



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 2018

zur nuklearen Sicherheit in den schweizerischen Kernanlagen

Aufsichtsbericht 2018

zur nuklearen Sicherheit in den schweizerischen Kernanlagen

Rapport de Surveillance 2018

sur la sécurité nucléaire dans les installations nucléaires en Suisse

Regulatory Oversight Report 2018

concerning nuclear safety in Swiss nuclear installations

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4
Préface	6
Foreword	8
Zusammenfassung und Übersicht	9
Résumé et aperçu	12
Summary and Overview	15
1. Kernkraftwerk Beznau	19
1.1 Überblick	19
1.2 Betriebsgeschehen	20
1.3 Anlagentechnik	21
1.4 Strahlenschutz	24
1.5 Radioaktive Abfälle	25
1.6 Notfallbereitschaft	25
1.7 Personal und Organisation	26
1.8 Periodische Sicherheitsüberprüfung	27
1.9 Sicherheitsbewertung	28
2. Kernkraftwerk Mühleberg	31
2.1 Überblick	31
2.2 Betriebsgeschehen	32
2.3 Anlagentechnik	34
2.4 Strahlenschutz	36
2.5 Radioaktive Abfälle	37
2.6 Notfallbereitschaft	37
2.7 Personal und Organisation	38
2.8 Vorbereitung der Stilllegung	39
2.9 Sicherheitsbewertung	39
3. Kernkraftwerk Gösgen	41
3.1 Überblick	41
3.2 Betriebsgeschehen	42
3.3 Anlagentechnik	46
3.4 Strahlenschutz	48
3.5 Radioaktive Abfälle	49
3.6 Notfallbereitschaft	50
3.7 Personal und Organisation	50
3.8 Sicherheitsbewertung	51
4. Kernkraftwerk Leibstadt	53
4.1 Überblick	53
4.2 Betriebsgeschehen	54
4.3 Anlagentechnik	61
4.4 Strahlenschutz	63
4.5 Radioaktive Abfälle	64
4.6 Notfallbereitschaft	65
4.7 Personal und Organisation	65
4.8 Periodische Sicherheitsüberprüfung	66
4.9 Sicherheitsbewertung	66

5. Zentrales Zwischenlager Würenlingen	69
5.1 Zwischenlagergebäude	69
5.2 Konditionierungsanlage	70
5.3 Plasma-Anlage	70
5.4 Strahlenschutz	70
5.5 Notfallbereitschaft	71
5.6 Personal und Organisation	72
5.7 Vorkommnisse	72
5.8 Gesamtbeurteilung	72
6. Paul Scherrer Institut	73
6.1 Hotlabor	73
6.2 Kernanlagen in der Stilllegung	74
6.3 Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle	75
6.4 Strahlenschutz	77
6.5 Notfallbereitschaft	77
6.6 Personal und Organisation	78
6.7 Vorkommnisse	78
6.8 Schule für Strahlenschutz	79
7. Weitere Kernanlagen	81
7.1 École Polytechnique Fédérale de Lausanne	81
7.2 Universität Basel	81
8. Transporte und Behälter	83
8.1 Genehmigungen nach Gefahrgutgesetzgebung	83
8.2 Bewilligungen nach Strahlenschutzgesetzgebung	83
8.3 Bewilligungen nach Kernenergiegesetzgebung	84
8.4 Beschaffung von Transport- und Lagerbehältern	85
8.5 Inspektionen und Audits	86
9. Geologische Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle	87
9.1 Einleitung	87
9.2 Sachplan geologische Tiefenlager	88
9.3 Sondierbohrungen für die Etappe 3	90
9.4 Entsorgungsprogramm	91
9.5 Expertengruppe geologische Tiefenlagerung	92
9.6 Felslaboratorien	93
9.7 Internationaler Wissenstransfer	93
10. Anlagenübergreifende Themen	97
10.1 Probabilistische Sicherheitsanalysen	97
10.2 Risikotechnische Beurteilung der Betriebserfahrung	97
10.3 ADAM-System	98
Anhang	99

Vorwort



Die schweizerischen Kernanlagen sind im Jahr 2018 sicher betrieben worden. Davon überzeugten wir uns mit rund 450 angemeldeten und unangemeldeten Inspektionen. Der Schutz der Bevölkerung und der Umwelt war jederzeit gewährleistet. In den fünf Schweizer Kernkraftwerken waren im Berichtsjahr insgesamt 33 meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen. Die Anzahl Vorkommnisse lag damit im Rahmen der Vorjahre. 31 der Vorkommnisse aus dem Berichtsjahr ordneten wir als Aufsichtsbehörde der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zu, zwei der Stufe 1. Die beiden INES-1-Vorkommnisse betrafen das Kernkraftwerk Leibstadt: Zu Beginn der Jahreshauptrevision kam es im Containment durch die ungenügende Wasserüberdeckung des ausgebauten Wasserabscheiders zu einer Erhöhung der Ortsdosisleistung. Ebenfalls zu einer INES-1-Bewertung führte eine eingeschränkte Verfügbarkeit der Systeme zur Wärmeabfuhr. Sämtliche Vorkommnisse werden jeweils umfassend analysiert. Die Kernkraftwerke ergreifen aufgrund der Untersuchungsergebnisse und aufgrund unserer Forderungen entsprechende vorbeugende Massnahmen.

Neben dem regulären Betrieb der Kernanlagen war das Berichtsjahr geprägt durch zwei verfahrensrechtliche Meilensteine: Das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) hat die Stilllegungsverfügung für das Kernkraftwerk Mühleberg erlassen und der Bundesrat hat die Etappe 2 des Sachplanverfahrens abgeschlossen.

In der Stilllegungsverfügung des UVEK für das Kernkraftwerk Mühleberg wird der nukleare Rückbau des Kernkraftwerks angeordnet. Das Kernkraftwerk Mühleberg führte dementsprechend 2018 in seinem 46. Betriebsjahr seine letzte Jahreshauptrevision durch und bereitete sich auf den Nachbetrieb vor. Wir werden das Kernkraftwerk Mühleberg auch nach seiner Abschaltung im Jahr 2019 während der Nachbetriebs- und Rückbauphase begleiten und darüber wachen, dass die Sicherheit sowohl im Nachbetrieb als auch bei der anschliessenden Stilllegung jederzeit gewährleistet bleibt.

Bei der Standortsuche für geologische Tiefenlager in der Schweiz wurde ein wichtiger Meilenstein erreicht. Der Bundesrat entschied im November 2018, dass die Nagra wie von uns vorgeschlagen die drei Standortgebiete Jura Ost, Zürich Nordost und Nördlich Lägern in der nun folgenden dritten Etappe weiter untersuchen soll. Damit ist die Etappe 2 des Sachplans geologische Tiefenlager abgeschlossen. In der dritten Etappe werden zudem die Lagerprojekte unter Einbezug der Standortregionen konkretisiert und die Auswirkungen der Lager auf die Gesellschaft und die Wirtschaft vertieft untersucht. Darüber hinaus hat die Nagra die Vor- und Nachteile eines Kombilagers für schwach- und mittelaktive sowie für hochaktive Abfälle an demselben Standort im Vergleich zu Lagern in separaten Standortgebieten darzulegen. Die letzte Etappe des Sachplans geologische Tiefenlager wird voraussichtlich bis 2029 dauern. Die heutige Planung sieht vor, dass das Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle ab 2050 und das Lager für hochaktive Abfälle ab 2060 in Betrieb gehen werden. Bis dahin werden die radioaktiven Abfälle unter unserer Aufsicht im Zentralen Zwischenlager in Würenlingen, das über genügend

Kapazitäten verfügt, um sämtliche radioaktiven Abfälle der schweizerischen Kernanlagen aufzunehmen, sicher aufbewahrt.

Unsere Aufsicht umfasst die Planung, den Bau, Betrieb, Nachbetrieb und Rückbau der Kernanlagen sowie die Zwischenlagerung und die Entsorgung der radioaktiven Abfälle in geologischen Tiefenlagern. Stets an oberster Stelle steht dabei die Sicherheit von Mensch und Umwelt. In diesem Sinne danke ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die sich auch im Jahr 2018 engagiert und verantwortungsvoll für den sicheren Betrieb der Kernanlagen und für eine sichere Verwahrung der radioaktiven Abfälle eingesetzt haben.

Dr. Hans Wanner
Direktor
Juni 2019

Préface

Les installations nucléaires suisses ont été exploitées de façon sûre au cours de l'année 2018. Nous nous en sommes convaincus avec les près de 450 inspections, annoncées ou non. La protection de la population tout comme celle de l'environnement ont été garanties à tout moment.

Au cours de l'exercice sous revue, on décompte dans les centrales nucléaires suisses au total 33 évènements devant être obligatoirement notifiés. Le nombre des évènements est resté ainsi en ligne avec celui des années passées. Au cours de l'exercice, nous avons, en qualité d'autorité de surveillance, classé 31 évènements au niveau 0 de l'Echelle internationale d'évènements nucléaires INES et deux au niveau 1. Les deux évènements classés INES-1 ont tous deux concerné la centrale nucléaire de Leibstadt. Au début de la révision principale annuelle, un recouvrement insuffisant du séparateur d'eau, démonté, a conduit à une hausse du débit de dose dans l'enceinte de confinement. La disponibilité limitée des systèmes d'évacuation de la chaleur a aussi été classé au niveau INES-1. L'ensemble des évènements feront l'objet d'une analyse approfondie. Les centrales nucléaires prennent des mesures préventives sur la base des résultats des examens et de nos propres exigences.

Outre l'exploitation régulière des centrales nucléaires, l'année sous revue a été marquée par deux étapes juridiques dans le domaine des procédures en cours. Le Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC) a édicté la décision de désaffectation de la centrale nucléaire de Mühleberg, tandis que le Conseil fédéral a achevé l'étape 2 de la procédure du plan sectoriel.

La décision du DETEC concernant la centrale nucléaire de Mühleberg ordonne la déconstruction nucléaire de la centrale. La centrale nucléaire de Mühleberg a donc effectué en 2018 sa dernière révision principale annuelle après sa 46^e année d'exploitation et se prépare pour la phase de post-exploitation. Nous accompagnerons la centrale nucléaire de Mühleberg après sa mise à l'arrêt en 2019 au cours de la phase de post-exploitation et de déconstruction, et au-delà, en veillant tout

particulièrement à la garantie de la sécurité aussi bien au cours de la post-exploitation que de sa désaffectation qui suivra.

En matière de recherche de sites pour le stockage en couches géologiques profondes en Suisse, une étape importante a été atteinte. Le Conseil fédéral a décidé en novembre 2018 que la Nagra devra poursuivre, comme nous l'avons nous-mêmes proposé, l'étude des trois domaines d'implantation Jura-est, Zurich nord-est et Nord des Lägern au cours de la troisième étape qui a commencé maintenant. L'étape 2 du plan sectoriel «dépôts en couches géologiques profondes» est dès lors achevée. Au cours de cette troisième étape, les projets de stockage vont être concrétisés, avec l'implication des régions d'implantation, et leurs effets sur la société et l'économie seront analysés en profondeur. La Nagra doit en outre exposer les avantages et les inconvénients d'un dépôt combiné pour les déchets faiblement et moyennement actifs ainsi que pour les déchets hautement actifs dans un même domaine d'implantation, en comparaison avec des dépôts situés dans des domaines d'implantation distincts. La dernière étape du plan sectoriel «Dépôts en couches géologiques profondes» durera vraisemblablement jusqu'en 2029. La planification d'aujourd'hui prévoit que le dépôt pour les déchets faiblement et moyennement actifs pourrait être mis en exploitation à partir de 2050 et celui pour les déchets hautement actifs en 2060. Jusque-là, les déchets radioactifs sont entreposés en toute sécurité et sous notre surveillance dans le Centre de stockage intermédiaire de Würenlingen, qui dispose de suffisamment de capacités pour recueillir la totalité des déchets radioactifs des centrales nucléaires suisses.

Notre surveillance s'étend de la planification, à la construction, de l'exploitation à la post-exploitation et à la déconstruction des centrales nucléaires, en passant par le stockage intermédiaire et la gestion des déchets radioactifs en couches géologiques profondes. Ce faisant, la priorité absolue est toujours accordée à la sécurité des êtres humains et de l'environnement. C'est dans cet esprit que j'adresse mes remerciements les plus vifs à l'ensemble des collaboratrices et des collaborateurs

qui, aussi en 2018, ont mis du leur, de façon engagées et responsable, en faveur de l'exploitation sûre des installations nucléaires et pour une garde en toute sécurité des déchets radioactifs.

Dr Hans Wanner

Directeur

Juin 2019

Foreword

Swiss nuclear installations operated safely in 2018. We verified that this was the case based on a total of some 450 preannounced and unannounced inspections. Protection of the public and the environment was ensured at all times.

Among the five Swiss nuclear power plants, a total of 33 reportable incidents were documented during the reporting year. The number of incidents was thus in line with previous years. As the supervisory authority, we rated 31 of the incidents as Level 0 on the International Nuclear and Radiological Event Scale (INES) and two as Level 1. Both of the INES-1 events related to the Leibstadt Nuclear Power Plant: At the start of the main annual overhaul, there was an increase in the local dose rate in the containment due to inadequate water coverage of the removed water separator. Limited availability of the heat dissipation systems also led to an INES-1 rating. All events were comprehensively analysed. The nuclear power plants are implementing appropriate preventive actions based on the findings of the investigations and on our requirements.

Alongside the normal operation of the nuclear installations, the reporting year was characterised by two procedural milestones: The Federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communications (DETEC) issued the decommissioning order for the Mühleberg Nuclear Power Plant, and the Swiss Federal Council concluded stage 2 of the sectoral plan process.

The nuclear dismantling of the Mühleberg Nuclear Power Plant is mandated by the corresponding DETEC decommissioning order. Accordingly, in 2018, the Mühleberg Nuclear Power Plant performed its last annual overhaul in its 46th year of operation and started preparations for its post-operational phase. We will continue to support and monitor Mühleberg Nuclear Power Plant during the post-operational and dismantling phase after its shutdown in 2019, and will ensure that safety, both during the post-operational phase and also during the subsequent decommissioning, is ensured at all times.

An important milestone was reached in the site selection process for a deep geological repository in Switzerland. The Federal Council decided in November 2018 that Nagra (National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste) should, as suggested by us, further investigate the three site areas Jura East, Zurich North-East and North of Lägern in the subsequent third stage. This completes stage 2 of the Sectoral Plan for Deep Geological Repositories. In the third stage, the storage projects will also be specified in detail with the involvement of the regions in which the sites are to be located, while the effects of the repository on the communities and economy will be investigated in detail. In addition, Nagra has to present the advantages and disadvantages of a combined repository for low and intermediate level radioactive waste as well as for highly radioactive waste in the same site in comparison with repositories in separate site areas. The last stage of the Sectoral Plan for Deep Geological Repositories is expected to last until 2029. Today's planning is for becoming operational the repository for low and intermediate level radioactive waste as of 2050 and the repository for highly radioactive waste as of 2060. Until then, the radioactive waste will remain safely stored under our supervision in the Central Interim Storage Facility (Zwilag) in Würenlingen, which has enough capacity to receive all radioactive waste from the Swiss nuclear installations.

Our supervision includes the planning, construction, operation, post-operational phase and dismantling of nuclear installations as well as the interim storage and disposal of radioactive waste in deep geological repositories. The safety of people and the environment is always our top priority. With this in mind, I would like to thank all of our employees, who worked with commitment and responsibility during 2018 to ensure safe operation of the nuclear installations and the safe storage of radioactive waste.

*Dr Hans Wanner
Director General
June 2019*

Zusammenfassung und Übersicht

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) ist die Aufsichtsbehörde des Bundes über die Kernanlagen in der Schweiz. Es begutachtet und überwacht die fünf Kernkraftwerke (Beznau 1 und 2, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt), die Zwischenlager bei den Kraftwerken, das Zentrale Zwischenlager der Zwiilag in Würenlingen sowie die Kernanlagen des Paul Scherrer Instituts (PSI), der Universität Basel und der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Mit Inspektionen, Aufsichtsgesprächen, Prüfungen, Analysen und der Berichterstattung der Anlagebetreiber verschafft sich das ENSI den notwendigen Überblick über die nukleare Sicherheit 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 in seinen Aufsichtsbereich. Das ENSI unterhält eine eigene Notfallorganisation, die Bestandteil einer landesweiten Notfallorganisation ist. Im Falle 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/Richtlinien verfügbar.

Berichterstattung

Das ENSI berichtet periodisch über seine Aufsichtstätigkeit und die nukleare Sicherheit der schweizerischen Kernanlagen. Es informiert die Öffentlichkeit 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 bis 4 des vorliegenden Aufsichtsberichts über das Betriebsgeschehen, die Anlagentechnik, den Strahlenschutz und die Betriebsführung der Kernkraftwerke Beznau 1 und 2, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt. Zu jedem 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 beschrieben. Im Anhang finden sich Tabellen und Figuren.

Kernkraftwerke

Der Betrieb der fünf Kernkraftwerke (KKW) in der Schweiz war im vergangenen Jahr sicher. Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Betreiberinnen die bewilligten Betriebsbedingungen eingehalten haben. Die Betreiberinnen haben ihre gesetzlich festgelegten Meldepflichten gegenüber der Aufsichtsbehörde wahrgenommen. Der sicherheitstechnische Zustand der im Berichtsjahr in Betrieb stehenden KKW war je nach Anlage gut oder ausreichend. In den Kernkraftwerken kam es im Jahr 2018 zu 33 meldepflichtigen Vorkommnissen: 3 Vorkommnisse betrafen den Block 1 und 1 Vorkommnis betraf den Block 2 des KKW Beznau. 4 Vorkommnisse betrafen das KKW Mühleberg, 13 das KKW Gösgen und 12 das KKW Leibstadt. Eine eingeschränkte Verfügbarkeit von drei der insgesamt fünf Divisionen mit Systemen zur Nachwärmeabfuhr und Kernnotkühlung im KKW Leibstadt führte zu einer INES-1-Bewertung auf der internationalen Ereignisskala der IAEA. Ebenfalls mit INES 1 bewertete das ENSI einen Dosisleistungsanstieg bei der Lagerung des Wasserabscheiders im KKW Leibstadt. Die übrigen Vorkommnisse wurden als INES 0 eingestuft. Das ENSI bewertet die Sicherheit eines jeden Kernkraftwerks 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 2018 befanden sich in der Behälterlagerhalle 64 Transport- und Lagerbehälter mit abgebrannten Brennelementen und Glaskokillen sowie ein Behälter mit den Brennelementen aus dem stillgelegten Forschungsreaktor DIORIT des PSI und sechs Behälter mit Stilllegungsabfällen aus dem Versuchsatomkraftwerk Lucens. Im Jahr 2018 wurde eine 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 DIORIT, SAPHIR und PROTEUS, die rückzubauende ehemalige Versuchsverbrennungsanlage sowie die Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle einschliesslich des Bundeszwischenlagers. In den Kernanlagen des PSI waren im Jahr 2018 fünf meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen. Im Forschungsreaktor der EPFL kam es zu einem meldepflichtigen Vorkommnis. Der Forschungsreaktor der Universität Basel ist ausser Betrieb. 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 Forschungsreaktors der Universität Basel wurde regulär unterhalten.

Abgaben radioaktiver Stoffe

Die Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt via Abwasser und Abluft der Kernkraftwerke, 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 natürlichen jährlichen Strahlenexposition.

Transporte radioaktiver Stoffe

Alle Transporte radioaktiver Stoffe von und zu den Kernanlagen der Schweiz verliefen im Jahr 2018 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 Standortauswahlverfahren (Sachplan geologische Tiefenlager) 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 bis Ende des Berichtsjahres 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 les cinq centrales nucléaires (tranches 1 et 2 de Beznau, Mühleberg, Gösgen et Leibstadt), les dépôts intermédiaires situés dans les centrales, le dépôt de stockage intermédiaire Zwiilag de Würenlingen, les installations nucléaires de l'Institut Paul Scherrer (PSI), de l'Université de Bâle et de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL). Les inspections, les entretiens de surveillance, les contrôles et les analyses, ainsi que les rapports des exploitants des installations permettent à l'IFSN d'acquérir la vue d'ensemble nécessaire sur la sécurité des installations nucléaires surveillées. L'IFSN veille à ce que l'exploitation des installations soit conforme à la législation et aux autorisations. Son domaine de surveillance s'étend en outre aux transports de matières 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 d'accident 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 sûreté nucléaire, et en particulier sur la formation du personnel, sur la protection en cas d'urgence, sur le transport de matières radioactives et sur le stockage en couches géologiques profondes, constituent les bases légales de la surveillance de l'IFSN. En s'appuyant sur ces bases légales, l'IFSN élabore et met à jour des directives. Elle y formule les critères d'après lesquels elle évalue les activités et les projets des exploitants des installations nucléaires. La liste complète des directives en vigueur peut être consultée sur la version allemande du site

de l'IFSN (www.ifs.n.ch) en cliquant sur l'onglet Documents, puis 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 événements et constats dans les installations nucléaires, par exemple dans le cadre de réunions publiques, d'exposés spécialisés, ou à travers son site web www.ifs.n.ch. 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 web.

Contenu du présent rapport

L'IFSN rend compte dans les chapitres 1 à 4 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, de Mühleberg, de Gösgen et de Leibstadt. L'IFSN évalue pour l'année sous revue la sécurité de chaque centrale nucléaire 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 matières radioactives en provenance et à destination des installations nucléaires suisses. Le chapitre 9 thématise le stockage en couches géologiques profondes des déchets radioactifs ainsi que les travaux relatifs au plan sectoriel. Enfin, le chapitre 10 aborde d'autres aspects communs aux installations, notamment les études probabilistes de sécurité. Les tableaux et les graphiques en annexe complètent ce rapport.

Centrales nucléaires

L'exploitation des cinq centrales nucléaires en Suisse s'est déroulée de manière sûre l'année sous revue. L'IFSN arrive à la conclusion que les exploitants ont respecté les conditions d'exploitation soumises à autorisation. Les exploitants ont observé leurs devoirs légaux de notification à l'égard de l'autorité de surveillance. L'état des centrales nucléaires en exploitation lors de l'année sous revue était bon ou suffisant selon l'installation. Les centrales nucléaires ont connu en 2018 33 événements soumis à obligation de notification. Trois événements ont concerné la tranche 1 et un événement la tranche 2 de la centrale nucléaire de Beznau. Quatre événements ont concerné la centrale nucléaire de Mühleberg, 13 la centrale de Gösgen et 12 la centrale de Leibstadt. Une disponibilité restreinte de trois des cinq divisions au total avec système d'évacuation de la chaleur résiduelle et du refroidissement de secours du cœur de réacteur à la centrale nucléaire de Leibstadt a abouti à un classement de niveau INES-1 sur l'Echelle internationale des événements nucléaires. L'IFSN a également classé INES-1 une augmentation du débit de dose lors du remisage du séparateur d'eau à la centrale nucléaire de Leibstadt. Tous les autres événements ont été classés INES-0.

L'IFSN évalue la sécurité de chaque centrale nucléaire dans le cadre d'une évaluation systématique de la sécurité. En plus des événements devant être notifiés, elle tient compte d'autres éléments, notamment des résultats des inspections.

Dépôt de stockage intermédiaire Zwilag à Würenlingen

Le dépôt de stockage intermédiaire Zwilag à Würenlingen comprend plusieurs bâtiments d'entreposage, l'installation de conditionnement et l'installation plasma (station d'incinération et de fusion). Fin 2018, la halle des conteneurs abritait 64 conteneurs de transport et d'entreposage contenant des assemblages combustibles usés et des colis vitrifiés, ainsi qu'un conteneur avec les 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 2018, une campagne d'incinération et de fusion de déchets radioactifs a eu lieu. Lors de l'exercice sous revue,

l'IFSN n'a recensé au Zwilag aucun événement soumis au devoir de notification. L'IFSN en conclut que le Zwilag a respecté en 2018 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 DIORIT, SAPHIR et PROTEUS – tous les trois à des phases différentes de désaffectation –, de l'ancienne station expérimentale d'incinération à démanteler et des installations d'élimination de déchets radioactifs, inclus le dépôt intermédiaire de la Confédération. Cinq événements soumis à une obligation de notification ont été recensés dans les installations nucléaires du PSI en 2018. Un événement a concerné le réacteur de recherche de l'EPFL. Le réacteur de recherche de l'Université de Bâle est hors service. 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 du 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 Zwilag à Würenlingen, des installations nucléaires surveillées du PSI, de Bâle et de 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 aux radiations.

Transport de matières radioactives

Tous les transports d'éléments radioactifs en provenance, ou en direction, des installations nucléaires de la Suisse se sont passés sans accident en 2018. 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 de sélection des sites (plan sectoriel «dépôts en couches géologiques profondes») a débuté en 2008. Elle est dirigée par l'Office fédéral de l'énergie. L'IFSN porte la responsabilité générale à propos de l'évaluation de la sécurité technique des domaines d'implantation géologiques.

L'étape 2 a été lancée en 2011 et a visé jusqu'à la fin de l'année sous revue à la réduction à au moins deux domaines d'implantation de dépôt 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 de poursuivre l'étude des trois domaines d'implantation Jura est, Zurich nord-est et Nord des Lägern. La Nagra doit en outre examiner et exposer au cours de cette étape 3 les avantages et les inconvénients d'un dépôt combiné en comparaison avec deux dépôts situés dans des domaines d'implantation distincts. De plus, l'IFSN, ainsi que des experts mandatés par elle, ont mené des recherches pertinentes du point de vue de l'entreposage en couches géologiques profondes. Une grande partie de ces dernières ont été réalisées dans le laboratoire souterrain du Mont Terri. A travers la participation à différents programmes internationaux, l'IFSN suit de près la situation scientifique et 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 installations in Switzerland. It inspects and monitors the five nuclear power plants (Beznau 1 and 2, Mühleberg, Gösgen and Leibstadt), the interim storage facilities based at each plant, the Central Interim Storage Facility of Zwiilag in Würenlingen together with the nuclear installations at the Paul Scherrer Institute (PSI), the University of Basel and the École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Using a combination of inspections, regulatory meetings, checks, 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 Radiation Protection Act, the Radiation 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 installations. The applicable guidelines are available on the ENSI website, www.ensi.ch, under the heading Documents/Guidelines.

Reporting

ENSI reports periodically on its supervisory activities and the nuclear safety of Swiss nuclear installations. It keeps the public informed about events and findings in the nuclear installations, 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 to 4 of this Oversight Report deal with operational experience, systems engineering, radiological protection and the management of the nuclear power plants of Beznau 1 and 2, Mühleberg, Gösgen and Leibstadt. ENSI performs a separate safety evaluation for each nuclear power plant for the reporting year. Chapter 5 deals with the Central Interim Storage Facility (Zwiilag) at 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. The Appendix contains tables and figures.

Nuclear power plants

All five nuclear power plants in Switzerland operated safely during the past 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 at all plants in operation was rated as good or satisfactory depending on the plant. In 2018, there were 33 reportable events at the nuclear power plants: 3 events related to unit 1, and 1 event related to unit 2 of Beznau NPP. Mühleberg NPP was affected by 4 events, Gösgen NPP by 13 and Leibstadt NPP by 12. A limited availability of three of the total five divisions with systems for heat dissipation and emergency core cooling in Leibstadt NPP led to a rating of INES-1 on the IAEA international nuclear and radiological event scale. ENSI also assessed an increase in the dose rate in the storage of the water separator in Leibstadt NPP as INES-1. The remaining events were rated as INES-0.

ENSI evaluates the safety of each nuclear power plant as part of a systematic safety evaluation. This reflects both reportable events and other findings, in particular the results of inspections.

Central Interim Storage Facility Würenlingen

The Central Interim Storage Facility of Zwiilag at Würenlingen consists of several interim storage buildings, a conditioning plant and a plasma plant (incineration/melting plant). At the end of 2018, the cask storage hall contained 64 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 nuclear power plant at Lucens. One campaign to incinerate and melt radioactive waste was carried out in 2018. ENSI recorded no reportable events at Zwiilag during the reporting year. ENSI concludes that Zwiilag complied with its approved operating conditions in the reporting year.

Paul Scherrer Institute and the research reactors

ENSI is also 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 radioac-

tive materials including the Federal Government's interim storage facility. Five reportable events occurred at the PSI nuclear facilities during 2018. One event occurred at the EPFL research reactor. The research reactor at the University of Basel is decommissioned. 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 research reactor plant at the University of Basel was subject to regular maintenance.

Release of radioactive materials

Last year, emissions of radioactive material into the environment via waste water and exhaust air from the nuclear power plants, the Central Interim Storage Facility 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 natural radiation.

Transport of radioactive materials

All transport of radioactive substances to and from Swiss nuclear installations took place without any incidents or accidents during 2018. ENSI verified the correct transport of differing types of radioactive materials and waste by performing multiple inspections of the transports.

Deep geological repositories

The site selection procedure (Sectoral Plan for Deep Geological Repositories) 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 site areas.

Stage 2 started in 2011 and was concerned with the reduction of potential site areas to at least two site areas for deep geological repositories for low and intermediate level radioactive waste as well as highly radioactive waste up until the end of the reporting year. In its session of November 2018, the Federal Council concluded stage 2 of the sectoral plan process and supported the assessment

of ENSI. It decided that the three site 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 site areas.

In addition, ENSI and the experts it has appointed carried out a number of investigations and research work relevant for deep geological repository. 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.



Kernkraftwerk Beznau.
Foto: KKB

1. Kernkraftwerk Beznau

1.1 Überblick

Der Block 1 des Kernkraftwerks Beznau (KKB) nahm den Leistungsbetrieb nach drei Jahren Stillstand wieder auf. Im Block 2 wurde der Leistungsbetrieb nur durch den Brennelementwechsel unterbrochen. 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 hoch.

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 hoch.

Das KKB umfasst zwei weitgehend baugleiche Zwei-Loop-Druckwasserreaktor-Blöcke (KKB 1 und KKB 2), 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 drei meldepflichtigen Vorkommnissen. Sie wurden alle der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeteilt.

Der Block 1 wurde nach dem Revisionsstillstand 2015, der am 13. März 2015 begonnen hatte, aufgrund der Befunde im Reaktordruckbehälter (RDB) nicht wieder angefahren. Das KKB erbrachte Anfang 2018 den notwendigen Sicherheitsnachweis für den RDB (siehe Abschnitt zum Projekt BEFLAW

im Unterkapitel 1.3.1) und nahm am 19. März 2018 den Leistungsbetrieb wieder auf.

Im Block 2 kam es im Berichtsjahr zu einem meldepflichtigen Vorkommnis. Es wurde der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeteilt.

Der Brennelementwechsel im Block 2 dauerte 13 Tage.

Im Berichtsjahr sind in beiden Blöcken keine Brennelementschäden aufgetreten.

Das ENSI führte im Rahmen seiner Aufsicht 98 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 natürlichen Strahlenexposition unbedeutend.

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

Das KKB hat auf den 1. Oktober 2018 die Abteilung Stilllegung neu geschaffen. Bisher erfolgten die Vorbereitungsarbeiten im Hinblick auf die Stilllegung im Rahmen des Projekts HERON, das organisatorisch eine Abteilung der Division Kernenergie der Axpo Power AG war.

Fünf Reaktoroperateure bestanden ihre Zulassungsprüfung. Fünf Reaktoroperateure schlossen die Ausbildung zum Techniker HF, Fachrichtung Grossanlagenbetrieb im Berichtsjahr ab.

1.2 Betriebsgeschehen

Der Block 1 erreichte im Berichtsjahr eine Arbeitsausnutzung von 77,7 % und eine Zeitverfügbarkeit von 78,7 %. Die unproduktiven Anteile im Block 1 waren primär auf die Schlussphase der sicherheitstechnischen Beurteilung der Befunde am RDB und die Vorbereitung zum Wiederanfahren zurückzuführen, sekundär auf die hohe Aarewassertemperatur im Sommer und auf Instandhaltungsarbeiten. Der Block 2 erreichte im Berichtsjahr eine Arbeitsausnutzung von 95,7 % und eine Zeitverfügbarkeit von 96,4 %. Die unproduktiven Anteile im Block 2 waren im Wesentlichen durch den Brennelementwechsel und die hohe Aarewassertemperatur im Sommer bedingt.

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 155,4 GWh.

Zur Durchführung von Funktionsprüfungen, auf Anforderung des Lastverteilers und infolge der hohen Aarewassertemperatur erfolgten in beiden Blöcken kurzzeitige Leistungsreduktionen.

Im Block 1 kam es im Berichtsjahr zu drei meldepflichtigen Vorkommnissen, die vom ENSI alle der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet wurden.

- Am 13. März 2018 brach die Zugstrebe einer Halterung der Füllleitung für die Reaktorgrube. Ein Mitarbeiter hatte sich beim Aufstieg auf einer Leiter an der Strebe festgehalten. Eine mangelhaft ausgeführte Schweissnaht hielt der quer zur Strebe und damit abweichend von der Auslegung auf Zugbelastung wirkenden Kraft nicht stand. Die Strebe wurde ersetzt. Die Füllleitung wird ausschliesslich zum Füllen der Reaktorgrube im Stillstand verwendet. Im Leistungsbetrieb ist sie abgesperrt. Sie wird nicht zur Beherrschung von Störfällen benötigt. Für die Revisionsstillstände 2019 plant das KKB Untersuchungen des Zustands vergleichbarer Konstruktionen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Bruch der Zugstrebe infolge einer mangelhaften Schweissnaht der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie für die Schutzziele «Kühlung der Brennelemente» und «Einschluss radioaktiver Stoffe».
- Am 19. August 2018 wurde die Leistung einer Turbogruppe für eine Reparatur im nicht nuklearen Teil der Anlage reduziert. Während dieser Leistungsreduktion wurde fälschlicherweise der Einfall eines Steuerstabs signalisiert. Die reale Position des Stabs blieb unverändert. Grund dafür war ein Kontaktproblem an einer Steckverbindung der Positionsanzeige dieses Steuerstabs. Die Anlage reagierte auslegungsgemäss mit einer automatischen Leistungsreduktion, wie wenn der Stab real eingefallen wäre. Nach Austausch des betroffenen Kabels der Positionsanzeige zeigte diese wieder die korrekte Stabposition. Der Einfall des betroffenen Steuerstabs wäre bei einer Reaktorschnellabschaltung jederzeit gewährleistet gewesen. Die Reparatur im nicht nuklearen Teil der An-

lage konnte trotz des Vorkommnisses durchgeführt werden. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die fehlerhafte Steckverbindung, die das falsche Stabfallsignal verursachte, der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 2 sowie für das Schutzziel «Kontrolle der Reaktivität».

- Am 28. November 2018 trat in einem von vier Strängen der 120-V-Gleichstromversorgung im KKB 1 ein Defekt am Umschalterschütz für die Batterieerschaltung auf. Bei Ausfall der normalen Versorgung übernimmt eine Batterie die Versorgung des betroffenen Strangs. Durch den Defekt hätte in diesem Strang die Batterieversorgung im Anforderungsfall nicht zur Verfügung gestanden. Nach Austausch des Schützes war der betroffene Strang der 120-V-Gleichstromversorgung innerhalb der massgeblichen Frist der Technischen Spezifikation wieder betriebsbereit. Die anderen Stränge der 120-V-Gleichstromversorgung waren uneingeschränkt betriebsbereit. Eine externe Firma wurde beauftragt, den defekten Schütz zu untersuchen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Unverfügbarkeit der Batterieversorgung eines Strangs der 120-V-Gleichstromversorgung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

Im Block 2 kam es zu einem meldepflichtigen Vorkommnis, das vom ENSI der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet wurde.

- Vor Beginn des Brennelementwechsels fand am 30. Juni 2018 die vorgeschriebene Kontrolle der teilweisen Isolation des Sicherheitsgebäudes statt. Dabei wurde – wie vorgesehen – auch eine Vakuumpumpe abgeschaltet, die Luft in einen Monitor zur radiologischen Überwachung der Luft im Sicherheitsgebäude fördert. Bei einem routinemässigen Wechsel des Aerosolfilters stellte der Strahlenschutz am 1. Juli 2018 fest, dass die Vakuumpumpe des Monitors ausser Betrieb war und damit auch der Monitor nicht verfügbar war. Das KKB nahm die Pumpe nach Erkennen des Ausfalls innerhalb der massgeblichen Frist der Technischen Spezifikation wieder in Betrieb. Während der

Unverfügbarkeit des Monitors waren die radiologische Überwachung der Luft im Sicherheitsgebäude und damit der Schutz des Personals durch redundante Geräte gewährleistet. Die lüftungstechnische Isolation des Sicherheitsgebäudes zur Verhinderung einer unzulässigen Freisetzung radioaktiver Stoffe über den Kamin wäre im Bedarfsfall durch die Überwachung der Kaminfortluft gewährleistet gewesen. Aufgrund des falsch eingestellten Nullpunkts der Druckmessung zur Überwachung der ausgefallenen Vakuumpumpe wurde nach der Isolationskontrolle vom 30. Juni 2018 nicht erkannt, dass die Vakuumpumpe nicht wieder in Betrieb gegangen war. Trotz stehender Pumpe lag das Drucksignal im Normalbereich einer laufenden Pumpe. Es war somit nicht möglich, den Pumpenausfall im Kommandoraum zu erkennen. Durch Aufschalten einer Durchflussmessung im Anlageinformationssystem soll eine diversitäre, vom Drucksignal unabhängige, Möglichkeit zur Überwachung der Pumpe geschaffen werden. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Nichtverfügbarkeit des Luftmonitors der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1, 2 und 3 sowie die Schutzziele «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.

1.3 Anlagentechnik

1.3.1 Revisionsarbeiten

Der Block 1 war am 13. März 2015 für den Revisionsstillstand abgestellt und aufgrund von Befunden am RDB nicht wieder in Betrieb genommen worden. Nach erfolgreichem Abschluss der sicherheitstechnischen Beurteilung dieser Befunde Anfang 2018 wurde die Anlage für die Wiederaufnahme des Leistungsbetriebs vorbereitet. Vor dem Beladen des Reaktorkerns führte das KKB eine Kontrolle des Primärkreislaufs bei einem Druck von 154 bar und einer Temperatur von 280 °C durch, das heisst bei den im Leistungsbetrieb herrschenden Bedingungen. Am 6. März 2018 erteilte das

ENSI die Freigabe für die Beladung des Reaktorkerns. Nach Inspektionen durch das ENSI und Kontrollen durch das Nuklearinspektorat des Schweizerischen Vereins für technische Inspektionen SVTI-N konnte das KKB 1 am 19. März 2018 den Leistungsbetrieb wieder aufnehmen und erreichte am 22. März 2018 Vollast.

Der Block 2 wurde vom 26. Juni bis 9. Juli 2018 für den Brennelementwechsel abgestellt. Während des Stillstands fanden verschiedene Prüfungen und Wartungsarbeiten statt. Die Dichtheitsprüfungen an Schleusen und Durchdringungen des Containments zeigten keine unzulässigen Leckagen. Nachdem bei den Prüfungen der neuen unterbrechungsfreien Stromversorgung der Pumpen des primären Nebenkühlwassers im Jahr 2017 Verbesserungsbedarf festgestellt worden war, erfolgten während der Revision die notwendigen Ertüchtigungen. Bei den anschliessenden Tests zeigte die Stromversorgung ein auslegungskonformes Verhalten.

Projekt BEFLAW

Das ENSI hatte die Betreiberin im August 2015 aufgefordert, die registrierpflichtigen Anzeigen aus der Prüfung des Grundmaterials der Schmiederinge des RDB im Block 1 detailliert zu untersuchen, zu charakterisieren und zu bewerten.

Ein unabhängiges internationales Expertenteam und das ENSI prüften den Bericht des KKB zum sicherheitstechnischen Nachweis vom November 2016. Die Prüfung zeigte substanziellen Vertiefungs- und Erweiterungsbedarf (siehe Aufsichtsbericht 2017). Die notwendigen Arbeiten dauerten bis Februar 2018. Im Berichtsjahr wurde die Validierung der Ultraschallmessungen erfolgreich abgeschlossen. Die Sachverständigen bestätigten die Angaben des KKB zur Leistungsfähigkeit des Prüfsystems. Das internationale Expertenteam reichte seine abschliessende Stellungnahme zum überarbeiteten sicherheitstechnischen Nachweis dem ENSI am 28. Februar 2018 ein.

Die Untersuchungen zeigten, dass Aluminiumoxideinschlüsse die Ursache für die Anzeigen aus der Prüfung des Grundmaterials des RDB im KKB 1 sind. Damit haben die Anzeigen im KKB 1 eine andere Ursache als die Befunde in belgischen Kernkraftwerken, welche die Prüfungen im KKB 1 auslösten. Die Aluminiumoxideinschlüsse entstanden bei der Herstellung der Rohlinge für die Schmiederinge. Für weitergehende Untersuchungen wurde auch eine eigens dafür hergestellte Nachbildung

(Replika) eines Schmiederinges auf Basis der Originalspezifikation benutzt.

Das internationale Expertenteam und das ENSI kamen nach Prüfung der Unterlagen zum Schluss, dass

- die Ursache der Ultraschallanzeigen und die Entstehung dieser Aluminiumoxideinschlüsse hinreichend bekannt sind,
- die Replika ausreichend repräsentativ ist für die durchgeführten Untersuchungen,
- die durchgeführten zerstörungsfreien Prüfungen geeignet sind, die Aluminiumoxideinschlüsse zu charakterisieren,
- die Untersuchungen zeigten, dass keine zusätzlichen Materialdefekte vorhanden sind, als im Sicherheitsnachweis berücksichtigt wurden,
- die Aluminiumoxideinschlüsse die Versprödung nicht zusätzlich beeinflussen,
- die Zulässigkeit der grossen Mehrzahl der Anzeigen durch das Materialuntersuchungsprogramm erwiesen ist,
- die wenigen Anzeigen, die nicht direkt durch das Materialuntersuchungsprogramm abgedeckt sind, konservativ bruchmechanisch bewertet wurden und keinen negativen Einfluss haben.

Mit Brief vom 6. März 2018 schloss das ENSI die Beurteilung der Befunde am RDB des KKB 1 ab und akzeptierte den Sicherheitsnachweis der Axpo Power AG. Die Aktennotiz ENSI 14/2573 «ENSI Review of the Axpo Power AG Safety Case for the Reactor Pressure Vessel of the Beznau NPP Unit 1», Revision 1, May 31, 2018 und die Stellungnahme des internationalen Expertenteams «Assessment of the Safety Case for the Reactor Pressure Vessel of the Beznau Unit 1 Nuclear Power Plant», Revision 0, February 2018 sind auf der Website des ENSI veröffentlicht.

1.3.2 Anlageänderungen

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

- Das KKB nahm die batteriegestützte, unterbrechungsfreie Stromversorgung der Pumpen des primären Nebenkühlwassersystems im Block 2 erfolgreich in Betrieb. Die im Vorjahr aufgetretenen Probleme bei der Rückschaltung auf die Versorgung durch eine Wechselstromschiene konnten gelöst werden.
- In den Brennelementlagerbecken erfolgte der Einbau störfallfester Temperatur- und Niveaue-



Maschinenraum.
Foto: KKB

messungen. Die Signale werden im Notleitstand registriert und vom Anlageinformationssystem erfasst.

- Das KKB behob im Berichtsjahr die im Rahmen des Vorkommnisses vom 13. September 2017 erkannten Mängel der autarken Notstromversorgung (siehe Aufsichtsbericht 2017). Damit hat ein Ausfall von Komponenten der Leittechnik, die sich ausserhalb des Dieselgebäudes befinden, keine Auswirkungen mehr auf die Verfügbarkeit der BX-Schienen der Notstromversorgung.

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.

Das KKB hatte den Reaktor des Blocks 1 zu Beginn des Brennelementwechsels 2015 vollständig entladen und die Brennelemente ins Brennelement-Lagerbecken verbracht. Da die Untersuchungen der Befunde am RDB bis Anfang 2018 dauerten, wurde der Kern erst wieder vor Beginn des 44. Zyklus beladen. Es wurden 24 abgebrannte Brennelemente des Typs FOCUS durch baugleiche frische Brenn-

elemente ersetzt. Diese enthalten als Brennstoff wiederaufgearbeitetes Uran (WAU). Der Reaktorkern des Blocks 1 enthält im 44. Betriebszyklus 121 WAU-Brennelemente des Typs FOCUS.

Während des Brennelementwechsels im Block 2 ersetzte das KKB zwanzig abgebrannte Brennelemente des Typs FOCUS durch baugleiche frische Brennelemente. Der Reaktorkern enthält im 45. Betriebszyklus 117 WAU-Brennelemente des Typs FOCUS und vier WAU-Vorläufer-Brennelemente des Typs AGORA-4H, die erstmalig im 40. Betriebszyklus im KKB 2 zum Einsatz kamen.

Das KKB bestückte die Reaktorkerne beider Blöcke mit freigegebenen und qualitätsgeprüften Brennelementen. Die neuen, vom ENSI freigegebenen Kernbeladungen erfüllten gemäss Dokumentation alle Anforderungen.

Im Jahr 2014 wurden in beiden Blöcken alle 25 Steuerelemente durch neue gleicher Bauart ersetzt. Vor dem Ersteinsatz wurden die Steuerelemente einer Wirbelstromprüfung unterzogen, die keine Unregelmässigkeiten ergab. Aufgrund der guten Betriebserfahrung mit Steuerelementen dieser Bauart und der permanenten Überwachung des Reaktorkühlkreislaufes, die keine Anzeichen für Steuerelementdefekte ergab, erfolgten gemäss der langfristigen Planung des KKB keine Steuerelementinspektionen.

Das KKB betrieb die Reaktorkerne beider Blöcke im Berichtsjahr auslegungsgemäss und im bewilligten Rahmen. Die Anfahrmessungen in beiden Blöcken, die das ENSI jeweils vor Ort inspizierte, verliefen plangemäss. Die Ergebnisse der reaktorphysikalischen Messungen stimmten gut mit den Ergebnissen der Kernausslegungsberechnungen überein. Die maximal zulässigen Toleranzen wurden klar eingehalten.

1.4 Strahlenschutz

Im Berichtsjahr wurde in den beiden Blöcken des KKB zusammen eine Kollektivdosis von 149 Pers.-mSv verzeichnet. Die höchste im KKB registrierte Individualdosis betrug 3,4 mSv und lag deutlich unterhalb des für beruflich strahlenexponierte Personen geltenden Dosisgrenzwerts von 20 mSv pro Jahr. Es wurden weder Personenkontaminationen, die nicht mit herkömmlichen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen festgestellt.

Der Block 1 wurde am 19. März 2018 nach einem dreijährigen Stillstand wieder angefahren. Die mit elektronischen Dosimetern ermittelte Kollektivdosis für die im Berichtsjahr liegende Schlussphase des Stillstands von Januar bis März 2018 betrug 71 Pers.-mSv. Im Vergleich zur Plandosis von 76 Pers.-mSv lag der Wert im Rahmen der Prognosegenauigkeit von $\pm 20\%$. Das Abklingen von in Korrosionsprodukten enthaltenen Radionukliden, beispielsweise Co-60, führte dazu, dass die Ortsdosisleistungen am Ende des Stillstands auf dem Niveau des Jahres 2011 lagen. Verglichen mit dem Vorjahr ergab sich in der Schlussphase des Stillstands keine qualitative Veränderung der nuklid-spezifischen Zusammensetzung der Kontaminationen.

Wird die Entwicklung des Inventars an Radionukliden im Block 1 rückblickend über den ganzen Stillstand von 2015 bis 2018 betrachtet, ergibt sich folgendes Bild: In den ersten Monaten zerfielen kurzlebige, nicht durch den Zerfall langlebiger Mutternuklide laufend neu gebildete, Radionuklide vollständig. Wichtige Beispiele dafür sind I-131 und die radioaktiven Edelgase mit Ausnahme von Kr-85. Die Zusammensetzung des Nuklidinventars änderte sich dabei rasch und signifikant. Der weitere Verlauf war geprägt durch den Zerfall von Radionukliden mit Halbwertszeiten im Bereich von einigen Wochen bis einigen Jahren. Dementsprechend nahm das Inventar langsamer ab und Ände-

rungen seiner Zusammensetzung erfolgten ebenfalls deutlich langsamer als in der Anfangsphase. Mit einer Halbwertszeit von gut fünf Jahren nahm das Inventar an Co-60, einem der wichtigsten Nuklide für den operationellen Strahlenschutz, im betrachteten Zeitraum um rund ein Drittel ab. Das Inventar an langlebigen Nukliden, beispielsweise Sr-90, Cs-137 und Pu-239, veränderte sich nur unwesentlich. Der grösste Teil des Inventars befand sich in den Brennelementen, die sich abgesehen von der Anfangs- und Schlussphase des Stillstands, im Brennelement-Lagerbecken befanden.

Das KKB stellte den Block 2 am 26. Juni für den bis zum 9. Juli 2018 dauernden Brennelementwechsel ab. Das Abfahren verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Die Ortsdosisleistung an den Komponenten des Primärkreislaufs veränderte sich im Vergleich zum Vorjahr, mit Ausnahme der Closure Legs (Teil der Hauptkühlmittelleitung zwischen Dampferzeuger und Reaktorhauptpumpe) und des RDB-Deckels, nicht signifikant. An den Closure Legs stieg die mittlere Ortsdosisleistung jeweils um etwa 9%. Sie betrug für das Closure Leg A zirka 1,2 mSv pro Stunde und für das Closure Leg B zirka 1,5 mSv pro Stunde. Der RDB-Deckel war im Jahr 2015 ersetzt worden. Die dort gemessene Kontaktdosisleistung stieg im Vergleich zum Vorjahr um 15% an. Die Ortsdosisleistung an den Dampferzeugern blieb im Vergleich zum Vorjahr fast konstant (+ 2%) und lag mit zirka 0,13 mSv pro Stunde auf sehr niedrigem Niveau.

Die mit elektronischen Dosimetern ermittelte Kollektivdosis für den Brennelementwechsel überschritt mit 36 Pers.-mSv die geplante Dosis von 35 Pers.-mSv nur minimal. Für viele Arbeiten konnte die Planungsdosis aufgrund der guten radiologischen Bedingungen (beispielsweise geringe Konzentration von Radionukliden im Beckenwasser) sowie aufgrund des Ausbleibens von grösseren Hotspots und schwer entfernbaren Ablagerungen unterschritten werden.

Das ENSI konnte sich im Rahmen seiner Inspektionen davon überzeugen, dass das KKB einen fachgerechten Strahlenschutz praktizierte.

Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen, Iod und Edelgasen lagen im Berichtsjahr deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Abgabelimiten. Dies galt auch für die radioaktiven Abgaben mit dem Abwasser. Die für Druckwasserreaktoren typischen Tritium-Abgaben des KKB betrugten rund 10% 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 Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKB unter ungünstigen Annahmen. Die berechneten Dosen betragen weniger als 0,001 mSv für Erwachsene, Zehnjährige und Kleinkinder. Sie 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 Kraftwerksareals 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 gemäss 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 2018 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 Instandhaltungs-, Umbau- oder Nachrüstmassnahmen und den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien. Im Berichtsjahr fielen 16 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 unkondi-

tionierten Abfälle in dafür vorgesehenen Räumlichkeiten in den Nebenanlagengebäuden und im werkseigenen Zwischenlager ZWIBEZ auf. Ihr Bestand liegt mit 28 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 KKB die Einbindung von Harzen in Polystyrol sowie die Zementierung von Schlämmen zum Einsatz. Für alle Verfahren liegen die erforderlichen Typengenehmigungen vor. Im Berichtsjahr wurden zehn Gebinde mit Schlämmen konditioniert.

Die konditionierten Abfallgebinde werden in das Rückstandslager und in das Lager für schwachaktive Abfälle des ZWIBEZ eingelagert. Das KKB nutzt zudem die Kapazitäten des zentralen Zwischenlagers der 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. Damit ist die Information über Menge, Lagerort und radiologische Eigenschaften jederzeit verfügbar.

Wichtig bei der Minimierung der radioaktiven Abfälle ist die Inaktiv-Freimessung von Materialien aus der kontrollierten Zone. Im KKB wurden im Berichtsjahr 11,9 t Material freigemessen.

Bestrahlte Brennelemente des KKB werden nach einigen Jahren Lagerung im betrieblichen Brennelementbecken in Transport- und Lagerbehälter verpackt und in das Lager für hochaktive Abfälle des ZWIBEZ zur Trockenlagerung überführt. Im Berichtsjahr fanden drei Transfers mit je 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 Werksareals 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 im Juni 2018 anlässlich der Werksnotfallübung CALIGO die Notfallorganisation. Der Übung wurde ein Szenario zugrunde gelegt, das zwei Ereignisse enthielt, die zwar voneinander unabhängig waren, jedoch nahezu parallel auftraten. Ausgangspunkt für das Gesamtszenario war der Transport von Abfallgebinden zwischen Block 1 und dem ZWIBEZ. Dabei kam es aufgrund einer Unachtsamkeit eines Fussgängers zu einem Zusammenstoss zwischen Stapler und Fussgänger. Der Fussgänger stürzte. Das transportierte Abfallgebinde fiel vom Stapler. Es wurde dabei beschädigt und der flüssige Inhalt ergoss sich über den verletzten Fussgänger. Leicht zeitversetzt kam es im Block 2 zu einem kleinen, primärseitigen Kühlmittelverlust, dessen Beherrschung durch technische Komplikationen erschwert wurde. Das KKB stufte 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 nur teilweise erreicht wurden. So wurden die vorhandenen personellen und materiellen Mittel insbesondere bei der Rettung von Personen aus Strahlenfeldern nicht optimal eingesetzt. Das KKB verfügt zwar über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation, konnte dies jedoch nicht in allen Bereichen unter Beweis stellen. Zur Verbesserung erhob das ENSI entsprechende Forderungen, die das KKB im Jahr 2019 zu erfüllen hat.

Eine Inspektion im Oktober 2018 zeigte, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit sind.

Ferner löste das ENSI im November 2018 ohne Voranmeldung einen Übungsalarm im KKB aus, der die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabes innerhalb der zeitlichen Vorgaben gemäss der Richtlinie ENSI-B11 bestätigte.

1.7 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr erhöhte sich der Personalbestand leicht auf 449 Personen, die 442 Vollzeitstellen besetzten (Ende 2017: 441, ohne Lernende). Damit beschäftigte das KKB Ende des Berichtsjahrs acht Personen mehr als Ende 2017. Das KKB hat im Berichtsjahr die Abteilung Stilllegung neu geschaffen. Sie setzt sich aus Mitarbeitern der Projektorganisation HERON zusammen, die bisher als eigene Geschäftseinheit innerhalb der Division Kernenergie der Axpo Power AG geführt wurde. Dies hatte eine leichte Erhöhung des Personalbestandes zur Folge. Die Aufgaben der neuen Abteilung sind die Erstellung der Unterlagen für das Stilllegungsgesuch, die Planung für eine sichere und effiziente Stilllegung des KKB sowie die Umsetzung von Projekten in Hinblick auf die Stilllegung. Aufgrund der laufenden Massnahmen der Axpo Power AG zur Reduktion der Produktionskosten des KKB achtet das ENSI im Rahmen seiner Aufsicht darauf, dass die Bewilligungsinhaber

die Vorgaben von Artikel 30 der Kernenergieverordnung und Kapitel 5 der Richtlinie ENSI-G07 weiterhin erfüllt.

Das ENSI führte mit dem KKB ein Fachgespräch zum Dialog über Sicherheitskultur durch. Thema war der Umgang mit den veränderten Rahmenbedingungen in der Kernenergiebranche. Ziel des Gesprächs war es, einen Reflexionsprozess über Aspekte der Sicherheitskultur anzustossen. Das Fachgespräch wurde als offener Dialog geführt, angelehnt an das Konzept «Aufsichtskultur», das im Bericht ENSI-AN-8708 beschrieben ist. Dementsprechend erfolgte von Seiten des ENSI keine formale Bewertung der Sicherheitskultur des KKB. Zudem führte das ENSI im Berichtsjahr ein Schwerpunkt-Fachgespräch zum Thema «Lernen aus Projekterfahrungen» durch. Neben den Aspekten des Projektmanagements wurden auch Erfahrungen mit technischen Fragestellungen thematisiert.

Das Managementsystem besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2015. Das ENSI führte 2018 eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Thema Betriebsführung durch. Es überprüfte, ob das Arbeitsauftragsverfahren im Managementsystem angemessen, detailliert und verbindlich geregelt ist und durch ein geeignetes Betriebsführungssystem unterstützt wird. Die entsprechenden Anforderungen wurden erfüllt.

Fünf Reaktoroperateure legten im Berichtsjahr 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 in einer Demonstration der Anwendung der Kenntnisse. Fünf Reaktoroperateure schlossen die Ausbildung zum Techniker HF, Fachrichtung Grossanlagenbetrieb ab. Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in Tabelle 3 zusammengestellt.

Das ENSI führte eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2017 und der Planung des Ausbildungsprogramms 2018 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 prüfte das ENSI die Ausbildung des Personals der Abteilungen «Projektierung» und «Reaktor & Sicherheit»

sowie der Geschäftsbereiche «Kernbrennstoffe» und «Bautechnik» auf die Einhaltung der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) und der Richtlinie ENSI-B10. Die Ausbildungsprogramme in den inspizierten Bereichen erfüllten die Anforderungen.

1.8 Periodische Sicherheitsüberprüfung

Das KKB reichte Mitte 2018 seine Dokumente zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) einschliesslich eines Sicherheitsnachweises für den Langzeitbetrieb ein. Die Grobprüfung des ENSI führte in einzelnen Bereichen zu sehr umfangreichen Nachforderungen. Aufgrund des erheblichen Umfangs der noch ausstehenden Unterlagen betrachtet das ENSI die Nachlieferung formal als Neueinreichung der PSÜ mit Sicherheitsnachweis für den Langzeitbetrieb.

1.9 Sicherheitsbewertung

1.9.1. Block 1

Im Jahr 2018 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:

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

Sicherheitsbewertung 2018 KKB1:
 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 & Organisation
Ziele				
Kontrolle der Reaktivität		N	A	N
Kühlung der Brennelemente		N	A	N
Einschluss radioaktiver Stoffe		N	N	V
Begrenzung der Strahlendosis		N	A	V
schutzzielübergreifende Bedeutung		V	A	N

Sicherheitsbewertung 2018 KKB1: Schutzziel-Perspektive
 Anmerkung: alternative Darstellung derselben Sachverhalte wie in der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge, aber mit zusätzlicher Darstellung radiologischer Auswirkungen

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. Sämtliche der Kategorie A (Abweichung) zugeordneten Sachverhalte sind im Unterkapitel 1.2 dargestellt.

Zusammenfassend kommt das ENSI zu folgenden Gesamtbewertungen:

Auslegungsvorgaben

Bei der Beurteilung der Auslegungsvorgaben hat das ENSI Erkenntnisse aus der letzten Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) sowie aus dem EU-Stresstest 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 von Zustand und Verhalten 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 Blocks 1 des KKB hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut.

Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

Da keine Bewertungen der Kategorien A und höher vorliegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des Blocks 1 des KKB hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als hoch.

1.9.2. Block 2

Im Jahr 2018 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:

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

Sicherheitsbewertung 2018 KKB2: 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 & Organisation
Ziele				
Schutzziele				
Kontrolle der Reaktivität		N	N	N
Kühlung der Brennelemente		N	A	N
Einschluss radioaktiver Stoffe		N	A	V
Begrenzung der Strahlenexposition		N	A	V
schutzzielübergreifende Bedeutung		V	N	N

Sicherheitsbewertung 2018 KKB2: Schutzziel-Perspektive
 Anmerkung: alternative Darstellung derselben Sachverhalte wie in der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge, aber mit zusätzlicher Darstellung radiologischer Auswirkungen

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. Sämtliche der Kategorie A (Abweichung) zugeordneten Sachverhalte sind im Unterkapitel 1.2 dargestellt.

Zusammenfassend kommt das ENSI zu folgenden Gesamtbewertungen:

Auslegungsvorgaben

Da die Auslegungsvorgaben des KKB für beide Blöcke weitgehend gleich sind, bewertet das ENSI auch die 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 in Unterkapitel 1.2 beschriebenen Abweichungen im Bereich von Zustand und Verhalten 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 Blocks 2 des KKB hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut.

Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

Da keine Bewertungen der Kategorien A und höher vorliegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des Blocks 2 des KKB hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als hoch.



*Kernkraftwerk
Mühleberg.
Foto: KKM*

2. Kernkraftwerk Mühleberg

2.1 Überblick

Im Berichtsjahr wurde der Leistungsbetrieb im Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) durch den geplanten Revisionsstillstand und eine automatische Reaktorschnellabschaltung unterbrochen. Das ENSI stellt fest, dass die bewilligten Betriebsbedingungen im Berichtsjahr immer eingehalten wurden.

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

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

Im Berichtsjahr waren im KKM vier meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen, die das ENSI auf der internationalen Ereignisskala INES alle der Stufe 0 zuordnete.

Das ENSI führte im Rahmen seiner Aufsichtstätigkeit 103 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 Betriebsbewilligung festgelegten Grenzwerte. Die Menge radioaktiver Rohabfälle entsprach dem aufgrund der durchgeführten Arbeiten zu erwartenden Umfang.

Im Berichtsjahr bestanden zwei Reaktoroperatoren und sechs Schichtchefs ihre Zulassungsprüfung. Zwei Reaktoroperatoren schlossen die Ausbildung zum Techniker HF, Fachrichtung Grossanlagenbetrieb erfolgreich ab.

Nach dem Ende der letzten Jahresrevision legte das KKM per 1. November 2018 die Abteilungen Maschinentechnik und Elektrotechnik zur Abteilung Technik zusammen.

Im Hinblick auf die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs im Dezember 2019 hatte das ENSI bereits im Januar 2015 zehn Forderungen verfügt. Die Forderungen zielen darauf ab, den Umfang und die zeitliche Staffelung der für die Etablierung und Aufrechterhaltung eines sicheren technischen Nachbetriebs erforderlichen Massnahmen festzulegen. Die verlangten Nachrüstungen sind mit einer Ausnahme abgeschlossen. Am Ende des Aufsichtsjahrs noch im Gang war der plangemäss verlaufende Ausbau der Brennelementbecken-Notfallkühlung zu einem Sicherheitssystem.

Weitere Ausführungen zur Vorbereitung der Stilllegung des KKM finden sich im Unterkapitel 2.8.

2.2 Betriebsgeschehen

Das KKM erreichte im Berichtsjahr eine Arbeitsausnutzung von 89,7 % und eine Zeitverfügbarkeit von 92,8 %. Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung der letzten zehn Jahre sind in Figur 1 dargestellt. Die Nichtverfügbarkeit der Anlage war mehrheitlich durch den Revisionsstillstand bedingt. Die ausgekoppelte Wärme für die Heizung der Wohnsiedlung Steinriesel betrug 1,4 GWh.

Im Berichtsjahr kam es zu einer automatischen Reaktorschnellabschaltung. Zur Durchführung von Wiederholungsprüfungen und Instandsetzungen,

auf Anforderung des Lastverteilers und infolge erhöhter Aarewassertemperatur erfolgten Leistungsabsenkungen.

Abgesehen von kurzen geplanten Unterbrüchen für Instandhaltungsarbeiten und betriebliche Wartungsarbeiten standen alle Sicherheitssysteme uneingeschränkt zur Verfügung.

Im Berichtsjahr waren vier meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen, die das ENSI auf der internationalen Ereignisskala INES alle der Stufe 0 zuordnete.

■ Im KKM wird dem Speisewasser kontinuierlich Wasserstoff zugesetzt. Der Wasserstoff wird vor Ort elektrolytisch erzeugt und über ein Druckregelventil dem Speisewasser zugeführt. Eine Impulsleitung von der Speisewasserleitung zum Druckregelventil dient der Erfassung des Speisewasserdrucks. Beide Speisewasserstränge verfügen über einen Elektrolyseur. Zusammen mit der Edelmetalleinspeisung dient der Wasserstoff dem Schutz der Kerneinbauten vor Korrosion. Der Wasserstoff vermindert die Konzentration der durch Radiolyse im Strahlenfeld des Reaktorkerns entstehenden, oxidierend wirkenden Stoffe. Bei einem Testlauf einer Speisewasserpumpe am 7. März 2018 war eine Absperrarmatur in der Impulsleitung des Druckregelventils einer Wasserstoffeinspeisung zu stark gedrosselt. Dadurch war das Verhalten des Regelventils gestört. Dies führte während des Tests zu einem vorübergehenden Rückstau von Wasserstoff. Nach Abschluss des Tests gelangte innert kurzer Zeit eine grössere Menge Wasserstoff über das

Brennelementbecken.
Foto: KKM



Speisewasser in den Reaktorkern. Im Reaktorkern wird durch die Wechselwirkung schneller Neutronen mit Sauerstoff laufend radioaktiver Stickstoff erzeugt. Die Stickstoffatome reagieren mit dem Reaktorwasser, wobei unter anderem leicht flüchtiges Ammoniak entsteht. Daneben werden auch sauerstoffhaltige Stickstoffverbindungen gebildet, von denen ein geringerer Anteil mit dem Frischdampf entweicht. Beim Zerfall des N-16 wird hochenergetische Gammastrahlung emittiert. Mit steigender Wasserstoffkonzentration im Reaktorwasser nimmt auch der Anteil des in Form von Ammoniak vorliegenden N-16 zu und damit die N-16-Aktivität im Frischdampf. Die Dosisleistung an den Frischdampfleitungen wird kontinuierlich überwacht. Im Falle einer Überschreitung des Grenzwertes werden die Frischdampfisolationsventile geschlossen und eine Reaktorschnellabschaltung wird ausgelöst. Diese Überwachung dient dem Erkennen von plötzlich und in grösseren Mengen aus beschädigten Brennelementen freigesetzten Radionukliden. Da keine gammaspektroskopische Analyse erfolgt, spricht sie auch bei einer Erhöhung der Dosisleistung durch N-16 bei intakten Brennelementen an. Dies war am 7. März 2018 der Fall. Frischdampfisolationsventile und Reaktorschnellabschaltung verliefen auslegungsgemäss. Zur Vermeidung vergleichbarer Vorkommnisse präzisierte das KKM die Betriebsvorschrift für die Elektrolyseure bezüglich der Stellung der Absperrventile der Impulsleitungen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Störung der Wasserstoffzufuhr in das Speisewasser 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 19. Juli 2018 zeigte sich eine geringfügige Leckage an einer Schweißnaht einer Entlüftungsleitung des Kühlwassersystems (CWS). Das CWS führt im Anforderungsfall die Wärme aus dem Toruskühlsystem (TCS) ab. Es enthält nicht radioaktives Aarewasser. Die betroffene Leitung dient der sekundärseitigen Entlüftung des TCS-Kühlers, in dem die Wärme vom TCS an das CWS übertragen wird. Die betroffene Stelle wurde bis zum Revisionsstillstand temporär abgedichtet, mit vorgängiger Meldung an das ENSI gemäss der Richtlinie ENSI-B03. Im Revisionsstillstand erfolgte der Ersatz des T-Stücks, das die defekte Schweißnaht enthielt.

Sowohl das CWS als auch das TCS waren während des Leistungsbetriebs jederzeit verfügbar. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Leckage an einer Entlüftungsleitung des CWS der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

- Im Rahmen des Wiederanfahrens der Anlage nach dem Revisionsstillstand sollte am 12. September 2018 gemäss Fahrprogramm durch Ausfahren von Steuerstäben der Reaktordruck von 68 auf 70 bar erhöht werden. Dabei bewegte sich ein Steuerstab über die vorgesehene Zielposition hinaus. Der Reaktoroperator fuhr den Stab umgehend vollständig in den Reaktor ein. Ursache für das Überschreiten der Zielposition war ein Ventil des hydraulischen Stabantriebs, das nicht wie vorgesehen schloss. Das Ventil funktionierte nach erneutem Entlüften des Steuerstabantriebssystems einwandfrei. Deshalb ist davon auszugehen, dass Luft, die nach dem vorgängigen Entlüften noch im System war, die Fehlfunktion auslöste. Das KKM ersetzte das Ventil trotzdem präventiv. Eine anschliessende Prüfung bestätigte die einwandfreie Funktion des Stabantriebs. Selbst bei einem vollständigen Ausfahren des betroffenen Steuerstabs hätte der Reaktor durch die übrigen Steuerstäbe jederzeit abgeschaltet werden können. Zudem wäre das Einschliessen des betroffenen Steuerstabs bei einer Reaktorschnellabschaltung jederzeit gewährleistet gewesen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung das fehlerhafte Ausfahren eines Steuerstabs 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 «Kontrolle der Reaktivität».
- Am 24. Dezember 2018 fiel das Prozessvisualisierungssystem (PVS) aus. Das PVS dient ausschliesslich der Darstellung von Prozessdaten im Hauptkommandoraum und im SUSAN-Kommandoraum. Die Benutzer können die Darstellung ihren Bedürfnissen entsprechend konfigurieren. Schalthandlungen erfolgen nicht über das PVS. Das PVS ist kein Sicherheitssystem. Es wird zur Beherrschung von Störfällen nicht benötigt. Sämtliche dafür

erforderlichen Daten sind auf vom PVS unabhängigen Anzeigen ersichtlich. Das trifft auch für die Überwachung des Normalbetriebs zu. Ursache für den Ausfall des PVS war ein Konfigurationsfehler im Prozessrechnersystem, das die vom PVS verarbeiteten Daten zur Verfügung stellt. Das Prozessrechnersystem ist ebenfalls kein Sicherheitssystem und wird zur Störfallbeherrschung nicht benötigt. Nach Korrektur des Fehlers stand das PVS innerhalb der von der Technischen Spezifikation gegebenen Frist wieder zur Verfügung. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Ausfall des Prozessvisualisierungssystems 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 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.

2.3 Anlagentechnik

2.3.1 Revisionsarbeiten

Die Revision dauerte vom 19. August bis 13. September 2018. Während dieser Zeit führte das KKM die folgenden geplanten Tätigkeiten durch: Brennelementwechsel, Inspektionen von Brennelementen sowie elektrischer und mechanischer Einrichtungen, zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen, wiederkehrende Funktionsprüfungen an Komponenten und Systemen sowie Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten. Zwei nicht korrekt angeschlossene Kleinleitungen im Bereich einer Reaktorwärmepumpe verzögerten das Wiederanfahren um zwei Tage.

Während der Jahresrevision informierte das Nuklearinspektorat des Schweizerischen Vereins für technische Inspektionen SVTI-N als vom ENSI beauftragter Sachverständiger das ENSI darüber, dass das KKM an einer elektrischen Durchführung am Containment eine modifizierte Leckageüberwachung angebracht hatte. Zudem führte das KKM die Überprüfung der Dichtheit der Durchdringung in der Jahresrevision 2018 ohne Beisein des SVTI-N durch. Das ENSI nahm dies zum Anlass, die Änderungen an der Durchdringung vor Ort zu inspizieren und mit dem KKM ein Fachgespräch über

die technischen und organisatorischen Aspekte der Änderung zu führen. Das ENSI kam bei seiner Bewertung zum Schluss, dass die vom KKM umgesetzte neue Vorgehensweise zum Nachweis der Dichtheit der Durchführung technisch sachgerecht und zielführend ist. Das ENSI konnte die ausreichende Dichtheit der Durchdringung bestätigen. Die nicht korrekte Abwicklung ordnete das ENSI im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die dritte Barriere sowie für das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe».

Folgende Arbeiten an mechanischen Komponenten seien hervorgehoben:

- Die Ultraschallprüfungen mit einem qualifizierten Prüfsystem an 36 Schweißnähten der Kernsprühleitungen im Reaktordruckbehälter (RDB) ergaben keine bewertungspflichtigen Befunde. Auch die Ultraschallprüfungen an Schweißnähten der Umwälzschleifen und des Kernsprühsystems ausserhalb des RDB zeigten keine bewertungspflichtigen Befunde.
- Die bereits bekannten Querrisse an einer Schweißnaht des Kernmantels zeigten bei der visuellen Prüfung keine messbaren Veränderungen seit der letzten Prüfung im Jahr 2016. Das KKM hielt damit die massgeblichen, vom ENSI im Jahr 2015 festgelegten Grenzwerte ein.
- An beiden Reaktorwärmepumpen erfolgte ein präventiver Austausch der Gleitringdichtungen gegen typengleiche Dichtungen. Die ausgebauten Dichtungen waren in einem guten Zustand, was die Eignung der Dichtungen dieses Typs bestätigt. Zudem tauschte das KKM die Gleitringdichtungen zweier Kondensatpumpen gemäss Instandhaltungsplan aus.
- Am Primärcontainment nahm das KKM umfangreiche Prüfungen vor: Wanddickenmessungen am Drywell, visuelle Prüfungen der Oberflächen des Torus, Ultraschall- und Magnetpulverprüfungen an Schweißnähten der Torus-Ringleitung und Leckratentests der Containmentdurchführungen. Die Prüfungen zeigten, dass das Primärcontainment betriebsbereit ist. Das Sekundärcontainment erfüllte in den Leckratentests die Anforderungen.

Aus dem elektro- und leittechnischen Bereich seien folgende Arbeiten erwähnt:

- Das KKM ersetzte im Rahmen des langfristigen Instandhaltungsprogramms mehrere 24-V- und 125-V-Batterien der Gleichstromversorgung.



Maschinenhaus,
Speisewasserpumpen.
Foto: KKM

Die Kapazitätsprüfungen an mehreren Batterien verliefen erfolgreich, ebenso die Kontrollmessungen an den unterbrechungsfreien Stromversorgungen.

- Die Wartungsarbeiten und Kontrollen an den Notstromdieselanlagen gaben keinen Anlass zu Beanstandungen. Die abschliessenden Probe-läufe bestätigten die Betriebsbereitschaft.
- Mit dem Austausch von Relais in den Schaltanlagen der Eigenbedarfsversorgung im Rahmen der Alterungsüberwachung wird die Betriebssicherheit auch weiterhin auf einem hohen Stand gehalten.
- Die Prüfungen zweier Redundanzen des Reaktorschutzsystems sowie der Leittechnik im Notstandsystem SUSAN verliefen erfolgreich, ebenso die Prüfungen an den Block- und Eigenbedarfstransformatoren, am Anfahrtransformator und an den Umrichtern der Reaktorummwälz-, Speisewasser- und Hauptkühlwasserpumpen. Die Kontrolle der Brandschutztüren der gesamten Anlage zeigte deren Funktionstüchtigkeit.

2.3.2 Anlageänderung

Das KKM ertüchtigte den zweiten SUSAN-Notstromdieselgenerator hinsichtlich der Seismik. Die Betreiberin ersetzte die Konuslager unter dem Dieselmotor und unter dem Grundrahmen und verbesserte die Motorlagerung an der Kupplungsgegenseite. Die Ertüchtigung des ersten SUSAN-Notstromdieselgenerators hatte im Vorjahr stattgefunden.

2.3.3 Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente

Im August 2018 wurde der 45. Betriebszyklus des KKM planmässig abgeschlossen. Die laufende Überwachung der Kühlmittelaktivität zeigte ein auslegungsgemässes Betriebsverhalten der eingesetzten Brennelemente. Die Inspektionen der Brennelemente bestätigten erneut, dass die Edelmetalleinspeisung in das Kühlmittel (siehe Unterkapitel 2.4) keinen negativen Einfluss auf die Brennstab-Hüllrohre oder die Strukturteile der Brennelemente hat.

Als Vorläufer wurden weiterhin vier Brennelemente mit Kästen aus dem weiterentwickelten Material NSF eingesetzt. Die bisherigen Inspektionen bestätigten das auslegungsgemässe Verhalten der NSF-Kästen. Des Weiteren sind zwei Steuerelemente des Typs Marathon Ultra MD als Vorläufer eingesetzt. Im Jahr 2018 wurden planmässig keine Steuerstäbe inspiziert, getauscht oder umgesetzt. Die im Zyklus gemessene Borkonzentration im Reaktorwasser wies auf den guten Zustand der Steuerstäbe hin.

Für den 46. Betriebszyklus setzte das KKM insgesamt 46 frische Brennelemente des Typs GNF2 ein. Damit wird der Reaktorkern weiterhin ausschliesslich mit GNF2-Brennelementen betrieben. Das ENSI überzeugte sich davon, dass nur freigegebene und den Qualitätsanforderungen entsprechende Brennelemente geladen wurden und alle Sicherheitsmassnahmen während des Brennelementwechsels den Vorgaben entsprachen. Der

vom ENSI geprüfte Beladeplan des Reaktorkerns erfüllte die Sicherheitsanforderungen und ist geeignet für den auf 15 Monate verlängerten letzten Betriebszyklus.

Das KKM betrieb den Reaktorkern im Berichtsjahr auslegungsgemäss und im bewilligten Rahmen. Die Ergebnisse der reaktorphysikalischen Messungen stimmten gut mit den Ergebnissen der Kernauslegungsberechnungen überein.

2.4 Strahlenschutz

Im Berichtsjahr betrug die akkumulierte Kollektivdosis 600 Pers.-mSv. Die höchste Individualdosis lag mit 7,6 mSv unter dem für beruflich strahlenexponierte Personen geltenden Dosisgrenzwert von 20 mSv pro Jahr. Im Berichtszeitraum traten weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen auf.

Die mit elektronischen Dosimetern während des Revisionsstillstands 2018 gemessene Kollektiv-

dosis betrug 472,4 Pers.-mSv. Geplant waren 575 Pers.-mSv. Damit lag die Kollektivdosis im Rahmen der Prognosegenauigkeit von $\pm 20\%$.

Die mittlere Dosisleistung an den beiden Umwälzschleifen betrug 1,80 mSv pro Stunde (Vorjahr: 1,98 mSv pro Stunde). Der Höchststand im Jahr 1994 lag bei 6,4 mSv pro Stunde.

Beim Personalbestand im Ressort Strahlenschutz machte sich im Betriebsjahr der allgemeine Strahlenschutz-Fachkräftemangel bemerkbar. Das KKM begegnete diesem Umstand einerseits mit der Rekrutierung aus dem Eigenpersonal und andererseits mit der Verstärkung durch einen erfahrenen Mitarbeiter aus einem anderen Schweizer Kernkraftwerk. Zudem setzte das KKM erfahrene und mit der Anlage vertrautes Strahlenschutzpersonal externer Firmen ein. Die regelmässigen und die arbeitsbedingten Kontaminationskontrollen der Oberflächen und der Raumluft bestätigten einen radiologisch sauberen Zustand der kontrollierten Zonen.

Die Edelmetalleinspeisung in das Reaktorwasser wurde fortgesetzt. Gemeinsam mit der kontinuierlichen Zugabe von Wasserstoff können dadurch die Einbauten im Reaktordruckbehälter vor Spannungsrissskorrosion geschützt und die Kontamination der Primärkühlmittelleitungen gesamthaft reduziert werden.

Das ENSI konnte sich an den durchgeführten Inspektionen davon überzeugen, dass das KKM einen konsequenten und gesetzeskonformen Strahlenschutz praktizierte.

Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen, Iod und Edelgasen lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Abgabelimiten. Das galt auch für die radioaktiven Abgaben mit dem Abwasser ohne Tritium. Die Tritium-Abgaben des KKM betragen rund 1 % der Jahresabgabelimite. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern durch. Sie stimmten mit den vom KKM gemeldeten Analyseergebnissen überein. Aus den tatsächlich über die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnete das ENSI die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKM unter ungünstigen Annahmen. Die berechneten Dosen betragen rund 0,003 mSv für Erwachsene sowie 0,004 mSv für Zehnjährige und Kleinkinder. Sie lagen somit deutlich unter dem quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0,3 mSv pro Jahr gemäss der Richtlinie ENSI-G15. Die Dosisleistungsmessungen des vom ENSI betriebenen Messnetzes

*Brennelemente,
aufgebaut aus
einzelnen
Brennstäben.
Foto: KKM*



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 1,1 mSv einschliesslich der natürlichen Untergrundstrahlung einen mit dem Vorjahr vergleichbaren Wert. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen am Zaun des Kraftwerkareals durch, die ebenfalls keine signifikanten Veränderungen zeigten. Die Messungen der Betreiberin und des ENSI gaben keinen Hinweis auf eine Verletzung der gemäss 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 KKM wird auf den Strahlenschutzbericht 2018 des ENSI verwiesen.

2.5 Radioaktive Abfälle

Radioaktive Rohabfälle fallen im KKM regelmässig aus den Wasserreinigungssystemen, der Abgas- und Fortluftreinigung und in Form verbrauchter Brennelementkästen an. Weitere Abfälle stammen aus dem Austausch von Komponenten bei Instandhaltungs-, Umbau- oder Nachrüstungsmassnahmen und den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien. Im Berichtsjahr fielen 18 m³ radioaktive Rohabfälle an (siehe Tabelle 6). Die Abfallmenge bewegte sich in der mehrjährigen Schwankungsbreite auf einem niedrigen Niveau.

Die radioaktiven Rohabfälle werden gesammelt, kampagnenweise konditioniert und anschliessend zwischengelagert. Das KKM bewahrt die unkonditionierten Abfälle in dafür vorgesehenen Räumlichkeiten der kontrollierten Zone auf. Ihr Bestand lag mit 60 m³ im Erfahrungsbereich der vergangenen Jahre. Brennare und weitere Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in den Anlagen der Zwiilag bereitgestellt und dorthin transportiert. Als Konditionierungsverfahren für die Betriebsabfälle kommt im KKM die Zementierung von Harzen zum Einsatz. Die erforderlichen behördlichen Typengenehmigungen liegen vor. Im Berichtsjahr wurden 90 Gebinde mit Harzen konditioniert.

Die konditionierten Abfallgebände werden in das werkseigene Zwischenlager eingelagert. Das KKM nutzt zudem die Kapazitäten des zentralen Zwischenlagers der Zwiilag. Im Berichtsjahr wurden 634 konditionierte Abfallgebände dorthin transferiert. Bei der jährlichen Inspektion des Lagerguts ergaben sich keine meldepflichtigen Befunde. Die radioaktiven Abfälle des KKM sind in einem von allen schweizerischen Kernanlagen eingesetzten elektronischen Buchführungssystem erfasst. Damit ist die Information über Menge, Lagerort und radiologische Eigenschaften jederzeit verfügbar.

Wichtig bei der Minimierung der radioaktiven Abfälle ist die Inaktiv-Freimessung von Materialien aus der kontrollierten Zone. Im KKM wurden im Berichtsjahr insgesamt 9,44 t Material freigemessen. Bestrahlte Brennelemente des KKM werden nach einigen Jahren Lagerung im Brennelementbecken in Behältern in das Zentrale Zwischenlager (ZZL) zur Trockenlagerung transportiert. Im Berichtsjahr fanden zwei entsprechende Transportkampagnen statt. Es wurden je 69 Brennelemente zunächst in das ZZL transportiert und dort für die Zwischenlagerung in Transport- und Lagerbehälter umgeladen.

Weitere Information zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente findet sich im Kapitel 8.

2.6 Notfallbereitschaft

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

Das ENSI beobachtete und beurteilte im Oktober 2018 an der Werksnotfallübung VENUS die Notfallorganisation. Grundlage für das Übungsszenario war ein Brennelement-Handhabungsunfall. Zum Zeitpunkt des Ereignisses wurde ein Transportbehälter mit Brennelementen beladen. Beim Transferieren eines Brennelements zum Transportbehälter stürzte dieses auf den Boden des Brennelementbeckens. Das wiederum führte zur Auslösung des Evakuierungsalarms im Reaktorgebäude. Mehrere Personen mussten gesucht und geborgen werden. Da der vorgewählte Abluftstrang der Notabluft nicht in Betrieb genommen werden konnte, startete auslegungsgemäss zur Sicherstellung der Gebäudeintegrität der redundante Abluftstrang.

Das KKM stufte das Ereignis korrekt ein und meldete es dem ENSI zeitgerecht. Aufgrund seiner Übungsbeobachtungen während der Werksnotfallübung VENUS kam das ENSI zum Schluss, dass das KKM die vorgegebenen Ziele für Werksnotfallübungen gemäss der Richtlinie ENSI-B11 erreichte. Das KKM verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.

Eine Inspektion im Oktober 2018 zeigte, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit sind.

Ferner löste das ENSI im November 2018 im KKM ohne Voranmeldung einen Übungsalarm aus, der die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabes innerhalb der zeitlichen Vorgaben gemäss der Richtlinie ENSI-B11 bestätigte.

2.7 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr verringerte sich der Personalbestand gegenüber dem Vorjahr auf 312 Personen, die 305 Vollzeitstellen besetzen (Ende 2017: 331). Dieser Rückgang ist im Hinblick auf die bevorstehende Stilllegung des KKM nachvollziehbar und stellt keine Gefährdung der nuklearen Sicherheit dar. Die BKW Energie AG führte die 2015 lancierten Massnahmen zur Personalbindung weiter. Damit will die BKW Energie AG die personellen Ressourcen für einen sicheren und wirtschaftlichen Betrieb erhalten und das bestehende Know-how längerfristig an das Unternehmen binden.

Nach Abschluss der letzten Jahresrevision hat das KKM per 1. November 2018 die Abteilungen Maschinentechnik und Elektrotechnik zur Abteilung Technik zusammengelegt. Das KKM begründete diese Änderung mit dem veränderten Aufgabenspektrum, das sich insbesondere aus dem Wegfall von Nachrüstungen und Revisionen ergibt. Aus Sicht des ENSI ist die Unabhängigkeit zwischen Betrieb und Instandhaltung auch nach der Zusammenlegung der beiden Abteilungen gegeben, sodass bei potenziellen Zielkonflikten eine sicherheitsgerichtete Entscheidungsfindung gewährleistet bleibt.

Schwerpunktthema der Aufsicht im Bereich «Mensch und Organisation» bleibt unverändert der Kompetenzerhalt für einen sicheren Betrieb des KKM bis zur endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs.

Das ENSI führte mit dem KKM ein Fachgespräch zum Dialog über Sicherheitskultur. Thema war der Umgang mit den veränderten Rahmenbedingun-

gen in der Kernenergiebranche. Ziel des Gesprächs war es, einen Reflexionsprozess über Aspekte der Sicherheitskultur anzustossen. Das Fachgespräch wurde als offener Dialog geführt, angelehnt an das Konzept «Aufsichtskultur», das im Bericht ENSI-AN-8708 beschrieben ist. Dementsprechend erfolgt von Seiten des ENSI keine formale Bewertung der Sicherheitskultur des KKM.

Zudem führte das ENSI im Berichtsjahr ein Schwerpunkt-Fachgespräch zum Thema «Lernen aus Projekterfahrungen» durch. Neben den Aspekten des Projektmanagements wurden auch Erfahrungen mit technischen Fragestellungen thematisiert.

Das Managementsystem des KKM besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2015. Das ENSI führte 2018 eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Thema Betriebsführung durch. Es überprüfte, ob das Arbeitsauftragsverfahren im Managementsystem angemessen, detailliert und verbindlich geregelt ist und durch ein geeignetes Betriebsführungssystem unterstützt wird. Die entsprechenden Anforderungen wurden erfüllt.

Zwei Reaktoroperateure sowie sechs Schichtchefs legten im Berichtsjahr 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 in einer Demonstration der Anwendung der Kenntnisse. Zwei Reaktoroperateure schlossen die Ausbildung zum Techniker HF, Fachrichtung Grossanlagenbetrieb ab. Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in Tabelle 3 zusammengestellt.

Das ENSI führte eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2017 und der Planung des Ausbildungsprogramms 2018 der Abteilung Betrieb durch. Gegenstand der Inspektion waren die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator, die allgemeine Wiederholungsschulung sowie deren Änderungen und Neuerungen. Ferner prüfte das ENSI die Ausbildung des Personals der Abteilungen Fachstab und Projekte auf die Einhaltung der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) und der Richtlinie ENSI-B10. Die Ausbildungsprogramme in den inspizierten Bereichen erfüllten die Anforderungen.

2.8 Vorbereitung der Stilllegung

Im Oktober 2013 entschied die BKW Energie AG, den Leistungsbetrieb des KKM Ende 2019 einzustellen und das Kraftwerk endgültig ausser Betrieb zu nehmen. Im Jahr 2020 ist vorgesehen, dass alle Brennelemente aus dem Reaktordruckbehälter in das Brennelementbecken transferiert und die für die Etablierung des sicheren technischen Nachbetriebs erforderlichen Massnahmen umgesetzt werden. Anschliessend soll das KKM ab September 2020 in zwei aufeinanderfolgenden Phasen rückgebaut werden. Die BKW Energie AG beantragte Ende 2017 die Freigabe zur Umsetzung der Massnahmen für die Etablierung des technischen Nachbetriebs. Das ENSI prüfte im Berichtsjahr die Anträge der BKW Energie AG.

Für den Rückbau erarbeitete die BKW Energie AG ein Stilllegungsprojekt und reichte es am 18. Dezember 2015 ein. Das ENSI erstellte zum Stilllegungsprojekt ein sicherheitstechnisches Gutachten und formulierte dabei 35 Nebenbestimmungen zur Gewährleistung der nuklearen Sicherheit. Darüber hinaus nahm das ENSI zu den gegen das Stilllegungsprojekt eingereichten Einsprachen sowie zu den Stellungnahmen der in das Verfahren involvierten Bundesämter und Kantone Stellung.

Am 20. Juni 2018 verfügte das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) die Stilllegung des KKM unter Berücksichtigung aller Nebenbestimmungen des ENSI in Form von Auflagen. Diese Auflagen betreffen diverse Aspekte des Stilllegungsprojektes. Sie regeln insbesondere die Freigabepflichten für vorbereitende Stilllegungsmassnahmen im Jahr 2020 im Maschinenhaus, für den Rückbau während der Stilllegungsphase 1 und der Stilllegungsphase 2. Die Realisierung der Stilllegungsphase 1 ist geplant von September 2020 bis Ende 2024, die Stilllegungsphase 2 in den Jahren 2024 bis 2031.

2.9 Sicherheitsbewertung

Im Jahr 2018 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 Sicherheitsbewer-

tungsmatrix zu folgenden zusammenfassenden Beurteilungen:

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

Sicherheitsbewertung 2018 KKM:

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	
	Auslegungs-Vorgaben	Betriebs-Vorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch & Organisation
Ziele				
Schutzziele				
Kontrolle der Reaktivität		N	A	N
Kühlung der Brennelemente		N	A	N
Einschluss radioaktiver Stoffe		N	A	A
Begrenzung der Strahlenexposition		N	V	N
schutzzielübergreifende Bedeutung		V	A	V

Sicherheitsbewertung 2018 KKM: Schutzziel-Perspektive
Anmerkung: alternative Darstellung derselben Sachverhalte wie in der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge, aber mit zusätzlicher Darstellung radiologischer Auswirkungen

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. Sämtliche der Kategorie A (Abweichung) zugeordneten Sachverhalte sind in den Unterkapiteln 2.2 und 2.3 dargestellt.

Zusammenfassend kommt das ENSI zu folgenden Gesamtbewertungen:

Auslegungsvorgaben

Bei der Beurteilung der Auslegungsvorgaben hat das ENSI Erkenntnisse aus der letzten Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) sowie aus dem EU-Stresstest herangezogen und dabei die Ausle-

gung der Anlage bezüglich Redundanzgrad, Diversität, räumlicher Separation und Robustheit gegen auslösende Ereignisse bewertet. Da die Auslegungsvorgaben des KKM die Minimalanforderungen und den Stand ausländischer Anlagen desselben Typs übertreffen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKM hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als gut.

Betriebsvorgaben

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

Zustand und Verhalten der Anlage

Das ENSI beurteilt die im Unterkapitel 2.2 beschriebenen Abweichungen im Bereich von Zustand und Verhalten 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 KKM hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut.

Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

Das ENSI beurteilt die im Unterkapitel 2.3 beschriebene Abweichung im Bereich von Zustand und Verhalten 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 KKM hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als gut.



Kernkraftwerk Gösgen.
Foto: KKG

3. Kernkraftwerk Gösgen

3.1 Überblick

Das Berichtsjahr zeichnete sich im Kernkraftwerk Gösgen (KKG) durch einen ungestörten, nur durch den geplanten Revisionsstillstand unterbrochenen Volllastbetrieb aus. Das ENSI stellt fest, dass die bewilligten Betriebsbedingungen immer eingehalten wurden.

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

Das KKG ist eine 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 An-

hangs zusammengestellt. Figur 5a zeigt das Funktionsschema einer Druckwasserreaktor-Anlage.

Im Berichtsjahr waren im KKG 13 meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen, die das ENSI auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 0 zuordnete.

Das ENSI führte im Rahmen seiner Aufsicht 96 Inspektionen durch. Wo erforderlich verlangte das ENSI Verbesserungen und überwachte deren Umsetzung.

Der Revisionsstillstand dauerte vom 2. bis 23. Juni 2018. Neben dem Brennelementwechsel erfolgten Anlageänderungen sowie Prüfungen und Inspektionen an Komponenten und Systemen. Es ergaben sich keine Befunde, die einem sicheren Betrieb entgegenstehen.

Die Kollektivdosis war sowohl im Revisionsstillstand als auch im ganzen Betriebsjahr tief. Die für beruflich strahlenexponierte Personen geltenden

Dosisgrenzwerte 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 natürlichen Strahlenexposition 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 legten vier Reaktoroperatoren, drei Schichtchefs und ein Pikettingenieur ihre Zulassungsprüfung mit Erfolg ab. Vier Reaktoroperatoren schlossen die Ausbildung zum Techniker HF, Fachrichtung Grossanlagenbetrieb erfolgreich ab. In Hinblick auf den Langzeitbetrieb bereitete das KKG verschiedene organisatorische Änderungen vor.

3.2 Betriebsgeschehen

Das KKG erreichte im Berichtsjahr eine Arbeitsausnutzung von 93,5 % und eine Zeitverfügbarkeit von 94,1 %. Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung der letzten zehn Jahre sind in Figur 1 dargestellt. Die Nichtverfügbarkeit der Anlage war fast ausschliesslich auf den Revisionsstillstand zurückzuführen.

*Inspektion eines Brennelements, Jahresrevision 2018.
Foto: KKG*



Die ausgekoppelte Prozesswärme für die Versorgung der zwei nahegelegenen Kartonfabriken belief sich auf 220 GWh.

Zur Durchführung geplanter Prüfungen, auf Anforderung des Lastverteilers und infolge negativer Marktpreise erfolgten kurzzeitige Leistungsabsenkungen.

Im Berichtsjahr waren 13 meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen, die das ENSI auf der internationalen Ereignisskala INES alle der Stufe 0 zuordnete.

- Am 23. März 2018 stellte der Empfänger eines aus dem KKG stammenden Versandstücks eine unzulässige Aktivität des Inhalts fest. Der Transport hatte als freigestelltes Versandstück mit begrenzter Stoffmenge (UN-Nummer 2910) stattgefunden. Die Aktivität des Inhalts war etwa achtmal höher als zulässig. Trotzdem wurden die für ein freigestelltes Versandstück geltenden Höchstwerte für die Dosisleistung an der Oberfläche und die Oberflächenkontamination eingehalten. Der benutzte Container wäre geeignet gewesen für den Versand des Inhalts unter Verwendung der UN-Nummer 2915. Ursache für die falsche Zuordnung war ein fehlerhaftes Beförderungspapier einer Fremdfirma, welches das KKG nicht überprüft hatte. Das ENSI forderte das KKG auf, das Verfahren zum Versand radioaktiver Stoffe anzupassen. Das KKG erfüllte die Forderung termingerecht. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die falsche Zuordnung eines Versandstücks der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie für die Schutzziele «Einschluss radioaktiver Stoffe» und «Begrenzung der Strahlenexposition».

- Am 18. April 2018 wurde an der Messstelle zur Überwachung der Aerosolaktivität in der Kaminfortluft ein abgerissener Schlauch bemerkt. Dieser Schlauch führt die für die Messung verwendete Luft nach der Messstelle wieder in die Kaminfortluft zurück. Das KKG ersetzte den Schlauch innerhalb der massgeblichen Frist der Technischen Spezifikation. Alle anderen Messstellen der Fortluftüberwachung zeigten normale Werte. Die Auswertung der zur Bilanzierung der Aerosolabgaben verwendeten Filter, die unabhängig sind von der nicht verfügbaren Messstelle, zeigte keine Abgaben im betroffenen Zeitraum. Zur Beschädigung des Schlauch-

ches war es bereits am Vortag im Rahmen von Vorbereitungsarbeiten für die Montage einer neuen Iodmessstelle der Kaminfortluftüberwachung gekommen. Als Messwert der Aerosolmessstelle wurde bereits zuvor die Nachweisgrenze angezeigt. Der Messwert blieb beim Abriss des Schlauchs unverändert und gab somit keinen Hinweis auf den Vorfall. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die temporäre Nichtverfügbarkeit der Aerosolmessstelle 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 die Schutzziele «Einschluss radioaktiver Stoffe» und «Begrenzung der Strahlenexposition».

- Im KKG sind zwei Wasserringkompressoren als Abgaskompressoren im Einsatz. Sie sind zur Störfallbeherrschung nicht erforderlich. Am 14. Mai 2018 kam es zu einer automatischen Umschaltung des laufenden Abgaskompressors auf den redundanten Kompressor. Kriterium für die Abschaltung des laufenden Kompressors war ein zu geringer Durchfluss an Ringflüssigkeit. Nach der Reinigung des Ringflüssigkeitsfilters trat erneut ein anomales Verhalten des Kompressors auf, der sodann gegen eine Ersatzmaschine ausgetauscht wurde. Die Ursachenabklärung zeigte am 28. Mai 2018 einen Wellenbruch sowie Schäden am Laufrad und anderen Teilen des Kompressors, womit ein meldepflichtiges Vorkommnis vorlag. Da der Kompressor nach der Reinigung des Ringflüssigkeitsfilters zur Beobachtung des Betriebsverhaltens wiederholt gestartet worden war, wurden die Bruchflächen der Rotorwelle verschmiert und abgerieben. Sie lassen daher keine Rückschlüsse auf die Art des Bruches mehr zu. Aufgrund des Schadensbildes ist jedoch von einem Torsionsbruch auszugehen. Bereits in früheren Jahren war es im KKG zu Schäden an und Ausfällen von Abgaskompressoren gekommen. Das KKG plant den Ersatz der Abgaskompressoren durch solche eines anderen Typs, bei dem es bis heute zu keinen Wellenbrüchen gekommen ist. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Bruch der Welle eines Abgaskompressors 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 «Einschluss radioaktiver Stoffe».

- Im Rahmen der Nulllastmessungen zum Abschluss des Revisionsstillstands kam es am 23. Juni 2018 zu einem fehlerhaften Einfall eines Steuerstabs. Ursache war eine lose Steckverbindung in der Ansteuerung einer für das schrittweise Ein- und Ausfahren des Steuerstabs benötigten Magnetspule. Der Einfall des betroffenen Steuerstabs wäre bei einer Schnellabschaltung im Anforderungsfall jederzeit gewährleistet gewesen. Zum Zeitpunkt des Fehleinfalls war der Steuerstab bereits plangemäss weit in den Reaktorkern eingefahren. Der Einfall bewirkte demzufolge nur eine minimale Reaktivitätsänderung. Der Zustand des Reaktors blieb innerhalb der Messgenauigkeit unverändert und das Ergebnis der Nulllastmessung wurde nicht beeinflusst. Nach der Reparatur der losen Steckverbindung liess sich der Stab normal bewegen. Die im Laufe der Zeit abnehmende Klemmkraft von Steckverbindungen des betroffenen Typs war bekannt. Mit der Ertüchtigung wurde bereits im Revisionsstillstand 2018 begonnen, der Abschluss ist für 2020 geplant. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den fehlerhaften Einfall eines Steuerstabs 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 «Kontrolle der Reaktivität».
- Am 11. Juli 2018 führte die Schichtmannschaft eine periodische Reaktorschutzprüfung durch. Dabei kam es zu einer Fehlbedienung. Die Versorgung einer Notstromschiene ab dem normalen Netz wurde unterbrochen, bevor der Notstromdiesel auf die Schiene aufgeschaltet war. Wie für solche Fälle vorgesehen, startete der Notstromdiesel automatisch und versorgte die Notstromschiene wieder mit Spannung. Ein Prüfungsleiter hatte nach der Vorbesprechung der Prüfsequenz eine falsche Seite der Prüfanweisung aufgeschlagen. In der Folge erteilte er die Anweisung zum Öffnen der Einspeisung ab dem normalen Netz früher als in der Anweisung vorgesehen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Fehlbedienung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicher-

heitsebene 3 sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

- Während des Abfahrens der Anlage für die Jahresrevision kam es an einer Messleitung des Speisewassersystems zu einer geringfügigen Leckage. Das Speisewassersystem ist Teil des nicht nuklearen Sekundärkreislaufs. Die Messleitung dient der Erfassung des Speisewassersdrucks. Das KKG ersetzte das betroffene Stück. Die externe Analyse zeigte am 13. Juli 2018, dass die Leckage durch einen Riss verursacht worden war und somit ein meldepflichtiges Vorkommnis vorlag. Als mögliche Ursache steht Spannungsrisskorrosion im Vordergrund. Eine visuelle Prüfung der anderen Druckmessleitungen des Speisewassersystems ergab keine Anzeichen für weitere vergleichbare Schäden. Das KKG wird in den nächsten Jahren alle Druckmessleitungen des Speisewassersystems ersetzen. Anhand von Farbeindringprüfungen an den ausgebauten Rohren wird die Bedeutung des Vorkommnisses für Druckmessleitungen anderer Systeme geprüft. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Leckage an einer Druckmessleitung des Speisewassersystems 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 2. September 2018 fiel die Iodaktivitätsmessung zur Überwachung der Kaminfortluft aus. Grund war ein Defekt an der Pumpe, welche die Luft in den Iodmonitor fördert. Das KKG reparierte die Pumpe. Die Messung war während rund 14 Stunden nicht verfügbar. Die zulässige Dauer gemäss Technischer Spezifikation beträgt hundert Stunden. Alle anderen Messsysteme zur kontinuierlichen und bilanzierenden Überwachung der Kaminfortluft funktionierten normal. Die Auswertung der Filter der bilanzierenden Abgasmessung, die nicht mit dem Iodmonitor zusammenhängen, zeigte während der Nichtverfügbarkeit der Iodaktivitätsmessung keine entsprechenden Abgaben. Das KKG ersetzte den Iodmonitor, einschliesslich der betroffenen Pumpe im Oktober 2018. Dieser Ersatz war bereits zu einem früheren Zeitpunkt für das 4. Quartal 2018 geplant und vom ENSI im August 2017 freigegeben worden. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Ausfall des

Iodmonitors 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 zweite Wasserfassung des KKG verfügt über zwei dieselmotorgetriebene Pumpen, die im Anforderungsfall die Versorgung des nuklearen Nebenkühlwassersystems sicherstellen. Ist ein Dieselmotor nicht in Betrieb, wird sein Kühlwasser vorgewärmt und durch eine Pumpe umgewälzt. Beim Start des Diesels schaltet sich die Kühlwasserumwälzpumpe automatisch aus, beim Abschalten automatisch wieder ein. Nach der Funktionsprüfung der zweiten Wasserfassung vom 25. September 2018 trat an der Kühlwasserpumpe eines Diesels eine Leckage auf. Ursache war ein falsch dimensionierter Dichtungsring, den der Lieferant der Pumpe bei einer Revision eingebaut hatte. Das KKG tauschte die Pumpe aus. Dazu erfolgte eine Freischaltung des Kühlwasserdiesels. Er war innerhalb der massgeblichen Frist der Technischen Spezifikation betriebsbereit. Aufgrund des Vorkommnisses hat das KKG geplant, die Dimension der Dichtungsringe aller Pumpen des betroffenen Typs zu überprüfen und gegebenenfalls falsch dimensionierte Ringe auszutauschen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Leckage an der Kühlwasserumwälzpumpe, die zu einer vorübergehenden Unverfügbarkeit eines Diesels der zweiten Wasserfassung führte, 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 «Kühlung der Brennelemente».
- Bei einer Reaktorschutzprüfung am 17. Oktober 2018 startete der Notstanddiesel nach Betätigung der Prüftasten normal und versorgte nach Schliessen des Generatorschalters die zugehörige Notstromschiene. Unmittelbar danach öffnete sich der Generatorschalter aus noch unbekanntem Gründen. Die betroffene Notstromschiene wurde spannungslos. Die Prüfung wurde abgebrochen, die Prüftasten losgelassen. Daraufhin schloss sich der Generatorschalter wieder automatisch. Bei der kurz darauf erfolgten Wiederholung der Prüfung verhielt sich der Generatorschalter normal. Zur Abklärung der Ursache für das Fehlverhalten

des Generatorschalters entschied das KKG, bei zukünftigen Prüfungen zusätzliche leittechnische Signale aufzuzeichnen und zu analysieren. Angesichts der zum Zeitpunkt der Analyse noch unbekanntes Ursache wurde für die risikotechnische Bewertung eine latente Nichtverfügbarkeit von 15 Tagen angenommen. Das entspricht dem halben Zeitintervall seit der letzten erfolgreichen Prüfung. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Spannungslosigkeit einer Notstromschiene der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie schutzzielübergreifender Bedeutung. Die mit dem Vorkommnis verbundene Risikoerhöhung wurde der Kategorie A (Abweichung) zugeordnet – als Aspekt des Zustandes und Verhaltens der Anlage mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

- Am 24. Oktober 2018 informierte der Lieferant das KKG über einen Fehler im Sicherheitsnachweis für Brennelemente eines bestimmten Typs. Aufgrund eines Programmierfehlers waren die Zeitverläufe der Erschütterungen bei Erdbeben nicht mit der vorgesehenen Konservativität modelliert worden. Die in der Folge durchgeführten zusätzlichen Analysen zeigten jedoch, dass die Abschaltung des Reaktors bei einem für die Auslegung massgeblichen Erdbeben jederzeit gewährleistet war. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die nicht konservativen Analysen der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt der Auslegungsvorgaben mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie für das Schutzziel «Kontrolle der Reaktivität».
- Am 5. November 2018 zeigte sich bei einem Test ein Softwarefehler in der Steuerung der Wasserreinigung der zweiten Wasserfassung. Nach einem vorübergehenden Ausfall der Spannungsversorgung wäre die Steuerung nicht wie vorgesehen automatisch in die normale Ablaufsequenz zurückgekehrt. Der Fehler erfolgte 2018 bei einer Anpassung der Software zur Verbesserung des Betriebsverhaltens der Wasserreinigung. Ursache für das nicht spezifikationskonforme Verhalten der Steuerung war eine ungenügende Erfassungsrate von Binärsignalen. Die Korrektur des Fehlers erfolgte innerhalb der massgeblichen Frist der Technischen Spe-



Lademaschine
beim Entladen des
Reaktorkerns während
der Jahresrevision 2018.
Foto: KKG

zifikation. Die erste Wasserfassung war im betroffenen Zeitraum permanent in Betrieb. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Softwarefehler in der Steuerung der Wasserreinigung der zweiten Wasserfassung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1, 2 und 3 sowie für das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

- Die Abfuhr der Abwärme diverser Komponenten im normalen Leistungsbetrieb erfolgt über den Betriebskühlkreis, der die Wärme an einen nuklearen Zwischenkühlkreis abgibt. Im Verlaufe eines Betriebszyklus finden periodisch Umschaltungen zwischen den beiden für diesen Zweck genutzten Zwischenkreisläufen statt. Am 9. November 2018 öffnete sich dabei eine Absperrklappe nicht vollständig. Nach Austausch des Getriebes funktionierte die Absperrklappe normal. Wie die Störungsabklärung am 13. November 2018 zeigte, war im Antriebsgetriebe einer von drei Bolzen gebrochen, womit ein meldepflichtiges Vorkommnis vorlag. Ein derartiger Bruch war bisher noch nie aufgetreten. Eine Untersuchung des Bolzens wurde veranlasst. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Bruch des Bolzens 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». Die mit dem Vorkommnis verbundene, durch die für den Austausch des Getriebes erforderlichen Freischaltungen bedingte Risikohöherung wurde der Kategorie A (Abweichung) zugeordnet – als Aspekt des Zustandes und Verhaltens der Anlage mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

- Im Rahmen des Projekts zum Ersatz der Leittechnik erneuerte das KKG auch die Steuerungssysteme der Notstromdiesel. Bei der Inbetriebsetzung der neuen Steuerung eines Diesels traten am 6. Dezember 2018 beim Ausschalten von Hilfsaggregaten unzulässige Spannungsspitzen auf. Das Ein- und Ausschalten der Hilfsaggregate erfolgt über Relais, durch deren Magnetspule im angezogenen Zustand ein konstanter Gleichstrom fliesst. Beim Unterbrechen dieses Gleichstroms führt der rasch ändernde magnetische Fluss zu einer hohen induzierten Spannung. Dieser Effekt wird beispielsweise in Zündspulen gezielt genutzt. In der Steuerungstechnik sind solche Spannungsspitzen unerwünscht. Nach dem Induktionsgesetz ist diese induzierte Spannung gegenüber der verwendeten Steuerspannung umgekehrt gepolt. In den betroffenen Steuerkreisen im KKG beträgt die normale Spannung +220V. Die Spannungsspitzen beim Ausschalten lagen in der Grössenordnung von -1000V. Solche Spannungsspitzen können durch Dioden gebrochen werden, die so eingesetzt sind, dass die normale Spannung in Sperrrichtung und die beim Schaltvorgang induzierte Spannung in Durchlassrichtung anliegt. Die Abklärungen des KKG zeigten am 11. Dezember 2018, dass die Dioden in den Plänen fehlten und ein gemäss der Richtlinie ENSI-B03 meldepflichtiger Auslegungsfehler vorlag. Das KKG rüstete alle fehlenden Dioden zeitnah nach. Der Fehler betraf ausschliesslich das Ausschalten von Komponenten durch den Aggregateschutz. Der Start der Notstromdiesel durch den Reaktorschutz im Anforderungsfall wäre nicht betroffen gewesen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die in den Plänen fehlenden Dioden der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt der Auslegungsvorgaben mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie

schutzzielübergreifender Bedeutung. Die Fehler im Planungsprozess wurden ebenfalls der Kategorie A zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 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

Während des Revisionsstillstands vom 2. bis 23. Juni 2018 führte das KKG folgende geplanten Tätigkeiten aus: Brennelementwechsel und Brennelementinspektionen, Inspektionen elektrischer und mechanischer Einrichtungen, zerstörungsfreie Prüfungen, wiederkehrende Funktionsprüfungen an Komponenten und Systemen sowie Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten. Für den Brennelementwechsel kam die im Vorjahr erneuerte Lademaschine zum Einsatz. Die Diagonalfahrweise, welche die Bewegung von Brennelementen in beliebiger Richtung ermöglicht, stand infolge mechanischer Probleme noch nicht zur Verfügung. Deshalb erfolgte die Bewegung der Brennelemente jeweils nur entlang einer der beiden Koordinatenachsen, wie dies auch bei der früheren Lademaschine der Fall war.

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

- Die Wirbelstromprüfung aller Heizrohre der Dampferzeuger zeigte keine relevanten Veränderungen gegenüber der letzten Prüfung. Bei der sekundärseitigen Reinigung der Rohrböden fielen Schlammengen im Bereich des langjährigen Mittelwerts an.
- Das KKG führte an den Hauptverbindungsbolzen von zwei Hauptkühlmittelpumpen Wirbelstromprüfungen durch. Von den geprüften Bolzen waren 46 ohne Befund. An zwei Bolzen ergaben sich bewertungspflichtige Anzeigen, die das ENSI als zulässig bewertete. Die visuelle Kontrolle der Muttern zeigte in drei Fällen kleinere Gebrauchsspuren. Die Muttern können weiterhin verwendet werden. Die Oberflächenriss- und Ultraschallprüfung am Axial- und am Radiallager einer Hauptkühlmittelpumpe ergaben keine Befunde.

- Die Oberflächenriss- und Ultraschallprüfung an je einer Rund- und Längsnaht des Druckhalters ergaben keine Befunde, ebenso die visuelle Prüfung der seismischen Abstützung.
- Von den 137 geprüften Brandschutzklappen schlossen neun bei der ersten Prüfung nicht vollständig. Nach einer Wartung erfüllten sie die Anforderungen.

Im Bereich der Starkstrom- und Leittechnik erfolgten die wiederkehrenden Prüfungen und Instandhaltungsarbeiten gemäss langfristiger Planung. Sie bestätigten den guten Zustand der Installationen. Das KKG begann ausgewählte Arbeiten an Steuerungen, an der Messtechnik, an Regelungen und an der nuklearen Instrumentierung aus terminlichen Gründen bereits mehrere Wochen vor dem Revisionsstillstand. Im Bereich des elektrischen Eigenbedarfs fand die Grossrevision einer Redundanz statt. Die vom ENSI freigegebene Erweiterung der Turbinenregelung wurde implementiert und erfolgreich geprüft. Sie dient der Stabilisierung der Netzfrequenz bei geringfügigen Abweichungen vom Sollwert von 50 Hz. Alle Reaktorschutzprüfungen verliefen erfolgreich.

Die Revisionsarbeiten wurden mit hoher Qualität und in Übereinstimmung mit den Strahlenschutzvorgaben geplant und umgesetzt. Wo erforderlich beaufsichtigte das ENSI die Prüfungen. Es ergaben sich keine Befunde, die einem sicheren Betrieb entgegenstehen. Die durchgeführten Prüfungen zeigten einen guten Zustand der mechanischen sowie der elektrischen und leittechnischen Ausrüstungen.

3.3.2 Anlageänderungen

Folgende Anlageänderungen seien an dieser Stelle erwähnt:

- Das KKG ersetzte den Aerosol- und den Iodmonitor zur Überwachung der Fortluft im Kamin. Für die bisher eingesetzten Geräte sind keine Ersatzteile mehr verfügbar.
- Das KKG baute im Schaltanlagegebäude Lasttrennschalter auf den Sammelschienen aller vier Stränge ein. Damit können bei einem Versagen der Notstromdieselgeneratoren der Sicherheitsebene 3 mobile Notstromaggregate auf der Sicherheitsebene 4 die Versorgung sicherheitsrelevanter Verbraucher übernehmen.
- Der Austausch der Leittechnik fand im Berichtsjahr an drei der vier Notstromdiesel statt.
- Das KKG montierte zur Verhinderung der Knallgasbildung bei Störfällen mit Wasserstofffrei-



An der Bolzenprüfanlage für die Wirbelstromprüfung.
Foto: KKG

setzung die letzten von insgesamt 58 passiven autokatalytischen Rekombinatoren. Die laufende katalytische Rekombination von Wasserstoff und Sauerstoff begrenzt den Anstieg der Wasserstoffkonzentration in der Gebäudeatmosphäre.

- Im Rahmen der Erweiterung der Notstandssysteme rüstete das KKG eine seismische Abschaltung nach. Sie löst bei einem stärkeren Erdbeben eine Reaktorschnellabschaltung aus. Das KKG initiierte die Bauarbeiten für das neue Gebäude für die erweiterten Deionatvorräte. Die beiden neuen Deionatbecken ermöglichen es im Anforderungsfall, die Nachwärme aus dem Primärkreislauf während einer verlängerten Zeitspanne über die Dampferzeuger abzuführen, ohne dass eine Nachspeisung von Brunnenwasser erforderlich ist.
- Das KKG hatte Ende 2016 ein nicht vollständiges Schliessen von Brandschutzklappen im Rahmen von Anlageversuchen als Vorkommnis gemeldet (siehe Aufsichtsbericht 2016). Eine reaktive Inspektion zum Thema Brandschutzklappen zeigte Mängel in den Bereichen Funktion und Unterhalt sowie im Vorgehen bei Modifikationen. Im Berichtsjahr war das Freigabeverfahren für den Ersatz der Brandschutzklappen im Gang, ebenso das Verfahren für die Freigabe temporärer Massnahmen zur Verbesserung der Funktionalität von Brandschutzklappen bis zu ihrem Ersatz.

Vorbereitung zur
Wirbelstromprüfung der
Dampferzeugerheizrohre
im Vorraum zur
Dampferzeuger-
Primärkammer.
Foto: KKG



3.3.3 Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente

Geringe Aktivitätskonzentrationen im Primärkühlmittel liessen den Schluss zu, dass im 39. Betriebszyklus (2017/2018) keine Hüllrohrdefekte mit Freisetzung radioaktiver Stoffe aus Brennstäben aufgetreten waren. Während des Revisionsstillstands wurden 36 frische WAU-Brennelemente (wiederaufgearbeitetes Uran) in den Reaktorkern geladen. Alle 177 im 40. Betriebszyklus eingesetzten Brennelemente sind WAU-Elemente.

Bei umfangreichen Inspektionen der Brennelemente mit verschiedenen Standzeiten wurden bezüglich des Brennelement- und Brennstabwachstums sowie der Brennelementverbiegung auslegungsgemässe Zustände festgestellt. 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 zwei der im Kern eingesetzten Steuerelemente zeigten sich Rissanzeigen. Das KKG tauschte sie vorsorglich aus. Alle anderen Steuerelemente befanden sich in einem auslegungsgemässen Zustand.

Das ENSI überzeugte sich davon, dass das KKG neue Brennelemente und Steuerelemente, die den Qualitätsanforderungen für einen sicheren Betrieb entsprechen, und nur bestrahlte Brennelemente und Steuerelemente mit intakten Hüllrohren in den Reaktor einsetzte.

Im Berichtszeitraum 2018 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.

3.4 Strahlenschutz

Im Berichtsjahr verzeichnete das KKG eine Kollektivdosis von 299,8 Pers.-mSv. Die höchste im KKG registrierte Individualdosis lag bei 4,1 mSv. Der für beruflich strahlenexponierte Personen geltende Dosisgrenzwert von 20 mSv pro Jahr wurde eingehalten. Während des Revisionsstillstands wurden 281 Pers.-mSv akkumuliert, geplant waren 357 Pers.-mSv. Die tiefe Kollektivdosis ist auf die Zinkeinspeisung und die laufenden Optimierungsmassnahmen des Strahlenschutzes zurückzuführen. Es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, die nicht mit einfachen Mitteln ent-

fernt werden konnten. Es kam zu keinen Inkorporationen. Die Anlage zeigte sich in einem radiologisch sauberen und zonenkonformen Zustand. Die Dosierung von Zink in den Primärkreis wirkt sich nach wie vor positiv auf die Ortsdosisleistungen in der Anlage und die akkumulierten Dosen aus. Im Durchschnitt lag die Dosisleistung an ausgewählten Primärkomponenten um 70 % tiefer als vor Beginn der Zinkdosierung im Jahr 2005. Im Vergleich zum Vorjahreswert wurde eine weitere Reduktion erreicht.

Die radiologische Situation aufgrund des nach wie vor erhöhten Trampurananteils im Primärkreislauf, der auf Brennelementdefekte in früheren Jahren zurückzuführen ist, erforderte auch zu Beginn der Revision 2018 vorsorgliche Schutzmassnahmen. Die Spaltproduktkonzentrationen nahmen im Verlauf der vergangenen Zyklen insgesamt weiter ab. Das KKG ordnete nur beim Abheben des Deckels des Reaktordruckbehälters eine Zutrittsbegrenzung für das gesamte Containment an. Die Luftkontamination konnte mit Hilfe der Spülluftanlage rasch gesenkt werden.

Das ENSI überzeugte sich während mehrerer Inspektionen davon, dass das KKG einen konsequenten und gesetzeskonformen Strahlenschutz praktizierte. Der Personalbestand im Strahlenschutz war ausreichend.

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 Tritium-Abgaben des KKG betragen rund 25 % der Jahresabgabelimite. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern durch. Sie stimmten mit den vom KKG gemeldeten Analyseergebnissen überein. Aus den tatsächlich über die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnete das ENSI die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKG unter ungünstigen Annahmen. Die berechneten Dosen betragen für Erwachsene, Zehnjährige und für Kleinkinder weniger als 0,001 mSv. Sie 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 Werks zeigten keine durch den Betrieb der Anlage erhöhten Werte. Die EDIS-Dosimeter (Environmental Direct Ion Storage Dosi-

meter) registrierten keine signifikante Erhöhung gegenüber der Untergrundstrahlung. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen an der Umzäunung des KKG durch, die ebenfalls keine signifikanten Erhöhungen gegenüber der Untergrundstrahlung zeigten. Die Messungen des Betreibers und des ENSI gaben keinen Hinweis auf eine Verletzung der gemäss 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 detaillierte Angaben zur radiologischen Situation innerhalb und ausserhalb des KKG wird auf den Strahlenschutzbericht 2018 des ENSI verwiesen.

3.5 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 22 m³ radioaktive Rohabfälle an (siehe Tabelle 6). Die Menge bewegte sich innerhalb der mehrjährigen Schwankungsbreite auf einem niedrigen Niveau.

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

Als Konditionierungsverfahren für die Betriebsabfälle kommen im KKG die Bituminierung von Harzen und Konzentraten sowie die Zementierung von nicht brenn- oder schmelzbaren Abfällen zum Einsatz. Für alle angewandten Verfahren liegen die erforderlichen behördlichen Typengenehmigungen vor. Im Berichtsjahr wurden neun Gebinde mit Harzen konditioniert.

Die konditionierten Abfallgebände werden im werkseigenen Zwischenlager eingelagert. Das KKG nutzt zudem die Kapazitäten des zentralen Zwischenlagers der Zwiilag. Bei der jährlichen Inspektion des Lagerguts 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 Inaktiv-Freimessung von Materialien aus der kontrollierten Zone. Im KKG wurden im Berichtsjahr 21,7 t Material freigemessen.

Im Jahr 2018 führte die Betreiberin 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.

3.6 Notfallbereitschaft

Die Notfallorganisation des KKG ist für die Bewältigung aller Notfälle innerhalb des Werksareals 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 im November 2018 an der Werksnotfallübung IKARUS die Notfallorganisation. Das Szenario für diese Übung bestand aus einem anlagebezogenen Teil mit mehreren Ereignissen und einem Flugzeugabsturz auf das KKG-Areal als Folge einer Entführung. Im anlagebezogenen Teil wurde unterstellt, dass einem Mitarbeiter bei Vorbereitungsarbeiten zur bevorstehenden Strangrevision ein Fehler unterlief, der zur Abschaltung einer Notstromschiene führte. Im weiteren Verlauf sollte eine weitere Stromschiene ausser Betrieb genommen werden, um Folgeschäden zu vermeiden. Das führte dazu, dass eine Hauptkühlmittelpumpe sowie eine Hauptkühlwasserpumpe abgeschaltet werden mussten. Die Transiente führte indirekt zusätzlich zu einem Dampferzeugerheizrohrbruch.

Das Flugzeug stürzte auf das Nebenkühlwasserpumpenhaus ab. Der Absturz führte zu einem Brand und Verletzten. Das KKG stufte die Ereignisse korrekt ein und meldete sie dem ENSI zeitgerecht. Aufgrund seiner Übungsbeobachtungen kam das ENSI zum Schluss, dass die vorgegebenen Übungsziele für Werksnotfallübungen gemäss der Richtlinie ENSI-B11 nur teilweise erreicht wurden. Das KKG setzte die vorhandenen personellen und

materiellen Mittel beispielsweise bei der Arbeit der Sanität nicht optimal ein. Verletzte Personen wurden nicht immer fachlich korrekt behandelt, das Sanitätsmaterial nur zeitweise korrekt eingesetzt. Das KKG verfügt zwar über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation, konnte dies jedoch nicht in allen Bereichen unter Beweis stellen. Zur Verbesserung erhob das ENSI entsprechende Forderungen.

Eine Inspektion im November 2018 zeigte, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit sind.

Ferner löste das ENSI im November 2018 ohne Voranmeldung einen Übungsalarm im KKG aus, der die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabes innerhalb der zeitlichen Vorgaben gemäss der Richtlinie ENSI-B11 bestätigte.

3.7 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr verringerte sich der Personalbestand gegenüber dem Vorjahr leicht auf 548 Personen, die 524 Vollzeitstellen besetzen (Ende 2017: 554). Am 1. Januar 2018 nahm das neue Ressort Projekte/HOF (Human and Organisational Factors) der Abteilung Betrieb seine Arbeit auf. Das KKG initialisierte im Berichtsjahr zudem eine Reihe von Änderungen mit dem Ziel, seine Organisation auf den Langzeitbetrieb vorzubereiten. Es beschloss unter anderem die Gründung einer neuen Abteilung Langzeitbetrieb, die zukünftig für die Planung und Steuerung grosser Nachrüstprojekte zuständig sein wird. Die Neuausrichtung der Organisation des KKG hat auch Auswirkungen auf andere Abteilungen, insbesondere auf die Abteilungen Sicherheit und Maschinentchnik, in denen verschiedene Ressorts neu geschaffen, zusammengeführt oder anders ausgerichtet wurden. Das ENSI gab die entsprechenden Änderungen des Kraftwerksreglements frei. Das KKG führte im Berichtsjahr sein in den Vorjahren initialisiertes Programm zur Stärkung der menschlichen und organisatorischen Aspekte und zur Weiterentwicklung seiner Sicherheitskultur weiter.

Das ENSI führte mit dem KKG ein Fachgespräch zum Dialog über Sicherheitskultur. Thema war der Umgang mit den veränderten Rahmenbedingungen in der Kernenergiebranche. Ziel des Gesprächs war es, einen Reflexionsprozess über Aspekte der Sicherheitskultur anzustossen. Das Fachgespräch wurde als offener Dialog geführt, angelehnt an das Konzept «Aufsichtskultur», das im Bericht

ENSI-AN-8708 beschrieben ist. Dementsprechend erfolgt von Seiten des ENSI keine formale Bewertung der Sicherheitskultur des KKG.

Zudem führte das ENSI im Berichtsjahr ein Schwerpunkt-Fachgespräch zum Thema «Lernen aus Projekterfahrungen» durch. Neben den Aspekten des Projektmanagements wurden auch Erfahrungen mit technischen Fragestellungen thematisiert.

Das Managementsystem des KKG besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2015. Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Thema Betriebsführung durch. Es überprüfte, ob das Arbeitsauftragsverfahren im Managementsystem angemessen, detailliert und verbindlich geregelt ist und durch ein geeignetes Betriebsführungssystem unterstützt wird. Die entsprechenden Anforderungen wurden erfüllt.

Im Berichtsjahr legten vier Reaktoroperateure, drei Schichtchefs und ein Picketingenieur 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 in einer Demonstration der Anwendung der Kenntnisse. Vier Reaktoroperateure schlossen die Ausbildung zum Techniker HF, Fachrichtung Grossanlagenbetrieb ab. Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in Tabelle 3 zusammengestellt.

Das ENSI führte eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2017 und der Planung des Ausbildungsprogramms 2018 der Abteilung Betrieb durch. Gegenstand waren die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator, die allgemeine Wiederholungsschulung sowie deren Änderungen und Neuerungen. Ferner prüfte das ENSI die Ausbildung des Personals der Abteilungen Kernbrennstoff und Sicherheit auf die Einhaltung der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) und der Richtlinie ENSI-B10. Die Ausbildungsprogramme im inspizierten Bereich erfüllten die Anforderungen.

3.8 Sicherheitsbewertung

Im Jahr 2018 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:

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

Sicherheitsbewertung 2018 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 & Organisation
Ziele				
Schutzziele				
Kontrolle der Reaktivität	A	N	A	V
Kühlung der Brennelemente		N	A	V
Einschluss radioaktiver Stoffe		V	A	V
Begrenzung der Strahlenexposition		N	A	V
schutzzielübergreifende Bedeutung	A	N	A	A

Sicherheitsbewertung 2018 KKG: Schutzziel-Perspektive
Anmerkung: alternative Darstellung derselben Sachverhalte wie in der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge, aber mit zusätzlicher Darstellung radiologischer Auswirkungen

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. Sämtliche der Kategorie A (Abweichung) zugeordneten Sachverhalte sind im Unterkapitel 3.2 dargestellt.

Zusammenfassend kommt das ENSI zu folgenden Gesamtbewertungen:

Auslegungsvorgaben

Bei der Beurteilung der Auslegungsvorgaben hat das ENSI Erkenntnisse aus der letzten Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) sowie aus dem EU-Stresstest herangezogen und dabei die Auslegung der Anlage bezüglich Redundanzgrad, Diversität, räumlicher Separation und Robustheit gegen auslösende Ereignisse bewertet. Da die Auslegungsvorgaben des KKG die Minimalanforderungen und den Stand ausländischer Anlagen desselben Typs übertreffen und die im Unterkapitel 3.2 beschriebenen Abweichungen im Bereich der Auslegungsvorgaben als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit beurteilt werden, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKG hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als gut.

Betriebsvorgaben

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

Zustand und Verhalten der Anlage

Das ENSI beurteilt die im Unterkapitel 3.2 beschriebenen Abweichungen im Bereich von Zustand und Verhalten 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 3.2 beschriebenen Abweichungen im Bereich von Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation 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 von Mensch und Organisation als gut.



*Kernkraftwerk
Leibstadt.
Foto: KKL*

4. Kernkraftwerk Leibstadt

4.1 Überblick

Das Betriebsjahr war durch eine verglichen mit der Nennleistung reduzierte thermische Reaktorleistung und einen verlängerten Revisionsstillstand geprägt. Infolge der Befunde an Hüllrohren aus der Jahreshauptrevision 2016 waren im Berichtsjahr die zulässige thermische Leistung für einen Teil der Brennelemente und die Kernumwälzung begrenzt. Die Massnahmen basierten auf den Analysen der Befunde und dienten der Verhinderung einer Wiederholung.

Basierend auf den Erkenntnissen aus dem Berichtsjahr beurteilt das ENSI die Sicherheit des Kernkraftwerks Leibstadt (KKL) hinsichtlich Auslegungsvorgaben und Betriebsvorgaben als gut, bezüglich Zustand und Verhalten der Anlage sowie Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation als ausreichend.

Das KKL ist eine Siedewasserreaktor-Anlage, die ihren kommerziellen Betrieb im Jahr 1984 aufnahm. Die elektrische Nettoleistung beträgt 1220 MW. Weitere Daten sind in den Tabellen 1 und 2 im Anhang zu finden. Figur 5b zeigt das Funktionsschema einer Siedewasserreaktor-Anlage. Im Berichtsjahr gab es zwölf meldepflichtige Vorkommnisse mit Bezug zur nuklearen Sicherheit. Zwei ordnete das ENSI der Stufe 1 der internationalen Ereignisskala INES zu, zehn der Stufe 0. Im Berichtsjahr konnte die Anlage ohne Brennelementschaden betrieben werden.

Das ENSI führte 119 Inspektionen durch. Wo erforderlich verlangte das ENSI Verbesserungsmassnahmen und überwachte deren Umsetzung. Die Jahreshauptrevision begann am 16. September 2018. Das Anfahren der Anlage zum 35. Betriebszyklus verzögerte sich infolge einer Leckage an einer Entleerungsleitung des Hochdruck-Kernsprühsystems um 20 Tage bis 2. November 2018.

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 natürlichen Strahlenexposition unbedeutend.

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

Zwei Schichtchefs sowie zwei Picketingenieure bestanden ihre Zulassungsprüfung.

4.2 Betriebsgeschehen

Das KKL verzeichnete in seinem 34. Betriebsjahr eine Arbeitsausnutzung von 73,5 % und eine Zeitverfügbarkeit von 87,4 %. Die Zeitverfügbarkeit und die Arbeitsausnutzung der letzten zehn Jahre sind im Anhang in Figur 1 dargestellt. Für Funktionsprüfungen erfolgten einzelne geplante Lastreduktionen. Das KKL wurde ab 16. September zum Revisionsstillstand abgestellt und nahm den Leistungsbetrieb am 2. November 2018 wieder auf. Die zeitliche Nichtverfügbarkeit der Anlage war im Berichtsjahr weitgehend durch die Jahreshauptrevision bedingt. Als Folge der reduzierten thermischen Reaktorleistung lag die Arbeitsausnutzung deutlich unter der Zeitverfügbarkeit.

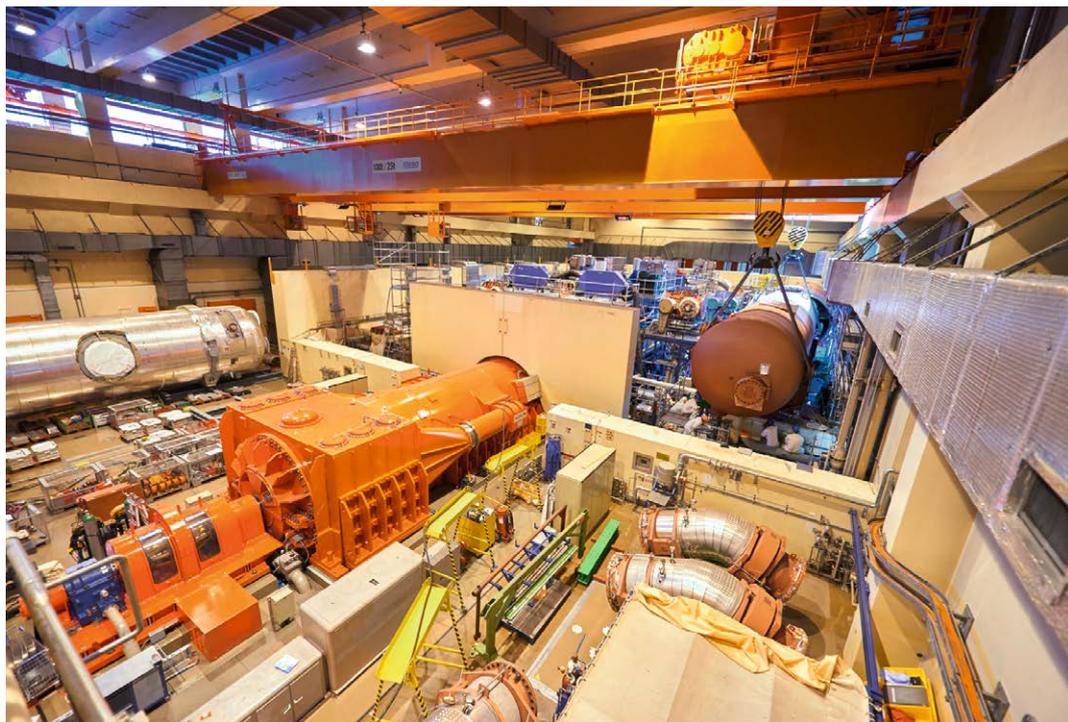
Bei einer Inspektion des Brandschutzes stellte das ENSI mehrere Abweichungen von den massgebli-

chen Vorgaben fest. Sie betrafen sowohl den Brandschutz in der Anlage in diversen Brandabschnitten als auch die organisatorischen Rahmenbedingungen. Das ENSI hat mehrere Forderungen erhoben, deren Umsetzung im Berichtsjahr begonnen wurde. Insbesondere ist das Brandschutzkonzept zu ergänzen, ebenso das Managementsystem, um die Erfassung und Behebung von Mängeln im Bereich des Brandschutzes sicherzustellen. Des Weiteren sind die in der Anlage festgestellten Abweichungen zu beheben. Die Dokumentation von Brandschutzmassnahmen ist zu ergänzen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die festgestellten Mängel im Bereich des Brandschutzes der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage beziehungsweise des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation, jeweils mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

Im Berichtsjahr kam es zu zwölf meldepflichtigen Vorkommnissen mit Bezug zur nuklearen Sicherheit. Zwei wurden der Stufe 1 der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet, zehn der Stufe 0.

■ Beim Einschalten eines Kompressors für das Werkluftsystem kam es am 30. Januar 2018 zu einem Kurzschluss. Dadurch wurde eine betriebliche 0,4-kV-Schiene spannungslos, verbunden mit dem Ausfall eines Teils der Speisewasservorwärmung. Weder das Werkluftsystem noch die anderen von der betroffenen Schiene versorgten Verbraucher sind Teile von Sicher-

Revision des
Wasserabscheiders.
Foto: KKL



heitssystemen. Die Vorwärmung dient der Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades der Anlage und hat keine Sicherheitsfunktion. Die verminderte Speisewassertemperatur bewirkte eine Reaktivitätszunahme. Die Schichtmannschaft reagierte vorschriftsgemäss mit dem Einfahren der für diesen Fall vorgewählten Steuerstäbe. Die Beherrschung der Verminderung der Speisewassertemperatur erfolgte damit auf Sicherheitsebene 2. Es wurde kein Kriterium für eine Reaktorschnellabschaltung auf Sicherheitsebene 3 erreicht. Die Reaktorleistung verminderte sich auf 69 % der Nennleistung. Die ungeplante Verminderung der Reaktorleistung war das für die Meldepflicht massgebliche Kriterium. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die durch einen Kurzschluss verursachte Störung im Bereich einer betrieblichen 0,4-kV-Schiene der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

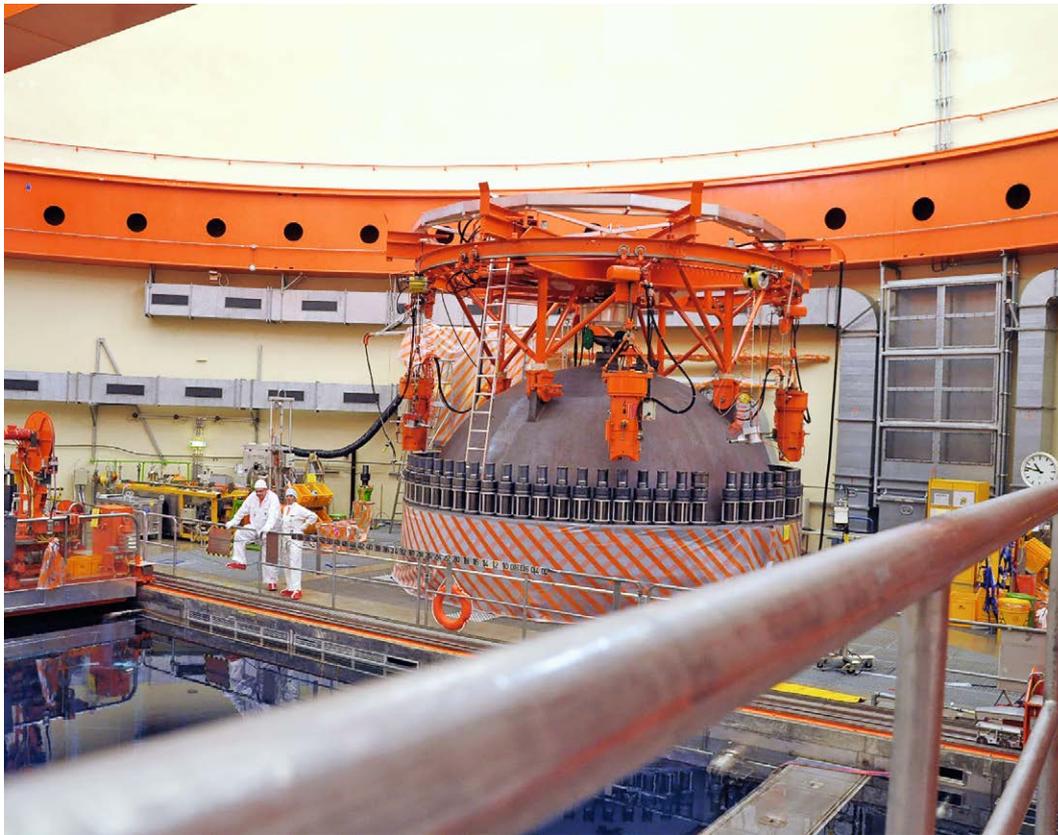
- Bei der Wiederinbetriebnahme der am 30. Januar 2018 ausgefallenen 0,4-kV-Schiene kam es am 1. Februar 2018 zum Ausfall einer Phase einer anderen betrieblichen 0,4-kV-Schiene. Diese wird normalerweise durch die am 30. Januar 2018 ausgefallene Schiene versorgt. Ursache war eine defekte Sicherung. Es kam zu einem vergleichbaren teilweisen Ausfall der Speisewasservorwärmung mit Auswirkungen und Ablauf analog zum Vorkommnis vom 30. Januar 2018. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die durch eine defekte Sicherung verursachte Störung im Bereich einer betrieblichen 0,4-kV-Schiene der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.
- Ein Mitarbeiter schaltete bei einem monatlichen Rundgang am 26. April 2018 irrtümlicherweise einen Wechselrichter des Notstandsystems SEHR aus. Anstelle der Prüftaste für den Test der Kontrolllampen in einem Schrank zur Verarbeitung von Messwerten betätigte der Mitarbeiter die Taste zum Ausschalten der Spannungsversorgung. Er hatte vor der Ausführung des Prüfungsschritts keine Selbstkontrolle durchgeführt. Damit stand die Temperaturmessung in der

Druckabbaukammer als Auslösekriterium für eine SEHR-Division nicht zur Verfügung. Der Mitarbeiter bemerkte den mit seiner Fehllandung verbundenen Lüftungsausfall und schaltete den Wechselrichter innerhalb von zwei Sekunden wieder ein. Eine erfolgreiche Kontrolle der Funktionsbereitschaft der betroffenen Signale fand innerhalb der von der Technischen Spezifikation gesetzten Frist statt. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Nichtverfügbarkeit der Temperaturmessung 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 «Kontrolle der Reaktivität» und «Kühlung der Brennelemente». Die Fehllandung als Ursache der Nichtverfügbarkeit wurde ebenfalls der Kategorie A zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie für die Schutzziele «Kontrolle der Reaktivität» und «Kühlung der Brennelemente».

- Zur Abfuhr der Wärme aus dem Reaktorkern bei Störfällen verfügt das KKL über mehrere Systeme, die fünf räumlich und funktional getrennten Divisionen zugeordnet sind. Diese Divisionen tragen die Bezeichnungen 11, 21, 31, 51 und 61. Die Systeme der Divisionen 11 und 21 fördern Wasser bei niedrigem Druck, jenes der Division 31 bei hohem Druck. Die Divisionen 51 und 61 gehören zum Notstandsystem SEHR. Sie enthalten Niederdrucksysteme. Druckentlastungsventile senken den Druck im Reaktor-druckbehälter (RDB) unter den Einspeisedruck der Niederdrucksysteme (Divisionen 11, 21, 51 und 61), wenn bei sinkendem Niveau im RDB die Kühlung der Brennelemente gefährdet ist. Bei einer Anforderung des SEHR ist die Division 51 führend. Bei einem Ausfall der Division 51 übernimmt die Division 61 automatisch ihre Funktion. Bei einem regelmässigen Test am 4. Mai 2018 zeigte sich, dass zwei Kühlwasserarmaturen der Division 51 fälschlicherweise geschlossen waren. Damit wäre im Bedarfsfall die Kühlung der Hauptpumpe dieser Division nicht gewährleistet gewesen. Die Hauptpumpe dient je nach Anforderungsfall der Einspeisung von Wasser in den Reaktor oder der Wärmeabfuhr aus der Druckabbaukammer. Die Armaturen waren seit dem letzten Test vom 23. Februar 2018 geschlossen. Damals zeigte sich ein un-

gewöhnlicher Anstieg der Temperatur der Pumpenlager, der am Ende des einstündigen Probe- laufs aber noch im zulässigen Bereich war. Der Sachverhalt wurde in einer Störmeldung fest- gehalten. Die falsche Armaturenstellung wurde im Februar noch nicht erkannt. Die konstru- tive Gestaltung der Armaturen begünstigte die falsche Stellung und erschwerte das Erkennen der Fehlstellung. Obwohl das Personal darin geschult wird, das Arbeitsumfeld kritisch zu betrachten, und trotz Standards zur Fehlerver- meidung tolerierte das KKL diese mangelhafte Ergonomie über längere Zeit. Nachdem die Kühlwasserarmaturen in die korrekte Stellung gebracht worden waren, verlief der Test vom 4. Mai 2018 normal. Die Temperatur der Pum- penlager zeigte wieder den üblichen Verlauf. Im Anforderungsfall wäre nach einigen Stun- den mit dem Ausfall der betroffenen Pumpe zu rechnen gewesen. Die Division 51 war da- her vom 23. Februar bis 4. Mai 2018 nur be- schränkt verfügbar. Vom 3. bis 28. April 2018 war parallel zur eingeschränkten Verfügbar- keit der Division 51 die Division 11 während einer geplanten Instandhaltung nicht verfügbar. Die Bearbeitung der Störmeldung zur erhöhten La- gertemperatur der Hauptpumpe der Division 51 war zu Beginn dieser Instandhaltung noch nicht abgeschlossen. Auch die Ursache der erhöhten Lagertemperatur war noch nicht bekannt. Eine systematische Kontrolle der noch offenen Stör- meldungen, auch der anderen Divisionen, vor Beginn der Instandhaltung einer Division ist in den massgeblichen Prozessdokumenten nicht vorgesehen. Am 2. Mai 2018 schaltete sich der Notstromdiesel der Division 31 des Kernnot- kühlsystems bei einem Test nicht korrekt zu. Grund war ein schlechter Relaiskontakt in der Leittechnik. Der letzte erfolgreiche Test war am 26. März 2018 erfolgt. Da nicht bekannt ist, seit wann der Fehler im Relais bestand, wird gemäss der Richtlinie ENSI-A06 eine latente Nichtverfügbarkeit während des halben Inter- valls angenommen, das heisst vom 14. April bis 2. Mai 2018. Die eingeschränkte Verfügbar- keit der Division 51 sowie die latente Nichtverfü- gbarkeit der Division 31 waren zum Zeitpunkt der Instandhaltung der Division 11 noch nicht erkannt worden. Vom 14. bis 28. April 2018 waren somit die Divisionen 11, 31 und 51 nicht oder nur beschränkt betriebsbereit. Am 26. Ap- ril 2018 war die Division 61, die zweite Division des SEHR, während zwei Sekunden nicht ver-

fugbar. Diese Nichtverfügbarkeit war von so kurzer Dauer, dass die Division 51, die erste Division des SEHR, während dieser Zeit trotz fehlerhafter Ventilstellung im Anforderungsfall die Funktionstüchtigkeit des Notstandssystems sichergestellt hätte. Des Weiteren ist die Wahr- scheinlichkeit einer Anforderung des SEHR in einem derart kurzen Zeitintervall äussert gering. Die Division 21 war vom 23. Februar bis 4. Mai 2018 immer betriebsbereit. Die Wärmeabfuhr aus dem Reaktor wäre jederzeit gewährleistet gewesen. Das KKL hielt alle massgeblichen Fristen der Technischen Spezifikation nach Er- kennen der Abweichungen vom jeweiligen Soll- zustand ein. Das KKL plant Verbesserungen zur Sicherstellung der notwendigen Kühlwasser- menge und zur Vereinfachung der Bedienung der Armaturen zur Kühlung von Komponenten des Notstandssystems. Die Kontakte der Relais des am 2. Mai 2018 ausgefallenen Typs wer- den zukünftig in allen betroffenen Divisionen periodisch mit einem speziellen Verfahren ge- reinigt. Das KKL hat darzulegen, wie es sicher- stellt, dass vor Instandhaltungsarbeiten in einer Division die Verfügbarkeit der erforderlichen anderen Divisionen gewährleistet wird. Zudem sind verschiedene, nicht nur die SEHR-Haupt- pumpen betreffende Testvorschriften anzupas- sen, damit eine blockierte Lagerkühlung künf- tig sofort erkannt wird. Zusätzlich forderte das ENSI das KKL auf, die Ergebnisse der vom KKL eingeleiteten, vertieften Untersuchungen zum Vorkommnis vorzulegen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewer- tung die eingeschränkte Verfügbarkeit einer SEHR-Hauptpumpe der Kategorie A (Abwei- chung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie für das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Die ungünstige konstruktive Gestal- tung der Armaturen wurde ebenfalls der Kate- gorie A zugeordnet als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie für das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Die Tolerierung der mangelhaften Ergonomie ordnete das ENSI der Kategorie A zu als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit ebenen- oder barrierenübergreifender so- wie schutzzielübergreifender Bedeutung. Der fehlerhafte Relaiskontakt in der Leittechnik des Diesels der Division 31 wurde der Kategorie A



Reaktorgebäude.
Foto: KKL

zugeordnet mit Bedeutung für die Sicherheits-ebene 3 sowie für das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Das Fehlen einer systematischen Kontrolle der noch offenen Störmeldungen vor Beginn einer Divisionsrevision in den massgeblichen Prozessen ordnete das ENSI der Kategorie A zu als Aspekt der Betriebsvorgaben mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung. Aufgrund der zeitlichen Überlagerung der eingeschränkten Verfügbarkeit der Division 51 mit den Nichtverfügbarkeiten der Divisionen 11 und 31 ordnete das ENSI das Vorkommnis der Stufe 1 (Anomalie) auf der internationalen Ereignisskala INES zu. Die damit verbundene Risikoerhöhung wurde gemäss Unterkapitel 6.6.2 der Richtlinie ENSI-A06 und Anhang 6 der Richtlinie ENSI-B03 der Kategorie INES 1 (Anomalie) zugeordnet als Aspekt des Zustandes und Verhaltens der Anlage mit ebenen- oder barrierenübergreifender und schutzzielübergreifender Bedeutung.

- Im KKL werden regelmässig radioaktive Abfälle konditioniert. Die Abfälle werden in Fässer abgefüllt und mit Zement verfestigt. Bei der Überprüfung der Transportpapiere vor einem Transport von 15 Abfallgebinden aus dem werkseigenen Zwischenlager zur Zwilag in Würenlingen zeigte sich für drei Gebinde eine Ab-

weichung von der Spezifikation. Die folgende Überprüfung der Daten von insgesamt 8798 Gebinden ergab in 104 Fällen eine Abweichung von Sollwerten. Am 29. Mai 2018 erkannte das KKL die Meldepflicht. Die Abweichungen betrafen die Menge der verarbeiteten Rohabfälle oder der verwendeten Zusatzstoffe sowie die Dosisleistung einzelner verarbeiteter Filter. Die spezifizierte Dosisleistung an den fertig konditionierten Gebinden wurde in jedem Fall eingehalten. Damit geht von den betroffenen Gebinden keine erhöhte radiologische Gefährdung für das Personal aus. Einzelne Gebinde weisen eine ungenügende Druckfestigkeit auf oder überstehendes Wasser im Gebinde. Die betroffenen Gebinde stammen aus den Jahren 1986 bis 2010. Die mit der Zementierung der Abfälle beauftragten Personen sind mehrheitlich nicht mehr im KKL tätig. Eine vollständige Abklärung, wie es zu den Abweichungen von den spezifizierten Werten kam, ist daher nicht mehr möglich. Für alle 104 betroffenen Gebinde verlangte das ENSI eine Bewertung der Transportfähigkeit, der Zwischenlagerfähigkeit und der Endlagerfähigkeit. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die nicht spezifikationskonformen Abfallgebinde der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheits-

bewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie für das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe».

- Am 18. Juni 2018 fiel einer der vier Kanäle der Drucküberwachung im Drywell aus. Ursache war ein defekter Kondensator einer elektronischen Baugruppe. Der Austausch der betroffenen Komponente erfolgte innerhalb der massgeblichen Frist der Technischen Spezifikation. Die anderen drei Kanäle der Drucküberwachung standen uneingeschränkt zur Verfügung. Sie hätten im Anforderungsfall sowohl die Reaktorschnellabschaltung als auch die Isolation des Containments ausgelöst. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Nichtverfügbarkeit eines Kanals der Drucküberwachung im Drywell 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 «Kontrolle der Reaktivität», «Kühlung der Brennelemente» und «Einschluss radioaktiver Stoffe».
- Die Frischdampfleitungen aus dem Reaktor verlaufen im KKL durch den Dampftunnel in das Maschinenhaus. Die Temperatur im Dampftunnel wird überwacht. Damit würde eine Frischdampfleckage in diesem Bereich rasch erkannt. Am 26. Juli 2018 erreichte die Temperatur den Grenzwert gemäss Technischer Spezifikation. Die sofort durchgeführten Abklärungen zeigten keine Dampfleckage. Grund für den Temperaturanstieg war die hohe Temperatur des Rheinwassers. Die Kühlung des Dampftunnels erfolgt durch eine Umluftkühlung. Die Wärme wird über das nukleare Zwischenkühlwassersystem abgeführt. Das Zwischenkühlwassersystem überträgt die Wärme über Wärmetauscher an das Nebenkühlwassersystem, das die Wärme an die Umgebung abführt. Das Nebenkühlwasser verwendet Wasser aus dem Rhein zur Wärmeabfuhr. Damit folgen die Temperaturen im Neben- und Zwischenkühlwassersystem bei gegebener abzuführender Wärmeleistung der Temperatur des Rheinwassers. Mit dem Anstieg der Temperatur im Zwischenkühlwassersystem stieg auch die Temperatur im Dampftunnel. Durch Ausserbetriebnahme von nicht sicherheitsrelevanten Systemen konnte die vom nuklearen Zwischenkühlwassersystem abzuführende Wärmeleistung vermindert werden.

Damit sank die Temperatur im Zwischenkühlwassersystem und in der Folge auch im Dampftunnel. Der Grenzwert wurde innerhalb der von der Technischen Spezifikation gesetzten Frist wieder unterschritten. Die erreichte Maximaltemperatur lag mit 48,5 °C deutlich unter der Auslegungstemperatur der sicherheitsrelevanten Komponenten im Dampftunnel von 65 °C. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die kurzzeitige Überschreitung des Temperaturgrenzwerts im Dampftunnel der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

- Am 20. September 2018 kam es zu einem unerwarteten Dosisleistungsanstieg im Containment. Zu Beginn der Jahresrevision wurde für den Brennstoffwechsel der Wasserabscheider aus dem RDB ausgebaut und in das dafür auf der 28-Meter-Ebene im Containment vorgesehene Lagerbecken abgesetzt. Der Wasserabscheider befindet sich im Leistungsbetrieb oberhalb der Brennelemente. Er entfernt das Wasser, das mit dem aufsteigenden Dampf aus dem Reaktorkern mitgerissen wird. Der Wasserabscheider ist eine von mehreren Vorkehrungen, die den Gehalt an Wassertropfen im Dampf, der durch die Turbinen strömt, gering halten. Er reduziert die Belastung der Schaufeln durch die Tropfen, die mit hoher Geschwindigkeit auftreffen. Damit die Lademaschine die Brennelemente aus dem Reaktorkern entnehmen kann, muss der Wasserabscheider zu Beginn jeder Jahresrevision aus dem RDB entfernt werden. Das Lagerbecken für den Wasserabscheider schliesst an die Reaktorgrube an. Es ist durch einen sogenannten Dammbalken von der Reaktorgrube getrennt, der mit einer luftgefüllten Dichtung gegen die Wände abgedichtet wird. Nachdem der Wasserstand im Lagerbecken das vorgesehene Niveau erreicht hatte, sollte die Wasserzufuhr durch Schliessen einer Armatur beendet werden. Dabei wurde aber fälschlicherweise die Luftzufuhr für die Dammbalkendichtung geschlossen. Da gleichzeitig die Rückschlag-Schlauchkupplung in der Leitung für die Luftzufuhr nicht funktionierte, kam es zu einem Druckabfall in der Dammbalkendichtung. Diese wurde in der Folge undicht, sodass Wasser aus dem Lagerbecken in die Reaktorgrube floss. Das Wasserniveau im Lagerbecken sank bis zur

Unterkante des Dammbalkens. Die feste Trennwand zwischen Lagerbecken und Reaktorgrube verhinderte ein weiteres Absinken. Die abnehmende Wasserüberdeckung führte zu einer verminderten Abschirmung der vom Wasserabscheider emittierten Gammastrahlung. Die gemessene Dosisleistung stieg von 0,06 mSv pro Stunde auf 2 mSv pro Stunde an. Das auf der 28-Meter-Ebene im Containment eingesetzte Ortsdosisleistungsmessgerät wies kein akustisches Warnsignal auf. Der ungeplante Anstieg der Dosisleistung hätte eine Höherstufung des Gebietstyps von W nach Y gemäss Anhang 10 der Strahlenschutzverordnung erforderlich gemacht. Der Gebietstyp gibt an, in welchem Wertebereich die Ortsdosisleistung in einem räumlich definierten Gebiet liegt. Die Festlegung von Gebieten ist Teil des operationellen Strahlenschutzes und dient dem Schutz vor äusserer Bestrahlung. Die Gebiete werden mit Buchstaben gekennzeichnet, wobei die zu erwartende Dosisleistung von V bis Z ansteigt. Es wurden weder radioaktive Stoffe in die Umgebung freigesetzt noch Dosisgrenzwerte für das beruflich strahlenexponierte Personal überschritten. Das Vorkommnis war im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass diverse Vorgaben aus dem Managementsystem für die Arbeitsplanung und Arbeitsdurchführung nicht eingehalten wurden. Aufgrund vergangener Vorkommnisse, deren Ursachen ebenfalls auf menschliche und organisatorische Faktoren zurückzuführen waren, hatte das KKL bereits Abhilfemassnahmen definiert. Diese hatten im vorliegenden Fall nicht die geforderte Wirkung. Aufgrund des Vorkommnisses plante das KKL Verbesserungen der Armaturenzeichnung im Bereich der Dammbalken-Druckluftversorgung, um zukünftige Verwechslungen auszuschliessen. Zudem sah das KKL vor, die Luftversorgung der Dammbalkendichtung besser abzusichern. Des Weiteren wurden Verbesserungen im Bereich der Strahlenschutz- und Arbeitsplanung vorgesehen. Das ENSI verlangte eine Analyse, die aufzeigt, weshalb die aufgrund der Ursachenanalyse vergangener Vorkommnisse definierten Massnahmen für das vorliegende Vorkommnis keine Wirkung zeigten. Auf der Basis der Analyseergebnisse sind die gesamtorganisationalen Handlungsfelder und die abgeleiteten Massnahmen anzupassen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Anstieg der

Dosisleistung 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 «Begrenzung der Strahlenexposition». Die Mängel bei der Arbeitsplanung und Arbeitsdurchführung zusammen mit der fehlenden Wirksamkeit von aus früheren Vorkommnissen abgeleiteten Massnahmen wurden der Kategorie INES 1 (Anomalie) zugeordnet als Aspekt des Zustandes und Verhaltens von Mensch und Organisation mit ebenen- oder barrierenübergreifender und schutzzielübergreifender Bedeutung.

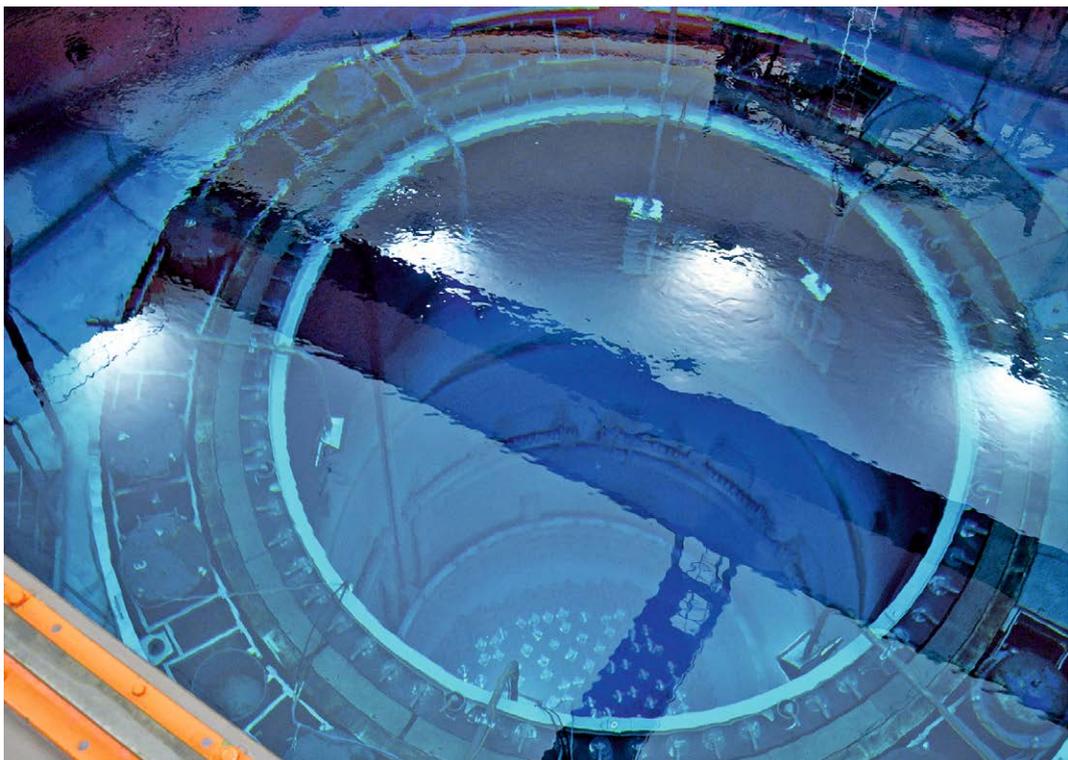
- Bei einem Funktionstest am 1. Oktober 2018 startete die Grundwasserpumpe der Division 61 des SEHR nicht wie vorgesehen automatisch. Ursache war eine zu schnelle zeitliche Abfolge der von der Steuerung an den Leistungsschalter der Pumpe geschickten Signale. Die Pumpe konnte von Hand problemlos zugeschaltet werden. Nach einer vom ENSI freigegebenen Änderung der Steuerungslogik verlief der Funktionstest am 10. Oktober 2018 erfolgreich. Die Grundwasserpumpe der Division 51 war von diesem Problem nicht betroffen, da sie eine andere Signalabfolge aufweist. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die fehlerhafte Ansteuerung des Leistungsschalters der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie für das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Die mit dem Vorkommnis verbundene Risikohöherung ordnete das ENSI der Kategorie A (Abweichung) zu – als Aspekt des Zustandes und Verhaltens der Anlage mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung. Die zu schnelle Signalabfolge bestand seit einer Anlageänderung im Jahr 2017. Da sie sich nicht in jedem Fall auswirkte, wurde sie bei den damaligen Prüfungen nicht bemerkt. Im Kontext der am 4. Mai 2018 festgestellten eingeschränkten Verfügbarkeit der Division 51 bedeutete der Fehler in der Ansteuerung der Grundwasserpumpe keine zusätzliche, überlagerte Nichtverfügbarkeit der Division 61. Die Einstufung des Vorkommnisses vom 4. Mai 2018 als INES 1 blieb daher unverändert. Im Notstromfall wäre die Sequenz der Steuersignale, die zum Startversagen führte, nicht abgelaufen. Nur bei

einer Initialisierung des SEHR mit einem Ausfall der externen Stromversorgung zu einem späteren Zeitpunkt wäre die Grundwasserpumpe der Division 61 nicht gestartet. Die Grundwasserpumpe der Division 51 hätte die Division 61 jedoch versorgt, auch bei einem Ausfall der Hauptpumpe der Division 51.

- Nach einem Test des Hochdruck-Kernsprühsystems (Division 31) am 9. Oktober 2018 zeigte sich eine rissbedingte Leckage an der Schweißnaht einer Entleerungsleitung. Schadensursache waren verstärkte Schwingungen während des Tests. Dieser Test prüft das Hochdruck-Kernsprühsystem ohne externe Wechselstromversorgung. Damit läuft der Notstromdieselgenerator nicht mit der Frequenz des externen Netzes von 50 Hz. Im vorliegenden Fall lag die Frequenz nach einem Austausch des Dieselmotors im Rahmen der periodischen Wartung zwar noch im zulässigen Bereich, aber höher als vorher. Die damit verbundene, ebenfalls erhöhte Drehzahl der Hochdruck-Einspeisepumpe bedeutete einen erhöhten Druck gegen einen geschlossenen Schieber. Zur Verhinderung einer Überhitzung des Wassers in der Pumpe bei geschlossenem Schieber dient die Mindestmengenleitung, die einen ausreichenden Wasserdurchfluss gewährleistet. Der Durchfluss durch die Mindestmengenleitung wird bei Bedarf vom Mindestmengenventil freigegeben. Um ein unnötiges alternierendes Öffnen und Schliessen des Mindestmengen-

ventils auszuschliessen, war im Jahr 2015 das Öffnen des Mindestmengenventils leittechnisch um fünf Sekunden verzögert worden. In Kombination mit dem drehzahlbedingten erhöhten Druck führte dies am 9. Oktober 2018 zum wiederholten Ansprechen eines Sicherheitsventils, verbunden mit verstärkten Schwingungen. Das KKL ersetzte die betroffene Entwässerungsleitung. Nach einer vom ENSI freigegebenen Optimierung der relevanten Betriebsparameter zeigte ein erneuter, im Beisein des ENSI durchgeführter Test keine Befunde, die gegen das Wiederanfahren der Anlage gesprochen hätten. Das Vorkommnis vom 9. Oktober 2018 ist zwar keine exakte Wiederholung eines früher aufgetretenen Vorkommnisses. Da es im Hochdruck-Kernsprühsystem nach Änderungen und Instandhaltungen aber bereits mehrfach zu ähnlichen meldepflichtigen Vorkommnissen und anderen anomalen Befunden gekommen war, verlangte das ENSI eine schriftliche Darlegung des Informationsflusses zwischen den Organisationseinheiten im KKL. Das wiederholte Auftreten vergleichbarer Vorkommnisse zeigte, dass die jeweils durchgeführten Untersuchungen und die daraus abgeleiteten Massnahmen nicht ausreichend waren. Das KKL hatte ausgehend vom Vorkommnis vom 9. Oktober 2018 darzulegen, welche allgemeinen, die gesamte Organisation betreffenden Lehren im Bereich der Entscheidungsfindung gezogen werden. Das ENSI

Offener Kern.
Foto: KKL



ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die rissbedingte Leckage an der Schweißnaht einer Entleerungsleitung des Hochdruck-Kernsprühsystems der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie für das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Das Verhalten des Mindestmengenventils ordnete das ENSI der Kategorie A (Abweichung) zu – als Aspekt der Auslegungsvorgaben mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie für das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Die mit dem Vorkommnis verbundene Risikoerhöhung ordnete das ENSI der Kategorie A (Abweichung) zu – als Aspekt des Zustandes und Verhaltens der Anlage mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung. Die nach früheren Vorkommnissen am Hochdruck-Kernsprühsystem nicht unter Berücksichtigung aller relevanten Sicherheitsaspekte durchgeführten Untersuchungen ordnete das ENSI der Kategorie A (Abweichung) zu – als Aspekt des Zustandes und Verhaltens von Mensch und Organisation mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung. Im Kontext der am 4. Mai 2018 festgestellten eingeschränkten Verfügbarkeit der Division 51 erforderte das Vorkommnis vom 9. Oktober 2018 keine Anpassung der Gesamtbewertung INES 1 der zeitlichen Überlagerung mit den Nichtverfügbarkeiten der Divisionen 11 und 31. Die Nichtverfügbarkeit der Division 31 umfasst auch das zugehörige Hochdruck-Kernsprühsystem.

- Bei einem gemeinsamen Rundgang mit einem Vertreter des Lieferanten stellte das KKL am 29. November 2018 bei einer im März 2018 eingebauten 24-V-Batterie eine Abweichung von der gültigen Spezifikation fest. Als Füllmaterial, das die Elektroden im Batteriegehäuse fixiert, waren anstelle von Rippenplatten Hohlkammerplatten verbaut. Der Sachverhalt wurde am 3. Dezember 2018 als meldepflichtiges Vorkommnis erkannt. Der Hersteller hatte seine internen Vorgaben geändert, ohne das KKL, wie bei solchen Änderungen vorgesehen, darüber zu informieren. Die Änderung hat keinen Einfluss auf die elektrischen Eigenschaften der Batterie, ebenso erfüllt sie die seismischen Anforderungen. Die Batterie wird in der nächsten Divisionsrevision durch eine spezifikationskon-

forme Batterie ersetzt. Es sind keine weiteren Batterien von dieser Abweichung betroffen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die nicht der Spezifikation entsprechende Batterie der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

- Am 4. Dezember 2018 kam es bei einem Testlauf zu einer störungsbedingten Abschaltung eines Notabluftventilators. Grund war ein mangelhafter elektrischer Kontakt in der Steuerung. Nach Austausch des betroffenen Einschubs innerhalb der massgeblichen Frist der Technischen Spezifikation funktionierte der Ventilator wieder normal. Das Notabluftsystem führt im Anforderungsfall die Luft aus dem Sekundärcontainment gefiltert ab. Es verfügt über Schwebstoff- und Aktivkohlefilter zur Rückhaltung von Aerosolen und radioaktivem Iod. Die temporäre Adsorption radioaktiver Krypton- und Xenonisotope durch die Aktivkohle verzögert deren Abgabe und damit die Menge der an die Umgebung abgegebenen radioaktiven Edelgase. Die gefilterte Luft wird radiologisch überwacht und über den Kamin abgeführt. Weiter stellt das Notabluftsystem den Unterdruck im Sekundärcontainment sicher und verhindert so den Austritt ungefilterter Luft. Die Nichtverfügbarkeit eines Notabluftventilators ordnete das ENSI der Kategorie A (Abweichung) zu – als Aspekt der Auslegungsvorgaben mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie für das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe».

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 Anlagentechnik

4.3.1 Revisionsarbeiten

Das Abfahren der Anlage für die Jahreshauptrevision erfolgte am 16. September 2018. Nach Abschluss der geplanten Arbeiten verblieb die Anlage während weiteren 20 Tagen bis 2. November 2018 im Stillstand. Grund dafür waren die nach dem Vorkommnis vom 9. Oktober 2018 erforderlichen

Abklärungen und vor dem Wiederaufstart umzusetzenden Massnahmen.

Während des Revisionsstillstands fanden Instandhaltungsarbeiten sowie Inspektionen an mechanischen und elektrischen Einrichtungen, zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen sowie wiederkehrende Funktionsprüfungen und Begehungen an Komponenten statt.

Besonders erwähnt seien folgende Arbeiten:

- Zur Überprüfung der Wirksamkeit der Massnahmen zur Verhinderung von Befunden an Brennelementen, wie sie das KKL in der Jahresrevision 2016 festgestellt hatte, erfolgten visuelle Inspektionen von Brennelementen. Es ergaben sich keine Anzeichen für Dryout oder ungewöhnliche Ablagerungen. Die Ergebnisse bestätigten damit die Wirksamkeit der Auflagen zur Begrenzung der thermischen Leistung von Brennelementen und des Kerndurchsatzes.
- Die im Vorjahr noch nicht geprüften Stützeinschweissnähte und Stützeinnenkanten am RDB wurden qualifizierten Ultraschallprüfungen unterzogen. Die bereits bekannten bewertungspflichtigen Anzeigen zeigten keine Veränderungen. Die mechanisierte visuelle Prüfung der äusseren Oberflächen der Stützedurchführungen der Bodenkalotte mit einem Kamerasystem ergab keine bewertungspflichtigen Befunde.
- Die Prüfungen an sechs austenitischen Schweissnähten des Umwälzsystems mit einem qualifizierten Ultraschallprüfsystem ergaben keine neuen Anzeigen. Die bereits bekannten Anzeigen wiesen keine Veränderungen im Vergleich zur letzten Prüfung auf. Die Farbeindringprüfungen an 18 Schweissnähten des Umwälzsystems zeigten keine Befunde.
- Die bei den durchgeführten Tests gemessenen Summen der Leckageraten an Containment-Durchdringungen, an Containment-Abschlussarmaturen sowie Frischdampf- und Speisewasserleitungen lagen weit unterhalb der Limiten der Technischen Spezifikation.
- Im Rahmen der Revision der Division 31 fand gemäss langfristiger Planung ein Austausch des Dieselmotors gegen ein revidiertes, baugleiches Modell statt. Des Weiteren erfolgte ein Austausch des zugehörigen Generators. Der Notstromdiesel der Division 31 dient primär der Versorgung der Pumpe des Hochdruck-Kernsprühsystems bei einem Ausfall der externen Stromversorgung. Aufgrund der Erkenntnisse aus dem Vorkommnis vom 9. Oktober 2018

senkte das KKL die Leerlaufdrehzahl nachträglich auf 51,8 Hz.

4.3.2 Anlageänderungen

Folgende Anlageänderungen seien erwähnt:

- Nach der Montage des neuen Neutronenflussmesssystems für den Leistungsbereich (Power-Range-Neutron-Monitoring-System, PRNMS) fand die erfolgreiche Inbetriebsetzung statt. Damit schloss das KKL die Modernisierung der gesamten Neutronenflussinstrumentierung ab. Das PRNMS verarbeitet die Signale von ortsfest im Reaktorkern angeordneten Neutronendetektoren. Es berechnet insbesondere die Leistung des Reaktorkerns und die räumliche Verteilung der Leistungsdichte. Das PRNMS stellt Signale für den Reaktorschutz und andere Systeme bereit. Von besonderer sicherheitstechnischer Bedeutung ist die Schnellabschaltung bei einer Überschreitung des Grenzwertes für die Reaktorleistung. Das ENSI erteilte sowohl für die Anlageänderung als auch für die damit verbundenen Anpassungen der Technischen Spezifikation die erforderlichen Freigaben. Das Wide-Range-Neutron-Monitoring-System, das zusammen mit dem PRNMS alle Zustände der Reaktors abdeckt, war bereits früher ersetzt worden. Das KKL modernisierte auch das zur Kalibrierung mit beweglichen Detektoren verwendete Transversing-Incore-Probe-System.
- Nachdem ein Modul einer unterbrechungsfreien Stromversorgung infolge eines defekten Kondensators ausgefallen war, überprüfte das KKL sämtliche unterbrechungsfreien Stromversorgungen. Der betroffene Kondensatortyp war nur in einem weiteren Modul verbaut. Das KKL tauschte das Modul aus.
- Das KKL schloss die Erneuerung der Blitzschutzanlage ab. Das ENSI gab das überarbeitete Blitzschutzkonzept am 27. September 2018 frei.
- Eine neue Stahlbaukonstruktion dient dem Schutz der Eigenbedarfstransformatoren vor Witterungseinflüssen.

4.3.3 Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente

Der Reaktor wurde im Berichtszeitraum planmässig bis zur Abstellung zur Jahreshauptrevision im September 2018 betrieben.

Aufgrund des Brennstabdefekts an einem Brennelement im Zyklus 30 (2013/2014) und Befunden

(lokale Beläge) an weiteren Brennelementen eines Typs in Folgezyklen sendete das KKL Brennstäbe zu weiteren Untersuchungen an das Paul Scherrer Institut. Die Untersuchungsergebnisse zeigten Anfang 2018, dass es sich bei den lokalen Befunden um Ablagerungen von Korrosionsprodukten (sogenannter Crud) handelt. Lediglich der einzelne Brennstabdefekt aus dem Zyklus 30 war auf erhöhte Oxidation zurückzuführen. Die Betreiberin führte daraufhin die Ursachenanalyse, die bislang von lokalem Dryout ausging, weiter. Ende 2018 reichte das KKL dem ENSI neue Unterlagen zur Beschreibung und Bewertung dieser Vorkommnisse zur Prüfung ein.

Der Reaktor wurde im Berichtszeitraum mit Einschränkungen des Betriebskennfeldes betrieben, um erneute lokale Ablagerungen an Brennstäben auszuschliessen. Diese Begrenzungen waren auf der Basis der Inspektionsergebnisse und deren sicherheitstechnischer Bewertung während der Jahreshauptrevision 2016 festgelegt worden. Während der Jahreshauptrevisionen 2017 und 2018 erfolgten Inspektionen von Brennelementen, um die Wirksamkeit der genannten Massnahmen zu überprüfen und die Ursachenabklärung weiter zu unterstützen. Es zeigte sich, dass die Begrenzung von Kerndurchsatz und Brennelementleistung bei frischen Brennelementen eines bestimmten Typs geeignete Massnahmen zur Vermeidung der lokalen Ablagerungen sind. Des Weiteren wurden in der Jahreshauptrevision 2018 die standardmässigen Inspektionen an Brennelementen durchgeführt. Diese Inspektionen umfassten visuelle Prüfungen sowie die Vermessung der Kastenverbiegung. Das Erscheinungsbild und die Messergebnisse aller Brennelemente waren im erwarteten Bereich und bestätigten damit das auslegungsgemässe Verhalten. Sie können weiter im Reaktor eingesetzt werden.

Aufgrund des wiederum kürzer geplanten folgenden Betriebszeitraumes lud das KKL 80 frische Brennelemente nach. Wegen der erwähnten Befunde aus dem Jahr 2016 wurden wieder betriebliche Begrenzungen für den Kerndurchsatz und die Leistung für Brennelemente eines bestimmten Typs in ihrem ersten und zweiten Einsatzzyklus berücksichtigt.

Das KKL wies die Integrität der Steuerstäbe anhand permanenter Analysen der Wasserchemie nach. Da alle Steuerstäbe auch im nächsten Zyklus noch nicht ihren Endabbrand erreichen werden, war ein Ersatz von Steuerstäben nicht erforderlich.

Die durchgeführten Inspektionen sowie die Daten der Kernüberwachung bestätigten, dass im Berichtszeitraum keine Brennelementschäden aufgetreten waren. Die Integrität der ersten Barriere zum Schutz gegen den Austritt radioaktiver Stoffe war daher im gesamten Berichtszeitraum jederzeit gewährleistet.

4.4 Strahlenschutz

Im Berichtsjahr verzeichnete das KKL eine Kollektivdosis von 1372 Pers.-mSv. Die höchste Individualdosis betrug 12,4 mSv. Alle Individualdosen lagen unter dem Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Es wurden 16 Personenkontaminationen festgestellt, die sich nicht mit einfachen Mitteln entfernen liessen. Im Berichtsjahr gab es keine Hinweise auf Brennelementschäden.

Die Betreiberin prognostizierte für die gesamte Jahreshauptrevision eine Dosis von 820 Pers.-mSv. Tatsächlich wurde mit den elektronischen Dosimetern eine Kollektivdosis von 990 Pers.-mSv gemessen. Sie lag damit knapp über der Grenze der Planungsungenauigkeit von $\pm 20\%$.

Der radiologische Zustand im Primärteil der Anlage veränderte sich im Vergleich zum Vorjahr nicht wesentlich.

Es ereigneten sich im KKL mehrere Vorfälle, die unter anderem auch auf eine ungenügende Organisation des Strahlenschutzes oder auf individuelle mangelnde Fachkompetenz schliessen liessen:

- Zu Beginn der Jahresrevision kam es zu einem meldepflichtigen Anstieg der Ortsdosisleistung im Containment (siehe Unterkapitel 4.2). Der Anstieg der Ortsdosisleistung hatte keine Inkorporation von radioaktiven Stoffen zur Folge. Jedoch stiegen die Individualdosen des im betroffenen Gebiet anwesenden Personals und folglich die Kollektivdosis merklich an.
- Das Absenken des Wasserniveaus über dem im RDB eingesetzten Wasserabscheider verursachte ein weiteres strahlenschutzrelevantes, aber nicht gemäss der Richtlinie ENSI-BO3 meldepflichtiges Ereignis. Es kam zu einer Aerosol-ausbreitung im Nahbereich des Beckens, die das Strahlenschutzpersonal trotz der Anzeige des Überwachungsmessgerätes nicht erkannte. Dabei wurden 16 Personen kontaminiert. Auch wenn keine Dosisgrenzwerte verletzt wurden, war dieses Ereignis Ende des Berichtsjahres

noch immer Gegenstand einer Untersuchung des ENSI.

- In einem anderen Zusammenhang stellte das ENSI bei einer unangemeldeten Inspektion am späten Abend eine ungenügende Präsenz des Strahlenschutzpersonals in der kontrollierten Zone fest. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die ungenügende Präsenz des Strahlenschutzpersonals 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».

Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen, Iod und Edelgasen lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Abgabelimiten. Die gleiche Aussage gilt auch für die radioaktiven Abgaben mit dem Abwasser ohne Tritium. Die Tritium-Abgaben des KKL betragen rund 3 % der Jahresabgabelimite. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern durch. Sie stimmten mit den vom KKL gemeldeten Analyseergebnissen überein. Aus den tatsächlich über die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnete das ENSI die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKL unter ungünstigen Annahmen. Die Dosen betragen rund 0,002 mSv für Erwachsene und für Zehnjährige sowie 0,004 mSv für Kleinkinder. Sie 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 Kraftwerksareals die Dosis messen, zeigten mit einem Höchstwert von 1,1 mSv im Jahr 2018 einen vergleichbaren Wert wie im Vorjahr (1,3 mSv). Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen an der Umzäunung des KKL durch, die ebenfalls keine signifikanten Veränderungen aufzeigten. Die Messungen der Betreiberin und des ENSI gaben keinen Hinweis auf eine Verletzung der gemäss Artikel 79 Absatz 2 der Strahlenschutzverordnung anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung aus-

serhalb 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 KKL wird auf den Strahlenschutzbericht 2018 des ENSI verwiesen.

4.5 Radioaktive Abfälle

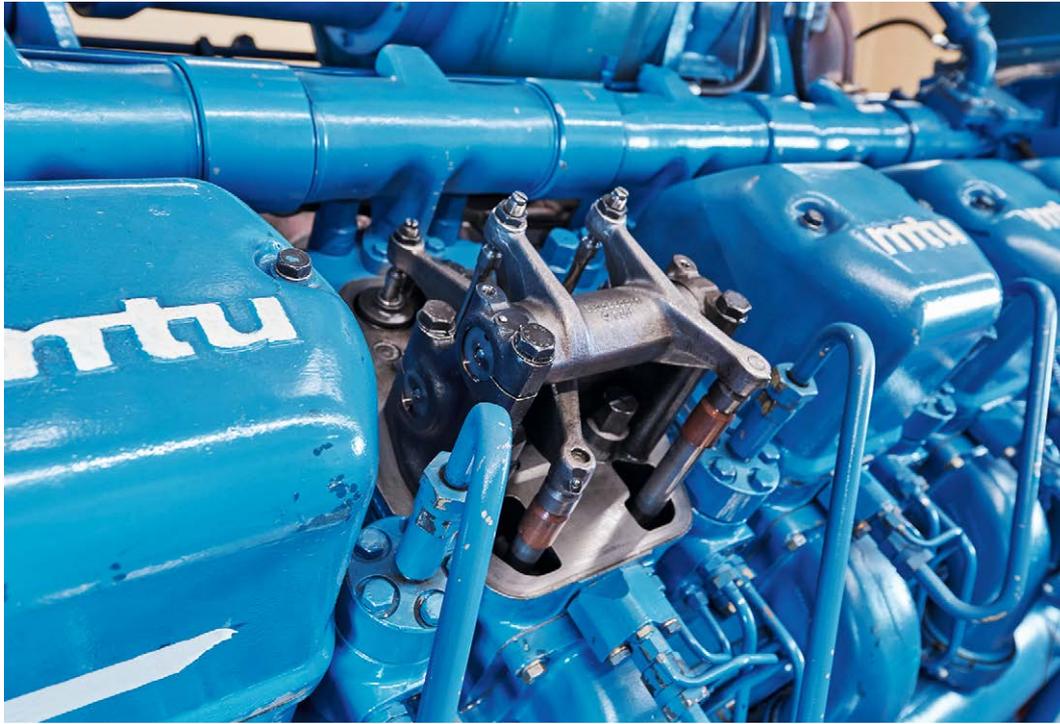
Radioaktive Rohabfälle fallen im KKL regelmässig aus den Wasserreinigungssystemen, der Abgas- und Fortluftreinigung an. Weitere Abfälle stammen aus dem Austausch von Komponenten bei Instandhaltungs-, Umbau- oder Nachrüstungs-massnahmen und von den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien. Im Berichtsjahr fielen 48 m³ radioaktive Rohabfälle an (siehe Tabelle 6). Die Abfallmenge lag in der mehrjährigen Schwankungsbreite auf einem niedrigen Niveau.

Die radioaktiven Rohabfälle werden gesammelt, kampagnenweise konditioniert und anschliessend zwischengelagert. Das KKL bewahrt die unkonditionierten Abfälle in dafür vorgesehenen Räumlichkeiten der kontrollierten Zone auf. Ihr Bestand liegt mit 5 m³ im Erfahrungsbereich der vergangenen Jahre. Brennbar und weitere Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in die Zwi-lag transportiert.

Zur Konditionierung werden im KKL Harze und Konzentrate zementiert. Für alle angewendeten Verfahren liegen die behördlichen Typengenehmigungen vor. Im Berichtsjahr wurden 157 Gebinde zementiert.

Die konditionierten Abfallgebinde werden im werkseigenen Zwischenlager eingelagert. Das KKL nutzt zudem die Kapazitäten des zentralen Zwischenlagers der Zwi-lag. Im Berichtsjahr wurden 45 Fässer mit konditionierten Abfallgebinden dorthin transferiert. Bei der jährlichen Inspektion des Lagergutes 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.

Die Betreiberin lagerte im Berichtsjahr diverse ausgediente radioaktive Grosskomponenten in der Aktivlagerhalle auf dem Areal ein. Für jede einzelne Grosskomponente wurde ein Steckbrief erstellt. Die definitive Entsorgung der Komponenten wird mit dem Rückbau des KKL stattfinden.



Notstromdiesel.
Foto: KKL

Wichtig bei der Minimierung der radioaktiven Abfälle ist die Inaktiv-Freimessung von Materialien aus der kontrollierten Zone. Im KKL wurden im Berichtsjahr insgesamt 8,1 t 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 fanden zwei Transporte mit je 69 Brennelementen statt. Weitere Angaben zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente finden sich im Kapitel 8.

4.6 Notfallbereitschaft

Die Notfallorganisation des KKL ist für die Bewältigung aller Notfälle innerhalb des Werksareals 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 im Juni 2018 an der Werksnotfallübung MAST die Notfallorganisation. Im Übungsszenario wurde unterstellt, dass bei der Kantonspolizei Aargau eine Meldung einging, wonach im KKL ein Sabotageakt erfolgen soll. Nach einer ersten Überprüfung durch die Kantonspolizei wurden die Betriebswache informiert und der Kernstab der KKL-Notfallorganisation auf-

geboten. Zu einem späteren Zeitpunkt wurde ein Sabotageakt in der Umgebung des KKL verübt, der zu Personenschäden führte. Im Verlauf der Übung fanden fünf Rapporte des Notfallstabs statt.

Das KKL stufte das Ereignis korrekt ein und meldete es zeitgerecht an das ENSI. Aufgrund seiner Beobachtungen kam das ENSI zum Schluss, dass das KKL die vorgegebenen Übungsziele für Werksnotfallübungen mit Schwerpunkt Polizeieinsatz gemäss der Richtlinie ENSI-B11 erreichte. Das KKL verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.

Eine Inspektion im Dezember 2018 zeigte, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit sind.

Ferner löste das ENSI im November 2018 ohne Voranmeldung einen Übungsalarm im KKL aus, der die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabes innerhalb der zeitlichen Vorgaben gemäss der Richtlinie ENSI-B11 bestätigte.

4.7 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr reduzierte sich der Personalbestand gegenüber dem Vorjahr weiter auf 509 Personen, die 499 Vollzeitstellen besetzten (Ende 2017: 520). Der Personalrückgang ist im Wesentlichen auf die Umsetzung der Zielvorgaben der geschäftsführenden Axpo Power AG im Hinblick auf die geplante Reduktion des Personalbestandes bis

2022 zurückzuführen. Auf diese Zielvorgabe reagierte das ENSI insbesondere mit der Forderung, der Kraftwerksleiter habe nachvollziehbar aufzuzeigen, wie die Sicherheit der Anlage trotz der geplanten Verringerung des Personalbestandes weiterhin gewährleistet bleibt. Das ENSI wird die Umsetzung der geplanten Personalreduktion im Rahmen seiner Aufsicht kritisch begleiten.

Die organisatorische Straffung im KKL hat auch Auswirkungen auf die Abteilungsstrukturen. Das KKL hat per 1. Januar 2019 die Abteilung «Administration und zentrale Funktionen» neu geschaffen. In der neuen Abteilung sind verschiedene Ressorts zusammengeführt und teilweise neu ausgerichtet worden. Ebenfalls per 1. Januar 2019 wurde die Schnittstelle zwischen der Kernkraftwerk Leibstadt AG und den Geschäftseinheiten der Axpo Power AG neu geregelt. Das ENSI stellte fest, dass damit die Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten zwischen der Kernkraftwerk Leibstadt AG und der Abteilung Kernbrennstoffe der Axpo Power AG im Sinne eines externen Auftragsverhältnisses klar geregelt sind und den gesetzlichen Vorgaben entsprechen. Das ENSI gab die entsprechenden organisatorischen Änderungen im Kraftwerksreglement frei.

Das Managementsystem besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2015. Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Thema Betriebsführung durch. Es überprüfte, ob das Arbeitsauftragsverfahren im Managementsystem angemessen, detailliert und verbindlich geregelt ist und durch ein geeignetes Betriebsführungssystem unterstützt wird. Die entsprechenden Anforderungen wurden erfüllt. Hinsichtlich der Vollständigkeit der im Betriebsführungssystem des KKL erfassten, wiederkehrenden Arbeiten erkannte das ENSI allerdings einen Verbesserungsbedarf und stellte eine entsprechende Forderung.

Das ENSI führte mit dem KKL ein Fachgespräch zum Dialog über Sicherheitskultur. Thema war der Umgang mit den veränderten Rahmenbedingungen in der Kernenergiebranche. Ziel des Gesprächs war es, einen Reflexionsprozess über Aspekte der Sicherheitskultur anzustossen. Das Fachgespräch wurde als offener Dialog geführt, angelehnt an das Konzept «Aufsichtskultur», das im Bericht ENSI-AN-8708 beschrieben ist. Dementsprechend erfolgt von Seiten des ENSI keine formale Bewertung der Sicherheitskultur des KKL.

Zudem führte das ENSI im Berichtsjahr ein Schwerpunkt-Fachgespräch zum Thema «Lernen aus Projekterfahrungen» durch. Neben den Aspekten des Projektmanagements wurden auch Erfahrungen mit technischen Fragestellungen thematisiert.

Zwei Schichtchefs sowie zwei Picketingenieure legten im Berichtsjahr 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 in einer Demonstration der Anwendung der Kenntnisse. Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in Tabelle 3 zusammengestellt.

Das ENSI führte eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2017 und der Planung des Ausbildungsprogramms 2018 der Abteilung Betrieb durch. Gegenstand der Inspektion waren die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator, die allgemeine Wiederholungsschulung sowie deren Änderungen und Neuerungen. Ferner prüfte das ENSI die Ausbildung des Personals der Abteilung «Support, Sicherheit & Technik» sowie der Geschäftsbereiche «Kernbrennstoffe» und «Bautechnik» auf die Einhaltung der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) und der Richtlinie ENSI-B10. Die Ausbildungsprogramme in den inspizierten Bereichen erfüllten die Anforderungen.

4.8 Periodische Sicherheitsüberprüfung

Die vom KKL Ende 2016 im Rahmen der Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) eingereichte Dokumentation befand sich zum Ende des Berichtsjahres noch in Prüfung durch das ENSI.

4.9 Sicherheitsbewertung

Im Jahr 2018 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:

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

Sicherheitsbewertung 2018 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	Anforderungen		Betriebsgeschehen	
	Auslegungsvorgaben	Betriebsvorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch & Organisation
Ziele				
Kontrolle der Reaktivität		N	A	A
Kühlung der Brennelemente	A	V	A	A
Einschluss radioaktiver Stoffe		V	A	N
Begrenzung der Strahlenexposition		N	A	A
schutzzielübergreifende Bedeutung		A	1	1

Sicherheitsbewertung 2018 KKL: Schutzziel-Perspektive
 Anmerkung: alternative Darstellung derselben Sachverhalte
 wie in der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge,
 aber mit zusätzlicher Darstellung radiologischer
 Auswirkungen

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. Sämtliche den Kategorien A (Abweichung) und höher zugeordneten Sachverhalte sind in den Unterkapiteln 4.2 und 4.4 dargestellt.

Zusammenfassend kommt das ENSI zu folgenden Gesamtbewertungen:

Auslegungsvorgaben

Bei der Beurteilung der Auslegungsvorgaben hat das ENSI Erkenntnisse aus der letzten Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) sowie aus dem EU-Stresstest herangezogen und dabei die Auslegung der Anlage bezüglich Redundanzgrad, Diversität, räumlicher Separation und Robustheit gegen auslösende Ereignisse bewertet. Da die Auslegungsvorgaben des KKL die Minimalanforderungen und den Stand ausländischer Anlagen desselben Typs übertreffen und die im Unterkapitel 4.2 beschriebene Abweichung im Bereich der Auslegungsvorgaben als Abweichung mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit beurteilt wird, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als gut.

Betriebsvorgaben

Das ENSI beurteilt die im Unterkapitel 4.2 beschriebene Abweichung im Bereich der Betriebsvorgaben als Abweichung mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Weil Bewertungen der Kategorie A unterhalb der internationalen Ereignisskala INES liegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut.

Zustand und Verhalten der Anlage

Das ENSI ordnet die mit der eingeschränkten Verfügbarkeit der Systeme zur Wärmeabfuhr verbundene Risikoerhöhung (siehe Unterkapitel 4.2, Vorkommnis vom 4. Mai 2018) der Stufe 1 der internationalen Ereignisskala INES zu. Entsprechend bewertet das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als ausreichend.

Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

Das ENSI ordnet die Mängel bei der Arbeitsplanung und Arbeitsdurchführung zusammen mit der fehlenden Wirksamkeit von aus früheren Vorkommnissen abgeleiteten Massnahmen (siehe Unterkapitel 4.2, Vorkommnis vom 20. September 2018) der Stufe 1 der internationalen Ereignisskala INES zu. Entsprechend bewertet das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als ausreichend.



Zentrales
Zwischenlager
Würenlingen.
Foto: Zwiilag

5. Zentrales Zwischenlager Würenlingen

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

5.1 Zwischenlagergebäude

Die Zwischenlagergebäude der Zwiilag 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 für mittelaktive Abfälle (MAA-Lager) und das Lagergebäude für schwach- und mittelaktive Abfälle (SAA-/MAA-Lager). Zum Zwischenlager

gehören auch das Empfangsgebäude und die Heisse Zelle.

Im HAA-Lager wurden im Berichtsjahr zwei Transport- und Lagerbehälter (TL-Behälter) mit jeweils 69 abgebrannten Brennelementen aus dem Kernkraftwerk Leibstadt eingelagert. Ferner wurden im Rahmen von zwei Brennelement-Shuttlekampagnen mit jeweils zehn Transporten je 69 abgebrannte Brennelemente aus dem Kernkraftwerk Mühleberg ins ZZL angeliefert. Als Transportbehälter dienten wie bisher zwei Shuttlebehälter des Typs TN9/4. Die Shuttlebehälter wurden in der Heissen Zelle fernbedient geöffnet und die Brennelemente in zwei TL-Behälter des Typs TN24BH umgeladen.

Das ENSI prüfte die entsprechenden Einlagerungsanträge und gab die Einlagerung frei. Ende 2018 betrug der Lagerbestand im HAA-Lager 65 TL-Behälter, davon 11 CASTOR- und 12 TN-Behälter mit insgesamt 632 Glaskokillen aus der Wiederaufar-

beitung von Brennelementen, 41 TN-Behälter mit insgesamt 2936 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 2018 rund 32,5 %. Neben den erwähnten TL-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 MAA-Lager wurden im Berichtsjahr schwachaktive, endkonditionierte Gebinde eingelagert. Ende 2018 betrug die Ausnutzung des MAA-Lagers rund 43 %.

Im Berichtsjahr wurde der Bau der neuen Lagerhalle I abgeschlossen. Die Halle steht auf einem der Zwiilag vorgelagerten, eigenständigen Grundstück und dient der Lagerung nicht nuklearer, konventioneller Betriebsmittel der Zwiilag und der KKW. In die Lagerhalle I konnte anschliessend das gesamte konventionelle Lagergut aus dem Gebäude S aufgenommen werden. Die am 1. Oktober 2018 begonnene Räumung des Gebäudes S war der erste Vorbereitungsprozess zur Inbetriebnahme dieses Gebäudes als SAA- und MAA-Lager. Die Zwiilag plant, ab Mitte 2020 das Gebäude S für die Lagerung von schwach- und mittelaktiven Abfällen zu nutzen, so wie es die aktuelle Betriebsbewilligung des Bundesrates vorsieht.

5.2 Konditionierungsanlage

Die Konditionierungsanlage dient der Behandlung von schwachaktiven Abfällen aus dem Betrieb der schweizerischen KKW sowie von weiteren radioaktiven Abfällen, beispielsweise aus der Sammelstelle des Bundes (Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung), sofern diese keine Alphastrahler enthalten.

Betriebsabfälle aus den KKW, die nicht als verbrennbarer oder schmelzbarer Abfall direkt in der Plasma-Anlage verarbeitet werden können, werden hier der Konditionierung beziehungsweise der Dekontaminierung mit unterschiedlichen Behandlungsverfahren unterzogen. Das Ziel ist es, eine möglichst grosse Menge als inaktives Material freizumessen 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 18,9 t Material gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B04 als inaktiv freigemessen.

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 aus der Verarbeitung zugeführt.

5.3 Plasma-Anlage

Aufgabe der Plasma-Anlage ist es, brenn- und schmelzbare schwachaktive Abfälle durch sehr hohe Temperaturen in eine inerte Schlackenmatrix ohne organische Stoffanteile zu überführen. Dieses Produkt 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.

Im Berichtsjahr wurde in der Plasma-Anlage eine Kampagne durchgeführt. Die Arbeiten verliefen planmässig, was sich in der spezifikationsgerechten Verarbeitung von 636 Abfallfässern und 400 Liter Flüssigabfällen zu 155 konditionierten Gebinden ausdrückte.

5.4 Strahlenschutz

Im Berichtsjahr akkumulierten 200 beruflich strahlenexponierte Personen eine Kollektivdosis von 20,3 Pers.-mSv. Sie lag damit bei 78 % des für das Berichtsjahr geplanten Wertes von 26,1 Pers.-mSv. Die höchste registrierte Einzeldosis betrug 2,6 mSv (2017: 1,9 mSv). Im Berichtsjahr wurden weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen festgestellt. Die durch den Strahlenschutz regelmässig erhobenen Proben lieferten keine Hinweise auf unzulässige Kontaminationen auf den Oberflächen oder in der Atemluft. Zu den strahlenschutzrelevanten Arbeiten mit signifikanten Beiträgen zur Kollektivdosis zählten im Berichtsjahr unter anderem die Arbeiten an der Ausmauerung der Plasma-Anlage, die Instandhaltungsarbeiten, der Behälterempfang sowie der Verbrennungsbetrieb.

Die radioaktiven Abgaben über die Abluft und das Abwasser lagen deutlich unterhalb der in der



Behälterlagerhalle.
Foto: Zwiilag

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 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 des Betreibers 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 Aufenthaltsräume und von 0,1 mSv pro Woche für andere Bereiche. Die Tätigkeiten in den Anlagen des ZZL wurden unter Einhaltung der gesetzlichen und internen Strahlenschutzvorgaben durchgeführt. Die Ergebnisse der Inspektionen bestätigten, 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 2018 des ENSI verwiesen.

5.5 Notfallbereitschaft

Die Notfallorganisation der Zwiilag ist für die Bewältigung aller Notfälle innerhalb des Werksareals zuständig. Mit einer zweckmässigen Organisation und geeigneten Führungsprozessen zusammen mit einer entsprechenden Auslegung der Anlagen hat die Zwiilag die Notfallbereitschaft auf hohem Niveau sicherzustellen.

Das ENSI beobachtete und beurteilte im Juni 2018 an der Werksnotfallübung HADES die Notfallorganisation der Zwiilag. Der Übung wurde ein Szenario zugrunde gelegt, welches von einem Fahrzeugbrand im Empfangsbereich des Gebäudes E ausging. Nachdem die Strahlenschutztüre hinter dem Sattelzug ordnungsgemäss geschlossen wurde, entwickelte sich infolge eines technischen Defektes im Motorraum des Sattelmotorfahrzeuges ein Brand. Dieser Brand breitete sich rasch auf das Zugfahrzeug und den Auflieger aus. Zum Zeitpunkt des Brandausbruchs war das ZZL im Begriff, Fässer aus dem Container in Gitterboxen auf dem Auflieger umzuladen. Die in Brand geratenen Fässer entwickelten starken, radioaktiv kontaminierten Rauch.

Die Zwiilag stufte das Ereignis korrekt ein und meldete es zeitgerecht an das ENSI. Aufgrund seiner Übungsbeobachtungen kam das ENSI zum Schluss, dass die Zwiilag die vorgegebenen Übungsziele für Werksnotfallübungen gemäss der Richtlinie



ENSI-B11 erreichte. Die Zwiilag verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.

Ferner löste das ENSI im November 2018 ohne Voranmeldung einen Übungsalarm in der Zwiilag aus, bei dem 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 Zwiilag beschäftigte Ende 2018 wie schon im Vorjahr 85 Personen, die 80 Vollzeitstellen besetzen.

Das Managementsystem der Zwiilag besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2015. Im Berichtsjahr fand eine Rezertifizierung statt.

Das ENSI führte 2018 eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Thema Betriebsführung durch. Es überprüfte, ob das Arbeitsauftragsverfahren im Managementsystem die zugehörigen Vorgaben der Kernenergieverordnung und der Richtlinie ENSI-G07 erfüllte. Die entsprechenden Anforderungen wurden erfüllt.

5.7 Vorkommnisse

Im Berichtsjahr waren keine meldepflichtigen Vorkommnisse zu verzeichnen.

5.8 Gesamtbeurteilung

Das ENSI kam zum Schluss, dass die Zwiilag die verschiedenen Anlagen des Zentralen Zwischenlagers im Berichtsjahr sicher betrieben und dabei jederzeit die bewilligten Betriebsbedingungen eingehalten hatte. Die Sicherheit und somit der Schutz von Mensch und Umwelt waren im Berichtsjahr gewährleistet. Das Managementsystem, die Qualifikation und die Kapazität des Personals sowie der Zustand der verschiedenen Anlagen zeigten eine hohe Qualität und Zuverlässigkeit.



Paul Scherrer Institut.
Foto: PSI

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. Durch Grundlagenforschung und angewandte Forschung sucht das PSI Antworten auf zentrale Fragen aus Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft. 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 PROTEUS, SAPHIR und DIORIT sind Kernanlagen und werden durch das ENSI beaufsichtigt.

Im Berichtsjahr waren fünf gemäss der Richtlinie ENSI-B03 meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen. Eines davon wurde durch einen externen Dritten verursacht und somit nicht dem PSI zuge-

wiesen. Es kam dabei weder zu unkontrollierten Abgaben von radioaktiven Stoffen noch zu radiologischen Auswirkungen auf das Personal (siehe Unterkapitel 6.7). Die Sicherheit und somit der Schutz von Mensch und Umwelt waren stets gewährleistet.

6.1 Hotlabor

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

sen Zellen. Darunter fallen flüssige Abfälle, die bei der Brennstoff-Analytik anfallen und Aktinide sowie Spalt- und Aktivierungsprodukte enthalten. Zur Verfestigung dieser flüssigen radioaktiven Abfälle nahm das PSI im Jahr 2013 die Fixbox-3-Anlage in Betrieb. Zum Ende des Berichtsjahres lag noch kein Gesuch um die zum routinemässigen Betrieb dieser Anlage erforderliche Typengenehmigung vor. Bei der Brennstoffanalytik fallen im Hotlabor auch feste bestrahlte Kernbrennstoff- und Strukturmaterialabfälle an. Diese Abfälle werden hochdruckverpresst und in Stahlzylinder verpackt. Die im Jahr 2015 initiierte Erneuerung der diesbezüglichen Einrichtungen im Hotlabor ist abgeschlossen. Für die Abfallgebinde ist eine neue Typengenehmigung erforderlich. Zum Ende des Berichtsjahres lag noch kein Gesuch vor. Seit Mitte 2016 erfolgt die Behandlung der radioaktiven Abwässer des PSI-Ost mit der neuen Aktiv-Abwasseranlage im Hotlabor. Im Berichtsjahr wurden 836 m³ Abwasser behandelt und kontrolliert an die Kontrollkammer des PSI-Ost abgegeben (Vorjahr: 934 m³).

Im Berichtsjahr gab es im Hotlabor fünf meldepflichtige Vorkommnisse (siehe Unterkapitel 6.7). Das PSI führte im Berichtsjahr unter anderem folgende Arbeiten im Hotlabor durch:

- Das PSI mass rund 6,5t Material aus dem Hotlabor gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B04 frei (Vorjahr: 12 t).
- Es wurden verschiedene Projekte mit sicherheitstechnischer Bedeutung abgeschlossen, nämlich die Modernisierung der Brandmeldeanlage, der Ersatz diverser Brandschutztüren, der Ersatz des Zuluftventilators und der Ersatz des Drucklufttrockners.
- Das PSI führte Nachbestrahlungsuntersuchungen an Brennstabsegmenten aus dem Kernkraftwerk Leibstadt und dem Kernkraftwerk Gösgen durch. Aus dem Kernkraftwerk Gösgen erfolgte eine Lieferung von rund 18,8 kg an bestrahltem Kernbrennstoff.

Das PSI konditionierte im Berichtsjahr keine radioaktiven Abfälle im Hotlabor. Das ENSI wies die Di-

reaktion des PSI darauf hin, dass die Konditionierung der Abfälle aus der Brennstoffanalytik im Hotlabor eine hohe Aufmerksamkeit erfordert.

6.2 Kernanlagen in der Stilllegung

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 (VVA).

6.2.1 SAPHIR

Die Anlage SAPHIR kann aufgrund der Ergebnisse einer radiologischen Charakterisierung als kontaminationsfrei eingestuft werden. Das PSI erstellt nun ein Konzept, um die Räume und das Gebäude freizumessen. Aufgrund der hohen natürlichen Radonkonzentration im Gebäude beurteilt das PSI eine Freimessung als anspruchsvoll. Nach der Modifikation des Aussenluft-Ansaugkanals wurden Langzeitmessungen zur Radonkonzentration in der Reaktorhalle vorgenommen. Dadurch konnten die Radonwerte wesentlich gesenkt werden. Das PSI wird dies im Freimesskonzept berücksichtigen. Im SAPHIR-Gebäude führte eine externe Firma Versuche zur Entfernung von PCB-Anstrichen mit verschiedenen Abtragverfahren durch. Der Untersuchungsbericht liegt dem PSI zur Auswertung vor.

Das PSI ertüchtigte die im SAPHIR-Anbau betriebene Freimessanlage und schulte das zukünftige Bedienpersonal. Die neuen Operateure erlangten die Fachkunde für den Betrieb der Freimessanlage. Zu Beginn des Berichtsjahres wurden im Kontrollbereich des SAPHIR Materialien, die für das Schreddern von Beton verwendet wurden, und Rückbaumaterialien aus den Medienkanälen freigemessen. Es wurden insgesamt rund 4t Material freigemessen. Im Berichtsjahr wurden ausserdem drei Palette mit Abluftfiltern aus dem Kontrollbereich freigemessen.

Übersicht über den Stand der Stilllegung der betroffenen Kernanlagen am PSI.

Name	Inbetriebnahme	Endgültige Ausserbetriebnahme	Stilllegungsverfügung ausgestellt
SAPHIR	30.04.1957*	21.06.1994	30.11.2000
DIORIT	15.08.1960*	08.07.1977	26.09.1994
PROTEUS	26.01.1968*	19.04.2011	21.12.2017
VVA	21.10.1974**	19.11.2002	02.07.2014

*erste Kritikalität, ** erste Verbrennung

6.2.2 DIORIT

Das PSI nahm am DIORIT-Reaktor weitere Rückbauarbeiten vor. Die Aktivität des Betons mitsamt den eingebauten Komponenten, insbesondere die Stahlauskleidung und Strahlrohre, lag in der Nähe des Reaktors über der Befreiungsgrenze gemäss der Strahlenschutzverordnung. Das PSI wird nun die noch vorhandenen Leitungen, Schächte und Durchführungen, teilweise unter Verwendung von Abstützungen, so entfernen, dass die Standfestigkeit des Gebäudes gewährleistet bleibt.

Zur Ertüchtigung der Aluminium-Schmelzanlage installierte das PSI einen Vortrocknungs-Ofen und führte Vorbereitungsarbeiten aus, um die Schmelzanlage schliesslich wieder in Betrieb zu nehmen. Mit der Anlage sollen noch rund 1,4 t Aluminium-Stilllegungsabfälle aus dem Rückbau der Forschungsreaktoren DIORIT und SAPHIR eingeschmolzen und anschliessend endkonditioniert werden.

In einem hierfür bestimmten Raum finden weiterhin Dekontaminationsarbeiten an Abfällen statt. Im Berichtsjahr 2018 wurden 2,1 t Material freigesessen.

Da die Gebäulichkeiten des DIORIT vollständig zurückgebaut werden sollen, setzte das PSI im Berichtsjahr die Überarbeitung des Stilllegungsprojekts fort.

6.2.3 PROTEUS

Das Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) erliess am 21. Dezember 2017 die Stilllegungsverfügung für die PROTEUS-Anlage.

Das PSI arbeitete im Berichtszeitraum an der Erstellung der Gesuchsunterlagen für die freigabepflichtige Stilllegungsphase 1, welche die Demontage der Reaktorstruktur umfasst.

Im Hinblick auf den Rückbau der Kernanlage muss das PSI die Beseitigung des Kernbrennstoffs vornehmen. Das PSI verfolgte diese Aufgabe mit hoher Priorität.

Das PSI mass im Berichtsjahr rund 28 t an Material und Gegenständen aus dem PROTEUS frei und führte sie dem Wertstoffkreislauf zu.

Die Infrastruktur der Anlage wurde regulär unterhalten.

6.2.4 Versuchsverbrennungsanlage

Das ENSI gab die Arbeiten für den Teilschritt 2 des Rückbaus frei. Er umfasst den Rückbau des Ofens.

Zur Schulung des Personals errichtete das PSI ein Mock-up des Verbrennungs-Ofens und führte ein umfassendes Schulungsprogramm durch.

Über dem Verbrennungs-Ofen wurde eine Einhausung, unter anderem zur Beherrschung der Asbestproblematik, errichtet. Der Ofenschacht wurde zwecks Dosisminderung gereinigt. Bis Ende 2018 konnte das PSI etwa 90 % der Ofenausmauerung zurückbauen und vorkonditionieren. Dabei wurden zirka 6,5 t an radioaktivem Material von der Ausmauerung in 46 Innenbehälter des zugehörigen Abfallgebindetyps vorverfestigt. Ausserdem wurden rund 700 kg an Anlagenteilen freigesessen.

Das PSI begann darüber hinaus mit der Erstellung der Gesuchsunterlagen für den freigabepflichtigen Teilschritt 3. Dieser umfasst den Rückbau der Grobfilter, des Feinfilters und der Rauchgasleitungen.

6.2.5 Aktiv-Abwassernetz Ost

Das PSI initiierte im Jahr 2017 den Rückbau des alten Aktiv-Abwassernetzes des PSI-Ost. Die geplante Dauer des Projekts 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 Aktivabwasserbehandlung über die Anlage im Hotlabor (siehe Unterkapitel 6.1). Das Gesamtprojekt ist in einzelne Teilprojekte gegliedert, die jeweils eine separate Freigabe erfordern. Im Berichtsjahr hiess das ENSI zwei Anträge gut.

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. Dazu gehören LüftungsfILTER und Abfälle aus der Abwasserbehandlung. Alle 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 häufiger ändernden Spektrum an Abfallbindetypen führt.

Zur Behandlung der radioaktiven MIF-Abfälle betreibt das PSI die Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (AERA). Darunter befinden sich das Betriebsgebäude (siehe Unterkapitel 6.3.2) und insbesondere auch das Abfalllabor. Für diese zwei Kernanlagen überarbeitete das PSI die Sicherheitsberichte mitsamt der zugehörigen Störfallanalysen und reichte diese 2016 dem ENSI ein. Das ENSI schloss seine Beurteilung Ende 2018 ab. Bei den Sicherheitsnachweisen für das Abfalllabor stellte das ENSI in einzelnen Punkten Nachbesserungsbedarf fest und formulierte dazu mehrere Forderungen. Die Stellungnahme des ENSI zum Sicherheitsbericht für das Betriebsgebäude lag zum Ende des Aufsichtsjahres noch nicht vor.

Im Berichtsjahr wurden insgesamt rund 38,1 m³ (Vorjahr: 37,4 m³) Abfälle bei der Bundessammelstelle angeliefert, davon 36,76 m³ (Vorjahr: 33 m³) aus dem PSI und 1,35 m³ (Vorjahr: 4,4 m³) aus der jährlichen Sammelaktion des Bundesamts für Gesundheit (BAG). Ausserdem wurden 28 extern konditionierte Stahlzylinder mit Industrieabfällen an-

geliefert. Aus der Zwiilag wurden keine Abfälle zurückgeliefert.

Im Berichtsjahr wurden 9,6 m³ (Vorjahr: 75,74 m³) Material dekontaminiert und freigemessen.

Zur Behandlung in der Plasma-Anlage der Zwiilag wurden im Berichtsjahr 41 (Vorjahr: 30) neue 200-Liter-Abfallgebinde mit sortierten und verpressten Abfällen (A-Fässer) hergestellt. In der Berichtsperiode hat das PSI 0,2 m³ Altöl zur Behandlung in der Plasma-Anlage an die Zwiilag geliefert.

6.3.2 Lagerung radioaktiver Abfälle

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

Grundlage für den Nachweis der Einhaltung der Schutzziele beim BZL-Betrieb bildet die Störfallanalyse gemäss Auflage 3.2 der bundesrätlichen Verfügung vom 3. Dezember 2004 betreffend die Änderung der Betriebsbewilligung für das BZL. Diese Analyse ist periodisch zu aktualisieren, wo-

bei insbesondere die Entwicklung des Lagerinventars sowie der jeweilige Stand von Wissenschaft und Technik zu berücksichtigen sind. Nach grundlegender Überarbeitung der BZL-Störfallanalyse erstellte das PSI in der Vorjahresperiode eine Spezifikation für ein Dosisprogramm, mit dem die Einhaltung der Störfalldosen für den jeweils aktuellen Lagerzustand sowie prospektiv für den im Folgejahr vorgesehenen Zustand kontrolliert beziehungsweise nachgewiesen werden kann. Ende 2018 reichte das PSI das Dosisprogramm zur Prüfung ein.

In der Berichtsperiode wurde ein neues endkonditioniertes 200-Liter-Gebinde in das BZL eingelagert. Somit war der mit 200-Liter-Fässern belegte Raum per Ende 2018 mit 4905 Gebinden gefüllt. Dies entspricht einem Belegungsgrad von rund 85 %. Das Inventar im BZL-Container-Teil belief sich unverändert auf 95 endkonditionierte KC-T12/30-Container. Schliesslich waren im BZL per Ende des Berichtsjahres 2258 Stahlzylinder (Vorjahr: 2243 Stk.) in neun KC-T12-Containern gelagert. Weitere 156 Zylinder aus industrieller Fertigung mit tritiumhaltigen Abfällen stehen seit 2016 zur Dichtheitsüberwachung lose in 200-Liter-Fässern, die zu diesem Zweck mit Ventilen versehen sind.

In den Hallen des Betriebsgebäudes sowie in weiteren Hallen der AERA lagern entsprechend den betrieblichen Erfordernissen sowohl unkonditionierte als auch konditionierte Abfälle sowie ausgediente Komponenten und weiteres radioaktives Material zum Abklingen.

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

6.4 Strahlenschutz

Im Berichtsjahr akkumulierten die 1928 beruflich strahlenexponierten Personen des PSI eine Kollektivdosis von 31,6 Pers.-mSv (2017: 42,2 Pers.-mSv bei 1830 Personen). Davon stammen 7,5 Pers.-mSv (2017: 3,5 Pers.-mSv) aus dem Aufsichtsbereich des ENSI mit 361 beruflich strahlenexponierten Personen bei einer höchsten Individualdosis von 0,8 mSv (2017: 0,7 mSv bei 372 Personen). An

mehreren Inspektionen stellte das ENSI fest, dass der operationelle Strahlenschutz in den Kernanlagen des PSI die gesetzlichen und behördlichen Vorgaben erfüllte.

Das ENSI erhebt vierteljährlich Wasserproben aus den Abwassertanks des PSI. Bei der gamma-spektrometrischen Auswertung stellte das ENSI fest, dass seine Ergebnisse mit denjenigen des PSI übereinstimmen. 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 Personendosis von weniger als 0,007 mSv pro Jahr berechnet. Diese Dosis lag deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,15 mSv pro Jahr gemäss PSI-Abgabereglement. Für detailliertere Angaben zu den Personendosen wird auf den Strahlenschutzbericht 2018 des ENSI verwiesen.

6.5 Notfallbereitschaft

Die Notfallorganisation des PSI ist für die Bewältigung aller Notfälle innerhalb des Werksareals zuständig. Mit einer zweckmässigen Organisation, geeigneten Führungsprozessen und einer entsprechenden Auslegung seiner Anlagen hat das PSI die Notfallbereitschaft sicherzustellen.

Das ENSI und das BAG beobachteten und beurteilten im November 2018 an der Institutsnotfallübung BRAVO die Notfallorganisation. Der Übung war gemäss der Richtlinie ENSI-B11 ein Szenario zugrunde zu legen, das Schutzmassnahmen in einer gemeinsamen Gefährdungszone des PSI und der Zwiilag erforderlich macht. Dazu wurde unterstellt, dass ein Flugzeug beim Anflug auf den Flughafen Zürich im unteren Aaretal abstürzt. Teile des Flugzeugs, insbesondere der Flugzeugrumpf und eine Tragfläche, stürzten dabei auf das Hotlabor. Die Folgen waren schwere Beschädigungen und ein Brand. Es wurden mehrere Mitarbeiter des Hotlabors sowie externe Bauarbeiter, die in diesem Bereich Arbeiten ausführten, verletzt. Das PSI stufte das Ereignis korrekt ein und meldete es dem ENSI zeitgerecht.

Aufgrund der Übungsbeobachtungen kam das ENSI zum Schluss, dass das PSI die vorgegebenen Übungsziele für Institutsnotfallübungen gemäss der Richtlinie ENSI-B11 erreichte. Das PSI verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.

6.6 Personal und Organisation

Die Abteilungen «Strahlenschutz» und «Sicherheit», die Sektion «Rückbau und Entsorgung» sowie die Abteilung «Hotlabor» und das Labor für nukleare Materialien haben eigene Managementsysteme, die gemäss ISO/IEC 17020 akkreditiert beziehungsweise nach der Norm DIN EN ISO 9001:2015 zertifiziert sind. Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Thema Betriebsführung durch. Es überprüfte, ob das Arbeitsauftragsverfahren angemessen detailliert und verbindlich geregelt ist und durch ein geeignetes Betriebsführungssystem unterstützt wird. Das Hotlabor erfüllte die entsprechenden Anforderungen. Das ENSI betrachtete während der Inspektion insbesondere die Abläufe im Hotlabor. Deshalb sind die Ergebnisse nicht auf die anderen, der nuklearen Aufsicht unterstellten Kernanlagen des PSI übertragbar. Es ergab sich indes ein Hinweis, der auch für andere Kernanlagen des PSI von Bedeutung sein kann. Das ENSI wies darauf hin, dass das PSI für sicherheitsrelevante Tätigkeiten die notwendigen Ressourcen aus den Supportfunktionen, insbesondere aus der Instandhaltung der Elektrotechnik und der Maschinenteknik sowie dem Strahlenschutz, zeitgerecht bereitzustellen hat, damit es die sicherheitsrelevanten Vorgaben jederzeit zuverlässig erfüllen kann. Zudem stellte das ENSI fest, dass das PSI teilweise aufgrund der personellen Ressourcen im Hotlabor die Entsorgung der radioaktiven Abfälle aus der Brennstoffanalytik während der vergangenen Jahre nicht mit der gebotenen Priorität umsetzte. Der Bestand des zulassungspflichtigen Personals für den abgestellten Forschungsreaktor PROTEUS zählte am Ende des Berichtsjahres fünf Personen. Diese Personenanzahl ist aus Sicht des ENSI im Hinblick auf den anstehenden Rückbau des Forschungsreaktors genügend. Zwei Reaktoroperateurinnen legten im Berichtsjahr ihre Zulassungsprüfung für den abgestellten Forschungsreaktor PROTEUS mit Erfolg ab. Die Zulassungsprüfungen bestehen aus einem theoretischen und einem praktischen Teil.

Zur Personalsituation und Organisation in den sich im Rückbau befindenden Kernanlagen SAPHIR, DIORIT, VVA sowie im Hotlabor und in den AERA ergaben sich im Vergleich zum Vorjahr keine nennenswerten Änderungen.

Das ENSI führte mit dem PSI zum zweiten Mal ein Fachgespräch über den Dialog zur Sicherheitskultur durch. Thema des diesjährigen Fachgesprächs

war die Verantwortung für die Sicherheit. Ziel des Fachgesprächs war es, die organisationsinternen Reflexionsprozesse zu stärken. Das Fachgespräch wurde als offener Dialog geführt, angelehnt an das Konzept «Aufsichtskultur», das im Bericht ENSI-AN-8708 beschrieben ist. Dementsprechend erfolgte von Seiten des ENSI keine formale Bewertung der Sicherheitskultur des PSI.

6.7 Vorkommnisse

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

■ Am 10. März 2018 verursachte ein Kurzschluss im Medienkanal OKWA-OHLA einen Kabelbrand. Dies führte zu einem vorübergehenden Stromausfall in den Kernanlagen AERA, VVA und SAPHIR. Im Hotlabor war die Notstromversorgung gewährleistet. Das PSI überführte die betroffenen Kernanlagen in den Stillstand. Die Stromversorgung konnte nach einigen Stunden sukzessive über provisorische oberirdische Verbindungen und der Normalbetrieb nach mehreren Tagen wieder hergestellt werden. Der Brand beschädigte zwei Aktivabwasserleitungen im Medienkanal.

Infolge des Stromausfalls fielen die Lüftungsanlagen aus und somit ging die Unterdruckhaltung in den kontrollierten Zonen (Typ 0 und I) verloren. Da die Abluft des Abfalllabors auslegungsgemäss über die Hotlabor-Fortluftanlage läuft und letztere vom Stromausfall nicht betroffen war, war die Unterdruckhaltung in der Operationsbox (Zonentyp IV) jederzeit gewährleistet.

Während des Stromausfalls fiel in den betroffenen Kernanlagen auch die Fortluftüberwachung aus. In den vom Stromausfall betroffenen Gebäuden wurden deshalb sämtliche Arbeiten eingestellt. Das PSI führte in den Gebäuden regelmässige radiologische Kontrollen durch. Diese zeigten keine unzulässigen radioaktiven Abgaben über die Fortluft an die Umwelt. Auch die Sicherung der betroffenen Anlagen war jederzeit gewährleistet.

■ Am 8. Juni 2018 fiel die anlagenspezifische Fortluftüberwachung des Hotlabors infolge einer mangelhaften elektrischen Steckverbindung der internen Spannungsversorgung aus. Das PSI konnte den Defekt nach drei Tagen beheben und die Anlage wieder in Betrieb nehmen.

Da der Hotlabor-Fortluftstrang in den Hochkamin geleitet wird, war mit der Hochkamin-Fortluftüberwachung des PSI-Ost die Überwachung und Bilanzierung der Abgaben an die Umwelt zu jedem Zeitpunkt gewährleistet.

- Am 5. Juli 2018 traf das Fahrzeug eines deutschen Transportunternehmens unbeladen beim Hotlabor ein. Das Transportunternehmen sollte zwei freigestellte Versandstücke vom Hotlabor nach Deutschland transportieren. Bei der Eingangskontrolle des Fahrzeugs stellte der Strahlenschutz auf einer Einlegematte eine radioaktive Kontamination fest, welche die zulässigen Werte gemäss Europäischem Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR) überstieg. Die Einlegematte wurde aus dem Fahrzeug entfernt und sichergestellt. Das Ereignis hatte keine radiologischen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Das ENSI wies das Vorkommnis nicht dem PSI, sondern dem Beförderer zu.
- Am 11. Dezember 2018 wurde bei Umverdrahtungsarbeiten im Zusammenhang mit der planmässigen Erneuerung der Brandmeldeanlage im Hotlabor ein Brandalarm (Fehlalarm) ausgelöst. Der Alarm führte zu einem automatischen Schliessen der Brandschutzklappen und zur automatischen Umschaltung der Lüftung in den Notfortluftbetrieb. Das PSI ordnete die Evakuierung der kontrollierten Zone an und versetzte das Hotlabor in den Stillstand. Nach rund einer Stunde konnte das PSI den Lüftungsnormalbetrieb wieder herstellen. Eine weitere halbe Stunde später konnte der Normalbetrieb der Anlage wieder aufgenommen und die Absperung der kontrollierten Zone aufgehoben werden. Das Ereignis war auf eine Fehlhandlung zurückzuführen. Die Barrieren des Hotlabors blieben intakt. Der Unterdruck im Gebäude konnte während der gesamten Dauer des Ereignisses aufrechterhalten werden. Zu keinem Zeitpunkt bestand für das Personal und die Umwelt eine radiologische Gefährdung.
- Am 20. Dezember 2018 verursachte ein defekter Frequenzumformer des Zuluftventilators des Heisse-Zellen-Trakts einen Stufenwechsel der Lüftungsumschaltung von der Stufe 1, reduzierter Betrieb über Nacht, auf die Stufe 2, Normalbetrieb. Dies hatte eine automatische Lüftungsumschaltung auf Notfortluft zur Folge. Nach knapp zwei Stunden konnte die Lüftungsanlage manuell wieder in die Stufe 1 gefahren werden. Während der Phase der Notfortluft stand die

Anlage still und der Zutritt zur kontrollierten Zone war gesperrt. Die Barrieren des Hotlabors blieben intakt. Der Unterdruck im Gebäude konnte während der gesamten Dauer des Ereignisses aufrechterhalten werden. Zu keinem Zeitpunkt bestand für das Personal und die Umwelt eine radiologische Gefährdung.

6.8 Schule für Strahlenschutz

Die Schule für Strahlenschutz führte im Berichtsjahr die vom ENSI anerkannten Ausbildungskurse zur Strahlenschutz-Fachkraft für Kernanlagen durch. Der Fachkraftkurs umfasst insgesamt fünfzehn Wochen Unterricht, Praktika, Prüfungsvorbereitung, schriftliche, mündliche und praktische Prüfungen. Im Berichtsjahr absolvierten neun Teilnehmer diesen Kurs erfolgreich. Fünf Teilnehmer stammten aus schweizerischen Kernkraftwerken, eine Fachkraft aus dem PSI sowie drei von Dienstleistungsfirmen. Das ENSI beurteilte die Qualität des Unterrichts, beaufsichtigte die Prüfungen und attestierte der Schule ein gutes Niveau der Lehrveranstaltungen.

Zusätzlich führte die Schule für Strahlenschutz mehrere Weiterbildungs- und Zusatzkurse für Strahlenschutz-Techniker und -Fachkräfte durch. An insgesamt drei durchgeführten Kursmodulen nahmen 44 Technikerinnen und Techniker sowie Fachkräfte teil.

Insgesamt führte die Schule für Strahlenschutz 29 Aus- und Fortbildungskurse für die schweizerischen Kernanlagen durch, an denen insgesamt 377 Personen teilnahmen. An sieben Kursen mit Bezug zu Transporten radioaktiver Gefahrgüter nahmen insgesamt 56 Personen teil. Das ENSI überzeugte sich anhand von Besuchen einzelner Kurse, durch die Anwesenheit bei den Prüfungen und mittels mehrerer Fachgespräche mit den Kursleiterinnen und Kursleitern von der guten Qualität des Unterrichts. Zudem führte das PSI an der Schule für Strahlenschutz zahlreiche Aus- und Fortbildungskurse in den Bereichen Notfallorganisation, Medizin, Industrie, Lehre und Forschung durch.

7. Weitere Kernanlagen

7.1 École Polytechnique Fédérale de Lausanne

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

Im Berichtsjahr stand der CROCUS-Reaktor insbesondere den Ingenieur- und Physikstudentinnen und -studenten der EPFL, Kursteilnehmerinnen und Kursteilnehmern der Reaktorschule des Paul Scherrer Instituts und Studentinnen und Studenten des Swiss-Nuclear-Engineering-Masterkurses der ETH Zürich und der EPFL während 424 Stunden bei kleiner Leistung (unter 100 W) für Ausbildungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 791 Wh thermische Energie erzeugt. Das Experiment CARROUSEL wurde für Praktika verwendet. Die Neutronenquelle LOTUS ist seit mehreren Jahren ausser Betrieb. Die Anlage wird zurzeit für die Lagerung von radioaktiven Quellen und für Bestrahlungsexperimente verwendet.

Die EPFL baute den Reaktorkern des CROCUS im Berichtsjahr aufgrund von Versuchen und Instandhaltung einmal aus. Dabei wurden Brennstäbe aus den vorgegebenen Positionen herausgenommen und inspiziert.

Im Juni 2018 fand aufgrund eines kurzen Stromausfalls eine Reaktorschnellabschaltung statt. Die Abschaltssysteme funktionierten dabei ordnungsgemäss. Die EPFL meldete das Vorkommnis gemäss der Richtlinie ENSI-B03 dem ENSI.

Im Laufe des Berichtsjahres führte das ENSI mit der EPFL zum ersten Mal ein Fachgespräch zum Dialog über Sicherheitskultur durch. Ziel des Gesprächs war es, einen Reflexionsprozess über Aspekte der Sicherheitskultur anzustossen. Das Fachgespräch wurde als offener Dialog geführt, angelehnt an das Konzept «Aufsichtskultur», das im Bericht ENSI-AN-8708 beschrieben ist. Dementsprechend erfolgt von Seiten des ENSI keine formale Bewertung der Sicherheitskultur der EPFL. Zukünftig wird der Dialog über die Sicherheitskultur in einem regelmässigen Turnus angestrebt.

Die zwölf beruflich strahlenexponierten Personen an der EPFL haben im Berichtsjahr eine Kollektivdosis von 0,1 Pers.-mSv akkumuliert. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend.

Im November 2018 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 Betriebsbedingungen im Berichtsjahr 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. Der Reaktor befand sich im Aufsichtsjahr im Nachbetrieb und wurde auf die Stilllegung vorbereitet.

An der Anlage wurden im Berichtsjahr einige Modifikationen, wie zum Beispiel bauliche Massnahmen, Entfernung nicht mehr benötigter Anlagenteile und Anpassung der Fortluftanlage vorgenommen. Insgesamt konnten etwa 33 t Material freigemessen und der konventionellen Entsorgung zugeführt werden.

Das ENSI erstellte als zuständige Aufsichtsbehörde des Bundes das Gutachten zum Stilllegungsprojekt und reichte es dem Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) im Mai 2018 ein. Das Gutachten ist eine Grundlage für den Erlass der Stilllegungsverfügung durch das UVEK.

Die Universität Basel reichte dem ENSI im September 2018 den Antrag für die Phasenfreigabe zum Rückbau des Reaktors ein. Das ENSI begann daraufhin mit der Prüfung des Freigabeantrages.

Die für den Reaktor tätigen Personen akkumulierten im Berichtsjahr im Rahmen des Nachbetriebs Dosen, die unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und den Abwasserpfad war unbedeutend. Das ENSI kam zum Schluss, dass die Universität Basel die vorgegebenen Betriebsbedingungen und die Vorschriften zum Strahlenschutz für das Personal und die Umwelt einhielt.

8. Transporte und Behälter

8.1 Genehmigungen nach Gefahrgutgesetzgebung

Die schweizerischen Vorschriften für den Transport radioaktiver Stoffe auf Strasse und Schiene basieren unter anderem 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 IAEA-Empfehlungen für die sichere Beförderung radioaktiver Stoffe zur Anwendung. Basierend auf diesen Empfehlungen wird das internationale Transportrecht regelmässig angepasst. Die 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 war Ende des Berichtsjahres noch ausstehend. Die derzeitigen Regelwerke für die unterschiedlichen Verkehrsträger basieren auf der vorherigen Version der IAEA-Empfehlungen aus dem Jahr 2012. 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 beziehungsweise 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-Zulassungen 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 Be-

urteilungen 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. Anderenfalls und insbesondere wenn 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 drei Gesuche nach Gefahrgutgesetzgebung und stellte die entsprechenden Genehmigungen aus. Ein Gesuch betraf die Zulassung eines Typs eines AF-Versandstückmusters für die Verwendung in der Schweiz auf der Basis einer vorliegenden ausländischen Zulassung. Ein Gesuch betraf die originäre Zulassung eines Typs eines B(M)F-Versandstückmusters für die Verwendung in der Schweiz. Ein weiteres Gesuch bezog sich auf eine Beförderungsgenehmigung nach Gefahrgutrecht zur Berücksichtigung von Mindesttemperaturwerten bei der Beförderung eines bestimmten Typs eines B(M)F-Versandstücks.

8.2 Bewilligungen nach Strahlenschutzgesetzgebung

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

Umladestation im
Zwischenlager
Würenlingen.
Foto: Zwiilag



gungen 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 neue Strahlenschutzverordnung, die am 1. Januar 2018 in Kraft trat, hatte keine substantziellen Veränderungen des Verfahrens für die Erteilung dieser Bewilligungen durch das ENSI zur Folge. Das ENSI aktualisierte jedoch sein Verfahren und stellte auf seiner Website Musterformulare bereit, welche die Gesuchstellung unterstützen. Unter dem Thema Transport finden in- und ausländische Gesuchsteller diese Information in den Sprachen Englisch, Deutsch und Französisch.

Im Berichtsjahr erstellte oder erneuerte das ENSI drei Transportbewilligungen für ausländische Speditionen und Dienstleister, eine davon in Form einer Anerkennung einer bestehenden Bewilligung des BAG. Dies betraf zwei Speditionen aus Belgien und Frankreich sowie eine Firma aus den Niederlanden, die Dienstleistungen auf dem Gebiet der Reinigung und Dekontamination anbietet. Eine schweizerische Firma für zerstörungsfreie Prüfungen

stellte ihre Geschäftstätigkeit ein, daher entfällt die entsprechende Transportbewilligung.

Insgesamt verfügen 17 in- und ausländische Speditionen und Logistik-Unternehmen, vier Dienstleistungsunternehmen, die Kernkraftwerke Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt, das Paul Scherrer Institut (PSI) und die Zwiilag über eine ENSI-Bewilligung für den Transport radioaktiver Stoffe von und zu Schweizer Kernanlagen. Darüber hinaus erteilte das ENSI der Universität Basel eine Einzelbewilligung für die Ausfuhr von mehreren Spaltkammern, da diese nach der Ausserbetriebnahme des Forschungsreaktors nicht mehr benötigt werden. Bei diesen Spaltkammern handelt es sich um Messinstrumente mit einem geringen radioaktiven Inhalt.

8.3 Bewilligungen nach Kernenergiegesetzgebung

Gemäss Artikel 6 und 34 des Kernenergiegesetzes bedarf der Umgang mit Kernmaterialien und radioaktiven Abfällen aus Kernanlagen einer Bewilligung des Bundes. Der Artikel 3 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 fünf kernenergierechtliche Transportgesuche beziehungsweise Verlängerungsgesuche für den Transport von radioaktiven Betriebsabfällen zur Zwiilag, ein Gesuch für die Rückführung von schwachaktiven Abfällen aus Belgien, zwei Gesuche für die Einfuhr von frischen Brennelementen, ein Gesuch für den Transport von bestrahlten Brennstäben zum PSI und drei Gesuche für den Transport von abgebrannten Brennelementen zur Zwiilag. Auf der Basis dieser Beurteilungen stellte das BFE die entsprechenden Bewilligungen aus. Die Rückführung von schwachaktiven Abfällen aus Belgien steht im Zusammenhang mit der Revision von ausgebauten Hauptkühlmittelpumpen des Kernkraftwerks Beznau, die regelmässig beim Hersteller in Belgien durchgeführt werden. Das Kernkraftwerk Beznau hat

sich verpflichtet, die dabei anfallenden Abfälle zurückzunehmen und der Entsorgung in der Schweiz zuzuführen.

8.4 Beschaffung von Transport- und Lagerbehältern

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

Die T/L-Behälter werden von den Kernkraftwerken beziehungsweise von den Wiederaufarbeitungsanlagen 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.



Ankunft beim Zwischenlager Würenlingen.
Foto: Zwiilag

Details und Verfahren hierzu regelt die Richtlinie ENSI-G05. Mit dieser Richtlinie sind nicht nur die Anforderungen an die Auslegung der T/L-Behälter spezifiziert, sondern auch die Anforderungen an die Behälterfertigung, wie etwa Qualitätsanforderungen, begleitende Kontrollen oder die Behälterdokumentation. Bei der Fertigung der T/L-Behälter sind festgelegte und vom ENSI freigegebene Abläufe einzuhalten. Diese werden im Auftrag des ENSI von unabhängigen 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 als Versandstück für radioaktive Stoffe.

Ende 2018 befanden sich 26 Transport- und Lagerbehälter in den verschiedenen Fertigungsphasen, von der Fertigungsvorbereitung bis zur Freigabe zur Verwendung oder der Registrierung durch das ENSI. Aktuell werden zwei unterschiedliche Bauarten für abgebrannte Brennelemente gefertigt. Soweit sich Abweichungen bei der Fertigung ergaben, wurden diese in allen Fällen von den Herstellern korrigiert oder nach eingehender Prüfung als akzeptabel qualifiziert, nachdem die auslegungsgemässe Sicherheit des jeweiligen Behälters nachgewiesen werden konnte. Die Hersteller und schweizerischen Kernkraftwerke schenken im Berichtsjahr der Vermeidung von Abweichungen beziehungsweise den Vorkehrungen gegen deren Wiederholung verstärkte Beachtung, sodass die Dokumentationsprüfungen für die Behälterfertigungsprozesse früher abgeschlossen werden konnten und die Fertigungszeit generell kürzer ausfiel.

Das ENSI setzte zur Fertigungsüberwachung externe Sachverständige ein, zum überwiegenden Teil aus der Schweiz, in Einzelfällen auch aus den Herstellungsländern.

Ergänzend zu den Kontrollen im Bereich der laufenden Fertigung von T/L-Behältern wird die Zulassung und Vorabfertigung für eine neue, speziell für die Schweiz vorgesehene Behälterbauart für bestrahlte Brennelemente bearbeitet und überwacht. Wie bereits in den vorangegangenen Jahren wurden Inspektionen und Gespräche mit anderen Aufsichtsbehörden (französische Aufsichtsbehörde ASN und belgische Aufsichtsbehörde FANC) durchgeführt.

Im Berichtsjahr nahm das ENSI sieben Behälterexemplare gemäss der Richtlinie ENSI-G05 ab und

gab sieben beladene Behälter zur Einlagerung im Zwischenlager ZWIBEZ des Kernkraftwerks Beznau beziehungsweise im Zentralen Zwischenlager der Zwiilag für radioaktive Abfälle frei.

Im Berichtsjahr befanden sich vier neue Behälterbauarten im Bauartfreigabeverfahren nach der Richtlinie ENSI-G05. Aufgrund des teilweise innovativen Charakters dieser Behälterbauarten wird die Begutachtung unter Beiziehung 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 Unterkapiteln 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 Berichtsjahr in seinem Aufsichtsbereich acht Inspektionen im Bereich Transporte und Behälter für radioaktive Stoffe durch. Die Inspektionen betrafen den Versand und Empfang von Brennelementen, Brennstäben, radioaktiven Abfällen, Prüfquellen und leeren Verpackungen sowie die Beladung von Behältern mit bestrahlten Brennelementen und das Be- und Entladen von Brennstäben. Die gefahrgutrechtlichen Grenzwerte, insbesondere für Kontamination und Dosisleistung, wurden in allen Fällen eingehalten. Das ENSI identifizierte in einem Fall Verbesserungsbedarf bezüglich Arbeitsvorschriften eines neuen Transportsystems. Alle anderen Aspekte, insbesondere die Ausführung der Arbeiten durch die inspizierten Absender, Empfänger, Belader oder Beförderer, wurden mit Normalität bewertet.

Inhaber von Bewilligungen für den Transport radioaktiver Stoffe wurden im Rahmen ihrer Tätigkeiten in den Kernanlagen bewertet. Es wurden keine Audits bei Bewilligungsinhabern ausserhalb der Kernanlagen durchgeführt.



*Aussenansicht des
Besucherzentrums
beim Felslabor
Mont Terri.
Foto: CCV*

9. Geologische Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle

9.1 Einleitung

In der Schweiz sind die Verursacher radioaktiver Abfälle gesetzlich verpflichtet, ihre Abfälle sicher in geologischen Tiefenlagern zu entsorgen. Die Entsorgungspflichtigen haben ihre Pflicht an die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) übertragen. Die Nagra hat dafür ein Entsorgungskonzept mit zwei geologischen Tiefenlagern entwickelt, eines für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) sowie eines für hochaktive Abfälle (HAA). Ein Kombilager, das heisst ein gemeinsames Lager für SMA und HAA am selben Standort und im gleichen Wirtgestein ist möglich, wenn ein Standort für beide Abfallarten geeignet ist und sich die beiden Lagertypen nicht gegenseitig negativ beeinflussen. Die durch die Nagra verfolgte wissenschaftliche und techni-

sche Vorbereitung der geologischen Tiefenlagerung umfasst eine Vielzahl interdisziplinärer Forschungs-, Erkundungs- und Entwicklungsprojekte, welche die Erarbeitung konkreter Vorschläge für Standortgebiete und die Ausgestaltung der Lager im Untergrund bezwecken.

Seit 2008 läuft mit dem Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) in der Schweiz ein Standortauswahlverfahren (siehe Unterkapitel 9.2), das durch das Bundesamt für Energie (BFE) geleitet wird. Das ENSI trägt im Rahmen des SGT die Gesamtverantwortung für die sicherheitstechnische Beurteilung der geologischen Standortgebiete und Standorte. Der Bundesrat schloss im Berichtsjahr die Etappe 2 des SGT ab und startete damit die finale Etappe 3. Zu Beginn der Etappe 3 veröffentlichte das ENSI seine regulatorischen Vorgaben für die letzte Etappe.

Zur Etappe 2 hatte das ENSI 2017 sein Gutachten erstellt und empfohlen, in der Etappe 3 drei statt zwei Standortgebiete weiter zu untersuchen. Dabei wurde das ENSI auch durch externe Experten unterstützt, insbesondere die internationalen Experten der Expertengruppe geologische Tiefenlagerung (EGT) (siehe Unterkapitel 9.5). Die Nagra hatte aufgrund der Beurteilung des ENSI und weiterer Gremien noch vor Abschluss der Etappe 2 in drei Standortgebieten 3D-seismische Messungen durchgeführt.

Im Hinblick auf die notwendige Vertiefung des erdwissenschaftlichen Datensatzes in der Etappe 3 reichte die Nagra Gesuche für Tiefbohrungen und Gesuche für untiefe Bohrungen in quartäre Gesteine (Quartärbohrungen) ein. Diese stellen erdwissenschaftliche Untersuchungen dar, die im Gegensatz zu den 3D-seismischen Messungen destruktiv in den Untergrund eingreifen und daher gemäss Artikel 35 des Kernenergiegesetzes bewilligungspflichtig sind. Das BFE leitet die Bewilligungsverfahren, koordiniert die Beurteilungsarbeiten und bereitet die jeweilige Bewilligung des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) vor. Das UVEK bewilligte bis Ende 2018 von den 22 eingereichten Gesuchen für Tiefbohrungen deren drei. Bei den Quartärbohrungen lagen für alle 15 eingereichten Gesuche die entsprechenden Bewilligungen vor. Fünf dieser Bohrungen waren bis Ende 2018 bereits abgeschlossen (siehe Unterkapitel 9.3).

Neben den Arbeiten zum Sachplan, zu den Sondiergesuchen für Bohrungen, zur Kostenstudie und zum Entsorgungsprogramm führte das ENSI in

Zusammenarbeit mit den von ihm beauftragten Experten für die Tiefenlagerung relevante Untersuchungen und Forschungsarbeiten durch. Ein signifikanter Anteil dieser Daten stammt aus dem Felslabor Mont Terri. Das ENSI war auch im Berichtsjahr an mehreren Forschungsprojekten beteiligt (siehe Unterkapitel 9.6). Detaillierte Ausführungen zu den vom ENSI geleisteten und unterstützten Forschungsarbeiten werden im Erfahrungs- und Forschungsbericht 2018 des ENSI beschrieben. Diese Forschungsarbeiten erlauben es dem ENSI, kontinuierlich seinen Wissensstand zu aktualisieren und daraus den Stand von Wissenschaft und Technik für seine Beurteilungen zu definieren. Das ENSI verfolgt den Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich tiefenlagerrelevanter Prozesse auch im Rahmen seiner vielfältigen Mitarbeit in internationalen Gremien und Forschungsprogrammen (siehe Unterkapitel 9.7).

9.2 Sachplan geologische Tiefenlager

Das vom Bundesrat 2008 genehmigte Sachplanverfahren zur Standortwahl für geologische Tiefenlager ist in drei Etappen gegliedert. Der Bundesrat schloss in seiner Sitzung vom 21. November 2018 die Etappe 2 ab und entschied, dass die drei Standortgebiete Jura Ost (Kanton Aargau), Nördlich Lägern (Kantone Aargau und Zürich) und Zürich Nordost (Kantone Thurgau und Zürich) in der nun folgenden dritten Etappe weiter untersucht werden sollen.

Besuchergruppe im Felslabor Mont Terri.
Bild: swisstopo



Vorgaben für die Etappe 3

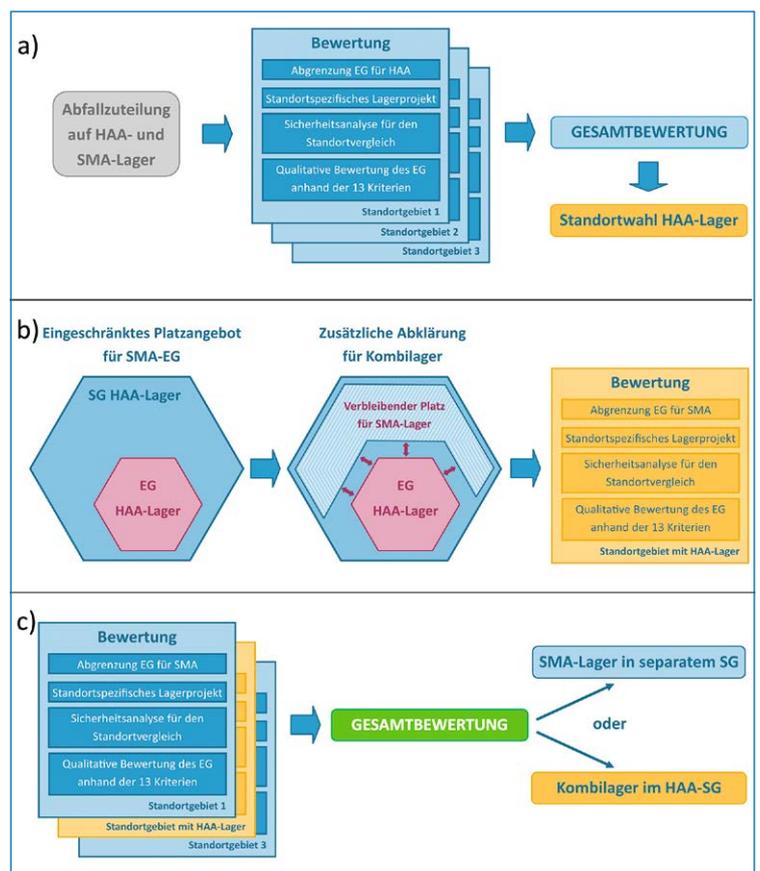
Das ENSI veröffentlichte Ende November 2018 seine sicherheitstechnischen Vorgaben für die Etappe 3. Die Vorgaben präzisieren das Vorgehen der Entsorgungspflichtigen bei der Standortwahl und den notwendigen Detaillierungsgrad der Rahmenbewilligungsgesuche. Das Dokument umfasst insbesondere folgende sicherheitstechnischen Schwerpunkte: Vorgaben für die Dokumentation des Rahmenbewilligungsgesuchs, Vorgaben für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen, Vorgaben für den Standortvergleich und Vorgaben für den gewählten Standort.

Das ENSI berücksichtigte im Rahmen der Erarbeitung der Vorgaben Empfehlungen der Kommission für nukleare Sicherheit (KNS), der Expertengruppe geologische Tiefenlagerung (EGT), des Ausschusses der Kantone (AdK) sowie der Expertengruppe Schweizer Tiefenlager (ESchT) aus Deutschland. Beispielweise hatten in der Etappe 2 verschiedene Experten empfohlen, die Dokumentenstruktur respektive die Art des Referenzierens in den Berichten für die Etappe 3 zu verbessern. Neu wird die Nagra zusammen mit dem Rahmenbewilligungsgesuch einen Argumentenbericht einreichen, der die wesentlichen Gründe und Schlussfolgerungen der Berichte für die Standortwahl und für die Sicherheit des Tiefenlagers zusammenfasst. Der Bericht soll es allen Beteiligten erleichtern, die Argumente für die Standortwahl rasch und transparent nachvollziehen zu können. Der Argumentenbericht enthält auch einen Dokumentenstrukturplan, der aufzeigt, welche Themen in welchen Berichten dokumentiert sind und wie die Berichte hierarchisch zusammenhängen. Die Nagra wird zudem in einem Dokumentenstrukturplan alle relevanten Referenzberichte aufführen.

Das ENSI präziserte in seinen Vorgaben auch das Auswahlverfahren für den Standortvergleich. Die vergleichende sicherheitstechnische Gesamtbewertung und die Standortwahl basieren auf der geologischen Situation in den Standortgebieten, den abgegrenzten einschlusswirksamen Gebirgsbereichen der Standortgebiete, den standortspezifisch abgeleiteten Lagerprojekten, den Sicherheitsanalysen für den Standortvergleich und der qualitativen Bewertung anhand der im Sachplan definierten 13 sicherheitstechnischen Kriterien. Die Standortwahl wird aufgrund eindeutiger Vorteile erfolgen. Sie wird im Rahmen einer gesamtheitlichen Abwägung der sicherheitstechnischen Eigenschaften abgeleitet werden. Für die Standortwahl sind pro Lagertyp die Vor- und Nachteile



Beispielhafte Darstellung für den Zusammenhang ausgewählter Berichte des Rahmenbewilligungsgesuchs



Schematische Darstellung der Methodik für den Standortvergleich in der Etappe 3

der abgegrenzten einschlusswirksamen Gebirgsbereiche bezüglich der sicherheitstechnischen Kriterien, in denen sie sich unterscheiden, darzulegen. Darüber hinaus sind die Konsequenzen für die

Bau-, Betriebs- und Langzeitsicherheit zu erläutern. Die Aussagen zu den sicherheitstechnischen Unterschieden zwischen den abgegrenzten einschliesswirksamen Gebirgsbereichen müssen belastbar sein. Dazu ist der Einfluss der bestehenden Variabilitäten und Ungewissheiten auszuweisen. Der Wirkung der natürlichen Barrieren hinsichtlich der Langzeitsicherheit kommt bei der Standortwahl ein besonderes Gewicht zu, da diese standortspezifisch sind und durch technische Massnahmen nur begrenzt beeinflusst werden können.

Aufgrund der strengeren Anforderungen an die geologischen Barrieren und des längeren Betrachtungszeitraums eines HAA-Lagers ist in einem ersten Schritt dieser Standort zu wählen. Im zweiten Schritt wird der Standort für das SMA-Lager gewählt werden. Ein Kombilager kann von der Nagra nur vorgeschlagen werden, wenn die Platzierung des HAA- und SMA-Lagers im gleichen Standortgebiet sicherheitstechnische Vorteile ergibt und mögliche Wechselwirkungen keine sicherheitsrelevante Beeinträchtigungen darstellen.

Die sicherheitstechnischen Vorgaben für die gewählten Standorte umfassen sowohl den Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase als auch denjenigen für die Nachverschlussphase (Langzeitsicherheit). Ebenso ist in den Vorgaben das Vorgehen für die Festlegung der Eignungskriterien und des vorläufigen Schutzbereichs für die gewählten Standorte festgehalten. Der Gesuchsteller schlägt Kriterien vor, bei deren Nichterfüllung ein vorgesehener Lagerbereich wegen fehlender Eignung ausgeschlossen wird (Eignungskriterien gemäss Artikel 14 des Kernenergiegesetzes und Artikel 63 der Kernenergieverordnung), sowie einen vorläufigen Schutzbereich (gemäss Artikel 14 des Kernenergiegesetzes und Artikel 70 der Kernenergieverordnung). Das ENSI wird diese Kriterien prüfen und anschliessend in den Rahmenbewilligungen für die geologischen Tiefenlager festlegen.

Technisches Forum Sicherheit

Das Technische Forum Sicherheit (TFS) dient im Rahmen des Sachplans als Informations- und Austauschplattform. In diesem Forum 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 Kom-

missionen (KNS, EGT), Nichtregierungsorganisationen und der Entsorgungspflichtigen (Nagra) sowie 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 durch die Forumsmitglieder und organisiert die Sitzungen. Die eingegangenen und beantworteten Fragen werden der Öffentlichkeit auf der Website www.technischesforum.ch zur Verfügung gestellt. Das ENSI führte im Berichtsjahr drei Sitzungen durch. Von den bisher im TFS aufgenommenen 149 Fragen waren bis Ende 2018 deren 148 beantwortet. Neben der Beantwortung eingereicherter Fragen wurden im Berichtsjahr an den Sitzungen verschiedene Fachthemen vertieft diskutiert. Im März präsentierten Vertreter des AdK ihre Stellungnahme zur Etappe 2 des Sachplans und Vertreter des Bundesamts für Landestopografie swisstopo berichteten über den Stand der Arbeiten zur Erweiterung des Felslabors Mont Terri. An der Sitzung im September stellte die EschT ihre Stellungnahme zur Etappe 2 des SGT und das BFE das Forschungsprogramm «Radioaktive Abfälle» vor. Die Nagra berichtete über den Status der laufenden Quartäruntersuchungen. An der November-Sitzung behandelten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer unter anderem das Entsorgungsprogramm 2016 und den Forschungsplan der Nagra für das Jahr 2016. Das ENSI und die KNS präsentierten ihre entsprechenden Stellungnahmen.

Öffentlichkeitsarbeit

Das ENSI beteiligte sich an verschiedenen Führungen im Felslabor Mont Terri und stand bei Bedarf den Regionalkonferenzen und den Fachgruppen «Sicherheit für Fachthemen» für Auskünfte zur Verfügung. Ausserdem informierte das ENSI die Fachgruppen Sicherheit der Regionalkonferenzen über seine Vorgaben für die Etappe 3.

9.3 Sondierbohrungen für die Etappe 3

Im ersten Quartal des Berichtsjahres schloss das ENSI seine fachliche Detailprüfung der sechs im August 2017 von der Nagra eingereichten Sondiergesuche für Tiefbohrungen im Standortgebiet Nördlich Lägern ab. Das ENSI stellte dem BFE die resultierenden Gutachten Ende März 2018 termingerecht zu. Auch die seit Dezember 2017 laufende Detailprüfung der Verlängerung der Langzeitbe-



Bei der Arbeit im
Felslabor Mont Terri.
Foto: Comet

obachtung der Sondierbohrung Benken schloss das ENSI Ende März 2018 mit Zusendung des Gutachtens an das BFE termingerecht ab. Neben der Bearbeitung von Sondiergesuchen für Tiefbohrungen beurteilte die Aufsichtsbehörde im Berichtsjahr auch Sondiergesuche für untiefe Quartärbohrungen. Das ENSI erstellte zwischen Januar und Juli 2018 insgesamt neun Gutachten zu den Quartärbohrungen.

Nachdem die Jahre 2016 und 2017 vor allem durch die Bearbeitung von Sondiergesuchen geprägt waren, begann das ENSI mit Vorliegen der ersten UVEK-Bewilligungen für die Quartärbohrungen im Dezember 2017 mit den Arbeiten für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen gemäss Artikel 35 des Kernenergiegesetzes: So beurteilte das ENSI beispielsweise acht Freigabeanträge für die Ausführung von Quartärbohrungen und gab die entsprechenden Arbeiten frei. Im Hinblick auf die im August 2018 vom UVEK erteilten ersten drei Bewilligungen für Tiefbohrungen (Marthalen, Trüllikon 1 und Bülach) hatte das ENSI bereits im Dezember 2017 mit intensiven Vorarbeiten zu den sogenannten Arbeitsprogrammen der Tiefbohrungen begonnen. Die Arbeitsprogramme beschreiben im Detail, wie eine Tiefbohrung durchgeführt werden soll und welche Tests im erstellten Bohrloch erfolgen sollen. Diese Arbeiten sind gemäss den UVEK-Verfügungen zu den Tiefbohrungen freigabepflichtig. Im Oktober des Berichtsjahres erteilte das ENSI die Freigabe für die Bauphase für

die Tiefbohrungen in Bülach und in Trüllikon 1. Das ENSI überprüfte die Stahlbetonarbeiten an den Bohrkellern vor Ort.

Die Aufsichtsbehörde führte mit der Nagra diverse Fachsitzungen betreffend Tiefbohrungen durch, vertiefte das gemeinsame Verständnis und klärte Detailfragen bezüglich der Anforderungen und des Ablaufs der Freigaben von Bau- und Betriebsphase. Auch mit dem verfahrensleitenden BFE führte das ENSI im Berichtsjahr zahlreiche Fachgespräche im Hinblick auf einen zweckmässigen Vollzug der beantragten Bewilligungen für erdwissenschaftliche Untersuchungen durch. Die Nagra stellte ihre Arbeiten bezüglich der erdwissenschaftlichen Untersuchungen an einer Sitzung des Fachgremiums «Erdwissenschaftliche Untersuchungen» vor und diskutierte diese mit den Bundes- und kantonalen Behörden sowie Vertretern deutscher Fachbehörden. Im Zentrum stand vor allem die Information bezüglich der geplanten Tiefbohrungen sowie der 3D-seismischen Untersuchungen in der Nordschweiz.

9.4 Entsorgungsprogramm

Die Kernenergieverordnung legt in Artikel 52 fest, dass die Entsorgungspflichtigen ein Entsorgungsprogramm vorlegen müssen, das alle fünf Jahre anzupassen ist. Zuständig für die Überwachung der Einhaltung des Programms sind das BFE und



das ENSI. Das BFE prüft den Finanzplan für die Entsorgungsarbeiten bis zur Ausserbetriebnahme der Kernanlagen sowie das Informationskonzept der Nagra. Gemäss bundesrätlicher Auflage 6.1 aus der Verfügung des Bundesrates zum Entsorgungsprogramm 2008 vom 22. August 2013 veröffentlichte die Nagra im Dezember 2016 mit dem Entsorgungsprogramm (NTB 16-01) auch einen Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplan (RD&D-Plan, NTB 16-02). Das ENSI prüfte, ob im Entsorgungsprogramm die in der Gesetzgebung aufgeführten Inhalte dargelegt und stufengerecht umgesetzt wurden. Einzelne Aspekte, die im Entsorgungsprogramm behandelt werden, beurteilte das ENSI bereits im Rahmen seines Gutachtens zur Etappe 2 des SGT. Die Aufsichtsbehörde berücksichtigte zu einzelnen Teilaspekten, insbesondere bei der Überprüfung des RD&D-Plans der Nagra, die Einschätzungen der Experten der EGT. Das ENSI stellte schliesslich elf Auflagenanträge zuhanden des Bundesrates für zukünftige Entsorgungsprogramme. Mit der Verfügung vom 21. November 2018 hiess der Bundesrat das Entsorgungsprogramm gut.

9.5 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 der geologischen Tiefenlager, nimmt Stellung zu Gesuchen für erdwissenschaftliche Untersuchungen und arbeitet im TFS und im Fachgremium «Erdwissenschaftliche Untersuchungen» 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, die verschiedene in der geologischen Tiefenlagerung relevante Fachbereiche abdecken. Die Aktivitäten der EGT werden laufend auf ihrer Website www.egt-schweiz.ch präsentiert. Im Berichtsjahr etablierten die EGT und das ENSI eine neue Plattform für den internen Dokumentenaustausch. Zudem fanden im Berichtsjahr fünf ganztägige reguläre Plenarsitzungen statt. Vertreten war die EGT ausserdem an einer Plenarsitzung und zwei Fachsitzungen des Fachgremiums «Erdwissenschaftliche Untersuchungen», in denen im Berichtsjahr vor allem die Verarbeitung und Interpretation der 3D-Seismik-Daten in den möglichen Standortgebieten im Vordergrund standen. Vertreter der EGT nahmen an den drei Sitzungen des TFS teil. Unter anderem war die Erosion in den im

Sachplanverfahren verbleibenden Standortgebieten Thema. Im Berichtsjahr setzte sich die EGT intensiv mit den sicherheitstechnischen Vorgaben des ENSI für die Etappe 3 des SGT auseinander: Die EGT diskutierte Entwürfe für die Vorgaben und verfasste Stellungnahmen zuhanden des ENSI. In die Diskussion floss auch ein Positionspapier der EGT über die Methodik der Standortwahl ein, das im November des Berichtsjahres veröffentlicht wurde. Zuhanden des ENSI verfasste die EGT ferner ein Positionspapier zum Revisionsbedarf der Richtlinie ENSI-G03 über die Auslegung von geologischen Tiefenlagern. Diskutiert wurden ausserdem Möglichkeiten und Grenzen der Methodik für komplexe Beurteilungen, die bei geologischen Tiefenlagern anzuwenden sind. Die EGT evaluierte darüber hinaus die Konzepte für die Standortuntersuchungen und die Arbeitsprogramme für die anstehenden Tiefbohrungen der Nagra.

9.6 Felslaboratorien

Unter der Leitung der swisstopo einerseits und der Nagra andererseits werden in der Schweiz die Felslaboratorien Mont Terri und Grimsel betrieben, in denen unter internationaler Beteiligung umfangreiche Forschungsprojekte zur geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle durchgeführt werden. Ziel der Forschung ist die Charakterisierung und Erfassung der geotechnischen, geochemischen und hydraulischen Eigenschaften der dortigen Gesteinsformationen und die Entwicklung und Überprüfung von Lagerkonzepten für den sicheren Einschluss radioaktiver Abfälle sowie von Techniken zur Erfassung der relevanten Daten. Anhand von Demonstrationsversuchen werden ferner die Eigenschaften und das Verhalten technischer Barrieren (Bentonit, Zement, Stahlbehälter) in Wechselwirkung untereinander und zur geologischen Barriere untersucht, um die für die Sicherheitsbeurteilung erforderlichen Datensätze zum Gesamtverhalten des Barrierensystems zu erhalten.

Das ENSI ist seit 2003 mit eigenen Experimenten an der Erforschung des Opalinustons und tiefenlagerrelevanter Prozesse im Felslabor Mont Terri beteiligt, um die behördeninterne Fachkompetenz aufzubauen und zu erhalten sowie eigene Datensätze und Modelle zu entwickeln. Das ENSI wird dabei wesentlich durch die Ingenieurgeologie der ETH Zürich und die Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen unterstützt und arbeitet

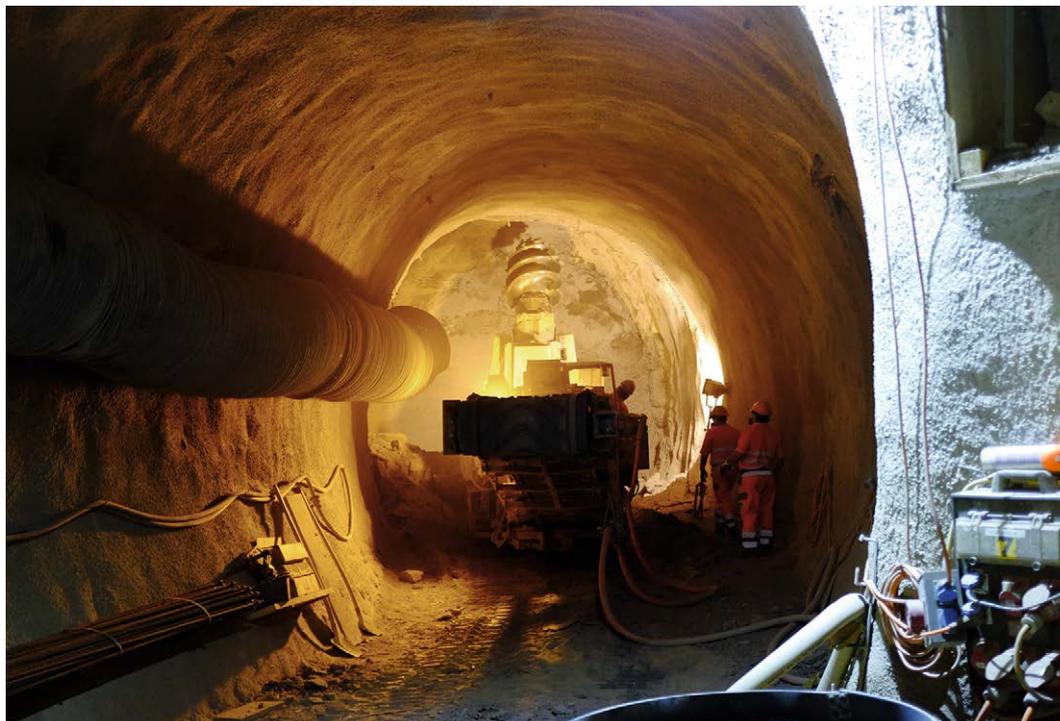
mit zahlreichen Institutionen aus dem In- und Ausland zusammen: Universität Neuenburg, swisstopo, British Geological Survey, Lawrence Berkeley National Laboratory. Die Arbeitsprogramme für das Felslabor Mont Terri werden jährlich von einem Steuerungsausschuss demokratisch festgelegt, in dem das ENSI als Projektpartner Einsitz hat. Details zu den Experimenten unter Beteiligung oder Leitung des ENSI sind im Erfahrungs- und Forschungsbericht 2018 des ENSI beschrieben. Im von der Nagra betriebenen Felslabor Grimsel hat das ENSI Beobachterstatus und beteiligt sich nicht aktiv an Experimenten. Von Interesse sind hier vor allem diejenigen Experimente, die Prozesse im Nahfeld unabhängig vom Wirtgestein untersuchen.

9.7 Internationaler Wissenstransfer

Basis der fachlichen Beurteilungsarbeit des ENSI ist die Mitwirkung bei der Festlegung des Standes von Wissenschaft und Technik. Das ENSI legt daher Wert auf seine Mitarbeit in diversen nationalen und internationalen Arbeitsgruppen, um Fragestellungen im Bereich der Entsorgung in geologischen Tiefenlagern vor allem im europäischen Rahmen zu verfolgen und sich bezüglich des Standes von Wissenschaft und Technik über die aktuellen Entwicklungen zu informieren. Neben der Beteiligung an der internationalen Forschung im Felslabor Mont Terri (siehe Unterkapitel 9.6) engagiert sich das ENSI in internationalen Forschungsprojekten zur Entsorgung und arbeitet in verschiedenen internationalen Gremien:

Das Projekt DECOVALEX-2019 begann im Jahr 2016. Es befasst sich mit der Simulation gekoppelter thermisch-hydraulisch-mechanischer Prozesse, wie sie in der unmittelbaren Umgebung eines geologischen Tiefenlagers auftreten können. An diesem Projekt nehmen Partner von zwölf Organisationen verschiedener Länder teil. Das ENSI hat gemeinsam mit dem «Lawrence Berkeley National Laboratory» die Leitung eines der insgesamt sieben Arbeitspakete bezüglich der Aktivierung von Störungszonen übernommen. Das Projekt zielt auf eine Verbesserung des Prozessverständnisses sowie auf die Überprüfung und Erweiterung der Fähigkeit zur Simulation solcher Prozesse.

BIOPROTA ist ein internationales Forum, das sich mit Prozessen zur Freisetzung von Radionukliden aus einem Lager für radioaktive Abfälle in die Biosphäre befasst. 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 der aktuellen Forschungsarbeiten zu diskutieren und zukünftige Forschungsschwerpunkte festzulegen. Ausserdem finden jeweils Workshops zu spezifischen Themenschwerpunkten statt. Schwerpunkt im Berichtsjahr war wiederum die Referenzbiosphären-Methodik.

Das ENSI unterzeichnete 2013 eine Kooperationsvereinbarung mit Professor Karl-Heinz Lux und seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern am Lehrstuhl für Deponietechnik und Geomechanik der Technischen Universität Clausthal. Im Rahmen dieser Kooperationsvereinbarung nimmt das ENSI neben der Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit in Braunschweig und Köln, dem «Lawrence Berkeley National Laboratory» und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover an dem von der Technischen Universität Clausthal lancierten Projekt BenVaSim (Internationales Benchmarking zur Verifizierung und Validierung von TH2M-Simulatoren) teil. Im Erfahrungs- und Forschungsbericht 2018 des ENSI wird über das Projekt berichtet, das im Mai 2017 startete.

Das ENSI beteiligte sich ferner an den Aktivitäten der Arbeitsgruppe IGSC (Integration Group for the Safety Case) der Nuclear Energy Agency (NEA) der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit

und Entwicklung (OECD), der Untergruppe «Working Group on Measurements and Physical Understanding of Groundwater Flow through Argillaceous Media» (Clay Club) und der EGOS (Expert Group on Operational Safety).

Im Berichtsjahr fand in Paris das 20. Treffen der Arbeitsgruppe IGSC statt. Es diente dem Austausch über die landesspezifischen und internationalen Aktivitäten und Projekte in Bezug auf die Tiefenlagerung. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer diskutierten über die Aktivitäten des übergeordneten «Radioactive Waste Management Committee», über den Stand der NEA-Projekte auf dem Gebiet der Entsorgung, über die Aktivitäten der internationalen Organisationen und der spezifischen IGSC-Untergruppen und deren Projekte (Clay-Club, Salt-Club, EGOS, FEP-Database, Crystalline-Club und RepMet-Projekt).

Zum Thema «Sicherheitsnachweis für geologische Tiefenlager» fand im Rahmen des 20. Treffens ein zweitägiges Symposium statt, an dem sich die Teilnehmerinnen und Teilnehmer zudem über den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik und über die zukünftigen Entwicklungen für geologische Tiefenlager ausgetauschten. Derartige Symposien werden von der IGSC etwa alle fünf Jahre durchgeführt. Die Mitarbeit des ENSI in den Gremien der OECD-NEA ermöglicht den Zugang zu wichtigen internationalen Informationsplattformen. Im Zentrum steht dabei der Wissenstransfer bezüglich des Sicherheitsnachweises für ein geo-

logisches Tiefenlager, bezüglich der Tongesteinsforschung und der Betriebserfahrung.

Der Clay-Club befasste sich im Berichtsjahr mit den abschliessenden Arbeiten zur Veröffentlichung des Berichts «Argillaceous Media Database Compilation». Das Projekt wird von der «Nuclear Waste Management Organisation», Kanada, koordiniert. An der Universität Bern wird das Projekt «CLAY-WAT – 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 Schiefertönen, die Interpretation der Porenwasserzusammensetzung aus Extraktionsexperimenten, die advective Mobilität des Porenwassers und die Evaluation geeigneter Methoden zur Charakterisierung des Bindungszustands von Porenwasser. Das Projekt setzt sich aus folgenden Phasen zusammen: Literaturreview zu möglichen experimentellen Methoden, Untersuchung der bereitgestellten Proben und Analyse der experimentellen Daten. Im Berichtsjahr schloss die Universität Bern nach der Phase 1, dem Literaturreview, auch die Phase 2 ab, in welcher Laboranalysen von Proben aus den Mitgliedsländern erfolgten. Neben der Vorstellung des Arbeitsstands zu den Projekten wurden zwei Fachsitzungen zu den Themen «Druckanomalien in Tongesteinen» und «Entwicklung und Bedeutung der durch den Tunnelvortrieb geschädigten Gebirgszonen in Tongesteinen» abgehalten.

Die EGOS dient dem Austausch von technischen und regulatorisch-gesetzgeberischen Erfahrungen in Bezug auf die nukleare und radiologische Betriebssicherheit eines geologischen Tiefenlagers. Im Berichtsjahr erstellte die EGOS Berichtsentwürfe zu den Themen «Fire Risk Management» und «Development of Waste Acceptance Criteria» und schickte sie an die beteiligten Organisationen. Zudem befasste sich die EGOS mit dem Thema «Transport und Einlagerung in geologischen Tiefenlagern» und mit der Identifizierung von Gefährdungsbildern, die für den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers ausschlaggebend sind. Diese Gefährdungsbilder werden in einer Datenbank erfasst.

Im Rahmen eines einjährigen bilateralen Arbeitsaustausches zwischen der kanadischen Aufsichtsbehörde CNSC und dem ENSI arbeitete ein ENSI-Mitarbeiter von August 2017 bis Juni 2018 bei der CNSC. Ziel dieser internationalen Kooperation war es, die regulatorische Zusammenarbeit auf fachlicher Ebene zu verstärken. Der gegenseitige Austausch erfolgte im Berichtsjahr im Rahmen

von direkten Beiträgen vor Ort zu den verschiedenen kanadischen Entsorgungsprojekten, namentlich zum geologischen Tiefenlagerprogramm, zur oberflächennahen Langzeitlagerung radioaktiver Abfälle, zum Projektmanagement, zur Planung der entsprechenden Projekte, zur Öffentlichkeitsarbeit und Forschungsplanung. Der ENSI-Mitarbeiter erstellte einen Überblick über die Entsorgungsprogramme in Kanada und in der Schweiz. Das aufgebaute Netzwerk soll in Zukunft dazu genutzt werden, die fachliche Zusammenarbeit zwischen der CNSC und dem ENSI zu intensivieren.

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 Artikel 41 der Kernenergieverordnung verlangt das ENSI für alle schweizerischen KKW PSA-Studien der Stufen 1 und 2. Die Anforderungen an die Erstellung und Anwendung einer PSA sind in den Richtlinien ENSI-A05 (PSA: Qualität und Umfang) und ENSI-A06 (PSA: Anwendungen) festgehalten. Jeder Betreiber hat eine anlagenspezifische PSA entwickelt und aktualisiert diese regelmässig.

Im Berichtsjahr wurden im Wesentlichen folgende Arbeiten durchgeführt:

- Das Kernkraftwerk Beznau (KKB) reichte eine überarbeitete PSA im Zusammenhang mit der Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) und dem Langzeitbetriebsnachweis ein. Hierfür wurde die seit der letzten PSÜ neu vorliegende Betriebserfahrung ausgewertet, um die Komponentenzuverlässigkeitsdaten zu aktualisieren. Ferner wurde unter anderem die PSA zur

Bewertung von internen Überschwemmungen überarbeitet.

- Anlässlich der PSÜ reichte das Kernkraftwerk Gösgen eine überarbeitete PSA ein. Neben den Arbeiten zu einigen Forderungen, die sich aus der Überprüfung der bisherigen PSA ergaben, wurden insbesondere die Brand-PSA überarbeitet und die Komponentenzuverlässigkeitsdaten aufgrund der Betriebserfahrung aktualisiert.
- Die Überprüfung der PSA des Kernkraftwerks Leibstadt (KKL), die dem ENSI im Rahmen der PSÜ 2016 eingereicht wurde, konnte weitgehend abgeschlossen werden. Die Ergebnisse dieser Überprüfung werden Bestandteil der ENSI-Stellungnahme zur PSÜ des KKL sein.
- Wie vom ENSI mit der Stellungnahme zur PSÜ 2010 gefordert, überarbeitete das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) die Stufe-2-PSA für den Nichtleistungsbetrieb. Darüber hinaus wurde die Stufe-1-PSA für den Leistungsbetrieb aufdatiert, wie vom ENSI gefordert. Hierbei hat das KKM zusätzlich die neuen Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 übernommen. Diese Erdbebengefährdungsannahmen sind auch den aktualisierten PSA-Modellen zugrunde gelegt, die das KKM für die Etablierung des technischen Nachbetriebs und für die erste Stilllegungsphase einreichte.

Gemäss den per Ende 2018 vorliegenden Analysen der Schweizer KKW wird das von der International Atomic Energy Agency (IAEA) für bestehende Anlagen empfohlene probabilistische Sicherheitsziel einer Kernschadenshäufigkeit von weniger als 10^{-4} pro Jahr von allen Anlagen eingehalten.

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 (2017) 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 2017 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. Das KKM und das KKB (Block 2) identifizierten im Jahr 2017 latente Unverfügbarkeiten und berücksichtigen diese in der probabilistischen Bewertung der Betriebserfahrung. Deren Risikobeiträge waren jedoch unbedeutend.

- 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 wurde aufgrund der Risikobewertung ein Vorkommnis im KKL (eingeschränkte Funktionstüchtigkeit der SEHR-Hauptpumpe A) auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 1 zugeordnet ($ICCDP_{Vorkommnis}$ zwischen 10^{-6} und 10^{-4}). Dabei ergaben sich latente Fehler, die sich teilweise mit zwei weiteren meldepflichtigen Vorkommnissen überlagerten. Das ENSI leitete aus den Vorkommnissen Forderungen ab, deren Umsetzung latenter Fehlerzeiten entgegenwirken soll.

Die weiteren von den Kernkraftwerksbetreiberinnen mit der PSA bewerteten Vorkommnisse waren risikotechnisch unbedeutend, das heisst sie wurden auf der internationalen Ereignisskala INES aufgrund der Risikobewertung der Stufe 0 zugeordnet ($ICCDP_{Vorkommnis}$ mindestens 10^{-8} ,

jedoch kleiner als 10^{-6}) oder nicht eingestuft ($ICCDP_{Vorkommnis}$ kleiner als 10^{-8}).

10.3 ADAM-System

Dem ENSI werden auf einem separaten Übermittlungsnetz im Zweiminutentakt von jedem Schweizer KKW bis zu 27 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 Pikettingenieur (PI) des ENSI im Einsatzfall. Es bereitet die ANPA-Werte grafisch so auf, dass sich der PI bei einem Störfall rasch über dessen Ablauf und Ausmass ins Bild setzen kann.
- Das Diagnosemodul interpretiert die ANPA-Werte und liefert Hinweise zu möglichen Ursachen eines Störfalles und zum Zustand wichtiger Anlagenteile.
- Mit dem Simulationsmodul kann eine Vielzahl von Unfallabläufen simuliert und untersucht werden. Mit diesem Modul kann auch der Eintrittszeitpunkt bestimmter kritischer Ereignisse (wie Kernschaden, Versagen des Reaktordruckbehälters und gefilterte Druckentlastung) abgeschätzt werden. Das Modul wurde leicht angepasst, um einige Aspekte bei Kühlmittelverluststörfällen besser abbilden zu können.
- Das STEP-Modul (Source Term 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.

Anhang

Erläuterungen zur Sicherheitsbewertung		101
Abbildung 1	ENSI-Sicherheitsbewertungsskala	102
Abbildung 2	Definition der ENSI-Kategorien G, N, V und A	104
Tabelle 1	Hauptdaten der schweizerischen Kernkraftwerke 2018	105
Tabelle 2	Betriebsdaten der schweizerischen Kernkraftwerke 2018	105
Tabelle 3	Bestand an zulassungspflichtigem Personal und Gesamtbelegschaft in den Kernkraftwerken Ende 2018	105
Tabelle 4	Meldepflichtige Vorkommnisse im Bereich der nuklearen Sicherheit 2018	106
Tabelle 5	Kollektivdosen in den schweizerischen KKW im Berichtsjahr	107
Tabelle 6	Radioaktive Abfälle in den Kernkraftwerken und bei der Bundessammelstelle am PSI per 31.12.2018	107
Tabelle 7	Radioaktive Abfälle in den Anlagen der Zwiilag per 31.12.2018	107
Figur 1	Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung 2009–2018	108
Figur 2	Vorkommnisse 2009–2018	110
Figur 3	Ungeplante Reaktorschnellabschaltungen (Scrams) 2009–2018	111
Figur 4	Brennstabschäden (Anzahl Stäbe) 2009–2018	112
Figur 5a	Funktionsschema eines Kernkraftwerks mit Druckwasserreaktor	114
Figur 5b	Funktionsschema eines Kernkraftwerks mit Siedewasserreaktor	114

Erläuterungen zur Sicherheitsbewertung

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

Das ENSI hat die Ergebnisse von Inspektionen, Zulassungsprüfungen, Vorkommnisanalysen und die Sicherheitsindikatoren nach dem beschriebenen System bewertet.

Für die Kernkraftwerke hat es die Bewertungen zu einem umfassenden Gesamtbild zusammengefügt. Das ENSI betrachtet die Transporte von und zu den Kernkraftwerken bei der systematischen Sicherheitsbewertung separat.

Zentrale Ergebnisse der systematischen Sicherheitsbewertung der Kernkraftwerke sind jeweils am Schluss der Kapitel 1 bis 4 unter dem Punkt «Sicherheitsbewertung» dargestellt.

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

7	Schwerwiegender Unfall Kriterien gemäss INES-Manual
6	Ernsthafter Unfall Kriterien gemäss INES-Manual
5	Unfall mit Gefährdung der Umgebung Kriterien gemäss INES-Manual
4	Unfall ohne signifikante Gefährdung der Umgebung radioaktive Abgaben an die Umwelt: >JAL <u>und</u> Dosis der off-site meist exponierten Person >1 mSv
3	Ernsthafter Zwischenfall radioaktive Abgaben an die Umwelt >JAL <u>und</u> Dosis der off-site meist exponierten Person >0,1 mSv und <1 mSv
2	Zwischenfall radioaktive Abgaben an die Umwelt <JAL und >0,1 mSv Dosis der off-site meist exponierten Person <u>oder</u> >JAL und Dosis der off-site meist exponierten Person <0,1 mSv
1	Anomalie radioaktive Abgaben an die Umwelt >KAL und <JAL <u>und</u> Dosis der meist exponierten Person <0,1 mSv
0	Kriterien gemäss INES-Manual

4	Unfall ohne signifikante Gefährdung der Umgebung Kriterien gemäss INES-Manual
3	Ernsthafter Zwischenfall Kriterien gemäss INES-Manual
2	Zwischenfall Kriterien gemäss INES-Manual
1	Anomalie Kriterien gemäss INES-Manual
0	Kriterien gemäss INES-Manual

5	Unfall mit Gefährdung der Umgebung Kriterien gemäss INES-Manual
4	Unfall ohne signifikante Gefährdung der Umgebung Kriterien gemäss INES-Manual
Schäden an der Anlage	
3	Ernsthafter Zwischenfall Kriterien gemäss INES-Manual
2	Zwischenfall Kriterien gemäss INES-Manual
1	Anomalie Kriterien gemäss INES-Manual
0	Kriterien gemäss INES-Manual

**Vorkommnisklassierungen:
 Radioaktive Abgaben
 an die Umwelt**

Teilskala 1

**Vorkommnisklassierungen:
 Strahlenexposition
 des Personals**

Teilskala 2

**Vorkommnisklassierungen:
 Gestaffelte Sicherheitsvorsorge**

Teilskala 3

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 $ICCDP_{Vork.} < 1E-6$

Vorkommnisklassierungen:
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	A Abweichung
	V	V Verbesserungsbedarf
	N	N Normalität
	G	G Gute Praxis
INES	ENSI	Zellen-Bewertungen in Sicherheitsbewertungsmatrix

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

Kategorien	Kriterien
≥1	nach INES-Kriterien
A Abweichung	<ul style="list-style-type: none"> • als Vorkommnis meldepflichtiger Sachverhalt innerhalb der bewilligten Betriebsbedingungen • Abweichung von einem Gesetz, einer Verordnung oder einer behördlichen Richtlinie, welche gesetzliche Anforderungen präzisiert, falls die Abweichung eine Auswirkung auf die nukleare Sicherheit hat • Abweichung von gesetzlichen Vorschriften bezüglich Arbeitssicherheit, wenn diese eine Bedeutung für die nukleare Sicherheit haben
V Verbesserungsbedarf	<ul style="list-style-type: none"> • Schwachstelle • Abweichung von nicht freigabepflichtigen Vorgaben
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

	KKB 1	KKB 2	KKM	KKG	KKL
Thermische Leistung [MW]	1130	1130	1097	3002	3600
Elektrische Bruttoleistung [MW]	380	380	390	1060	1275
Elektrische Nettoleistung [MW]	365	365	373	1010	1220
Reaktortyp	Druckwasser	Druckwasser	Siedewasser	Druckwasser	Siedewasser
Reaktorlieferant	Westinghouse	Westinghouse	GE	KWU	GE
Turbinenlieferant	BBC	BBC	BBC	KWU	BBC
Generatordaten [MVA]	2-228	2-228	2-214	1250	1360
Kühlung	Flusswasser	Flusswasser	Flusswasser	Kühlturm	Kühlturm
Kommerzielle Inbetriebnahme	1969	1972	1972	1979	1984

Tabelle 1:
Hauptdaten
der schweizerischen
Kernkraftwerke 2018

	KKB 1	KKB 2	KKM	KKG	KKL
Thermisch erzeugte Energie [GWh]	7710	9494	8775	24 715	23 927
Abgegebene elektrische Nettoenergie [GWh]	2481	3057	2954	8172	7799
Abgegebene thermische Energie [GWh]	85,0	70,4	1,4	220	-
Zeitverfügbarkeit ¹ [%]	78,7	96,4	92,8	94,1	87,4
Nichtverfügbarkeit durch Jahresrevision [%]	0	3,6	6,9	6,2	13,0
Arbeitsausnutzung ² [%]	77,7	95,7	89,7	93,5	73,5
Anzahl ungeplanter Schnellabschaltungen (Scrams)	0	0	1	0	0
Unvorhergesehenes Abfahren der Anlage	0	0	0	0	0
Störungsbedingte Leistungsreduktionen ³ (> 10% P _N)	1	0	1	0	2

Tabelle 2:
Betriebsdaten der
schweizerischen
Kernkraftwerke 2018

¹ Zeitverfügbarkeit (in %): Zeit, in der das Werk in Betrieb bzw. 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
Reaktoroperateur	41 (37)	19 (23)	33 (34)	24 (27)
Schichtchef	25 (28)	16 (10)	17 (16)	16 (18)
Pikettingenieur	17 (15)	8 (10)	13 (13)	14 (13)
Strahlenschutzsachverständiger	8 (6)	5 (6)	4 (4)	6 (7)
Strahlenschutzfachkraft	10 (7)	13 (12)	7 (6)	9 (8)
Strahlenschutztechniker	6 (6)	8 (8)	5 (5)	6 (7)
Gesamtbelegschaft (Personen)	449 (441)	312 (331)	548 (554)	509 (520)

Tabelle 3:
Bestand an zulassungs-
pflichtigem Personal
und Gesamtbelegschaft
in den Kernkraft-
werken Ende 2018
(in Klammern
Werte von 2017)

Tabelle 4:
Meldepflichtige
Vorkommnisse im
Bereich der nuklearen
Sicherheit 2018

Datum	KKW	Vorkommnis	Einstufung INES
30.1.2018	KKL	Leistungsreduktion nach Ausfall einer 400-V-Schiene	0
1.2.2018	KKL	Leistungsreduktion nach Ausfall einer 400-V-Schiene	0
7.3.2018	KKM	Reaktorschnellabschaltung infolge erhöhter Frischdampfaktivität	0
13.3.2018	KKB1	Gebrochene Befestigung einer Rohrleitung	0
23.3.2018	KKG	Zu hohe Aktivität eines freigestellten Versandstücks	0
18.4.2018	KKG	Nicht betriebsbereite Messstelle der Fortluftüberwachung im Kamin	0
26.4.2018	KKL	Spannungsunterbruch in SEHR-Messwertaufbereitung	0
4.5.2018	KKL	Eingeschränkte Verfügbarkeit einer SEHR-Hauptpumpe	1
28.5.2018	KKG	Wellenbruch in einem Abgaskompressor	0
29.5.2018	KKL	Nicht spezifikationskonforme Abfallgebinde	0
18.6.2018	KKL	Ausfall eines Kanals der Druckmessung im Drywell	0
23.6.2018	KKG	Fehlerhafter Einfall eines Steuerstabs	0
1.7.2018	KKB2	Ausfall einer Messstelle der Luftüberwachung im Containment	0
11.7.2018	KKG	Anforderung eines Notstromdiesels durch Fehlhandlung bei einer Reaktorschutzprüfung	0
13.7.2018	KKG	Riss in einer Messleitung	0
19.7.2018	KKM	Leckage im Bereich einer Schweißnaht an einer Entlüftungsleitung	0
26.7.2018	KKL	Erhöhte Temperatur im Dampftunnel	0
19.8.2018	KKB1	Leistungsreduktion nach fehlerhaftem Einfallsignal eines Steuerstabs	0
2.9.2018	KKG	Ausfall einer Messstelle der Fortluftüberwachung im Kamin	0
12.9.2018	KKM	Fehlerhaftes Fahren eines Steuerstabs	0
20.9.2018	KKL	Anstieg der Dosisleistung bei Lagerung des Wasserabscheiders	1
25.9.2018	KKG	Leckage an einer Umwälzpumpe eines Dieselmotors	0
1.10.2018	KKL	Startversagen einer SEHR-Grundwasserpumpe bei Test	0
9.10.2018	KKL	Riss in einer Schweißnaht vor einem Entleerungsventil	0
17.10.2018	KKG	Spannungsunterbruch an einer Notstandsschiene	0
24.10.2018	KKG	Fehler im Sicherheitsnachweis für Brennelemente	0
5.11.2018	KKG	Softwarefehler in der Wasserreinigung der zweiten Wasserfassung	0
13.11.2018	KKG	Defektes Getriebe einer Absperrklappe	0
28.11.2018	KKB1	Störung in der 120-V-Gleichstromversorgung einer Batterie	0
3.12.2018	KKL	Nicht spezifikationskonformes Füllmaterial in einer 24-V-Batterie	0
4.12.2018	KKL	Störungsbedingte Abschaltung eines Notabluftventilators bei Test	0
6.12.2018	KKG	Unzulässige Spannungsspitzen in Steuerkreisen infolge fehlender Dioden	0
24.12.2018	KKM	Ausfall des Prozessvisualisierungssystems	0

	KKB 1		KKB 2		KKG		KKL		KKM	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Aktionen										
BE-Wechsel				34						
Revisionsstillstand	79	66	247		206	250	1871	1014	196	389
Zwischenabstellung										
Leistungsbetrieb	0	24	56	26	79	50	257	358	465	211
Total	79	90	304	60	285	300	2128	1372	661	600

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

	unkonditioniert			konditioniert		
	Anfall	Auslagerung ¹	Bestand	Produktion	Auslagerung ²	Bestand
PSI	50	-	625	31 ³	-	1594
KKB	16	22	28	2	-	1193
KKM	18	11	60	19	135	824
KKG	22	19	19	2	-	102
KKL	48	53	5	34	10	1413
Total	154	105	737	88	145	5126
Anzahl Behälter mit Brennelementen im KKB				-	-	11

Tabelle 6:
Radioaktive Abfälle in den Kernkraftwerken und bei der Bundessammelstelle am PSI per 31.12.2018 (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
³ Rein rechnerischer Volumenzuwachs, entstanden durch geänderte Volumenberechnungen mit Abschirmbehältern

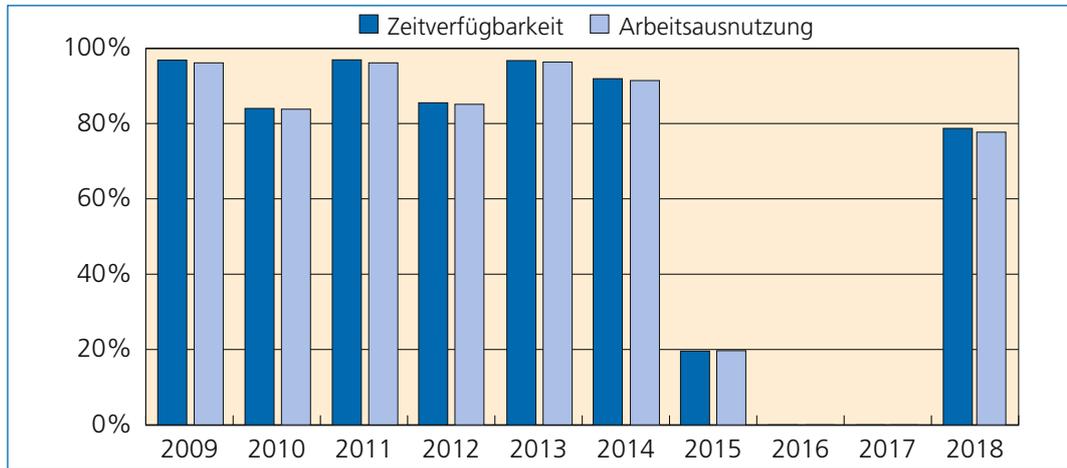
	unkonditioniert			konditioniert
	Anfall	Annahme zur Konditionierung bzw. Triage ²	Bestand	Produktion
Verarbeitung [m ³]	39 ¹	105	229 ³	38
Bestand (konditionierte Abfälle)		Einlagerung	Auslagerung	Bestand
Bruttovolumen konditionierter Abfälle ⁴ [m ³]		183	-	2251
Anzahl Behälter mit Brennelementen		4	-	42
Anzahl Behälter mit Glaskokillen		-	-	23
Anzahl Behälter mit Lucens-Abfällen		-	-	6

Tabelle 7:
Radioaktive Abfälle in den Anlagen der Zwiilag per 31.12.2018

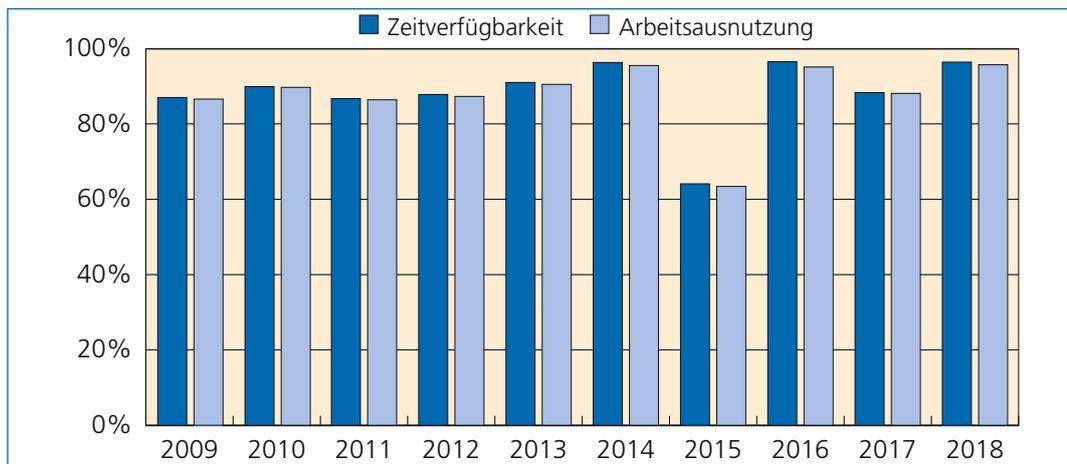
- ¹ Hierin enthalten sind:
- Sekundärabfälle aus allen Betriebsbereichen der Zwiilag
- Im Werksauftrag entstandene, zu verarbeitende Abfälle
² Nur teilweise radioaktiver Abfall
³ Hierin enthalten sind 38 Gebinde (8 m³) mit leicht angereichertem uranhaltigem Material aus dem Versuchsatomkraftwerk Lucens.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

Figur 1:
Zeitverfügbarkeit
und Arbeitsausnutzung
2009–2018

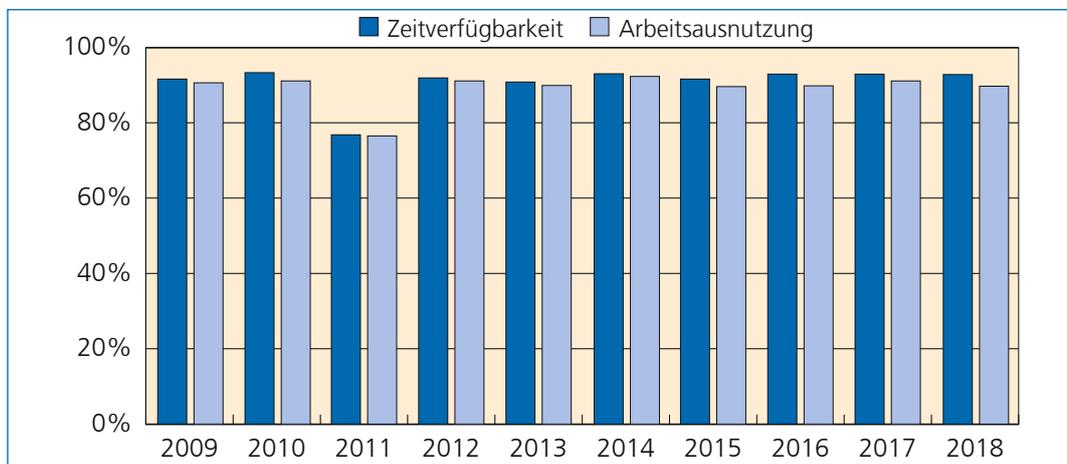
KKB 1

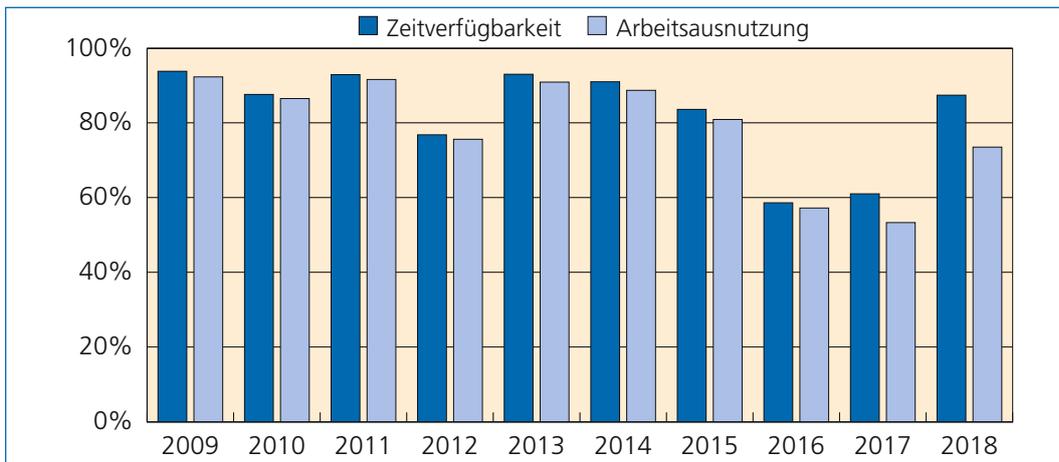
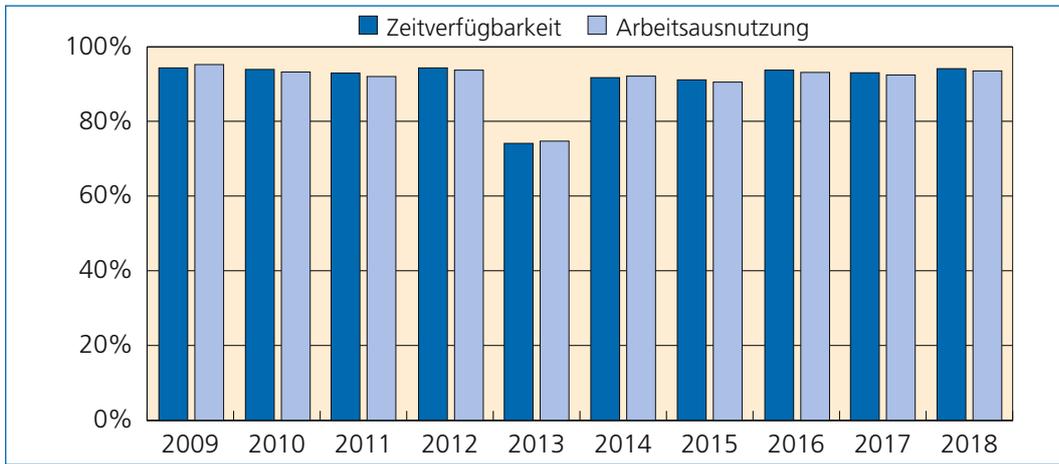


KKB 2



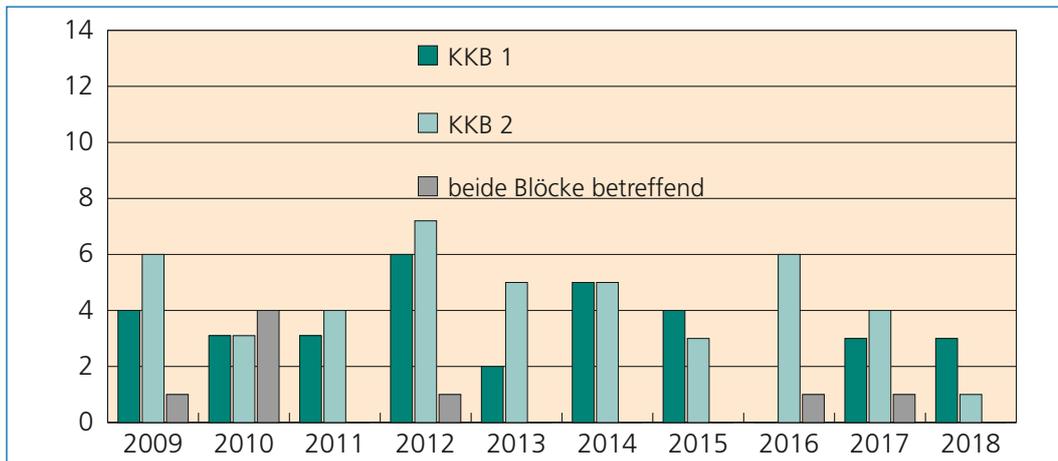
KKM



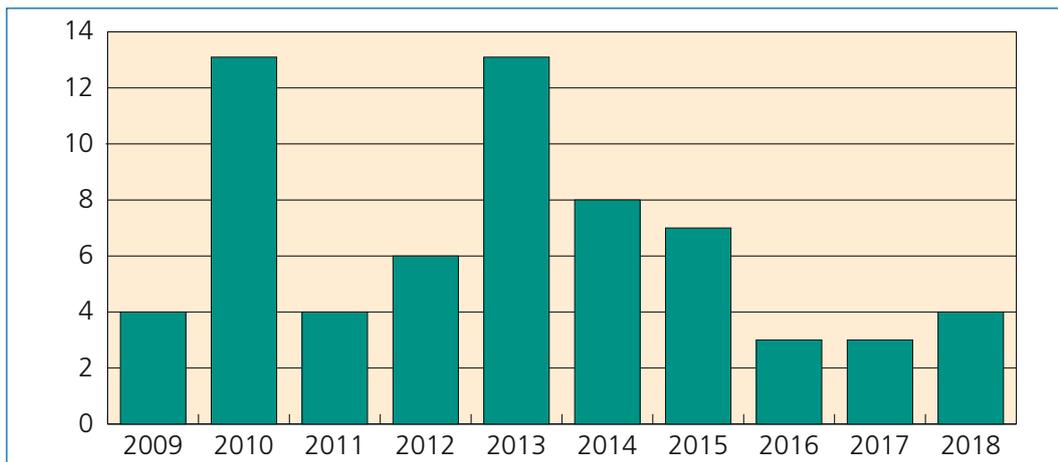


Figur 2:
Meldepflichtige
Vorkommnisse im
Bereich der nuklearen
Sicherheit 2009–2018

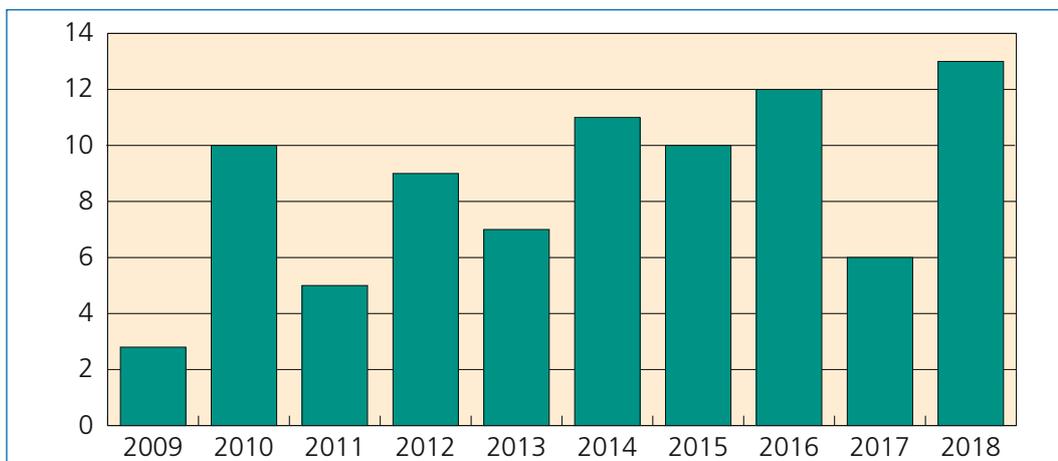
KKB 1 + 2



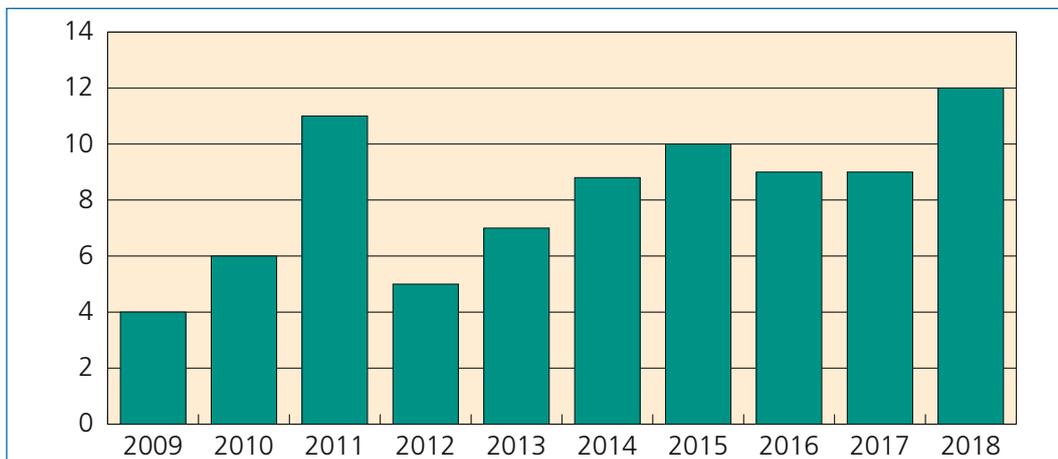
KKM

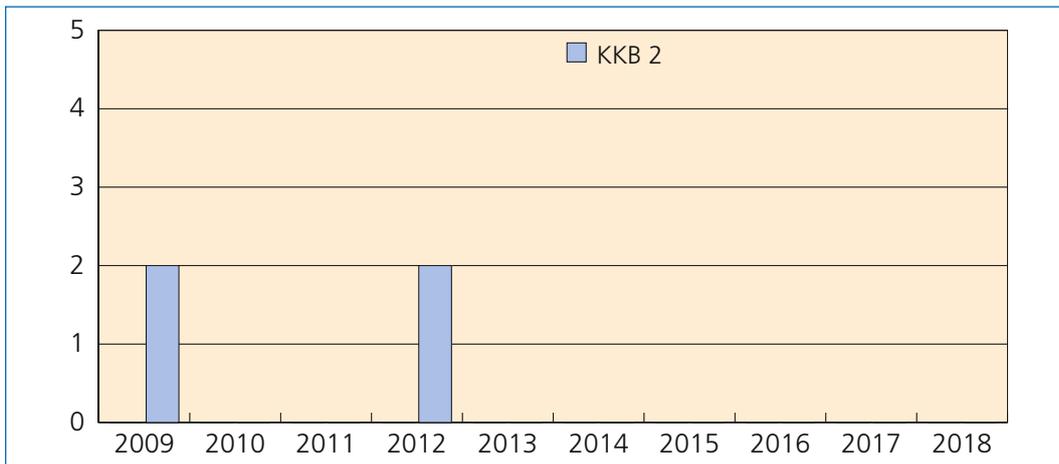


KKG



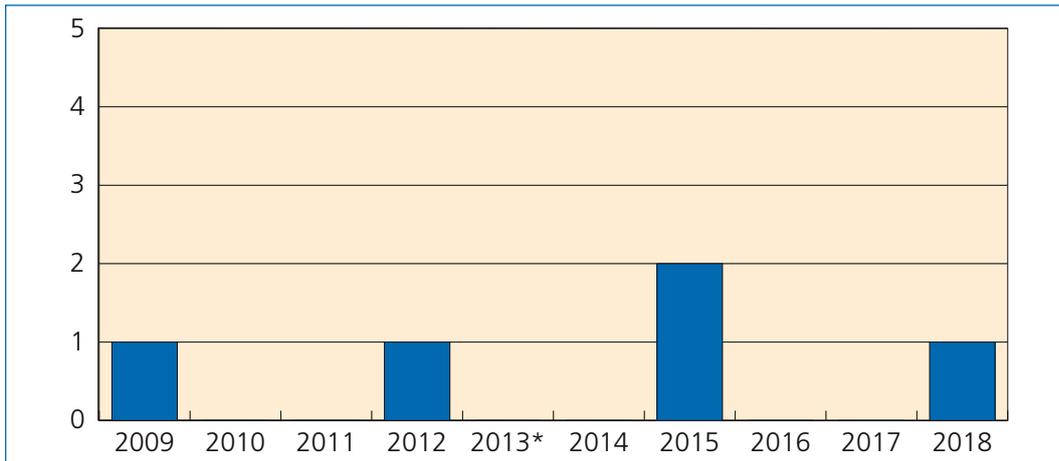
KKL





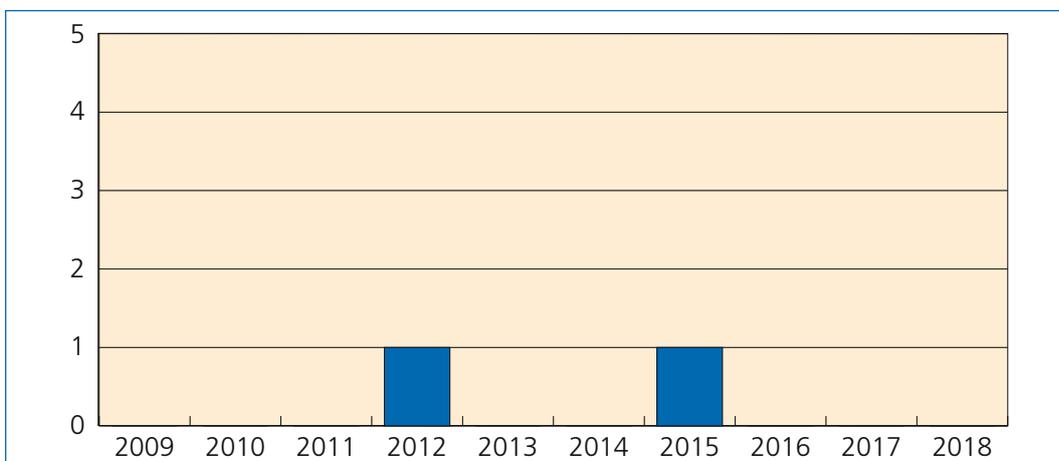
Figur 3:
Ungeplante Reaktor-
schnellabschaltungen
(Scrams) 2009–2018

KKB 1 + 2

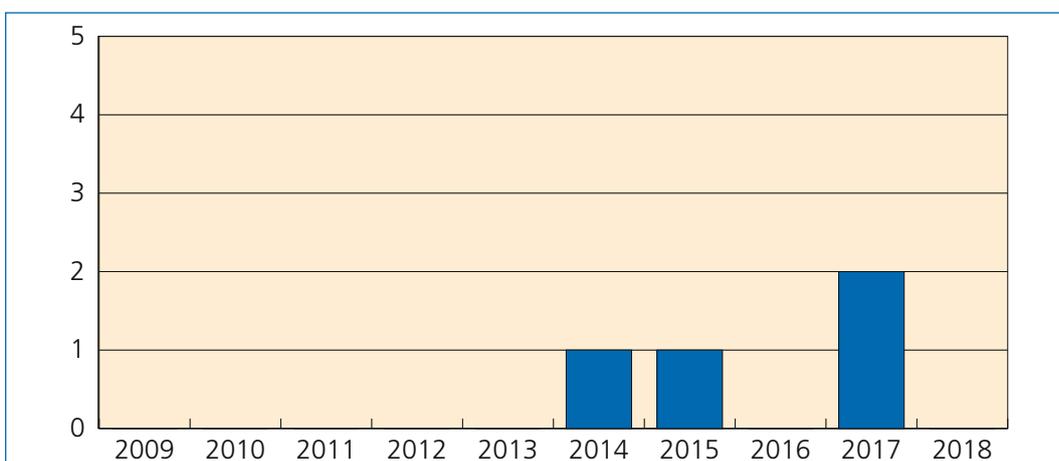


KKM

* Scram bei
Kritikalitätstest
vor BE-Wechsel
bei Nullleistung



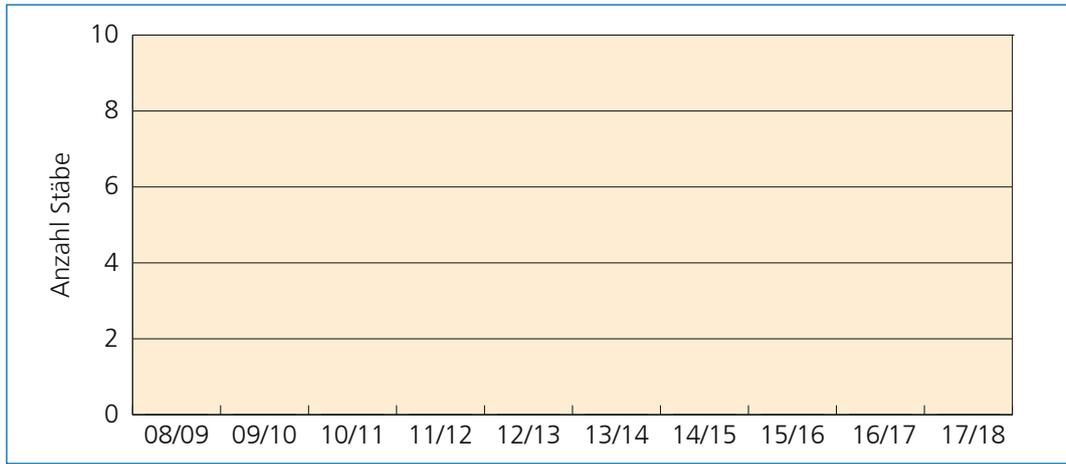
KKG



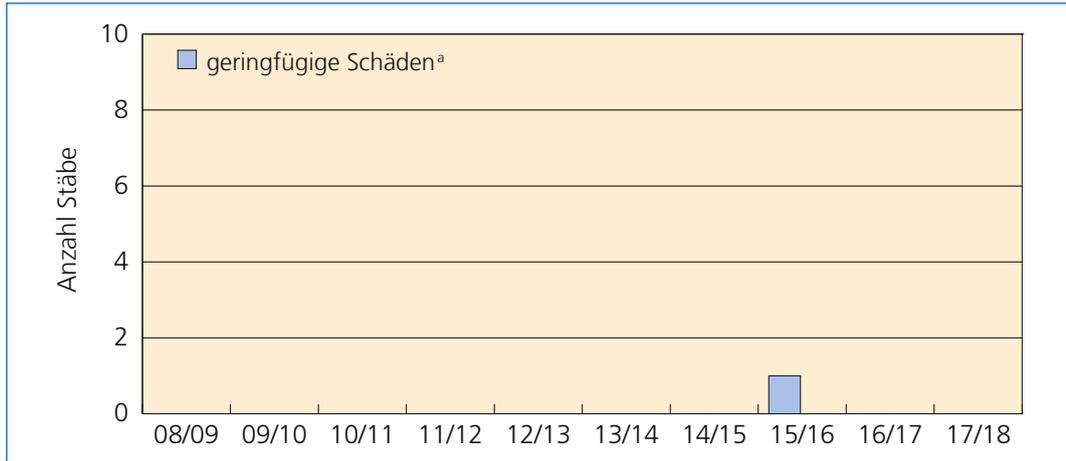
KKL

Figur 4:
Brennstabschäden
(Anzahl Stäbe)
2009-2018

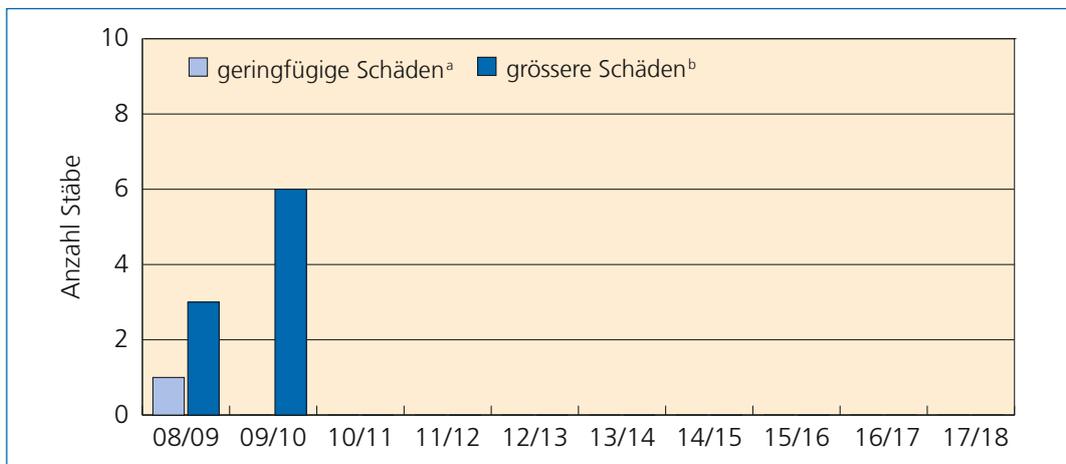
KKB 1 + 2



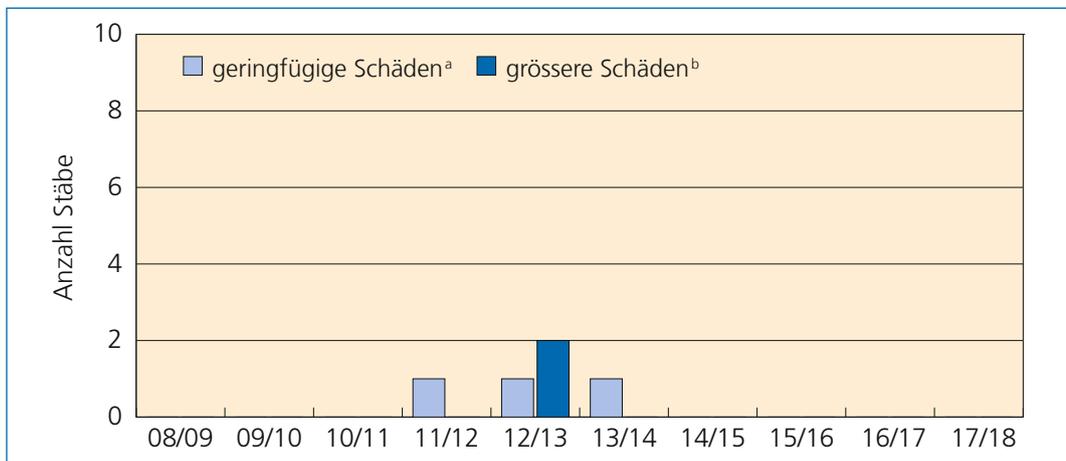
KKM



KKG

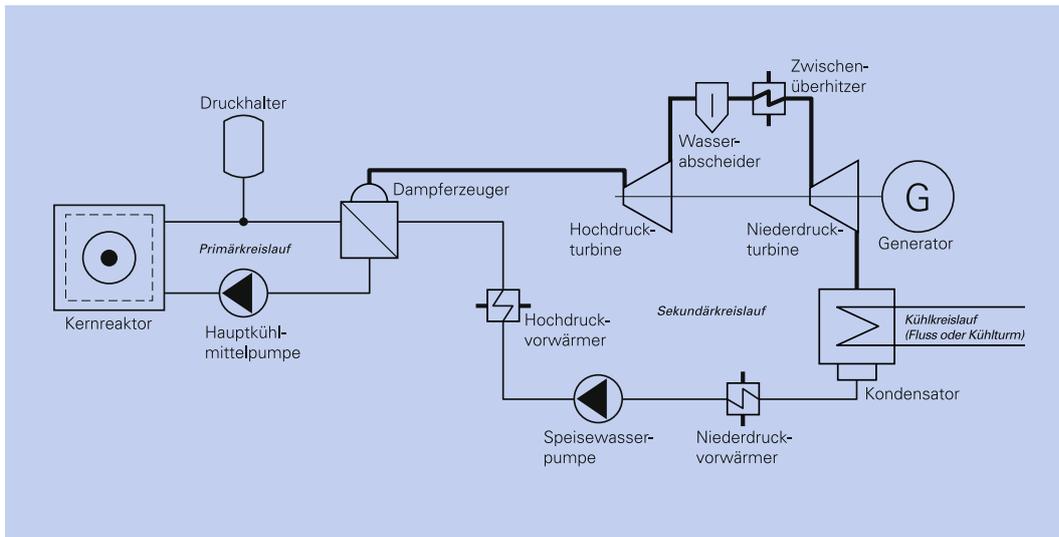


KKL

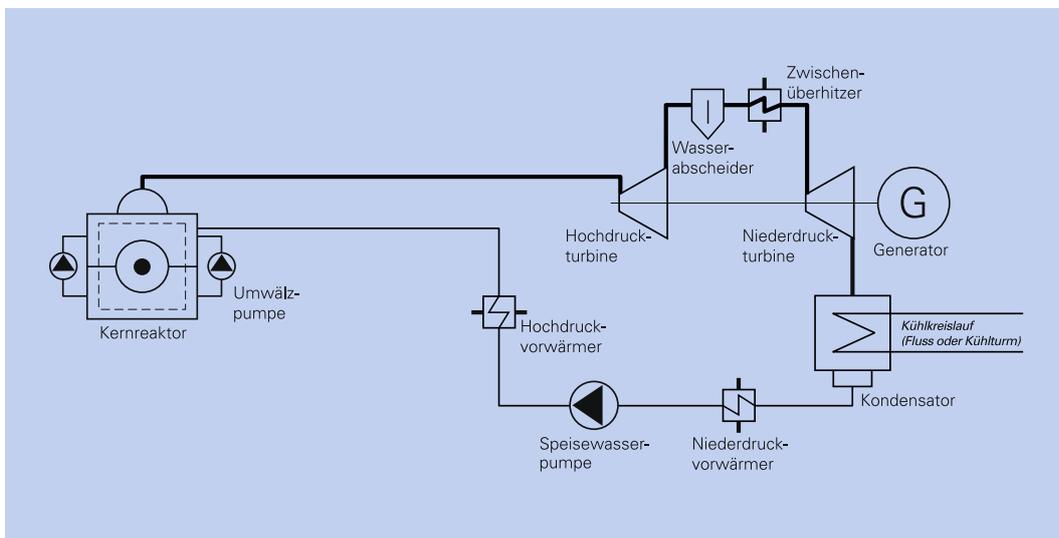


^a z. B. Haarrisse
im Hüllrohr

^b z. B. grosser Riss oder
Bruch des Hüllrohrs
mit Brennstoff-
auswaschung



Figur 5a:
 Funktionsschema eines
 Kernkraftwerks mit
 Druckwasserreaktor



Figur 5b:
 Funktionsschema eines
 Kernkraftwerks mit
 Siedewasserreaktor

Herausgeber

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI
Industriestrasse 19
5200 Brugg
info@ensi.ch
www.ensi.ch

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

ENSI-AN-10620
ISSN 1661-2876

© ENSI, Juni 2019

ENSI-AN-10620
ISSN 1661-2876

ENSI, Industriestrasse 19, 5200 Brugg, Schweiz, Telefon +41 56 460 84 00, info@ensi.ch, www.ensi.ch