere auf die Erfüllung der relevanten Vorgaben aus Artikel 31 der Kernenergieverordnung, der Richtlinie ENSI-G07, dem IAEA Safety Standard GSR Part 2 und der Norm DIN ISO 9001:2015. Die entsprechenden Anforderungen wurden erfüllt.

Im Berichtsjahr legten ein Pikettingenieur sowie zwei Schichtchefs ihre Zulassungsprüfung mit Erfolg ab. Die Zulassungsprüfungen bestehen aus einem theoretischen und einem praktischen Teil. Im theoretischen Teil weisen die Kandidaten ihre detaillierten Kenntnisse zum Aufbau und Verhalten der Anlage und zu den anzuwendenden Vorschriften nach. Der praktische Teil erfolgt am eigenen Anlagesimulator und besteht aus einer Demonstration der Anwendung

der Kenntnisse. Im Berichtsjahr absolvierten sechs Reaktoroperateure im Rahmen ihrer Ausbildung zum Techniker HF, Fachrichtung Grossanlagenbetrieb die dafür erforderlichen kerntechnischen Grundlagenkurse erfolgreich. Weitere sechs Reaktoroperateure besuchten die im Rahmen ihrer Ausbildung zum Pikettingenieur erforderlichen kerntechnischen Grundlagenkurse mit Erfolg. Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in Tabelle 3 zusammengestellt.

Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2020 und der Planung des Ausbildungsprogramms 2021 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 die Ausbildung des Personals der neuen Abteilung Projekte auf die Einhaltung der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von

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

Sicherheitsbewertung 2021 KKL: Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge

Bewertungen bezüglich Transporten zu und von den Kernkraftwerken werden im Text behandelt, aber für die anlagenspezifische Gesamtbewertung nicht berücksichtigt.

Bewertungsgegenstand Ziele		Anforderungen		Betriebsgeschehen	
		Auslegungsvorgaben	Betriebsvorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation
Schutzziele	Kontrolle der Reaktivität		N	N	N
	Kühlung der Brennelemente		N	N	N
	Einschluss radioaktiver Stoffe		V	A	V
	Begrenzung der Strahlenexposition		V	N	A
	Schutzzielübergreifende Bedeutung	N	A	A	V

Sicherheitsbewertung 2021 KKL: Schutzziel-Perspektive

Anmerkung: alternative Darstellung derselben Sachverhalte wie in der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge, aber mit zusätzlicher Darstellung radiologischer Auswirkungen.

Kernanlagen (VAPK) und der Richtlinie ENSI-B10 überprüft. Die Ausbildungsprogramme des KKL in den inspizierten Bereichen erfüllten die Anforderungen.

3.8 Sicherheitsbewertung

Im Jahr 2021 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 folgenden 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

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

Betriebsvorgaben

Das ENSI beurteilt die im Unterkapitel 3.2 genannte 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 liegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich der Betriebsvorgaben als gut.

Zustand und Verhalten der Anlage

Das ENSI beurteilt die im 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 interna-

tionalen Ereignisskala INES liegen, 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 im Unterkapitel 3.2 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 liegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als gut.

4



4. Kernkraftwerk Mühleberg

4.1 Überblick

Am 20. Dezember 2019 wurde der Leistungsbetrieb des Kernkraftwerks Mühleberg (KKM) endgültig eingestellt. Im Jahr 2020 wurden alle Brennelemente aus dem Reaktordruckbehälter in das Brennelementbecken transferiert und die für die Etablierung des sicheren technischen Nachbetriebs erforderlichen Massnahmen umgesetzt. Dazu gehörten Anlagenänderungen, damit das Brennelementbecken autark und redundant gekühlt werden kann. Zugleich führte das KKM Vorbereitungsarbeiten für den Rückbau aus. Am 15. September 2020 wurde die Betriebsbewilligung durch die Stilllegungsverfügung des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) abgelöst. Seitdem läuft die Phase 1 der Stilllegung des KKM. Der technische Nachbetrieb und die Phase 1 des Rückbaus werden andauern, bis die letzten Brennelemente abtransportiert sind. Im Zentrum des technischen Nachbetriebs steht die Einhaltung aller Schutzziele zur Gewährleistung der nuklearen Sicherheit.

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 102 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 Grenzwerte.

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

4.2 Vorkommnisse

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

■ Am 25. Juni 2021 kam es zum Ausfall eines Probenahmeventilators und damit auch zum Ausfall einer Kaminabluft-Edelgasaktivitätsmessung. Bei der unmittelbar danach durchgeführten Begehung wurde festgestellt, dass der Leitungsschutzschalter des Ventilators ausgelöst hatte. Die redundante Kaminabluft-Edelgasaktivitätsmessung war zu jedem Zeitpunkt in Betrieb. Die im Rahmen der Ursachenevaluation durchgeführte Isolationsmessung der Motorwicklung des Ventilators ergab einen einphasigen Erdschluss. Dieser war darauf zurückzuführen, dass während des Austauschs des Ventilators, der einige Tage zuvor im Rahmen der wiederkehrenden Instandhaltung vorgenommen wurde, eine Anpassung am Motorklemmenbrett des Ventilators erforderlich war. Hierfür musste das KKM den Deckel des Motoranschlusskastens entfernen und wieder anbringen. Beim Schliessen des Motoranschlusskastens wurde einer der Polleiter zwischen Deckel und Gehäuse eingeklemmt. Dies führte zur Verletzung der Isolation eines Leiters und infolgedessen nach einer mehrtägigen Betriebszeit zum einphasigen Erdschluss und damit zur Auslösung des Leitungsschutzschalters des Probenahmeventilators. Das Vorkommnis hätte durch die Anwendung von Fehlervermeidungstechniken wie zum Beispiel des 4-Augen-Prinzips verhindert werden können. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Ausfall einer Kaminabluft-Edelgasaktivitätsmessung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheits Ebenen 1 und 2 sowie für das Schutzziel «Begrenzung der Strahlenexposition». Darüber hinaus ordnete es im Rahmen der systema-

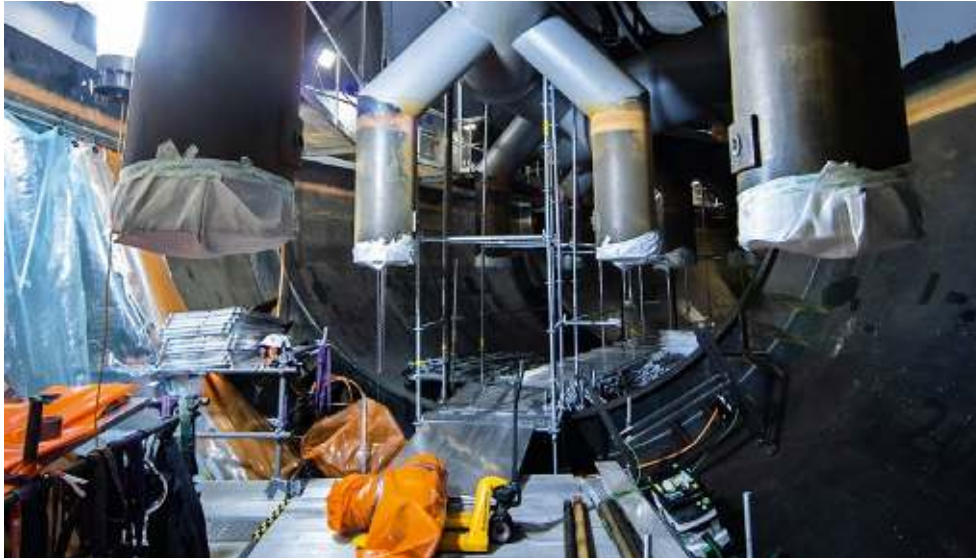


**Demontagerbeiten
im Torus.
Foto: KKM**

tischen Sicherheitsbewertung die fehlende Anwendung von Fehlervermeidungstechniken der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie für das Schutzziel «Begrenzung der Strahlenexposition».

■ Am 26. Juli 2021 kam es zu einem Ausfall eines Probenahmeventilators und damit zum Ausfall einer Kaminabluft-Aerosolaktivitätsmessung. Bei der unmittelbar danach durchgeführten Begehung stellte das KKM fest, dass der Leitungsschutzschalter des Probenahmeventilators ausgelöst hatte. Die redundante Kaminabluft-Aerosolaktivitätsmessung war zu jedem Zeitpunkt in Betrieb. Die Ursachenevaluation ergab, dass im Rahmen einer betrieblichen Wartung am 1. und 2. Juni 2021 am betroffenen Probenahmeventilator der Leitungsschutzschalter ausgefallen war. Bei der Störungsbehebung wurde festgestellt, dass sowohl ein 10-A- als auch ein 6-A-Reserve-Leitungsschutzschalter im Schrank vorhanden waren. Der 10-A-Reserve-Leitungsschutzschalter steht jedoch ohne Ausschalten der Niederspannungsverteilung mit entsprechender Umverdrahtung nicht zur Verfügung. Beim Ausschalten der Niederspannungsverteilung wäre die gesamte Kamininstrumentierung nicht verfügbar gewesen. Der elektrische

Abgang des Probenahmeventilators wurde daher auf den bereits installierten Ersatzleitungsschutzschalter mit einem Auslösestrom von 6 A statt 10 A umgeschossen. Diese Massnahme wurde als Verbesserung bezüglich des Geräteschutzes bewertet, allerdings wurden dabei nicht alle Faktoren eines möglichen höheren Stromverbrauchs berücksichtigt. Ein erhöhter Leistungsbedarf, ausgelöst durch veränderte Betriebszustände, führte schliesslich zu einer Auslösung des 6-A-Leitungsschutzschalters und damit zum Ausfall des Probenahmeventilators sowie der zugehörigen Kaminabluft-Aerosolaktivitätsmessung. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Ausfall einer Kaminabluft-Aerosolaktivitätsmessung der Kategorie A (Abweichung) – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage zu, mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie für die Schutzziele «Einschluss radioaktiver Stoffe» und «Begrenzung der Strahlenexposition». Darüber hinaus ordnete es im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung das Fehlen einer gesamtheitlichen Betrachtung bei der Analyse zum Ersatz des Leistungsschutzschalters der Kategorie A (Abweichung) – als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation zu, mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie für die Schutzziele «Einschluss



**Demontagerbeiten
im Torus.
Foto: KKM**

radioaktiver Stoffe» und «Begrenzung der Strahlenexposition».

■ Während einer Wiederholungsprüfung am 7. Dezember 2021 wurden unbeabsichtigt die vier Kaminabluft-Geschwindigkeitsmessungen ausgeschaltet. Dies führte durch den Apparateschutz aufgrund des fehlenden Messsignals zum Ausschalten der beiden Probenahmeventilatoren. Damit war in der Folge die gesamte radiologische Überwachung der Kaminabluft bestehend aus zwei Edelgas- und zwei Aerosolmonitoren nicht mehr verfügbar. Die Notabluftmessung wurde in Betrieb genommen. Bei der Störungssuche wurde festgestellt, dass sich ein Kippschalter in der Aus-Stellung befand. Das KKM geht davon aus, dass der Fachspezialist während der Wiederholungsprüfung unbemerkt und unabsichtlich an den Kippschalter gestossen war und diesen dabei betätigt hatte oder dass der Schalter durch die Bewegungen des Schwenkrahmens während der Prüfung ausgelöst wurde. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die kurzzeitige Nichtverfügbarkeit der Kamininstrumentierung der Kategorie A (Abweichung) – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage zu, mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie für die Schutzziele «Einschluss radioaktiver Stoffe» und «Begrenzung der Strahlenexposition». Darüber hinaus ordnete es im Rahmen der systematischen

Sicherheitsbewertung die ergonomisch ungünstige Gestaltung des Schaltschranks der Kategorie A (Abweichung) – als Aspekt des Zustands und der Anlage zu, mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie für die Schutzziele «Einschluss radioaktiver Stoffe» und «Begrenzung der Strahlenexposition».

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.

4.3 Anlageänderungen

Nachdem im Vorjahr die Etablierung des technischen Nachbetriebs erfolgte, war das Berichtsjahr wesentlich durch den Aufbau und die Inbetriebnahme der Materialbehandlungseinrichtungen im Maschinenhaus gekennzeichnet. Zu ihnen gehört die Trockenstrahlanlage, für die noch eine radiologische Überwachung der Abluft nachgerüstet wurde. Zur Zerlegung grosser Metallteile nahm das KKM einen thermischen Zerlegecaisson mit radiologisch überwachter Abluftanlage und Hebevorrichtung in Betrieb. Für die Dekontamination von metallischen Materialien und Kunststoffen wurde eine Nassdekontaminationsanlage mit radiologischer Abluftüberwachung installiert, deren Inbetriebnahme Ende des Berichtsjahrs noch ausstand. Weitere Anlage-

änderungen betrafen die Optimierungen der Gebäudelüftung in der kontrollierten Zone, den technischen Brandschutz im Bereich der Löschanlagen, strahlenschutztechnische Optimierungen im Freimessbereich durch den Einbau von Abschirmwänden, die Integration von neuen Baustellenaufzügen im Maschinenhaus und im Reaktorgebäude sowie die Vorbereitungsarbeiten für die Installation eines neuen Transportbehälter-Wendebocks für die Durchführung von Brennelement-Abtransportkampagnen.

Das KKM nahm im Berichtsjahr zahlreiche obsoletere Systeme, Teilsysteme und Komponenten ausser Betrieb, das heisst, es sicherte diese mechanisch und elektrisch ab, entleerte sie und trennte sie irreversibel und rückwirkungsfrei vom noch betriebenen Teil der Anlage. Zu erwähnen sind insbesondere Teilausserbetriebnahmen der nuklearen Dampferzeuger, des Abfahr- und Toruskühlsystems, des Reaktorkernisolationenkühlsystems inklusive der Hochreservoirspeisung, der Umwälzpumpen, der Speisewasserregelung und des Toruskühlsystems.

Des Weiteren demontierte das KKM zahlreiche nicht mehr benötigte und ausser Betrieb genommene Systeme, Teilsysteme und Komponenten. Die Demontage erfolgte bevorzugt raumweise. Hervorzuheben sind im Reaktorgebäude die Demontagen der Toruseinbauten des inneren Torus sowie der Systeme und Komponenten vor, hinter und unter dem inneren Torus. Zudem wurden Hilfseinrichtungen für die Demontage, Zerlegung und Verpackung der Einbauten des Reaktordruckbehälters in Betrieb genommen und mit der Zerlegung des Dampftrockners begonnen. Die Arbeiten in der Reaktorgrube konnten wegen technischer Probleme am Dichtungssystem des Schotts zwischen Einbautenbecken und Reaktorgrube nicht wie geplant durchgeführt werden. Die Arbeiten im Einbautenbecken kamen wesentlich langsamer voran als vorgesehen. Die Zerlegearbeiten wurden unterbrochen, um vor Beginn der Brennelementabtransporte einen sicheren und rückwirkungsfreien Zustand herzustellen.

Im Maschinenhaus sind die Demontagen im Bereich der beiden Kondensationen erwähnenswert. Dazu gehörten der Hochdruckvorwärmer, Teile der Frischdampfleitungen, die Hauptkühlwasserleitungen und diverse Ölleitungen. Nach einem Asbestbefund wurden die Demontagearbeiten in den beiden Kondensationen unterbrochen. Sie werden nach Abschluss der Asbestsanierungen weitergeführt.

Das ENSI begleitete alle Anlageänderungen, Ausserbetriebnahmen und Demontagen, mit teilweise umfangreichen Freigabeverfahren, Inspektionen, unter anderem während der Inbetriebsetzung von Einrichtungen oder mit der Vorabkontrolle von Ausserbetriebnahme- und Demontagemeldungen.

4.4 Brennelemente

Nach Einstellung des Leistungsbetriebs am 20. Dezember 2019 wurden die Brennelemente aus dem Reaktorkern entladen. Seit dem 1. April 2020 befinden sich alle Brennelemente aus dem letzten Betriebszyklus zusammen mit Elementen aus früheren Zyklen im Brennelementlagerbecken. Insgesamt lagern im Brennelementlagerbecken 418 Brennelemente mit einer Gesamtaktivität von $2.84E+18$ Bq. Die durch den Zerfall von Radionukliden erzeugte Wärmeleistung der Brennelemente nimmt laufend ab und lag bereits Anfang des Berichtsjahres unter 0,5 Megawatt. Zusätzlich befinden sich 108 Steuerstäbe im Brennelementlagerbecken. Im Berichtsjahr wurde keine Brennelementinspektion durchgeführt.

4.5 Strahlenschutz

Die Aufsicht über den Strahlenschutz des KKM zielte im Berichtsjahr auf die Überprüfung der Überwachungsprozesse, der Umsetzung des operationellen Strahlenschutzes zu den diversen Rückbautätigkeiten sowie des radiologischen Anlagenzustands. Ein Augenmerk galt dabei zum einen den sich ständig ändernden Bedingungen einer Kernanlage im Rückbau und zum anderen dem Zusammenspiel von radiologischer und konventioneller Arbeitssicherheit bei

der Demontage und Zerlegung bauschadstoffbelasteter Komponenten. Dabei stellte sich die enge Koordination mit der Suva als zentral wichtiges Aufsichtsinstrument dar. Das ENSI überprüfte die vom KKM ergriffenen Schutzmassnahmen vor Ort unter anderem mit elf Inspektionen. Gesamthaft betrug die Kollektivdosis 332 Pers.-mSv, die maximale Individualdosis lag bei 6,3 mSv. Erstere fiel im Vergleich zur geplanten Kollektivdosis um 53 Pers.-mSv geringer aus. Grund dafür waren vorübergehende Unterbrechungen von Arbeiten wegen Asbestbefunden sowie Verzögerungen in der Zerlegung der Kerneinbauten. Der operative Strahlenschutz arbeitete zweckmässig, der radiologische Schutz des eingesetzten Personals war gewährleistet.

Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen und Edelgasen lagen deutlich unterhalb der in der Stilllegungsverfügung festgelegten Abgabelimite. Dies gilt auch für die radioaktiven Abgaben mit dem Abwasser ohne Tritium. Die Tritiumabgaben des KKM betragen 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 fiktive Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKM unter ungünstigen Annahmen. Die potenziellen Jahresdosen betragen rund 0,002 mSv für Erwachsene, Zehnjährige und Kleinkinder und lagen somit deutlich unter dem quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0,3 mSv pro Jahr gemäss Richtlinie ENSI-G15. Die Dosisleistungsmesssonden des vom ENSI betriebenen Messnetzes in der Umgebung des Werkes (MADUK) zeigten keine durch den Betrieb der Anlage erhöhten Werte. 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 vereinzelt örtliche und temporäre Erhöhungen der Ortsdosisleistung, die auf die Rückbauarbeiten zurückzuführen waren und zulässig sind. Die Messungen der Betreiberin und des ENSI gaben keinen Hinweis auf eine Verletzung 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 2021 des ENSI verwiesen.

4.6 Radioaktive Abfälle

Radioaktive Rohabfälle fallen im KKM regelmässig aus den Wasserreinigungssystemen sowie der Abgas- und Fortluftreinigung an. Weitere Abfälle stammen aus den Rückbauaktivitäten und den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien. Im Berichtsjahr fielen 71 m³ radioaktive Rohabfälle an (siehe Tabelle 6). Die Abfallmenge entsprach den Erwartungen aufgrund der durchgeführten Rückbauarbeiten.

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 Zwiilag bereitgestellt und dorthin transportiert.

Als Konditionierungsverfahren für die Rückbaubetriebs- und Stilllegungsabfälle kommt im KKM hauptsächlich die Zementierung zum Einsatz. Ferner werden Stilllegungsabfälle in Betoncontainern in die Zwiilag transferiert zur späteren Zementierung in der Konditionierungsanlage. Die erforderlichen behördlichen Typengenehmigungen liegen sowohl für Betriebs- als auch für Stilllegungsabfälle vor. Im Berichtsjahr wurden 25 Abfallgebinde mit Harzen sowie



Maschinenhaus.
Foto: KKM

31 Gebinde mit aktivierten Metallabfällen aus der Zerlegung des unteren Teils des Dampftrockners konditioniert.

Die konditionierten Abfallgebände werden in das werkseigene Zwischenlager eingelagert. Das KKM plant, sein Zwischenlager mittelfristig zu leeren, und nutzt dafür die Kapazitäten des Zentralen Zwischenlagers der Zwiilag. Im Berichtsjahr wurden 1209 konditionierte Abfallgebände dorthin transferiert. Bei der Inspektion des Lagerguts im KKM ergaben sich keine meldepflichtigen Befunde. Die radioaktiven Abfälle 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 616t Material befreit.

Im Berichtsjahr fanden keine Transporte abgebrannter Brennelemente zur Trockenlagerung im Lager für hochaktive Abfälle der Zwiilag statt (siehe Kapitel 8).

4.7 Notfallbereitschaft

Die Notfallorganisation des KKM ist für die Bewältigung aller Notfälle innerhalb des Werkareals zuständig. Mit einer zweckmässigen Organisation, geeigneten Führungs-

prozessen und -einrichtungen zusammen mit einer entsprechenden Auslegung der Anlage hat das KKM die Notfallbereitschaft auf hohem Niveau sicherzustellen.

Im Rahmen der Werksnotfallübung SATURN mit Schwerpunkt Polizeieinsatz beobachtete und beurteilte das ENSI im November 2021 die Notfallorganisation des KKM und deren Zusammenarbeit mit der Kantonspolizei Bern. Als Ausgangslage waren unter anderem Arbeiten an der Zerlegung des Kernmantels vorgesehen. Ein Operateur meldete dem Kommandoraum, dass er unter Gewaltandrohung in der kontrollierten Zone festgehalten wurde. Der Geiselnnehmer drohte damit, bei Nichterfüllung seiner Forderung Systeme im Reaktorgebäude zu beschädigen und die Geisel zu verletzen. Die Kantonspolizei übernahm nach ihrem Eintreffen die Gesamteinsatzleitung und wurde im weiteren Verlauf durch den Notfallstab des KKM unterstützt. Der Zugriff der Kantonspolizei Bern beendete die Notfallübung. Das KKM stuft die Ereignisse korrekt ein und meldete sie dem ENSI zeitgerecht. Aufgrund seiner Übungsbeobachtungen kam das ENSI zum Schluss, dass die vorgegebenen Ziele für Werksnotfallübungen gemäss der Richtlinie ENSI-B11 erreicht wurden. Das KKM verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation. Das ENSI inspizierte im Juli 2021 einen der Standorte der externen Notfallzentren

(ENOZ) des KKM und überprüfte die Umsetzung der in der Richtlinie ENSI-B12 an ENOZ gestellten Anforderungen. Die Inspektion ergab, dass die ENOZ-Standorte des KKM in die Notfalldokumentation eingebunden sind und der inspizierte Standort die gemäss der Richtlinie ENSI-B12 gestellten Anforderungen erfüllt.

Eine weitere Inspektion im November 2021 zeigte zudem, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit waren.

Ferner löste das ENSI im November 2021 ohne Voranmeldung einen Übungsalarm im KKM aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Notfallstabes innerhalb der zeitlichen Vorgaben gemäss der Richtlinie ENSI-B11 bestätigt wurde.

4.8 Mensch und Organisation

Im Berichtsjahr verringerte sich der Personalbestand im KKM auf 279 Personen (Ende 2020: 296 Personen), die 272 Vollzeitstellen besetzen. Dieser Rückgang ist angesichts der laufenden Stilllegung und des begonnenen Rückbaus des KKM nachvollziehbar und stellt die nukleare Sicherheit nicht in Frage. Die Vorkommnisse und Ereignisse im Berichtsjahr wurden alle durch Wartungsarbeiten an betrieblichen Ausrüstungen ausgelöst und waren damit nicht direkt durch die Stilllegungsarbeiten verursacht worden. Die Vorkommnisse ergaben Hinweise auf organisatorische Mängel im Bereich der Arbeitsplanung, der Arbeitsvorbereitung, der Arbeitsdurchführung und der abschliessenden Arbeitskontrolle sowie bei der Anwendung von Fehlervermeidungstechniken, inklusive der dafür erforderlichen schriftlichen Vorgaben (Anweisungen, Betriebshandbuch, Arbeitsaufträge usw.). Das ENSI forderte das KKM auf, eine Analyse durchzuführen und das ENSI über die Ergebnisse sowie über daraus abgeleitete Massnahmen zu informieren.

Im Rahmen des Übergangs in die Stilllegung wurde das Managementsystem des KKM grundlegend überarbeitet. Das Managementsystem ist nach den Normen ISO 9001:2014, ISO 14001:2015 und ISO 45001:2018

zertifiziert. Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion zur periodischen Bewertung der Wirksamkeit des Managementsystems durch die Standortleitung durch. Das ENSI bezog sich dabei insbesondere auf die Erfüllung der relevanten Vorgaben aus Artikel 31 der Kernenergieverordnung, der Richtlinie ENSI-G07, dem IAEA Safety Standard GSR Part 2 und der Norm DIN ISO 9001:2015. Die entsprechenden Anforderungen wurden erfüllt.

Das KKM hat die Suva-Sicherheitscharta unterzeichnet und somit für verbindlich erklärt. Nach einer Häufung von Beanstandungen der Suva hinterfragte die Standortleitung die Leistung der Organisation im Bereich des Arbeitsschutzes. Es wurden ausserordentliche Audits mit Beteiligung der Führungskräfte einschliesslich der Standortleitung durchgeführt, um die Umsetzung der Anforderungen der Suva-Sicherheitscharta zu überprüfen.

Im Berichtsjahr fanden im KKM keine Zulassungsprüfungen für Betriebspersonal mehr statt. Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in Tabelle 3 zusammengestellt.

Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2020 und der Planung des Ausbildungsprogramms 2021 in der Abteilung Anlage für das Ressort Betrieb durch. Gegenstand der Inspektion waren die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung sowie Änderungen und Neuerungen. Ferner wurde die Ausbildung des Personals der Abteilung Rückbau auf die Einhaltung der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) und der Richtlinie ENSI-B10 überprüft. Die Ausbildungsprogramme des KKM in den inspizierten Bereichen erfüllten die Anforderungen. Das ENSI wies im Rahmen der Inspektion darauf hin, dass der nationale und internationale Erfahrungsrückfluss einen wichtigen Grundstein für die sichere Abwicklung der Stilllegung und des Rückbaus des KKM bildet und die hierfür benötigten Ressourcen bereitzustellen sind.

5



ZWILAG

DG 27
Tor 1

Verfahren bitte
abwarten

5. Zentrales Zwischenlager Würenlingen

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

5.1 Zwischenlagergebäude

Die Zwischenlagergebäude der Zwi- lag 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 wurde ein Transport- und Lagerbehälter (T/L-Behälter) mit abgebrannten Brennelementen im HAA-Lager eingelagert. Ende 2021 betrug der Lagerbestand 70 T/L-Behälter, davon elf CASTOR®- und zwölf TN®-Behälter mit insgesamt 632 Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung von Brennelementen, 46 T/L-Behälter mit insgesamt 3281 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 2021 rund 35%. 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 143 Anlieferungen von konditionierten Gebinden zur Einlagerung in den Gebäuden M und S statt. Ende 2021 betrug die Ausnutzung des Lagergebäudes M 48,1%. Viele der im Lagergebäude M eingelagerten Gebinde erfüllen auch die Annahmebedingungen des Lagergebäudes S und könnten somit umgelagert werden. Ende 2021 war das Lagergebäude S zu 4,5% 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 entspricht. Im ZZL wurden im Berichtsjahr insgesamt 203,6t Material gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B04 befreit.

Das Hochregallager der Konditionierungsanlage wird auch als Eingangslager für die in 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 Bau-massnahmen zur Optimierung der Konditionierungsanlage die Konditionierungs-



**Bedienungsraum
für die Heisse Zelle.
Foto: Zwiilag**

arbeiten 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 dem Betrieb der schweizerischen KKW sowie aus Medizin, Industrie und Forschung.

Aufgrund der Arbeiten zum Austausch des Abhitzeessels der Plasma-Anlage wurde 2021 keine Verarbeitungskampagne durchgeführt. Die Annahme von Abfällen für die Plasma-Anlage konnte dank der neuen Kapazitäten im Lagergebäude S weitergeführt und die Schweizer KKW damit von diesen Abfällen entlastet werden.

5.4 Strahlenschutz

Das ZZL setzte das Optimierungsprinzip weiterhin konsequent um. Aufgrund des Wegfalls oder der Reduktion gewisser Arbeiten und Dosisoptimierungen fiel die Kollektivdosis geringer aus als ursprünglich geplant. Sie betrug im Berichtsjahr rund 7 Pers.-mSv. Die maximale Individualdosis lag

bei 0,7 mSv. Das ENSI bewertet den praktizierten Strahlenschutz als erfolgreich.

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 Zwiilag 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 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 der Betreiberin und des ENSI gaben keinen Hinweis auf eine Verletzung 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 Aufent-



**Heisse Zelle.
Foto: Zwiilag**

haltsräume 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 PSI und ZZL wird auf den Strahlenschutzbericht 2021 des ENSI verwiesen.

5.5 Notfallbereitschaft

Die Notfallorganisation der Zwiilag 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 Zwiilag die Notfallbereitschaft auf hohem Niveau sicherzustellen. Das ENSI beobachtete und überprüfte die Notfallorganisation der Zwiilag im Juni 2021 an der Werksnotfallübung NEMESIS. Das Szenario unterstellte den Normalbetrieb der Zwiilag ohne Plasma-Kampagne. Ein fahrerloses Transportfahrzeug war in das Gebäude S hineingefahren. Es transportierte ein Abfallfass, welches Mischabfälle enthielt. Aufgrund einer Fehlfunktion verliess das Transportfahrzeug seinen vorgege-

benen Fahrweg und kollidierte mit Rohren der Wärmeversorgung. Sowohl die Rohre der Wärmeversorgung als auch das Abfallfass wurden beschädigt. Radioaktiv kontaminiertes Wasser überflutete den betroffenen Raum. Das Wasser floss aufgrund des Gefälles in Richtung des U-Kanals ab. Auf dem Dach sassen zudem Personen fest, welche zu diesem Zeitpunkt an der Installation der Kaltwasserversorgung gearbeitet hatten. Sie wurden durch die Feuerwehr gerettet. Die Zwiilag 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 erreicht wurden. Die Zwiilag verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation. Ferner löste das ENSI im November 2021 ohne Voranmeldung einen Übungsalarm in der Zwiilag aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabes innerhalb der zeitlichen Vorgaben gemäss der Richtlinie ENSI-B11 bestätigt wurde.

5.6 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr nahm die Zwiilag keine grösseren organisatorischen Änderungen vor. Die Anzahl der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erhöhte sich gegenüber dem Vorjahr um eine Person auf 92 Personen, welche 86 Vollzeitstellen besetzen.



**Lagerhalle für hochaktive Abfälle.
Foto: Zwiilag**

Das Managementsystem der Zwiilag besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2015. Die Rezertifizierung fand im Jahr 2021 statt. Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion zur periodischen Bewertung der Wirksamkeit des Managementsystems durch die Standortleitung durch. Das ENSI bezog sich dabei insbesondere auf die Erfüllung der relevanten Vorgaben aus Artikel 31 der Kernenergieverordnung, der Richtlinie ENSI-G07, dem IAEA Safety Standard GSR Part 2 und der Norm DIN ISO 9001:2015. Die entsprechenden Anforderungen wurden erfüllt.

Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion zur Umsetzung der in der Richtlinie ENSI-B10 definierten Anforderungen an die Ausbildung, Wiederholungsschulung und Weiterbildung von Personal in schweizerischen Kernanlagen durch. Das Zwiilag verfügt über eine systematische Ausbildungsplanung. Durchgeführte Ausbildungen werden nachvollziehbar dokumentiert. Fremdpersonal wird vor Beginn der Arbeiten mit den massgeblichen Sicherheitsvorschriften vertraut gemacht. Die im Rahmen dieser Inspektion inspizierten Bereiche erfüllten die Anforderungen.

5.7 Vorkommnisse

Im Berichtsjahr waren keine meldepflichtigen Vorkommnisse im Bereich der nuklearen Sicherheit zu verzeichnen.

5.8 Gesamtbeurteilung

Das ENSI kam zum Schluss, dass die Zwiilag die verschiedenen Anlagen des ZZL im Berichtsjahr sicher betrieb und dabei jederzeit die bewilligten Betriebsbedingungen einhielt. Die nukleare Sicherheit 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 ist tätig in den Bereichen Materie und Material, Mensch und Gesundheit sowie Energie und Umwelt. Zudem betreibt das PSI das Bundeszwischenlager (BZL), das der Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung der gesamten Schweiz dient.

Das Hotlabor, die Anlagen für die Behandlung, Konditionierung und Lagerung radioaktiver Abfälle sowie die sich in der Stilllegung befindenden Forschungsreaktoren SAPHIR, DIORIT und PROTEUS sind Kernanlagen und werden durch das ENSI beaufsichtigt.

Im Berichtsjahr waren zwei gemäss der Richtlinie ENSI-B03 meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen. Durch den Betrieb der Kernanlagen des PSI gab es keine 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 und der Organisation bedarf es, wie nachstehend erläutert, nach wie vor weiterer Anstrengungen.

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.

Nach der Rückführung von Brennstäben des Kernkraftwerks Leibstadt aus früheren Untersuchungen erfolgte im Berichtsjahr

eine neue Anlieferung von Brennstäben und Proben des Kernkraftwerks Gösigen.

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 hatte das PSI die Fixbox-3-Anlage gebaut und von 2013 bis 2019 eine Typenprüfung durchgeführt. Für den routinemässigen Betrieb dieser Anlage benötigt das PSI aber noch eine Typengenehmigung gemäss Artikel 54 Absatz 4 der Kernenergieverordnung (KEV). Nach Verfügung des ENSI im Jahr 2019 überarbeitete das PSI noch einmal seine Gesuchsunterlagen und stellte im Berichtsjahr ein neues Gesuch für die Endlagerfähigkeitsbescheinigung bei der Nagra.

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 noch einmal seine Gesuchsunterlagen und stellte im Berichtsjahr ein neues Gesuch für die Endlagerfähigkeitsbescheinigung bei der Nagra.

Das ENSI erwartet, dass das PSI nach Erteilung der Typengenehmigungen die Konditionierung der radioaktiven Abfälle aus der Brennstoffanalytik unverzüglich fortführt.

Seit Mitte 2016 erfolgt die Behandlung der radioaktiven Abwässer des PSI-Ost mit der neuen Aktiv-Abwasseranlage im Hotlabor. Im Berichtsjahr wurden 854 m³ Abwasser (Vorjahr: 779 m³) behandelt und kontrolliert über die Abwasserüberwachungsanlage des PSI-Ost an die Aare abgegeben. Rund 30% dieser Abwässer stammte aus dem Hotlabor, der Rest aus anderen Bereichen des PSI,



Experimentierhalle.
Foto: Zwilag

insbesondere aus der Radiopharmazie und der Wäscherei.

Neben den üblichen Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten nahm das PSI im Berichtsjahr erneut diverse Ertüchtigungen im Hotlabor vor beziehungsweise führte entsprechende bereits in den Vorjahren initialisierte Vorhaben fort. Zudem reichte es mehrere Freigabeanträge für Experimentier- und Forschungsanlagen ein. Im Berichtsjahr wurden aus dem Hotlabor rund 4,6t Materialien gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B04 befreit.

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 Versuchsverbrennungsanlage.

6.2.1 SAPHIR

Für die Anlage SAPHIR muss der Nachweis der Kontaminationsfreiheit durch das PSI erbracht werden. Dazu charakterisiert das PSI die einzelnen Räume mittels gamma-spektrometrischer In-situ-Messungen. Im Hinblick auf die Befreiung der stehenden Betonstrukturen wurden als störend identifizierte Elemente demontiert und befreit. Dabei handelte es sich um Bodenbelag, Rohre und Teile des Abluftkanals. Im Be-

richtsjahr wurden insgesamt 930 kg Material befreit.

Das PSI führte den Unterhalt an Gebäude und Anlagen sowie Funktionsprüfungen an den Infrastrukturanlagen und Kalibrierungen an den Messgeräten gemäss den Vorgaben durch.

6.2.2 DIORIT

Im Berichtsjahr wurden in der Kernanlage DIORIT keine Rückbauarbeiten gemäss der Rückbaubewilligung von 1994 durchgeführt. Es wurden einzig nicht mehr benötigte Einrichtungen und Gegenstände aus der Anlage entfernt und – falls nötig – dekontaminiert und befreit. Beim befreiten Material handelt es sich um Maschinenteile, Abschirmmaterial (Stahl und Blei) sowie Rohrleitungen und weiteres Material aus dem Rückbau. Insgesamt hat das PSI im Jahr 2021 rund 4,2t 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 1,5t Aluminium-Stilllegungsabfälle aus dem Rückbau der Forschungsreaktoren DIORIT und SAPHIR. Nachdem das PSI verschiedene Optionen erwogen hat, muss es die Entsorgung dieser Abfälle nun dezidiert angehen.

Im Berichtsjahr wurden ein KC-T30-Container mit Abfällen aus dem PSI-West im «Tiefen Gang» des DIORIT sowie drei KC-T12-

Container mit Innenbehältern aus dem Rückbau der Versuchsverbrennungsanlage vergossen. Die vier verfüllten Container wurden in das BZL überführt.

Da die Gebäulichkeiten des DIORIT vollständig zurückgebaut werden sollen, muss das PSI ein dafür bestimmtes ergänzendes Stilllegungsprojekt vorlegen. Das PSI stellte die Ausarbeitung des Projekts im Verlauf des Berichtsjahres aufgrund der Priorisierung anderer Rückbauprojekte zurück.

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.

6.2.3 PROTEUS

Die Rückbauarbeiten in der Kernanlage PROTEUS kamen im Berichtsjahr gut voran, weil das PSI den Rückbau des PROTEUS sowie der Versuchsverbrennungsanlage (siehe Kapitel 6.2.4) prioritär behandelte. So konnten sämtliche Tätigkeiten, die in der Rückbauphase 1 des PROTEUS vorgesehen waren, durchgeführt werden. Dazu zählen die Demontage der Reaktortragstruktur, die Entfernung des Eisengranulats aus dem Brennstofflager, der Ausbau des Lüftungsstrangs der Kernkühlung, die Demontage der unteren Reaktortragplatte sowie die Aufhebung des Zugangs aus dem ehemaligen Kommandoraum und damit verbunden die Demontage des Zugangspodests. Aufgrund einer Inspektion im Dezember 2021 bestätigte das ENSI den Abschluss der Rückbauphase 1 bis auf die Erfüllung einer Forderung. Am PSI befinden sich noch rund 400 kg Treiberbrennstoff sowie weitere Kernmaterialien aus der Kernanlage PROTEUS. Im Berichtsjahr trieb das PSI die Planung zur Entsorgung dieser Materialien voran. Zudem konnten rund 34t Material aus dem Kontrollbereich befreit werden. Dabei handelte es sich zu grossen Teilen um das Eisengranulat aus dem Brennstofflager (30,1t) sowie um Stahl und Blei.

Das PSI führte den Unterhalt an Gebäude und Anlagen sowie Funktionsprüfungen an den Infrastrukturanlagen und Kalibrierun-

gen an den Messgeräten gemäss den Vorgaben durch.

6.2.4 Versuchsverbrennungsanlage

Der Rückbau der ehemaligen Versuchsverbrennungsanlage (VVA) schreitet zwar mit Verzögerung, aber doch stetig voran. So konnte der Grobfilter II im Berichtsjahr vollständig entfernt werden. Der Stahlmantel des Grobfilters II wurde dekontaminiert und vollständig befreit. Anschliessend begannen die Arbeiten am dritten und letzten Abluftfilter, dem Feinfilter. Etwa ein Drittel der Ausmauerung konnte bis Ende 2021 entfernt und vorkonditioniert werden.

Die Arbeiten erfolgten dabei unter teils erschwerten Bedingungen (radioaktiv belasteter Asbestbereich). Die Ausmauerung des Grobfilters II sowie etwa ein Drittel der Ausmauerung des Feinfilters wurden vorkonditioniert, das heisst in Innenbehälter gefüllt und die Behälter mit Mörtel vergossen. Bis Ende des Jahres fielen so 42 vorkonditionierte Innenbehälter an. Die Abfallmenge entsprach den Prognosen.

Während des Rückbaus fallen laufend asbesthaltige, radioaktiv kontaminierte und brennbare Sekundärabfälle an: Beim Rückbau der VVA sind es bisher mehrere Hundert Kilogramm, die auf dem Areal der Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle des PSI in einem abschliessbaren Container temporär aufbewahrt werden. Ein Konzept zur Entsorgung dieser Abfälle befindet sich beim PSI in Arbeit und muss dem ENSI zur Beurteilung vorgelegt werden.

In Berichtsjahr wurden rund 11,3t Material befreit. Dabei handelte es sich um Stahlteile des Grobfilters II sowie Keramikröhren und Kleinmaterial.

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

sieben Jahre. Im Rahmen dieses Projektes wird 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). Das Gesamtprojekt ist in einzelne Teilprojekte gegliedert, die jeweils eine separate Freigabe erfordern.

Im Berichtsjahr wurde radioaktiv belasteter Schlamm aus einem der Becken in Fässer abgefüllt. Da sich der Schlamm als nur bedingt pumpfähig erwies, erfolgten diese Arbeiten manuell. Die weiteren Arbeiten sind verzögert, weil die dafür benötigte Infrastruktur noch nicht – wie für das Berichtsjahr vorgesehen – in Betrieb genommen werden konnte.

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 (MIF-Abfälle). Ebenfalls im Eigentum des Bundes sind die im PSI anfallenden radioaktiven Abfälle aus den Anwendungen radioaktiver Isotope in Forschungsprojekten, insbesondere bei 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 MIF-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 hatte das PSI die Sicherheitsberichte mitsamt der zugehörigen Störfallanalysen überarbeitet und im Jahr 2016 dem ENSI eingereicht. Im Rahmen seiner Beurteilung stellte das ENSI für beide Anlagen Nachbesserungsbedarf fest und formulierte dazu mehrere Forderungen. Das PSI muss 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 Aktivitätsinventare. Dies kann spürbare Auswirkungen auf den Betrieb der Bundessammelstelle haben. Im Berichtsjahr reichte das PSI dem ENSI für das Abfalllabor Erdbebenstandfestigkeitsnachweise und entsprechende Ertüchtigungskonzepte ein.

Im Berichtsjahr wurden insgesamt rund 38,4 m³ Abfälle (Vorjahr: 20,2 m³) bei der Bundessammelstelle angeliefert, davon 32,03 m³ (Vorjahr: 16,15 m³) aus dem PSI und 6,41 m³ (Vorjahr: 4,05 m³) aus der jährlichen Sammelaktion des Bundesamts für Gesundheit (BAG). Ausserdem fielen wie im Vorjahr 31 vorkonditionierte Innenbehälter mit VVA-Rückbauabfällen an. Aktuell befinden sich in den AERA insgesamt 75 derartige Innenbehälter, die bis spätestens Ende 2024 auf der Betonieranlage im DIORIT zu konditionieren sind. Im Berichtsjahr wurden 66 extern konditionierte Stahlzylinder mit Industrieabfällen angeliefert. Aus der Zwiilag wurden im Berichtsjahr keine Abfälle zurückgeliefert. Auf der Betonieranlage im DIORIT wurden drei KC-T12-Container mit VVA-Rückbauabfällen endkonditioniert sowie ein KC-T30-Container mit operationellen Beschleunigerabfällen aus dem PSI-West. Diese Container wurden anschliessend in das BZL eingelagert.

Zur Behandlung in der Plasma-Anlage der Zwiilag wurden im Berichtsjahr 38,75 m³ (Vorjahr 30,14 m³) Rohabfall in 44 Abfallgebinden zu 200 Liter (Vorjahr: 30 Gebinde) mit sortierten und verpressten Abfällen verarbeitet. Dies bewirkte unter anderem, dass die Brandlast in der Halle AB des Betriebsge-



**Spallations-
neutronenquelle.**
Foto: PSI

bäudes auf 515 MJ/m² (Vorjahr 686 MJ/m²) weiter verringert werden konnte (siehe Unterkapitel 6.3.2). Im Berichtsjahr lieferte das PSI 48 Fässer mit verpressten brenn- und schmelzbaren Abfällen zur Behandlung in der Plasmaanlage an die Zwiilag (Vorjahr: 100 Fässer).

6.3.2 Lagerung radioaktiver Abfälle

Im 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. Bei der erstmaligen Anwendung dieses Instruments während des Berichtsjahrs zeigte sich, dass sowohl in der Anwendung als auch bei der Gestaltung der Benutzeroberfläche punktuell noch Verbesserungs- beziehungsweise Anpassungsbedarf erforderlich ist. Die entsprechenden Punkte wurden im Rahmen eines Fachgesprächs festgehalten und deren Umsetzung terminiert.

Per Ende des Berichtsjahres betrug das BZL-Inventar an extern konditionierten Stahlzylindern unverändert 2284 Stück. Sie werden in neun KC-T12-Containern gelagert. Weitere 156 Zylinder aus industrieller Fertigung mit tritiumhaltigen Abfällen lagern seit 2016 zur Dichtheitsüberwachung lose in 200-Liter-Fässern, die zu diesem Zweck mit Ventilen versehen sind. Im Berichtsjahr wurden keine neuen konditionierten 200-Liter-Fässer in das BZL eingelagert. Hingegen wurden drei ältere endkonditionierte 200-Liter-Fässer für Untersuchungen im Rahmen eines Forschungsprojektes ausgelagert. Somit war der mit 200-Liter-Fässern belegte Raum per Ende 2021 mit 4902 Gebinden gefüllt. Dies entspricht einem Belegungsgrad von rund 85%. Im Berichtsjahr wurden 10 KC-T12/30-Container, darunter noch sechs Stück, die bereits im Vorjahr konditio-

niert wurden, in das BZL eingelagert. Damit belief sich das Inventar im Container-Teil per Ende 2021 auf insgesamt 105 endkonditionierte KC-T12/30-Container. Dies entspricht einem Belegungsgrad von rund 56%.

Zur Entlastung des BZL baut das PSI ein neues Zwischenlager mit einer Kapazität von 480 KC-T12/30-Containern. 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. Sie schritten planmässig voran.

In den Hallen des Betriebsgebäudes sowie 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 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 ist das PSI einem wesentlichen Teil dieser Forderungen nachgekommen.

Das PSI nutzt dasselbe elektronische Buchführungssystem wie die Kernkraftwerke, so dass 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 war im Aufsichtsbereich des ENSI geprägt von den laufenden Rückbau- und Entsorgungstätigkeiten.

Beim Rückbau des Forschungsreaktors PROTEUS und der VVA wurden deutliche Fortschritte erzielt, verbunden mit vergleichsweise geringen Dosen für das Personal. Die Kollektivdosis betrug rund 3 Pers.-mSv, die maximale Individualdosis lag bei 0,8 mSv. Auch die Arbeiten im Hotlabor verliefen ohne radiologische Zwischenfälle. Pandemiebedingt gab es bei einzelnen Projekten Verzögerungen. Gesamthaft lag die Strahlenexposition der eingesetzten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter 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 0,011 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 detaillierte Angaben zu den Personendosen sowie zu den Abgaben über die Abluft und das Abwasser wird auf den Strahlenschutzbericht 2021 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 beobachtet und beurteilt die Notfallorganisation des PSI zusammen mit dem BAG an der jährlichen Institutsnotfallübung.

Im Juni 2021 führte das PSI die Institutsnotfallübung DELTA durch, welche ursprünglich für den November 2020 geplant war und aufgrund der Covid-19-Pandemie ins Folgejahr verschoben wurde. Das Szenario unterstellte den Bruch einer Rohrverbindung einer Experimentieranlage im Hotlabor. Der kondensierende Dampf löste einen Kurzschluss in der Anlagensteuerung aus. Infolge der starken Rauchentwicklung kam es zu einem Ansprechen des Brandmelders im betroffenen Labor. Das PSI liess daraufhin das Hotlabor räumen. Weil bei der Räumung Notausgänge geöffnet werden mussten, konnte gemäss Übungsszenario eine Freisetzung radioaktiver Stoffe nicht ausgeschlossen werden. Auch für die Rettung eines verletzten Mitarbeiters musste die Betriebsfeuerwehr von einer Kontamination des betroffenen Labors ausgehen und den Betriebsstrahlenschutz hinzuziehen. Insgesamt sah sich die Notfallorganisation des PSI mit verschiedenartigen Herausforderungen konfrontiert, die es zu beherrschen galt. Aufgrund seiner Übungsbeobachtungen kam das ENSI zum Schluss, dass die vorgegebenen Ziele für Institutsnotfallübungen gemäss der Richtlinie ENSI-B11 erreicht wurden. Das PSI verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.

Durch einen kurzfristigen Personalausfall in der Übungsleitung des PSI musste die Institutsnotfallübung 2021, welche zur Durchführung im November 2021 vorgesehen war, auf Antrag des PSI abgesagt werden. Das ENSI stimmte dem Antrag zu und forderte das PSI auf, einen Ersatztermin zu definieren.

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 17 020 akkreditiert beziehungsweise nach der Norm DIN EN ISO 9001:2015 zertifiziert sind. Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion zur periodischen Bewertung der Wirksamkeit des Managementsystems durch die Leitung des Hotlabors durch. Das

ENSI bezog sich dabei insbesondere auf die Erfüllung der relevanten Vorgaben aus Artikel 31 der Kernenergieverordnung, der Richtlinie ENSI-G07, dem IAEA Safety Standard GSR Part 2 und der Norm DIN ISO 9001:2015. Die Abteilung Hotlabor erfüllte die entsprechenden Anforderungen.

Per 1. Oktober 2019 setzte das PSI eine Organisationsänderung im Fachbereich Logistik um. Diese Änderung beinhaltete insbesondere die Integration der bisher direkt der Fachbereichsleitung unterstellten Sektion «Rückbau und Entsorgung» in die Abteilung «Strahlenschutz und Sicherheit». Am 14. September 2021 fand ein Fachgespräch zum Erfahrungsaustausch mit den Anlagenleitern der Kernanlagen in Stilllegung statt. Die Anlagenleiter sind nach der erfolgten Umorganisation nun der Sektion «Experten und Analysen» unterstellt. Am 2. Dezember 2021 fand ein weiteres Fachgespräch mit dem Anlagenleiter ad intermin der Kernanlagen AERA statt, welcher gleichzeitig der Leiter des Fachbereichs Logistik am PSI ist. Die Kernanlagen der AERA sind nach der Organisationsänderung der Gruppe Entsorgung in der Sektion Betriebsstrahlenschutz angegliedert. Die Bedenken des ENSI in Bezug auf die Wirksamkeit der durchgeführten Organisationsänderungen bei den Kernanlagen in der Abteilung «Strahlenschutz und Sicherheit» konnten im Rahmen der routinemässigen Aufsichtstätigkeiten nicht gänzlich entkräftet werden. Insbesondere ist die Wirksamkeit der aktuellen Organisation des PSI durch weitere Anstrengungen zu verbessern, um die Arbeiten zur Konditionierung radioaktiver Abfälle und die Stilllegungsprojekte der Kernanlagen am PSI mit der dabei gebotenen Effizienz zu bewältigen. Diesbezüglich wurde schon im Aufsichtsbericht 2020 des ENSI betont, dass der Wissenstransfer nicht vernachlässigt werden darf und unter anderem das Know-how und Know-why der Stelleninhaber für den technischen Betrieb (Anlagenleiter) gemäss der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) aufrechterhalten werden muss.

Im Berichtsjahr legten zwei Personen ihre Zulassungsprüfung als Reaktorphysiker und Reaktorphysikerin für den stillgelegten Forschungsreaktor PROTEUS ab. Der Bestand an zulassungspflichtigem Personal für den stillgelegten Forschungsreaktor PROTEUS erhöhte sich somit im Berichtsjahr von vier auf sechs Personen. Diese Personenzahl ist aus Sicht des ENSI für den Anlagenzustand ausreichend bemessen.

6.7 Vorkommnisse

Im Berichtsjahr waren gemäss der Richtlinie ENSI-B03 zwei meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen:

■ Am 4. März 2021 kam es frühmorgens infolge eines Erdschlusses in einer Schaltanlage des 16-kV-Versorgungsnetzes zu einem kurzzeitigen Stromunterbruch auf dem gesamten PSI-Areal. Der Stromunterbruch führte zu kurzzeitigen Betriebsunterbrüchen der Lüftungsanlagen und einiger Fortluftüberwachungssysteme. Die USV-gestützten Systeme wie die IT- oder die Sicherungssysteme sowie die Fortluftüberwachungssysteme des Hochkamins funktionierten ohne Unterbruch. Der Ausfall der radiologischen Überwachung der Abgaben an die Umwelt bei den anderen Fortluftabgabestellen blieb während des Stromausfalls ohne Folgen, da gleichzeitig auch die zugehörigen Fortluftanlagen ausgefallen waren und somit keine radioaktiven Stoffe über die Fortluftkamine in die Umwelt gelangen konnten. Die sicherheitstechnische Bedeutung des Vorkommnisses ist als gering einzustufen. Die Schutzziele waren zu jedem Zeitpunkt erfüllt. Das ENSI ordnete das Vorkommnis auf der Internationalen Ereignisskala INES der Stufe 0 zu.

■ Am 7. Juli 2021 erreichte der Tritium-Onlinemonitor des BZL bei der halbjährlichen Funktionsprüfung den vorgegebenen Sollwert nicht. Der Grund für die nicht bestandene Funktionsprüfung war eine Erhöhung der Sollwerte bei der letzten Revision der Sollwertliste. Bei der Ursachenabklärung stellte sich heraus, dass die Gerätetypenbezeichnung fehlerhaft war und über Jahre hinweg für die Funktionsprüfung falsche

Sollwerte herangezogen wurden. Detaillierte Untersuchungen im Nachgang zum Vorkommnis zeigten, dass trotz der Abweichungen in der Dokumentation und bei der Verwendung der Sollwerte für die Konstanzprüfung die Messbeständigkeit des Tritium-Onlinemonitors während der letzten zehn Jahre gegeben war. Die sicherheitstechnische Bedeutung des Vorkommnisses ist als gering einzustufen. Die Schutzziele waren zu jedem Zeitpunkt erfüllt. Das ENSI ordnete das Vorkommnis auf der Internationalen Ereignisskala INES der Stufe 0 zu.

7



7. Weitere Kernanlagen

7.1 École Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL

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 CROCUS-Reaktor insbesondere den Ingenieur- und Physikstudentinnen und -studenten der EPFL und den Studentinnen und Studenten des Swiss-Nuclear-Engineering-Masterkurses der ETH Zürich und der EPFL während 397 Stunden bei kleiner Leistung (unter 100 W) für Ausbildungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 376 Wh thermische Energie erzeugt. Im Jahr 2021 wurden die meisten Besuche aufgrund der Covid-19-Pandemie abgesagt. Das Experiment CARROUSEL wurde für Praktika verwendet. Die Neutronenquelle LOTUS ist seit mehreren Jahren ausser Betrieb. Die Anlage wird zurzeit für die Lagerung von radioaktiven Quellen und für Bestrahlungsexperimente verwendet.

Die EPFL baute den Reaktorkern des CROCUS im Berichtsjahr zweimal aus, um experimentelle Vorrichtungen im Reaktorkern zu installieren.

Die 15 beruflich strahlenexponierten Personen an der EPFL akkumulierten im Berichtsjahr eine Kollektivdosis von weniger als 1 Pers.-mSv. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend.

Im Berichtsjahr legte eine Reaktoroperateurin ihre Zulassungsprüfung mit Erfolg ab. Die Zulassungsprüfung besteht aus einem theoretischen und einem praktischen Teil. Im theoretischen Teil weist die Kandidatin ihre detaillierten Kenntnisse zum Aufbau und Verhalten der Anlage und zu den anzuwendenden Vorschriften nach. Der praktische Teil erfolgt am Forschungsreaktor und besteht in einer Demonstration der Anwendung der Kenntnisse.

Die EPFL meldete im Berichtsjahr keine meldepflichtigen Vorkommnisse gemäss der Richtlinie ENSI-B03.

Im Oktober 2021 führte das ENSI seine Jahresinspektion durch, besprach technische, organisatorische und personelle Änderungen und inspizierte verschiedene Anlagenräume. Das ENSI kam zum Schluss, dass die EPFL die verschiedenen Kernanlagen im Berichtsjahr sicher betrieb und dabei jederzeit die bewilligten Betriebsbedingungen einhielt.

7.2 Universität Basel

Der Forschungsreaktor AGN-211-P der Universität Basel diente bis zu seiner endgültigen Ausserbetriebnahme im Jahr 2015 vorwiegend der Ausbildung von Studentinnen und Studenten sowie der Anwendung der Neutronenaktivierungsanalytik.

Vor der Ausserbetriebnahme wurde der Kernbrennstoff 2015 in die USA zurückgeführt. Das gesamte noch in der Anlage vorhandene Quellinventar aus dem Aufsichtsbereich des ENSI wurde in den Aufsichtsbereich des Bundesamtes für Gesundheit transferiert.

Nachdem das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) am 13. Februar 2019 die Stilllegung des Forschungsreaktors verfügt hatte, stellte die Universität Basel einen Antrag für den Rückbau der Anlage. Das ENSI gab im April 2019 die einzige Rückbauphase frei, die im Dezember 2019 abgeschlossen werden konnte.

Im Juli 2020 beantragte die Universität Basel die Aufhebung der kontrollierten Zone. Das ENSI hatte sich an einer Inspektion von der korrekten Durchführung der Freimessarbeiten sowie von der erreichten Kontaminationsfreiheit überzeugt, bevor es die kontrollierte Zone im September 2020 freigab. Eine Voraussetzung für die Entlassung aus dem Geltungsbereich des Kernenergiegesetzes ist neben dem Nachweis der Kontaminationsfreiheit auch die Einreichung des Abschlussberichts über die Stilllegungs-

arbeiten. Die Universität Basel reichte den Bericht im November 2020 ein. Das ENSI unterzog den Abschlussbericht im Dezember einer Grobprüfung. Ebenfalls im Dezember beantragte die Universität Basel beim Bundesamt für Energie den Antrag auf Entlassung des ehemaligen Forschungsreaktors AGN-211-P aus dem Geltungsbereich der Kernenergiegesetzgebung.

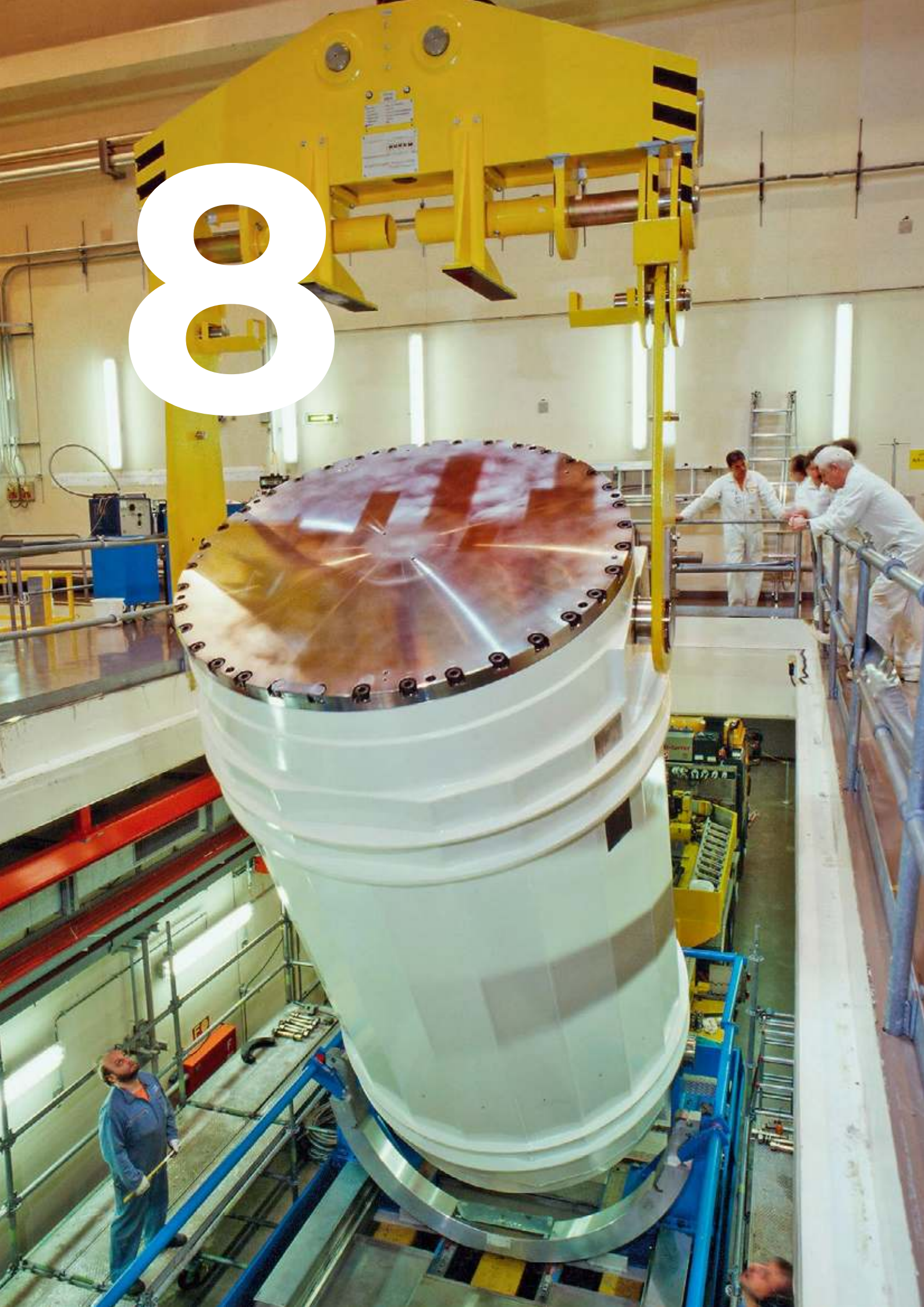
Das ENSI-Gutachten zum Abschlussbericht über die Stilllegungsarbeiten der Universität Basel wurde im Juni 2021 veröffentlicht. Im Gutachten stellte das ENSI fest, dass der erwartete Endzustand erreicht wurde, die Stilllegungsarbeiten ordnungsgemäss abgeschlossen wurden und der ehemalige Forschungsreaktor keine radiologische Gefährdung mehr darstellt. Aus Sicht des ENSI waren damit die Voraussetzungen für die Entlassung der Anlage aus der Kernenergiegesetzgebung erfüllt.

Die Entlassung der Anlage durch das UVEK erfolgte im November 2021. In seiner Verfügung hat das UVEK festgestellt, dass der ehemalige Reaktor keine radiologische Gefahrenquelle mehr darstellt und es sich nicht mehr um eine Kernanlage im Sinne des Kernenergiegesetzes handelt. Damit untersteht die Anlage nicht mehr der Aufsicht des Bundes. In seiner Argumentation hat sich das UVEK auf das ENSI-Gutachten zum Abschlussbericht der Stilllegung des Reaktors abgestützt.

Das ENSI hatte in seinem Gutachten eine Auflage beantragt, welche das UVEK in seiner Verfügung übernommen hat: Spätestens ein halbes Jahr nach dem Erlass der Verfügung muss die Universität Basel dem ENSI die vollständige Dokumentation von Bau, Betrieb und Stilllegung des Forschungsreaktors zur Archivierung übergeben. Damit sollen insbesondere die Erfahrungen aus der Stilllegung des Basler Reaktors für vergleichbare Anlagen genutzt werden können.

Weil die Anlage aus der Kernenergiegesetzgebung entlassen wurde, erfolgt für das Berichtsjahr auch keine Beurteilung des ENSI über den sicheren Betrieb.

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 3. Dezember 1996 über die Beförderung gefährlicher Güter mit der Eisenbahn (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 ebenfalls erforderlichen Bewilligungen nach Kernenergie- oder Strahlenschutzgesetz (siehe folgende Unterkapitel). Das ENSI ist die zuständige schweizerische Behörde für die Ausstellung von Genehmigungszeugnissen und Bauart-Zulassungsscheinen beziehungsweise 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 zehn Gesuche nach Gefahrgutgesetzgebung und stellte die entsprechenden Genehmigungen aus. Zwei Gesuche betrafen die Anerkennungen eines Typ-IF- und eines Typ-AF-Versandstückmusters für die Verwendung in der Schweiz auf der Basis einer vorliegenden ausländischen Zulassung. Sechs Gesuche bezogen sich auf Zulassungsrevisionen für ein Typ-B(M)-, zwei Typ-B(M)F- und drei Typ-B(U)F-Versandstückmuster. Zwei Gesuche betrafen Beförderungsgenehmigungen für je ein Typ-B(M)- und ein Typ-B(M)F-Versandstückmuster.

8.2 Bewilligungen nach Strahlenschutzgesetzgebung

Gemäss Artikel 2 des Strahlenschutzgesetzes sind der Transport auf öffentlichen



**Anlieferung eines
CASTOR®-Behälters
der BKW bei der
Zwilag.
Foto: BKW**

Verkehrswegen sowie die Ein- und Ausfuhr von radioaktiven Stoffen bewilligungspflichtige Tätigkeiten. Die Voraussetzungen für die Erlangung solcher Bewilligungen sind im Strahlenschutzgesetz und in der Strahlenschutzverordnung 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 Website 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 wurde eine Transportbewilligung für eine Transportfirma aus Belgien erteilt. Ein Dienstleister, der über eine ENSI-Transportbewilligung verfügt, meldete eine Spedition als zusätzliche Unterauftragnehmerin an, welche die Transporte der radioaktiven Stoffe für den Bewilligungsinhaber ausführt. Das ENSI akzeptierte diesen Unterbeauftragten, da die Transporte vollständig unter dem Managementsystem und dem Strahlenschutzprogramm des Bewilligungsinhabers durchgeführt werden. Eine weitere strahlenschutzrechtliche Transportbewilligung wurde aufgrund eines Namenswechsels der beteiligten Firmen angepasst.

Insgesamt verfügen 17 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 auszuführen.

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, dass 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 14 kernenergierechtliche Transportgesuche sowie ein Verlängerungsgesuch. Dabei handelte es sich um je ein Gesuch für den Transport

von radioaktiven Betriebsabfällen zur Zwiilag und für eine Rückführung von nicht recycelbarem Metallschrott aus Schweden zum Kernkraftwerk Mühleberg, vier Gesuche für die Einfuhr von frischen Brennelementen, drei Gesuche für den Abtransport abgebrannter Brennelemente zur Zwiilag und ein Gesuch für den Transport bestrahlter Brennstäbe vom Kernkraftwerk Gösigen (KKG) zur Untersuchung an das PSI. Die Transporte abgebrannter Brennelemente zur Zwiilag konnten nach der technischen Nachrüstung von Hebezeugen Ende 2021 wieder aufgenommen werden.

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 KKG erfolgt vor dieser «trockenen» Behälterlagerung eine verlängerte Lagerung unter Wasser im störfallsicheren externen Nasslager auf dem eigenen Betriebsgelände.

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 Richtlinien ENSI-G05 und ENSI-B17. 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 un-

abhängigen Experten kontrolliert. Für jedes einzelne Behälterexemplar bestätigt das ENSI schliesslich den qualitätsgerechten Abschluss der Fertigung durch seine Freigabe zur Verwendung (Kernenergierecht) und im Gefahrgutrecht durch die Registrierung des Serienmusters als Versandstück für radioaktive Stoffe.

Ende 2021 befanden sich 35 Transport- und Lagerbehälter in den verschiedenen Fertigungsphasen, von der Fertigungsvorbereitung bis zur Freigabe zur Verwendung oder der Registrierung durch das ENSI. Aktuell werden drei unterschiedliche Bauarten für abgebrannte Brennelemente gefertigt.

Soweit sich Abweichungen bei der Fertigung ergaben, wurden diese in allen Fällen 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. Dank der Bemühungen der Beaufichtigten und des Sachverständigen des ENSI konnten trotz der Auswirkungen der Covid-19-Pandemie viele Inspektionen weiterhin vor Ort bei den Herstellern durchgeführt werden. Zusätzlich wurden Inspektionen durch unabhängige Sachverständige vor Ort mit virtuellem Beizug des Sachverständigen des ENSI durchgeführt.

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: Es handelt sich um die Aufsichtsbehörde ASN und deren Sachverständigen IRSN aus Frankreich sowie um die belgische Aufsichtsbehörde FANC und deren Sachverständigen Bel V.



**Anlieferung eines
CASTOR®-Behälters
der BKW bei der
Zwilag.
Foto: BKW**

Im Berichtsjahr wurden seitens des ENSI keine Behälterexemplare gemäss der Richtlinie ENSI-G05 abgenommen und als beladene Behälter zur Einlagerung im Zwischenlager ZWIBEZ des Kernkraftwerks Beznau beziehungsweise im Zentralen Zwischenlager der Zwilag freigegeben. Ebenso wurde kein Transport- und Lagerbehälter beim ENSI gemäss Leitfaden für Verpackungen radioaktiver Stoffe registriert.

Zurzeit befinden sich vier neue Behälterbauarten im Bauartfreigabeverfahren gemäss der Richtlinie ENSI-G05. Aufgrund des teilweise innovativen Charakters dieser Behälterbauarten wird die Begutachtung auch unter Beizug externer Experten abgewickelt.

8.5 Inspektionen und Audits

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 diejenigen der Spediteure, Absender, Beförderer und Empfänger von radioaktiven Stoffen müssen die Einhaltung der Vorschriften gewährleisten. Im Rahmen der in den Kapiteln 8.1 bis 8.3 beschriebenen Bewilligungsverfahren wird dies vom ENSI generisch überprüft. Zudem prüft das ENSI im Rahmen seiner Inspektionen auch regelmässig übergeordnete organisatorische

Aspekte, die als gute Indikatoren für ein gelebtes Qualitätsbewusstsein dienen.

Das ENSI führte im Jahr 2021 in seinem Aufsichtsbereich zehn Inspektionen zum Thema «Transport radioaktiver Stoffe» durch. Die Inspektionen betrafen den Versand und Empfang von bestrahlten Brennstäben, gekapselten Brennstabproben, Pufferbrennstäben, radioaktiven Abfällen, Metallschrott zur weiteren Verarbeitung und eines Motors einer Reaktorhauptpumpe mitsamt Zubehör. Zudem wurde die Ausführung von wiederkehrenden Prüfungen an zwei verschiedenen Transportbehältern sowie die Rückkühlung bei einem innerbetrieblichen Brennelementtransfer inspiziert. Die gefahrgutrechtlichen Grenzwerte, insbesondere für Kontamination und Dosisleistung wurden in allen Fällen eingehalten. Das ENSI stellte einmal einen Verbesserungsbedarf bezüglich Aktualisierung der Vorgabedokumentation für die Durchführung von wiederkehrenden Prüfungen fest. Alle anderen Aspekte wurden mit Normalität bewertet. Externe Bewilligungsinhaber von schweizerischen Bewilligungen für den Transport radioaktiver Stoffe, wie zum Beispiel Spediteure, wurden im Rahmen ihrer Tätigkeiten in den Kernanlagen bewertet. Dabei ergaben sich keine Beanstandungen. Es wurden keine Audits bei Bewilligungsinhabern ausserhalb der Kernanlagen durchgeführt.

9



9. Geologische Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle

9.1 Einleitung

Die in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle müssen in einem geologischen Tiefenlager entsorgt werden. Das dazu seit 2008 laufende Standortauswahlverfahren für geologische Tiefenlager (Sachplan geologische Tiefenlager, SGT) steht unter der Leitung des Bundesamtes für Energie (BFE). Die Gesamtverantwortung für die sicherheitstechnische Beurteilung der im Verfahren gemachten Vorschläge für geologische Standortgebiete und Standorte obliegt dem ENSI (siehe Unterkapitel 9.2). Im Jahr 2018 startete die finale Etappe 3 des Auswahlverfahrens. Bereits vorher hatte die Nagra damit begonnen, die drei in dieser letzten Etappe verbleibenden Standortgebiete weiter zu untersuchen, um für die anstehende Standortwahl die notwendigen Daten zu erheben: In den Wintermonaten 2015/16 beziehungsweise 2016/17 führte die Nagra in allen drei Standortgebieten 3D-seismische Messungen durch. Von 2018 bis Ende 2020 wurden in den Standortgebieten und deren näherer Umgebung untiefe Quartärbohrungen durchgeführt, seit April 2019 innerhalb der Standortgebiete zudem insgesamt neun Tiefbohrungen abgeteuft (eine letzte Bohrung läuft noch). Das ENSI begleitete diese Bohrungen mit Freigaben, Audits und Inspektionen auf den Bohrplätzen (siehe Unterkapitel 9.3). Die Nagra berichtete im Rahmen der zweimal jährlich stattfindenden Sitzungen des «Fachgremiums Erdwissenschaftliche Untersuchungen» über die Resultate aus ihren Untersuchungen und Datenerhebungen (siehe Unterkapitel 9.2). An diesen Sitzungen nehmen neben dem ENSI, dem BFE und der Eidgenössischen Kommission für nukleare Sicherheit (KNS) auch die Expertengruppe Geologische Tiefenlager (EGT), der Beirat Entsorgung, die Kantone und deren Experten, das Bundesamt für Landestopografie swisstopo und Fachvertreter ausländischer Behörden teil.

Unterstützung bei seiner Arbeit erfährt das ENSI durch eine grosse Anzahl von externen Experten. Hierbei ist insbesondere die international zusammengesetzte EGT zu nennen, die eigene Berichte erarbeitet (siehe Unterkapitel 9.4). Die Zuarbeit dieser Expertengruppe dient dem ENSI bei der Vorbereitung der Prüfarbeiten im Rahmen des Sachplanverfahrens, aber auch bei weiteren aufsichtlichen Aufgaben.

Das ENSI geht relevanten Fachfragen im Rahmen von Forschungsarbeiten nach, die wichtige regulatorische Antworten liefern. Diese Forschungsarbeiten entstehen in enger Zusammenarbeit mit diversen Experten aus Universitäten, Forschungseinrichtungen und privaten Unternehmen. Eine Reihe dieser Forschungsarbeiten erfolgt am Felslabor Mont Terri (siehe Unterkapitel 9.5), das kürzlich sein 25-jähriges Bestehen feiern konnte. Im Berichtsjahr war das ENSI an mehreren im Mont Terri laufenden Forschungsprojekten beteiligt, zu denen detaillierte Ausführungen im aktuellen Erfahrungs- und Forschungsbericht 2021 des ENSI einsehbar sind.

Neben den Forschungsarbeiten aktualisiert und erweitert das ENSI seinen Wissensstand kontinuierlich durch seine Mitarbeit in internationalen Gremien und Forschungsprogrammen (siehe Unterkapitel 9.6). Diese Zusammenarbeit ist besonders wichtig, um die Erfahrungen aus anderen nationalen Entsorgungsprogrammen zu sammeln und deren Übertragbarkeit auf die Schweiz zu prüfen.

Im Oktober 2021 hatte das ENSI die Unterlagen für die Kostenstudie 2021 des Stilllegungs- und Entsorgungsfonds für Kernanlagen (STENFO) erhalten, die alle fünf Jahre von den Entsorgungspflichtigen eingereicht werden müssen. Die STENFO erteilte dem ENSI den Auftrag, die darin aufgelisteten Kostenpunkte sicherheitstechnisch zu prüfen. Im Dezember 2021 reichte die Nagra ausserdem das Entsorgungsprogramm 2021



**Arbeiten auf dem Bohrplatz Bachs.
Foto: Nagra**

und das Forschungs- und Entwicklungsprogramm 2021 ein. Die Ergebnisse der Prüfarbeiten des ENSI werden nach deren Abschluss kommuniziert.

9.2 Sachplan geologische Tiefenlager

Der Bundesrat hatte in seiner Sitzung vom 21. November 2018 die Etappe 3 des Sachplans gestartet und entschieden, dass die drei Standortgebiete Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost weiter untersucht werden sollen.

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 Rahmenbewilligungsgesuche. In der gegenwärtig laufenden Etappe 3 werden alle drei Standortgebiete mit erdwissenschaftlichen Untersuchungen weiter analysiert (siehe Unterkapitel 9.3).

Am 9. September 2021 fand ein virtuelles Behördenseminar mit Vertreterinnen und Vertretern des BFE, der KNS, der EGT, der Kantone und deutscher Behörden statt. An dieser Sitzung erläuterte die Nagra den geplanten methodischen Ablauf zur Abgrenzung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs für hochaktive Abfälle anhand provisorischer Daten zu Nördlich Lägern.

Technisches Forum Sicherheit

Das Technische Forum Sicherheit (TFS) dient im Rahmen des Sachplans als Informations- und Austauschplattform. Im TFS werden technische und wissenschaftliche Fragen zur Sicherheit und Geologie aus der Bevölkerung, von Gemeinden, Standortregionen, Organisationen, Kantonen und Gemeinwesen betroffener Nachbarstaaten diskutiert und beantwortet. Das TFS besteht aus Fachpersonen der verfahrensleitenden Behörde (BFE), der überprüfenden (ENSI) beziehungsweise unterstützenden Behörde (swisstopo), von Kommissionen (KNS, EGT), von Nichtregierungsorganisationen, der Entsorgungspflichtigen (Nagra) sowie aus delegierten Personen aus den Standortregionen, Standortkantonen, betroffenen Nachbarkantonen sowie aus Deutschland und Österreich. Das ENSI leitet das TFS, es sammelt die Fragen, koordiniert die Beantwortung der Fragen durch die 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 zur Verfügung gestellt. Im Berichtsjahr fanden vier Sitzungen des TFS statt, die aufgrund der Covid-19-Pandemie als Videokonferenzen durchgeführt wurden. Von den bis Ende 2021 im TFS aufgenommenen 158 Fragen waren zu diesem Zeitpunkt 157 beantwortet. Neben der Beantwortung eingereicherter Fragen wurden im Berichtsjahr an den Sitzun-



**Arbeiten im
Felslabor Mont Terri.
Foto: Nagra**

gen verschiedene Fachthemen vertieft diskutiert: An der Sitzung im März 2021 stellte das ENSI seine Neuausgabe der Richtlinie ENSI-G03 zu geologischen Tiefenlagern vor. Im Juni präsentierte die Nagra ihren Vergleich eines Kombilagars für hochaktive sowie schwach- und mittelaktive Abfälle mit den jeweiligen Einzellagern und zeigte die aktuellen Ergebnisse aus ihrer Tiefbohrkampagne.

Fachgremium Erdwissenschaftliche Untersuchungen

Zur fachlichen Diskussion der Resultate aus den erdwissenschaftlichen Untersuchungen der Nagra in der Etappe 3 wurde 2015 das «Fachgremium Erdwissenschaftliche Untersuchungen» (FEU) gegründet. Das ENSI leitet das FEU. Das Fachgremium bietet eine Plattform für den offenen fachlichen Austausch unter Behördenvertreterinnen und -vertretern von Bund und Kantonen sowie unter Expertinnen, Experten und Expertengruppen aus der Schweiz und Deutschland. Das Fachgremium übt keine Aufsicht aus und fällt auch keine Entscheidungen über die präsentierten Resultate. Die FEU-Sitzungen dienen der Vorbereitung der Beurteilungsarbeiten zu den gemäss Planung im Jahr 2024 erwarteten Rahmenbewilligungsgesuchen der Nagra.

Im Berichtsjahr fanden die 11. und 12. FEU-Sitzung statt, aufgrund der Covid-19-Pande-

mie die erste als Videokonferenz, die zweite mit physischer Präsenz. Die Nagra präsentierte an den Sitzungen Resultate aus ihren laufenden Auswertungen der 3D-seismischen Datensätze und ihren Untersuchungen im laufenden Quartärerkundungsprogramm. Zu den Tiefbohrungen wurden insbesondere die Resultate zur Sedimentologie, Strukturgeologie, Hydrogeologie und Geomechanik präsentiert und diese in einen regionalen Kontext gestellt, soweit bereits Daten vorhanden waren. Zur abgelenkten Tiefbohrung Rheinau wurden in der 11. Sitzung die geplanten Arbeiten vorgestellt und in der 12. Sitzung erste Resultate präsentiert. Auf Wunsch der Nagra fanden zusätzlich zu den zwei genannten Sitzungen im Frühjahr und Herbst 2021 zwei auf das Thema geologische Langzeitentwicklung fokussierte FEU-Sitzungen statt. Dabei wurden von der Nagra Einblicke in ihre laufenden Arbeiten bezüglich Verständnis der vergangenen Landschaftsentwicklung, Modellvorstellungen relevanter geologischer Prozesse und deren Wechselwirkungen und Erfassung der Bandbreite an Ungewissheiten gegeben.

Öffentlichkeitsarbeit

Aufgrund der temporären Lockerungen der Covid-19-Schutzmassnahmen konnten Veranstaltungen für die Öffentlichkeit wieder in einem beschränkten Rahmen phy-



Bohrplatz Bachs.
Foto: Nagra

sisch durchgeführt werden. Im Berichtsjahr unterstützte das ENSI das BFE im Rahmen von Informationsveranstaltungen in den Standortgebieten Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost, eines Ausbildungsmoduls zur radiologischen Sicherheit und zum Gewässerschutz sowie der Veranstaltung «Tiefenlager aktuell» vom 10. Mai 2021. Im Weiteren stand das ENSI den Regional Konferenzen und den dazugehörigen Fachgruppen Sicherheit für Auskünfte zu Fachthemen zur Verfügung und nahm dabei an diversen Veranstaltungen mit Fachvorträgen teil. Den Fachgruppen Sicherheit der drei Regional Konferenzen stellte das ENSI die Neuausgabe der Richtlinie ENSI-G03 sowie die Inhalte und das Ziel des Sicherheitsnachweises vor. Im Jahr 2021 waren Besuche im Felslabor Mont Terri nur eingeschränkt oder zeitweise gar nicht möglich. Das ENSI war im Berichtsjahr an der 25-Jahr-Feier des Felslabors vom 4. November 2021 vertreten.

Im Rahmen der 2018 in allen drei Standortgebieten gegründeten Begleitgruppen zu den Tiefbohrungen wurden die Vertreterinnen und Vertreter der von Bohrplätzen betroffenen Gemeinden und Kantone auch im Berichtsjahr regelmässig über die Bohraktivitäten in ihrem Standortgebiet informiert. Physische Treffen wurden seitens der betroffenen Gemeinden und Kantone nicht gewünscht.

9.3 Sondierbohrungen für die Etappe 3

Für die Tief- und Quartärbohrungen der Nagra ist das ENSI als Leitbehörde für die Freigaben von Bau, Betrieb, Verschluss und gegebenenfalls für die Langzeitbeobachtung sowie für die Kontrolle der Auflagen aus den jeweiligen Bewilligungen des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) und 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 und den Bohrbetrieb. Im ersten Quartal des Berichtsjahres schloss das ENSI seine fachliche Detailprüfung des im Herbst 2020 von der Nagra beantragten Sondiergesuchs Bachs ab und reichte das resultierende Gutachten dem BFE termingerecht ein.

Die Tiefbohrungen erreichen mit über 1000 Metern Länge einen grossen Abschnitt des geologischen Untergrunds und durchqueren dabei auch das von der Nagra vorgeschlagene Wirtgestein. Dementsprechend wurden an ihre Umsetzung umfangreichere Anforderungen gestellt. Aus bohrtechnischer Sicht stellt unter anderem der mögliche Zutritt von Gas und Wasser eine vorgängig zu berücksichtigende Herausforderung dar. Im Berichtsjahr bearbeitete das ENSI sieben Freigabeanträge für die Tiefbohrungen Bülach, Marthalen, Bözberg 1,



**Besuch des Felslabors Mont Terri während eines Seminars.
Foto: Nagra**

Rheinau: zwei für die Bauphasen, einen für die Betriebsphase, einen für den Verschluss und drei für Messsysteme zur Langzeitbeobachtung.

Die Kontrolle der mit den Freigaben verfügbaren Auflagen erfolgte neben dokumentarischen Nachweisen auch über direkte Begehungen der Bohrplätze. Im Berichtsjahr wurden 53 Begehungen unter Wahrung der auf den Bohrplätzen eingesetzten Covid-19-Schutzmassnahmen durchgeführt. Diese umfassten zum Beispiel Bauabnahmen, technische Abnahmen der Bohranlagen, Brandschutzkontrollen, Kontrollen des Bohrbetriebs, Überwachung von Zementationsarbeiten. Während des laufenden Betriebs der Tiefbohrungen Stadel 2, Stadel 3, Rheinau und Bachs sichtete das ENSI darüber hinaus regelmässig die Tages- und Wochenrapporte sowie die täglich aktualisierten Prognosen. Zusätzlich zur operativen Aufsicht der Tiefbohrungen begleitete das ENSI an mehreren Terminen das wissenschaftliche Untersuchungsprogramm der Bohrungen vor Ort und nahm die dazu gewonnenen Bohrkern auf dem Bohrplatz oder im Kernzwischenlager der Nagra in Würenlingen in Augenschein. Ebenso wurden mit der Nagra diverse Fachsitzungen und Aufsichtsgespräche zu den Tiefbohrungen geführt.

9.4 Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung

Gemäss SGT unterstützt die Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung (EGT) das ENSI in seiner Arbeit zu den sicherheitstechnischen Beurteilungen. Die EGT verfasst zuhanden des ENSI Stellungnahmen zur geologischen Beurteilung der Standortgebiete und zur bautechnischen Machbarkeit von geologischen Tiefenlagern, nimmt Stellung zu Gesuchen für erdwissenschaftliche Untersuchungen und arbeitet im TFS und im FEU mit. Für das ENSI ist die EGT eine wichtige Wissensträgerin, da darin von der Nagra unabhängige Fachpersonen vertreten sind. EGT und ENSI legen jährlich gemeinsam die Schwerpunkte der Arbeiten der EGT fest. Das ENSI führt das Sekretariat der EGT. Der EGT gehörten in der Berichtsperiode acht Mitglieder aus dem Hochschulbereich des In- und Auslands an, welche verschiedene in der geologischen Tiefenlagerung relevante Fachbereiche abdecken. Auf Anfang 2021 konnten die Professoren Olaf Kolditz vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung und Torsten Schäfer von der Friedrich-Schiller-Universität Jena als neue Mitglieder der Expertengruppe gewonnen werden. Die Aktivitäten der EGT werden periodisch auf der Website www.egt-schweiz.ch präsentiert. Aufgrund der Covid-19-Pandemie wurden im Berichtsjahr mehrere Sitzungen als Videokonferenzen oder Hybrid-Sitzungen durchgeführt. Es fanden fünf reguläre Plenarsitzungen der EGT statt. Im Mai besuchte



**Experiment im
Felslabor Mont Terri.
Foto: swisstopo**

die EGT die Tiefbohrung Stadel 3 und wurde dort von der Nagra in die verschiedenen Arbeitsschritte beim Kernbohren und -gewinnen eingeführt. Im November hatten die Mitglieder der EGT Gelegenheit, die Bohrkernkerne der Tiefbohrung Rheinau im Kernzwischenlager der Nagra in Augenschein zu nehmen, nachdem die EGT an Fachsitzungen mit der Nagra die Bedeutung der in Rheinau vorhandenen steilstehenden Störung diskutiert hatte.

Weitere Themen, mit denen sich die EGT im Berichtsjahr auseinandersetzte, umfassten ein Positionspapier zum Datenmanagementplan für die geologische Tiefenlagerung, die 3D-seismischen Untersuchungen sowie die Faziesmodelle des Wirtgesteins Opalinuston und der diesen umgebenden Rahmengesteine. Mitglieder der EGT nahmen zusätzlich am Behördenseminar, an Sitzungen des TFS und des FEU teil.

9.5 Felslaboratorien

In der Schweiz betreibt das Bundesamt für Landestopografie swisstopo das Felslabor Mont Terri und die Nagra das Felslabor Grimsel. In diesen Felslaboratorien werden unter internationaler Beteiligung umfangreiche Forschungsprojekte zur geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle durchgeführt. Ziel der Forschung ist die Charakterisierung und Erfassung der geotechnischen, geochemischen und hydraulischen Eigen-

schaften der dortigen Gesteinsformationen und die Entwicklung und Überprüfung von Lagerkonzepten für den sicheren Einschluss radioaktiver Abfälle sowie von Techniken zur Erfassung der relevanten Daten. Anhand von Demonstrationsversuchen werden ferner die Eigenschaften und das Verhalten technischer Barrieren (Bentonit, Zement, Stahlbehälter) in Wechselwirkung untereinander und mit der geologischen Barriere untersucht, um die für die Sicherheitsbeurteilung erforderlichen Datensätze zum Gesamtverhalten des Barrierensystems zu gewinnen. 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 auf- beziehungsweise ausgebaut und es werden für die aufsichtliche Beurteilung eigene Datensätze und Modelle entwickelt. Das ENSI wird dabei wesentlich durch die Lehrstühle für Ingenieurgeologie an der ETH Zürich und der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen unterstützt und arbeitet darüber hinaus mit zahlreichen Institutionen aus dem In- und Ausland zusammen, namentlich mit der Université de Neuchâtel, dem Bundesamt für Landestopografie swisstopo, dem British Geological Survey und dem Lawrence Berkeley National Laboratory.



**Bohrung in der
Open-Twin-Nische im
Felslabor Mont Terri.
Foto: swisstopo**

Die Arbeitsprogramme für das Felslabor Mont Terri werden jährlich von einem Steuerungsausschuss gemeinsam festgelegt, in dem auch das ENSI als Projektpartner mitwirkt. Details zu den aktuellen Experimenten unter der Leitung oder Beteiligung des ENSI sind im Erfahrungs- und Forschungsbericht 2021 beschrieben. Als Projektpartner nutzt das ENSI auch den Einblick in die Resultate aus weiteren Experimenten, an denen es sich nicht direkt beteiligt.

In dem von der Nagra betriebenen Felslabor Grimsel hat das ENSI Beobachterstatus und beteiligt sich nicht aktiv an den Experimenten. Von Interesse sind hier vor allem diejenigen Experimente, die unabhängig vom Wirtgestein Prozesse im Nahfeld untersuchen sowie Techniken zur Erfassung sicherheitsrelevanter Daten entwickeln.

9.6 Internationaler Wissenstransfer

Basis der fachlichen Beurteilungsarbeit des ENSI ist die Festlegung des Stands 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 Stands 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 9.5) engagiert sich das ENSI in internationalen Forschungsprojekten zur Entsorgung und arbeitet in verschiedenen internationalen Gremien.

Das ENSI beteiligte sich im Berichtsjahr ebenfalls an den Aktivitäten der Arbeitsgruppen der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit (OECD) und der Nuclear Energy Agency (NEA). Diese umfassen die 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 Forschungsk Kooperation, 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 VALida-



**Einführung einer RFA-Sonde, Experiment im Felslabor Mont Terri.
Foto: swisstopo**

tion 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 werden von der Nagra und den anderen Partnern des Experiments zur Verfügung gestellt. Für das Arbeitspaket wurden drei Arbeitsschritte definiert. Im ersten Schritt erfolgt eine Vergleichsrechnung mit einem geometrisch vereinfachten zweidimensionalen Modell, das die wesentlichen auftretenden Prozesse berücksichtigt. Der erste Arbeitsschritt konnte im Laufe des Berichtsjahres erfolgreich abgeschlossen werden. Anschliessend begannen die Teams an den 3D-Modellen für das FE-Experiment mit einer vereinfachten Geometrie zu arbeiten. Erste Ergebnisse für die Vorhersage der Entwicklung von Temperatur und Porenwasserdruck ohne Kenntnis der Messwerte liegen bereits vor. Im zweiten Schritt erfolgt im Jahr 2022 die Kalibrierung der Modelle anhand der Messergebnisse. Im dritten Schritt wird

das FE-Experiment detaillierter in den mathematischen Modellen abgebildet, wobei die genaue Tunnelgeometrie sowie die Auswirkungen des Tunnelausbruchs und der anschliessenden Belüftungsphase berücksichtigt werden.

BIOPROTA

BIOPROTA ist ein internationales Forum, das sich mit Prozessen zur Freisetzung von Radionukliden aus einem Lager für radioaktive Abfälle in die Biosphäre befasst. Das ENSI ist seit 2012 Mitglied des Forums. Die Mitgliedschaft dient der Kompetenzerweiterung des ENSI im Bereich der Biosphärenmodellierung. Die Arbeiten betreffen 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. Aktuell beteiligt sich das ENSI an einem Schwerpunktprojekt zum Thema «Transport von C-14 in terrestrischen und Süswasserumgebungen». Ausserdem fanden aufgrund der Covid-19-Pandemie virtuelle Workshops zu weiteren Themen statt.

IGSC

Im Berichtsjahr fand aufgrund der Covid-19-Pandemie nur ein kurzes Treffen der Arbeitsgruppe «Integration Group for the



**Photogrammetrie-Experiment im Felslabor Mont Terri.
Foto: swisstopo**

Safety Case» (IGSC) statt. Die Arbeitsgruppe organisiert zusammen mit dem Forum on Stakeholder Confidence (FSC) für den Mai 2022 einen internationalen Workshop zum Thema «Building Confidence in the Face of Uncertainty: The Role of the Safety Case» in der Schweiz. Als Vorbereitung für die Fachgruppen Sicherheit der Regionalkonferenzen in den drei Standortgebieten wurde in das oben genannte Thema eingeführt. Die Fachgruppen wurden gebeten, ihre Anliegen zu diesem Thema zu konkretisieren und in den geplanten Workshop einzubringen.

Clay Club

Die Working Group on Measurements and Physical Understanding of Water Flow through Argillaceous Media, kurz Clay Club, verfolgt auf internationaler Ebene den aktuellen Stand der Tongesteinsforschung und tauscht Erfahrungen dazu aus. An der Jahressitzung des Clay Clubs vom 17. November 2021 wurde über die laufenden Projekte informiert sowie die Planung zukünftiger Projekte diskutiert.

Unter der Leitung der Universität Bern wird das Projekt CLAYWAT (Binding state and mobility of WATER in CLAY-rich media) bearbeitet. Darin geht es um die Verbesserung der Methoden zur Bestimmung des Porenwassergehaltes in Tonen und Schiefer-tonen, die Interpretation der Porenwasser-Zusammensetzung aus Extraktionsexperimenten, die advective Mobilität des Porenwassers und die Evaluation geeigneter Methoden

zur Charakterisierung des Bindungszustands von Porenwasser. Die wissenschaftlichen Resultate des Projekts wurden im Erfahrungs- und Forschungsbericht 2021 des ENSI präsentiert.

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 vier Berichtsentwürfe zu den Themen «Fire Risk Management», «Development of Waste Acceptance Criteria», «Transport and Emplacement Systems» und «Gefährdungsbilder für den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers». Zudem befasste sich die EGOS im Rahmen ihrer Jahressitzung schwerpunktmässig mit den verschiedenen Herangehensweisen der vertretenen Länder an den Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase von geologischen Tiefenlagern.

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, unfallbedingter Flugzeugabsturz 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 dem Artikel 41 der Kernenergieverordnung verlangt das ENSI für alle schweizerischen KKW PSA-Studien der Stufen 1 und 2. Die Quantifizierung von Risiken, die sich aus Sabotage, Terroranschlägen oder Kriegshandlungen ergeben, ist üblicherweise nicht Gegenstand einer PSA und wird dementsprechend auch in den schweizerischen PSA nicht durchgeführt. 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. Jede Betreiberin hat eine anlagen-spezifische PSA entwickelt und aktualisiert diese regelmässig.

Im Berichtsjahr wurden im Wesentlichen folgende Arbeiten durchgeführt:

- Im Rahmen der Umsetzung der Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 reichten das Kernkraftwerk Beznau (KKB), das Kernkraftwerk Gösgen (KKG) und das Kernkraftwerk Leibstadt (KKL) im Berichtsjahr mehrere Neubewertungen von seismischen Komponenten-Versagenswahrscheinlichkeiten (engl. Fragilities) ein. Diese zusätzlichen Analysen werden in die Überprüfung der zur Erfüllung von Dispositivziffer 2 C der Verfügung vom 26. Mai 2016 eingereichten neuen Erdbeben-PSA mit einbezogen.

- Die vom KKB eingereichten Unterlagen umfassen eine überarbeitete PSA der Stufe 2 für die Bewertung des Leistungsbetriebes, eine PSA der Stufe 1 für die Bewertung des Stillstandes und eine PSA für die Bewertung des Brennelementbeckens bei Leistungsbetrieb.

- Ferner setzte das ENSI die Prüfung des vom KKG im Rahmen der periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) eingereichten PSA-Modells und der zugehörigen Dokumentation fort.

Die International Atomic Energy Agency (IAEA) empfiehlt für bereits bestehende Anlagen im Leistungsbetrieb ein probabilistisches Sicherheitsziel einer Kernschadenshäufigkeit von weniger als 10^{-4} pro Jahr. Das KKB, KKG und KKL halten dieses gemäss den per Ende 2021 vorliegenden Analysen ein. Für abgeschaltete KKW hat die IAEA kein entsprechendes Sicherheitskriterium formuliert. Die Brennstoffschadenshäufigkeit des Kernkraftwerks Mühleberg lag per Ende 2021 jedoch ebenfalls unterhalb von 10^{-4} pro Jahr.

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 Kernkraftwerksbetreiberinnen reichten eine probabilistische Bewertung der Betriebserfahrung des Vorjahres (2020) 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 2020 erfüllten die Anforderungen gemäss der Richtlinie ENSI-A06.

Unter latenten Fehlern werden Fehler verstanden, die unentdeckt bleiben, bis die betroffene Komponente angefordert oder geprüft wird. 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 KKG und im KKL wurden keine latenten Fehler mit risikotechnischem Einfluss beobachtet. In beiden Blöcken des KKB lagen aufgrund einer Montageabweichung an den Notstanddieselelektrogeneratoren latente Fehler vor. Die im Jahr 2020 beobachteten latenten Fehler trugen massgeblich zum jährlichen kumulativen Risiko in beiden Blöcken des KKB bei.

Meldepflichtige Vorkommnisse werden gemäss der Richtlinie ENSI-B03 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. Ein Vorkommnis wird anhand der $ICCDP_{Vorkommnis}$ einer der Stufen 0 bis 3 der Internationalen Ereignisskala INES zugeordnet.

Im Berichtsjahr (2021) waren alle meldepflichtigen Vorkommnisse risikotechnisch unbedeutend. Das heisst, sie wurden auf der Internationalen Ereignisskala INES auf-

grund 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 auf einem separaten 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 folgenden Funktionen:

■ Das PI-Modul unterstützt den Picketingenieur (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.

Das ADAM-System wurde – wo notwendig – aktualisiert und insbesondere bezüglich Sensorbeschreibungen aufdatiert.

10.4 Kerntechnische Ausbildung

Der Betrieb der Reaktorschule am Bildungszentrum des Paul Scherrer Instituts (PSI) wurde im Jahr 2020 eingestellt. Die im gleichen Jahr gegründete Nuklear-technikerschule in Baden bietet seither die kerntechnische Grundausbildung für

zulassungspflichtiges Kernkraftwerkspersonal, die Ausbildung zum Techniker HF, Fachrichtung Grossanlagenbetrieb und das Grundlagenausbildungsangebot für leitendes Personal im kerntechnischen Bereich (Instandhaltungspersonal, technisch-wissenschaftliches Personal, Personal von Herstellern, Dienstleistern und Gutachtern usw.) an. Damit können insbesondere die Anforderungen im Bereich der kerntechnischen Grundlagenausbildung gemäss der Richtlinie ENSI-B10 (Ausbildung, Wiederholungsschulung und Weiterbildung von Personal) sowie der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) weiterhin erfüllt werden.

10.5 Aus- und Fortbildung im Strahlenschutz

Das ENSI stützt sich für seine Aufsicht im Bereich der Aus- und Fortbildung im Strahlenschutz auf die Strahlenschutz-Ausbildungsverordnung und ist unter anderem zuständig für die Anerkennung von Kursen für das Strahlenschutzpersonal, das in den Kernanlagen eingesetzt wird.

Im Berichtsjahr anerkannte das ENSI einen von der Gruppe der schweizerischen Kernkraftwerksleitern (GSKL) entwickelten Strahlenschutzkurs. Die Aus- und Fortbildung für anerkanntes Strahlenschutzpersonal in Kernanlagen liegt somit nicht mehr alleine in den Händen des PSI.

10.5.1 Aus- und Fortbildung am PSI

Das PSI meldete im Berichtsjahr die Änderung der Kursleitung und deren Stellvertretung für die Strahlenschutz-Ausbildungskurse K871 und K872 für die Berufsgruppen «Fahrzeugführer von radioaktivem Material gemäss Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse» und «Fahrzeugführer von radioaktiven Material gemäss europäischem Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse». Das ENSI bestätigte der Strahlenschutz-Ausbildungsverordnung entsprechend die Anerkennung dieser Kurse unter der neuen Kursleitung. Das PSI führte im Berichtsjahr erstmals sämtliche vom ENSI anerkannten Aus- und

Fortbildungskurse abschliessend in einem Jahr durch. Die Ausbildungskurse für Strahlenschutz-Sachverständige, für Strahlenschutztechnikerinnen und -techniker sowie für Strahlenschutzfachkräfte umfassten insgesamt 29 Wochen Unterricht. Zusätzlich wurden zwei Zusatz-Ausbildungsmodulare für Strahlenschutzfachkräfte mit IHK-Zertifikat (Zertifikat einer Industrie- und Handelskammer) durchgeführt. Diese Module umfassen insgesamt zwei Wochen Unterricht.

Das ENSI beurteilte die Qualität des Unterrichts der oben genannten Kurse stichprobenweise, beaufsichtigte die Prüfungen und attestierte der Schule, dass das Niveau der Lehrveranstaltungen die Anforderungen erfüllt.

10.5.2 Zusatzkurs für Strahlenschutz-Fachkräfte

Im Auftrag der GSKL beantragte das Kernkraftwerk Leibstadt im Berichtsjahr die Anerkennung eines Zusatzlehrgangs für Strahlenschutzfachkräfte, welche vor der Industrie- und Handelskammer Aachen (IHK) eine Prüfung im Strahlenschutz erfolgreich abgelegt haben. Mit dem Besuch des von der GSKL erarbeiteten Zusatzkurses sollen den IHK-Fachkräften die Kenntnisse über die spezifisch schweizerischen Vorgaben der Strahlenschutzgesetzgebung vermittelt werden. Nach erfolgreich bestandener schriftlicher Prüfung gelten die IHK-Fachkräfte als Schweizer Strahlenschutzfachkräfte mit eingeschränktem Einsatzbereich. Ihr Einsatzbereich ist auf die Kernkraftwerke beschränkt. Tätigkeiten an Beschleunigeranlagen sowie an Röntgenanlagen sind nicht erlaubt.

Das ENSI beurteilte die Kursunterlagen sowie die Prüfungsfragen. Es attestierte der GSKL, dass die Anforderungen an den Zusatzkurs erfüllt sind und erteilte die Kursanerkennung. Aufgrund des Einsatzes sehr erfahrener Strahlenschutz-Sachverständiger der GSKL-Betriebe und der Zwiilag als Dozenten sind die Lektionen fachtechnisch auf hohem Niveau sowie ausserordentlich praxisnah. Der Kurs wurde zusätzlich als Fortbildungskurs für Strahlenschutzfachleute mit schweizerischer Anerkennung akzeptiert.

Anhang

Erläuterungen zur Sicherheitsbewertung	108
Abbildung 1: ENSI-Sicherheitsbewertungsskala	109
Abbildung 2: Definition der ENSI-Kategorien G, N, V und A	111
Tabelle 1: Hauptdaten der schweizerischen Kernkraftwerke 2021	112
Tabelle 2: Betriebsdaten der schweizerischen Kernkraftwerke 2021	112
Tabelle 3: Bestand an zulassungspflichtigem Personal und Gesamtbelegschaft in den Kernkraftwerken Ende 2021	112
Tabelle 4: Meldepflichtige Vorkommnisse im Bereich der nuklearen Sicherheit 2021	113
Tabelle 5: Kollektivdosen in den schweizerischen Kernkraftwerken im Berichtsjahr	114
Tabelle 6: Radioaktive Abfälle in den Kernkraftwerken und bei der Bundessammelstelle am PSI per 31.12.2021	114
Tabelle 7: Radioaktive Abfälle in den Anlagen der Zwiilag per 31.12.2021	114
Figur 1: Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung 2012–2021	115
Figur 2: Meldepflichtige Vorkommnisse 2012–2021	116
Figur 3: Ungeplante Reaktorschnellabschaltungen (Scrams) 2012–2021	117
Figur 4: Brennstabschäden (Anzahl Stäbe) 2012–2021	118
Figur 5a: Funktionsschema eines Kernkraftwerks mit Druckwasserreaktor	119
Figur 5b: Funktionsschema eines Kernkraftwerks mit Siedewasserreaktor	119

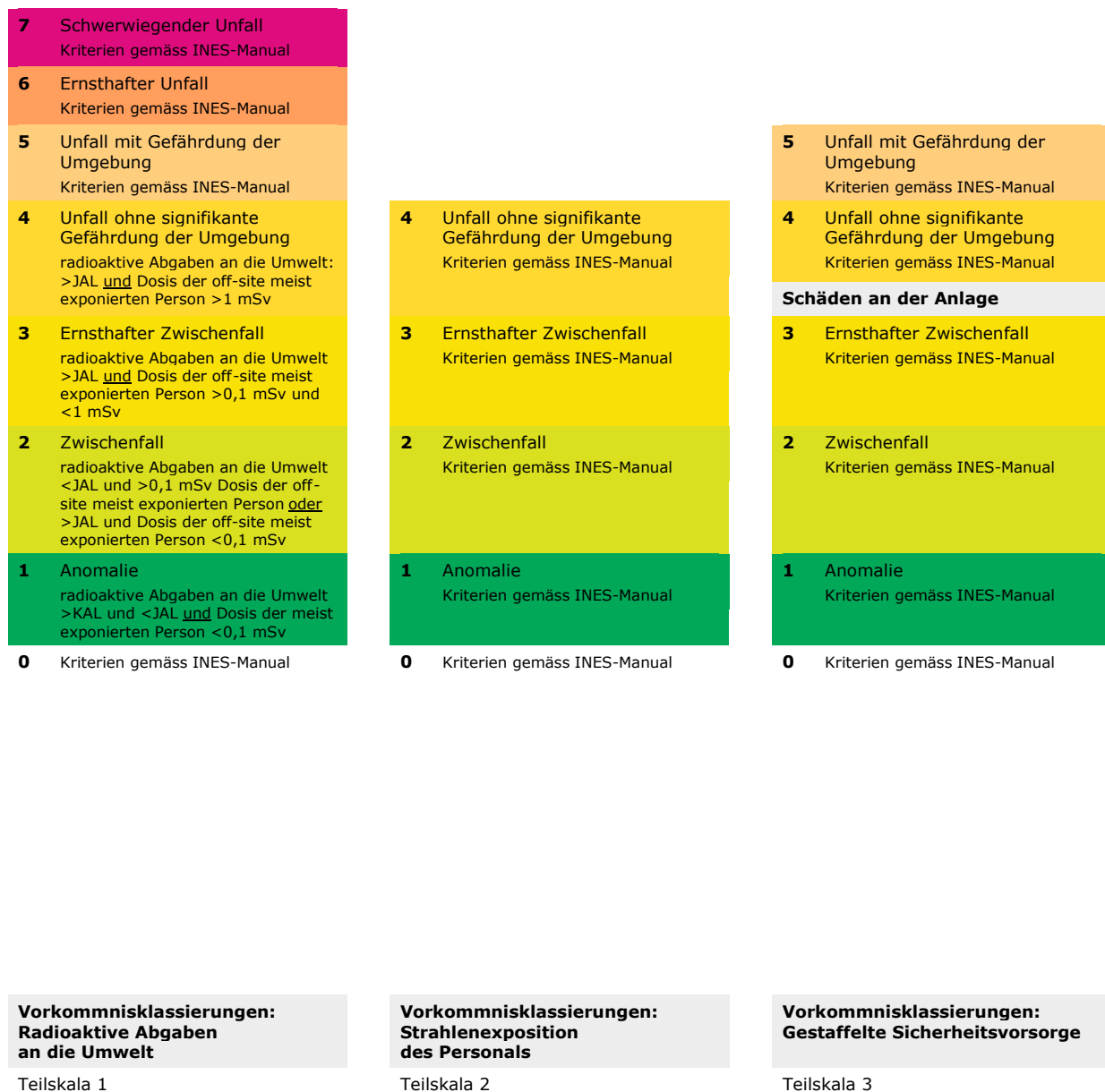
Erläuterungen zur Sicherheitsbewertung

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, Vorkommisanalysen 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



4	Unfall ohne signifikante Gefährdung der Umgebung ICCDP _{Vork.} = 1
3	Ernsthafter Zwischenfall 1E-2 < ICCDP _{Vork.} < 1
2	Zwischenfall 1E-4 < ICCDP _{Vork.} < 1E-2
1	Anomalie 1E-6 < ICCDP _{Vork.} < 1E-4

0 ICCDP_{Vork.} < 1E-6

**Vorkommniklassierungen:
ICCDP_{Vorkommnis}
gemäss ENSI-A06**

Teilskala 4

7	7	Schwerwiegender Unfall
6	6	Ernsthafter Unfall
5	5	Unfall mit Gefährdung der Umgebung
4	4	Unfall ohne signifikante Gefährdung der Umgebung
3	3	Ernsthafter Zwischenfall
2	2	Zwischenfall
1	1	Anomalie
unterhalb der Skala	A	Abweichung
	V	Verbesserungsbedarf
	N	Normalität
	G	Gute Praxis
INES	ENSI	Zellen-Bewertungen in Sicherheitsbewertungsmatrix

Kategorien	Kriterien
≥ 1	nach INES-Kriterien
A Abweichung	<ul style="list-style-type: none"> 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: $10^{-8} < ICCDP_{\text{Vork.}} < 10^{-6}$
V Verbesserungsbedarf	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> Erfüllung der Vorgaben
G Gute Praxis	<ul style="list-style-type: none"> 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 2021

	KKB 1	KKB 2	KKG	KKL
Thermisch erzeugte Energie [GWh]	9521	8877	23675	14473
Abgegebene elektrische Nettoenergie [GWh]	3071	2850	7900	4802
Abgegebene thermische Energie [GWh]	173,7	10,9	236,3	–
Zeitverfügbarkeit ¹ [%]	96,4	89,9	90,2	46,8
Nichtverfügbarkeit durch Jahresrevision [%]	3,7	10,3	9,6	53,6
Arbeitsausnutzung ² [%]	96,1	89,2	89,6	45,5
Anzahl ungeplanter Schnellabschaltungen (Scrams)	0	0	1	1
Unvorhergesehenes Abfahren der Anlage	0	0	0	0
Störungsbedingte Leistungsreduktionen ³ (> 10 % P _N)	1	0	0	0

Tabelle 2:
Betriebsdaten der
schweizerischen
Kernkraftwerke 2021

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 % P_N an der Tagesleistung gemessen

	KKB 1 + 2	KKM	KKG	KKL
Reaktoroperateure	36 (37)	13 (18)	31 (33)	22 (23)
Schichtchefs	27 (29)	12 (12)	18 (19)	15 (15)
Piketingenieure	16 (14)	4 (6)	13 (11)	14 (16)
Strahlenschutzsachverständige	8 (8)	4 (4)	4 (4)	4 (4)
Strahlenschutzfachkräfte	9 (11)	16 (12)	6 (6)	12 (13)
Strahlenschutztechniker	8 (6)	9 (9)	6 (6)	6 (6)
Gesamtbelegschaft (Personen)	481 (467)	279 (296)	574 (566)	506 (514)

Tabelle 3:
Bestand an zulas-
sungspflichtigem
Personal und
Gesamtbelegschaft
in den Kernkraft-
werken (ohne Lernen-
de) Ende 2021
(in Klammern Werte
von 2020)

Datum	KKW	Vorkommnis	Einstufung INES
27.04.2021	KKB 1	Manuelle Abschaltung einer Turbogruppe wegen einer Ölleckage	0
21.05.2021	KKL	Nicht spezifikationskonform beladener Brennelement-Transportbehälter	0
22.05.2021	KKG	Ausfall der Brennelement-Austrittstemperaturmessung aufgrund einer vorzeitig ausgeführten Messsimulation ohne Freigabe	0
25.05.2021	KKG	Leckage an einem Vorsteuerventil eines Frischdampf-Sicherheitsventils	0
26.05.2021	KKG	Fehlende Fusschrauben an zwei Brennelementen	0
28.05.2021	KKG	Abstandhalterbeschädigungen an Brennelementen	0
03.06.2021	KKG	Frettingschaden an einem Brennelement	0
25.06.2021	KKM	Ausfall einer Kaminabluft-Edelgasaktivitätsmessung	0
05.07.2021	KKL	Nichtbeachtung der Dosimetertragepflicht	0
26.07.2021	KKM	Ausfall einer Kaminabluft-Aerosolaktivitätsmessung	0
09.09.2021	KKB 2	Unzulässige Leckrate an der Spülluftklappe im Abluftpfad	0
09.09.2021	KKB 2	Startversagen einer Sicherheitseinspeisepumpe im Rahmen einer Funktionsprüfung	0
13.09.2021	KKB 1	Leckage von Duschen- und Wäschereiabwasser in einen Versorgungskanal	0
06.10.2021	KKG	Defekte Relaisbaugruppe bei Gebäudeabschlussarmaturen für Lüftungstechnische Anlagen	0
12.10.2021	KKL	Mehr als drei Alarmer an den Personenkontaminationsmonitoren innerhalb von 12 Stunden	0
28.10.2021	KKL	Nichtbeachtung der Dosimetertragepflicht	0
12.11.2021	KKG	Einsatz einer Verarbeitungseinheit mit nicht angepassten Anlageparametern	0
02.12.2021	KKB 1	Ausfall eines Notstand-Fortluftluftventilators	0
03.12.2021	KKL	Manuelle Schnellabschaltung infolge erhöhter Wasserstoffkonzentration in der Abgasanlage	0
07.12.2021	KKM	Kurzzeitige Nichtverfügbarkeit der Kamininstrumentierung	0
07.12.2021	KKG	Ausfall einer Kaminmessstelle für die Überwachung der Beta-Aktivität	0
17.12.2021	KKB 1	Kurzzeitiger Ausfall einer Ladepumpe im Chemie- und Volumenregelsystem	0

**Tabelle 4:
Meldepflichtige
Vorkommnisse
im Bereich der
nuklearen
Sicherheit 2021**

	KKB 1		KKB 2		KKG		KKL		KKM	
Aktionen	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Brennelementwechsel		51	36							
Revisionsstillstand	226			243	113	271	938	176		
Stilllegung									458	332
Leistungsbetrieb*	37	42	34	35	49	58	317	3420		
Total	263	93	70	278	162	329	1255	3596	458	332

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

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

	unkonditioniert			konditioniert		
	Anfall	Auslagerung ¹	Bestand	Produktion	Auslagerung ²	Bestand
PSI	52	10	620	18	–	1639
KKB	23	22	49	6	–	1215
KKM	71	44	90	12	258	412
KKG	20	11	27	–	–	91
KKL	140	130	16	7	–	1414
Total	306	217	802	43	258	4771
				Zugang		Bestand
Anzahl Behälter mit Brennelementen im KKB				1	–	15

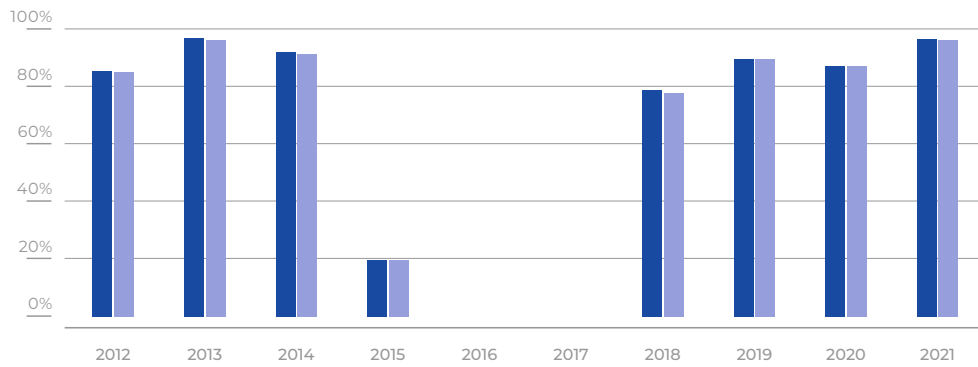
Tabelle 6:
Radioaktive Abfälle in den Kernkraftwerken und bei der Bundes-sammelstelle am PSI per 31.12.2021 (inklusive Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung), Bruttovolumina gerundet in m³

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

	unkonditioniert			konditioniert
	Anfall ¹	Annahme zur Konditionierung beziehungsweise Triage ²	Bestand ³	Produktion
Verarbeitung [m ³]	32	1540	1983	–
Bestand (konditionierte Abfälle)		Einlagerung	Auslagerung	Bestand
Bruttovolumen konditionierter Abfälle* [m ³]		258	–	2826
Anzahl Behälter mit Brennelementen		1	–	47
Anzahl Behälter mit Glaskokillen		–	–	23
Anzahl Behälter mit Lucens-Abfällen		–	–	6

Tabelle 7:
Radioaktive Abfälle in den Anlagen der Zwiilag per 31.12.2021

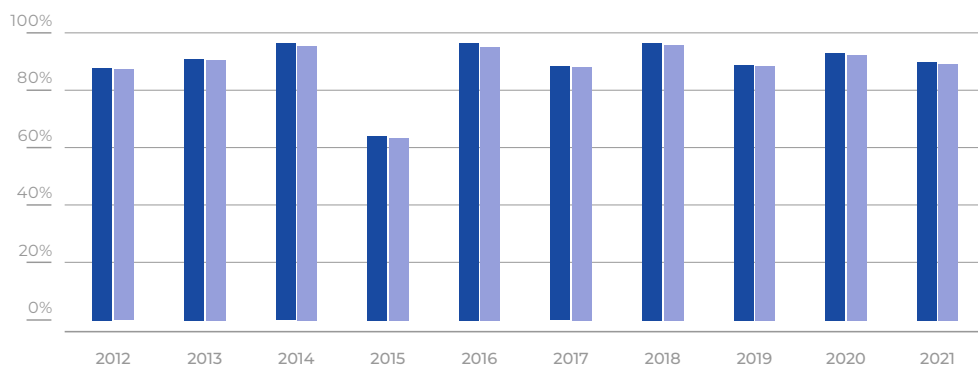
- ¹ Hierin enthalten sind:
– Sekundärabfälle aus allen Betriebsbereichen der Zwiilag
– Im Werksauftrag entstandene, zu verarbeitende Abfälle
² Nur teilweise radioaktiver Abfall
³ Hierin enthalten sind 38 Gebinde (8 m³) mit leicht angereichertem uranhaltigem Material aus dem Versuchsatomkraftwerk Lucens.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



**Figur 1:
Zeitverfügbarkeit und
Arbeitsausnutzung
2012–2021**

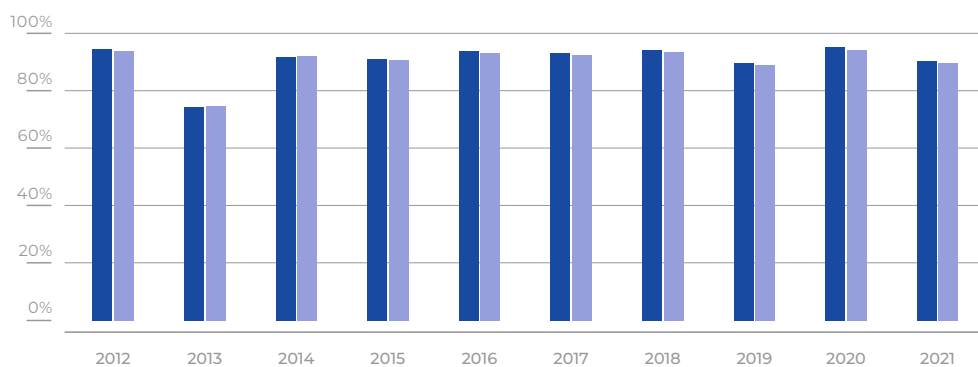
KKB 1

■ Zeitverfügbarkeit ■ Arbeitsausnutzung



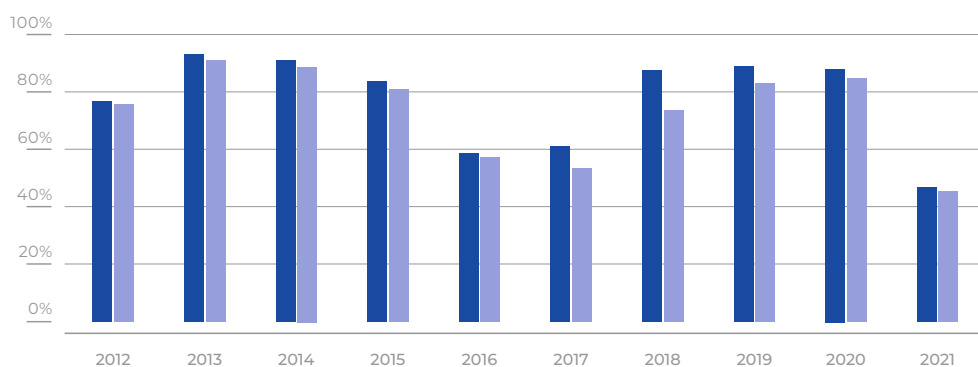
KKB 2

■ Zeitverfügbarkeit ■ Arbeitsausnutzung



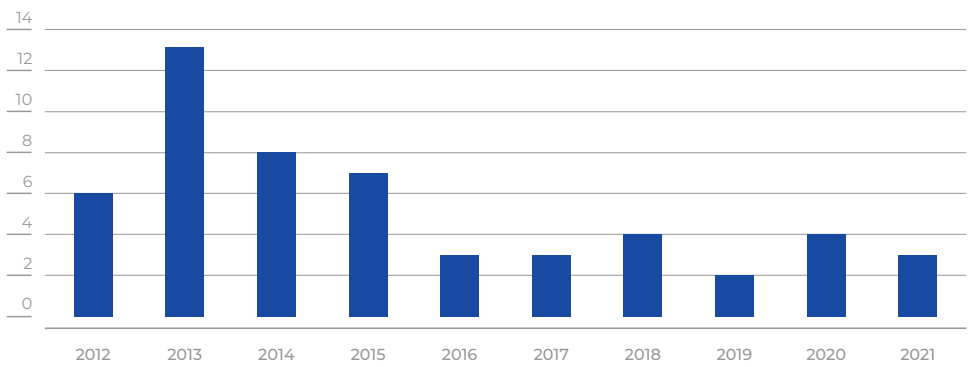
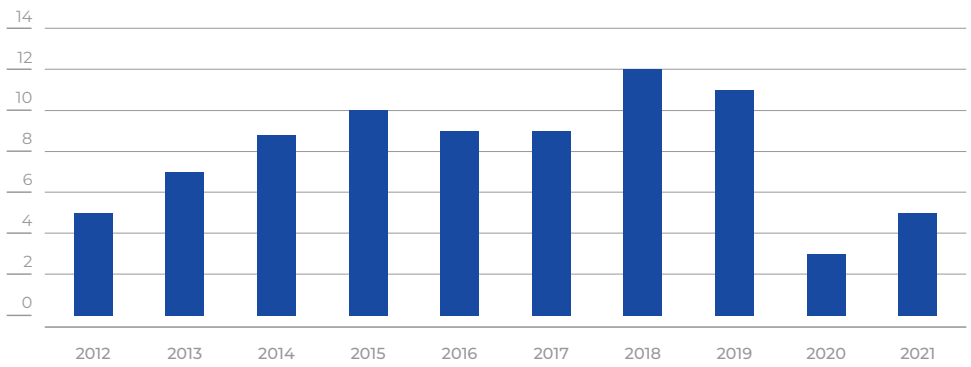
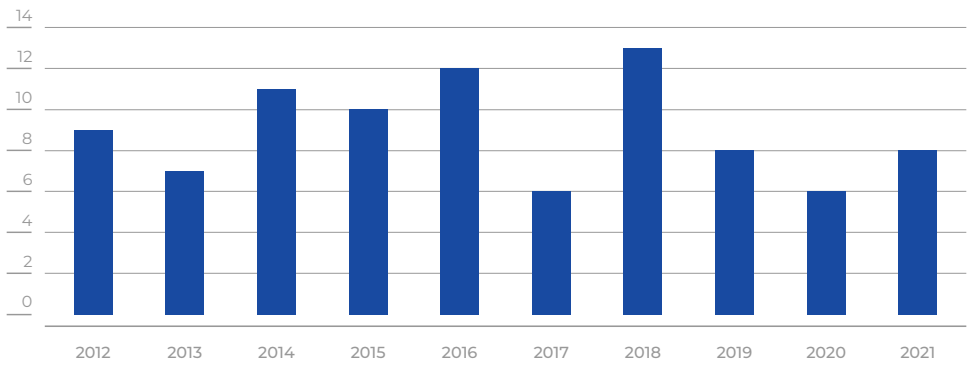
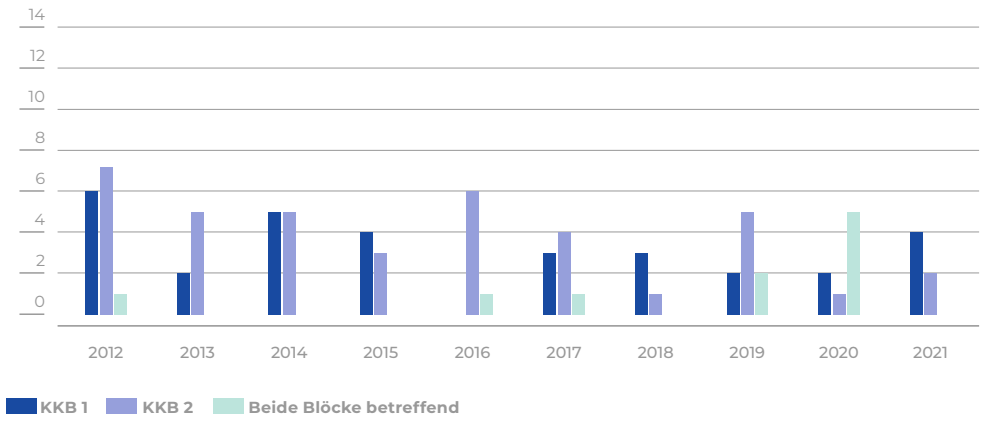
KKG

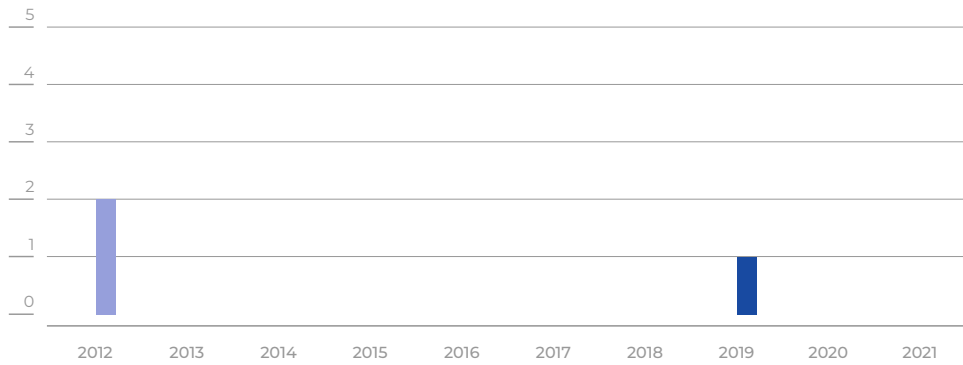
■ Zeitverfügbarkeit ■ Arbeitsausnutzung



KKL

■ Zeitverfügbarkeit ■ Arbeitsausnutzung

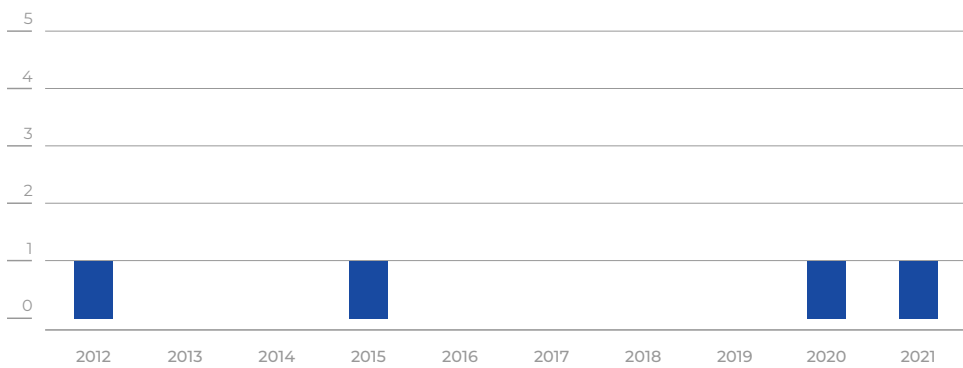




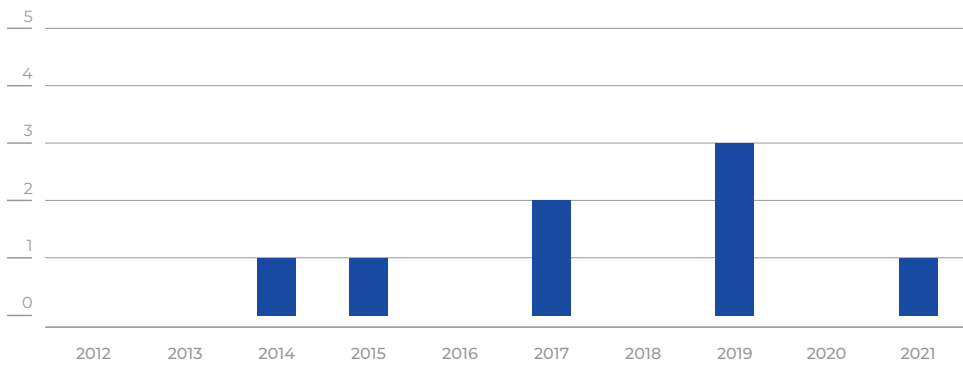
Figur 3:
Ungeplante
Reaktorschnell-
abschaltungen
(Scrams) 2012–2021

KKB 1+2

■ KKB 1 ■ KKB 2



KKG



KKL



**Figur 4:
Brennstabschäden
(Anzahl Stäbe)
2012–2021**

KKB 1+2



KKG

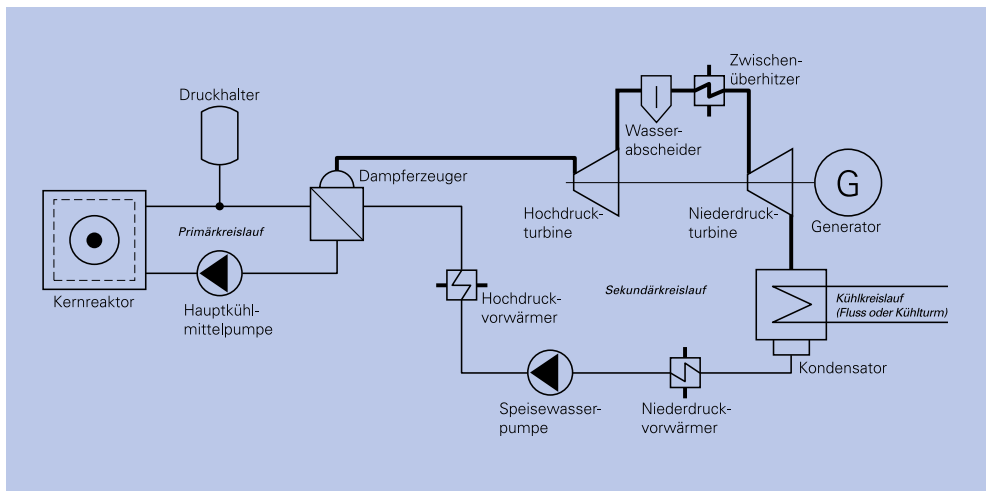


KKL

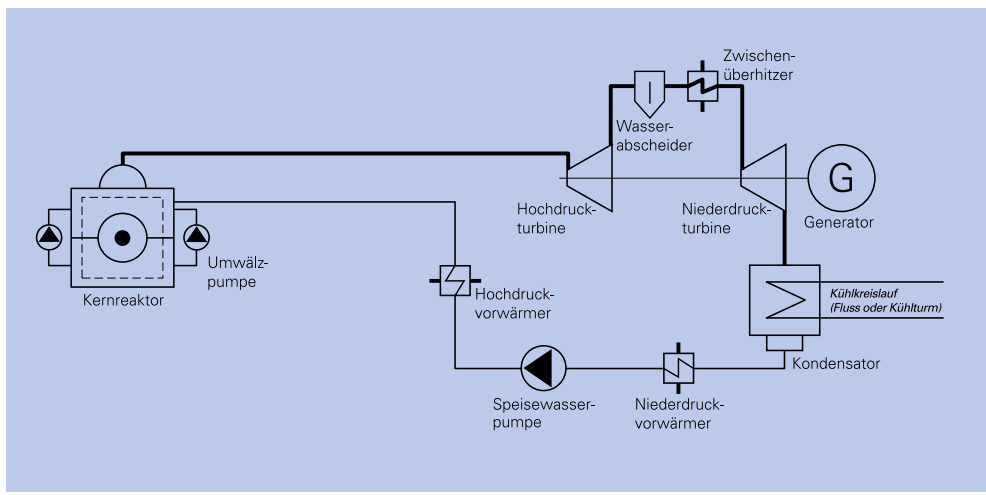
■ geringfügige Schäden ^a ■ grössere Schäden ^b

^a z. B. Haarrisse im Hüllrohr

^b z. B. grosser Riss oder Bruch des Hüllrohrs mit Brennstoffauswaschung



Figur 5a:
Funktionsschema
eines Kernkraft-
werks mit Druck-
wasserreaktor



Figur 5b:
Funktionsschema
eines Kernkraft-
werks mit Siede-
wasserreaktor

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

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

© ENSI, Juni 2022

ENSI-AN-11140
Web: ISSN 1661-2876
Druck: ISSN 1661-2868

ENSI
Industriestrasse 19
5201 Brugg
Schweiz

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