



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 2016

zur nuklearen Sicherheit in den schweizerischen Kernanlagen

## **Aufsichtsbericht 2016**

zur nuklearen Sicherheit in den schweizerischen Kernanlagen

## **Rapport de Surveillance 2016**

sur la sécurité nucléaire dans les installations nucléaires en Suisse

## **Regulatory Oversight Report 2016**

concerning nuclear safety in Swiss nuclear installations

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>4</b>
<b>Préface</b>	<b>6</b>
<b>Preface</b>	<b>8</b>
<b>Zusammenfassung und Übersicht</b>	<b>9</b>
<b>Résumé et aperçu</b>	<b>12</b>
<b>Summary and Overview</b>	<b>15</b>
<b>1. Kernkraftwerk Beznau</b>	<b>19</b>
1.1 Überblick	19
1.2 Betriebsgeschehen	20
1.3 Anlagentechnik	24
1.4 Strahlenschutz	25
1.5 Radioaktive Abfälle	27
1.6 Notfallbereitschaft	27
1.7 Personal und Organisation	28
1.8 Periodische Sicherheitsüberprüfung	29
1.9 Sicherheitsbewertung	29
<b>2. Kernkraftwerk Mühleberg</b>	<b>31</b>
2.1 Überblick	31
2.2 Betriebsgeschehen	32
2.3 Anlagentechnik	34
2.4 Strahlenschutz	37
2.5 Radioaktive Abfälle	38
2.6 Notfallbereitschaft	39
2.7 Personal und Organisation	40
2.8 Vorbereitung der Stilllegung	40
2.9 Sicherheitsbewertung	41
<b>3. Kernkraftwerk Gösgen</b>	<b>43</b>
3.1 Überblick	43
3.2 Betriebsgeschehen	44
3.3 Anlagentechnik	49
3.4 Strahlenschutz	51
3.5 Radioaktive Abfälle	52
3.6 Notfallbereitschaft	53
3.7 Personal und Organisation	53
3.8 Sicherheitsbewertung	54
<b>4. Kernkraftwerk Leibstadt</b>	<b>57</b>
4.1 Überblick	57
4.2 Betriebsgeschehen	58
4.3 Anlagentechnik	62
4.4 Strahlenschutz	64
4.5 Radioaktive Abfälle	65
4.6 Notfallbereitschaft	66
4.7 Personal und Organisation	66
4.8 Periodische Sicherheitsüberprüfung	67
4.9 Sicherheitsbewertung	68

<b>5. Zentrales Zwischenlager Würenlingen</b>	<b>69</b>
5.1 Zwischenlagergebäude	69
5.2 Konditionierungsanlage	70
5.3 Plasma-Anlage	70
5.4 Strahlenschutz	71
5.5 Notfallbereitschaft	71
5.6 Personal und Organisation	72
5.7 Vorkommnisse	73
5.8 Gesamtbeurteilung	73
<b>6. Paul Scherrer Institut (PSI)</b>	<b>75</b>
6.1 Hotlabor	75
6.2 Kernanlagen in der Stilllegung	76
6.3 Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (AERA)	77
6.4 Strahlenschutz	78
6.5 Notfallbereitschaft	78
6.6 Personal und Organisation	79
6.7 Vorkommnisse	79
6.8 Schule für Strahlenschutz	79
<b>7. Weitere Kernanlagen</b>	<b>81</b>
7.1 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)	81
7.2 Universität Basel	81
<b>8. Transporte und Behälter</b>	<b>83</b>
8.1 Genehmigungen nach Gefahrgutgesetzgebung	83
8.2 Bewilligungen nach Strahlenschutzgesetzgebung	83
8.3 Bewilligungen nach Kernenergiegesetzgebung	84
8.4 Rücknahme von Wiederaufarbeitungsabfällen	84
8.5 Beschaffung von Transport- und Lagerbehältern	85
8.6 Inspektionen und Audits	86
<b>9. Geologische Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle</b>	<b>87</b>
9.1 Einleitung	87
9.2 Sachplan geologische Tiefenlager	88
9.3 Expertengruppe geologische Tiefenlagerung	91
9.4 Felslaboratorien	92
9.5 Internationaler Wissenstransfer	93
<b>10. Anlagenübergreifende Themen</b>	<b>95</b>
10.1 Probabilistische Sicherheitsanalysen und Accident-Management	95
10.2 Erdbebengefährdungsanalyse	97
10.3 Schlussbericht zum Aktionsplan Fukushima	98
<b>Anhang</b>	<b>101</b>
<b>Verzeichnis der Abkürzungen</b>	<b>117</b>

# Vorwort



Das Aufsichtsjahr 2016 war für die Schweizer Kernenergiebranche ein spezielles Jahr. Während fast fünf Monaten standen zwei Reaktoren gleichzeitig still. Der lange Stillstand war nicht etwa Ausdruck von Unsicherheit, sondern ist Beleg dafür, dass das Schweizer System funktioniert: Kernkraftwerke dürfen nur betrieben werden, wenn sie die Sicherheitsanforderungen des Gesetzgebers erfüllen und dies auch nachweisen können. Die Betreiber von Beznau 1 und Leibstadt mussten im vergangenen Aufsichtsjahr aus unterschiedlichen Gründen dem ENSI nachweisen, dass ihre Anlagen die gesetzlichen Anforderungen erfüllen. Das Kernkraftwerk Leibstadt konnte Anfang 2017 die Bedingungen, die zum Dryout geführt haben, identifizieren und wir konnten die Freigabe zum Wiederanfahren mit Auflagen erteilen. Ein sicherer Betrieb ohne Gefährdung von Mensch und Umwelt ist gewährleistet.

Das Kernkraftwerk Beznau 1 konnte bis zum jetzigen Zeitpunkt den geforderten Nachweis noch nicht erbringen, dass die Befunde im Grundmaterial des Reaktordruckbehälters keine Beeinträchtigung der Sicherheit darstellen, und steht deshalb nach wie vor still. Der Reaktor wird von uns die Freigabe

zum Wiederanfahren nur erhalten, wenn wir davon überzeugt sind, dass die Anlage sicher ist.

Alle schweizerischen Kernanlagen, die in Betrieb waren, haben im vergangenen Jahr die Sicherheitsanforderungen des Gesetzgebers erfüllt und sind sicher betrieben worden. Es kam zu keinem Vorkommnis, das die Sicherheit von Mensch und Umwelt gefährdet hat. Davon haben wir uns unter anderem im Rahmen unserer rund 450 angemeldeten und unangemeldeten Inspektionen sowie verschiedener Nachweise, die wir von den Betreibern gefordert haben, überzeugt.

Um Vorkommnisse zu verhindern, wollen wir auch aus bereits Geschehenem lernen. Dies haben wir in den Jahren nach dem Reaktorunfall in Japan intensiv getan. Vergangenes Jahr haben wir nun die Arbeiten im Rahmen des Aktionsplans Fukushima abgeschlossen. Die Überprüfungen in den vergangenen fünf Jahren haben gezeigt, dass die Kernkraftwerke in der Schweiz über eine hohe Sicherheit verfügen. Wir haben aber auch verschiedene Verbesserungsmöglichkeiten identifiziert. Diese wurden inzwischen initiiert oder bereits umgesetzt. Im vergangenen November haben die Schweizer Stimmberechtigten mit deutlichem Mehr entschieden, dass die Kernkraftwerke in der Schweiz so lange betrieben werden sollen, wie sie die Anforderungen des Gesetzgebers erfüllen. Dieser Entscheid ist auch eine Bekräftigung des Auftrags an das ENSI als Aufsichtsbehörde des Bundes über die nukleare Sicherheit. Wir werden darüber wachen, dass die Bewilligungsinhaber ihre Anlagen bis zum letzten Betriebstag sicher betreiben und die gesetzlichen Anforderungen vollumfänglich erfüllen.

Der Bundesrat hat in diesem Zusammenhang auch die Kernenergieverordnung ergänzt und das von uns vorgeschlagene Langzeitbetriebskonzept umgesetzt. Die grundlegenden Anforderungen an die Periodische Sicherheitsüberprüfung PSÜ sind neu auf Verordnungsstufe angehoben worden. Bisher waren diese lediglich in einer ENSI-Richtlinie geregelt. Von den Betreibern wird gegenüber der Richtlinie zusätzlich verlangt, Angaben über die geplante Betriebsdauer sowie zu Massnahmen zur Sicherstellung eines ausreichenden Personalbestandes und des benötigten Fachwissens zu ma-

chen. Zudem werden in der Verordnung die Mindestanforderungen an den Sicherheitsnachweis konkretisiert. Für Betreiber und Behörden schafft dies eine grössere Rechtssicherheit.

Unabhängig von diesen politischen Entscheidungen gehen die Arbeiten bei der Suche nach einem geeigneten Standort für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle im Rahmen des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT) weiter. Das ENSI hat sein Gutachten zu den Unterlagen der Nagra zur Etappe 2 abgeschlossen. Es stimmt darin mit der Nagra überein und schlägt die Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost sowohl für ein Lager für schwach- und mittelaktive als auch für hochaktive Abfälle zur weiteren Untersuchung vor. Im Unterschied zur Nagra beurteilt das ENSI die Zurückstellung des Standortgebiets Nördlich Lägern aufgrund der bestehenden Ungewissheiten als nicht genug begründet. Deshalb ist das Standortgebiet Nördlich Lägern in der Etappe 3 des SGT ebenfalls weiter zu untersuchen.

Täglich arbeiten Menschen dafür, dass die Kernkraftwerke in der Schweiz sicher betrieben werden. Sie übernehmen die verantwortungsvolle Aufgabe, dafür zu sorgen, dass der Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist. An dieser Stelle gebühren mein Respekt und mein Dank allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des ENSI, die ihre Arbeitskraft und ihr Fachwissen in den Dienst der Aufsichtsbehörde stellen.

Dr. Hans Wanner  
Direktor  
Juni 2017

# Préface

*L'année de surveillance 2016 s'est avérée être particulière pour la branche de l'énergie nucléaire suisse. Deux réacteurs étaient en même temps à l'arrêt pendant presque cinq mois. Mais loin d'être l'expression d'une certaine incertitude, cela était bien plutôt la preuve que le système suisse fonctionne: à savoir que les centrales nucléaires suisses ne sont exploitées que si elles remplissent les prescriptions légales de sécurité, et qu'elles sont capables de le prouver.*

*Autant les exploitants de la tranche 1 de Beznau, que ceux de Leibstadt, ont dû montrer l'année passée, mais pour des raisons différentes, que leur installation était conforme aux exigences du législateur. Début 2017, la centrale de Leibstadt a pu identifier les conditions qui ont mené au phénomène du «dryout», et nous avons pu donner sur cette base notre accord pour un redémarrage, mais sous conditions. Un fonctionnement sans mise en danger de l'être humain et de l'environnement est assuré.*

*A l'inverse, la centrale de Beznau 1 n'a pas pu jusqu'à présent fournir la preuve que les observations réalisées dans le matériel constitutif de la cuve de pression de son réacteur ne restreignent pas la sécurité. Elle est dès lors toujours à l'arrêt. Le réacteur ne recevra l'autorisation de redémarrer que si nous sommes convaincus que l'installation est sûre. Toutes les centrales nucléaires suisses en service ont rempli les exigences de sécurité du législateur et ont fonctionné de manière sûre. Aucun événement mettant en danger la sécurité de l'être humain et de l'environnement n'était à déplorer. Cela, nous avons pu nous en convaincre notamment à travers près de 450 inspections, annoncées ou non, ainsi que grâce à différentes justifications que nous avons demandées aux exploitants.*

*Dans notre travail de prévention, nous tirons aussi des enseignements de ce qui s'est déjà passé ailleurs. C'est ce que nous avons fait de façon intensive les années qui ont suivi l'accident de réacteur au Japon. Dans ce cadre, les travaux réalisés dans le plan d'action Fukushima se sont terminés l'an passé. Et les contrôles menés les cinq dernières années ont montré que les centrales nucléaires suisses jouissent d'une sécurité élevée. Ce qui ne nous a pas empêchés d'identifier un certain nombre d'améliorations*

*possibles. Entre temps, celles-ci ont été lancées, ou sont déjà entièrement mises en œuvre.*

*Lors de la votation de novembre dernier, le peuple suisse a décidé à une large majorité que les centrales nucléaires du pays devaient continuer à fonctionner aussi longtemps que les exigences du législateur sont remplies. Cette décision, nous la voyons aussi comme une confirmation du mandat donné à l'IFSN en tant qu'autorité de surveillance de la sécurité nucléaire de la Confédération. Nous allons prendre garde à ce que les titulaires d'autorisation exploitent leurs installations de manière sûre jusqu'au dernier jour de leur fonctionnement et suivent entièrement les exigences légales.*

*Sur ce point, on rappellera que le Conseil fédéral a complété l'ordonnance de la loi sur l'énergie nucléaire et appliqué le concept d'exploitation à long terme que nous avons proposé. Les exigences essentielles posées aux réexamens périodiques de sécurité RPS sont maintenant traitées au niveau de l'ordonnance, alors qu'elles étaient jusqu'à présent réglées dans une directive de l'IFSN. Par rapport à la directive, l'ordonnance demande de plus aux exploitants de fournir maintenant des indications sur la durée de fonctionnement prévue, ainsi que sur les mesures permettant de s'assurer un personnel suffisamment nombreux et qualifié. De plus, les exigences minimales que doit remplir le justificatif de sécurité ont été concrétisées dans l'ordonnance. Cela augmente fortement la sécurité juridique, autant pour les exploitants que pour les autorités.*

*Indépendamment de ces décisions politiques, les travaux de recherche d'un domaine approprié à l'entreposage des déchets radioactifs dans le cadre du plan sectoriel «déchets en couches géologiques profondes» se poursuivent. L'IFSN a terminé son expertise des documents de la Nagra (Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs) portant sur l'étape 2 du plan sectoriel. Dans celle-ci, l'IFSN est d'accord avec la Nagra et propose aussi de poursuivre les analyses concernant les domaines Zurich nord-est et Jura est, ceci autant pour l'entreposage de déchets de faible et moyenne activité, que pour ceux de haute activité. A l'inverse de la Nagra, l'IFSN estime pourtant que la relégation du domaine Nord du Lägern n'est pas*

*assez documentée compte tenu des incertitudes actuelles. De ce fait, ce site aussi doit continuer à être étudié dans l'étape 3 du plan sectoriel.*

*Chaque jour, des femmes et des hommes s'engagent pour que les centrales nucléaires suisses soient exploitées en toute sécurité. Ces personnes endossent la tâche lourde de responsabilité de s'assurer que la protection de l'être humain et de l'environnement soit assurée. A cet endroit, je souhaite vous adresser, chers employées et employés de l'IFSN, tout mon respect et mes remerciements pour la mise à disposition de votre travail et de vos connaissances techniques en faveur de l'autorité de surveillance.*

*Dr. Hans Wanner  
Directeur  
Juin 2017*



# Preface

2016, the year being reported on, was a special year for the Swiss nuclear energy industry. Two reactors were simultaneously shut down for nearly five months. Rather than indicating a lack of safety, the long shut-down was proof that the Swiss safety system works: Nuclear power plants can only be operated when they fulfil the safety requirements of the regulator and can also prove that they do so.

During the past reporting year the operators of Beznau 1 and Leibstadt both had to prove to ENSI, for different reasons, that their plants fulfilled the legal requirements. At the start of 2017 the Leibstadt nuclear power plant was able to identify the conditions that led to dryout so we could grant approval for restarting subject to conditions. Safe operation without risk to people or the environment is ensured. Up until now Beznau 1 has not been able to provide the necessary evidence that the findings in the raw material of the reactor pressure do not represent an impairment to safety and consequently it remains shut down. The plant will only be cleared to start again when we are convinced that the plant is safe.

All Swiss nuclear plants which were in operation during the past year fulfilled the legal requirements of the regulator and were operated safely. No event occurred that endangered the safety of either people or the environment. We were able to verify this by carrying out around 450 announced and unannounced inspections as well as by obtaining the various evidence required from the operators.

To prevent incidents, we also want to learn from previous occurrences. This was something we worked on thoroughly in the years following the Fukushima nuclear accident. Last year we concluded the work arising from the Fukushima action plan. The checks in the past five years have shown that the nuclear power plants in Switzerland have a high level of safety. We also identified various areas of improvement. These have in the meantime either been initiated or already implemented.

Last November, the Swiss voters decided by a clear majority that the Swiss nuclear power plants should continue to be operated for as long as they fulfil the requirements of the regulator. This decision is also an

endorsement of the task of ENSI as the national regulatory authority for nuclear safety. We will ensure that the licensees continue to operate their plants safely right up to their last day of operation, continuing to completely fulfil the legal requirements.

Within this context, the Federal Council has supplemented the Nuclear Energy Ordinance and implemented the long-term operation concept put forward by us. The basic requirements for the periodic safety review have been newly raised to the level of a legal requirement. Until now these were regulated solely in an ENSI guideline. The operators are now required, in addition to the guideline, to provide information about the planned operating duration and measures for ensuring an adequate staffing level and the necessary technical knowledge. In addition the ordinance sets out the minimum requirements for the safety case in greater detail. This provides greater legal security for both operators and authorities.

Irrespective of these political decisions, the work on the search for a suitable location for the disposal of radioactive waste as part of the Sectoral Plan for Deep Geological Repositories (SGT) continues. ENSI has completed its report on the Nagra stage 2 documents. Here it agrees with Nagra and suggests the site areas of Zurich North-East and Jura East both as a store for low and intermediate level radioactive waste and also for highly radioactive waste. In contrast to Nagra, ENSI considers the postponement of the North of Lägern site area because of the existing uncertainties as not sufficiently justified. Consequently the North of Lägern site area is likewise to be further investigated in stage 3 of the SGT.

Every day people work to ensure that Switzerland's nuclear power plants are operated safely. They have the responsible job of ensuring that the protection of both people and the environment is ensured. At this point my respect and thanks are due to all the employees of ENSI, who work and provide their expertise in the service of the supervisory authority.

Dr. Hans Wanner  
Director General  
June 2017

# Zusammenfassung und Übersicht

## Das ENSI

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI ist die Aufsichtsbehörde des Bundes. Es begutachtet und beaufsichtigt die Kernanlagen in der Schweiz. Dazu zählen die fünf Kernkraftwerke (Beznau Block 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 ETH Lausanne. 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 Vorschriften eingehalten werden und die Betriebsführung gesetzeskonform 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, 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](http://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 besondere Ereignisse und Befunde in den Kernanlagen, zum Beispiel im Rahmen von öffentlichen Veranstaltungen und Fachvorträgen sowie auf seiner Website [www.ensi.ch](http://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 Paul Scherrer Instituts, dem Forschungsreaktor der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Lausanne (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 entsprechende 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 Betreiber die bewilligten Betriebsbedingungen eingehalten haben. Die Betreiber haben ihre gesetzlich festgelegten Meldepflichten gegenüber der Aufsichtsbehörde wahrgenommen. Der sicherheitstechnische Zustand der im Berichtsjahr in Betrieb stehenden KKW war gut.

In den Kernkraftwerken kam es im Jahr 2016 zu 31 meldepflichtigen Vorkommnissen: Es gab kein Vorkommnis, das alleine den Block 1 des KKW Beznau betraf. 6 Vorkommnisse betrafen den Block 2 und ein Vorkommnis betraf beide Blöcke. 3 Vorkommnisse betrafen das KKW Mühleberg, 12 das KKW Gösgen und 9 das KKW Leibstadt. Davon hat das ENSI 30 Vorkommnisse der Stufe 0 (Ereignis ohne oder mit geringer sicherheitstechnischer Bedeutung) auf der internationalen Ereignisskala INES und 1 der Stufe 1 (Anomalie) zugeordnet. Davon betroffen war das Kernkraftwerk Leibstadt: Beim KKW Leibstadt stufte das ENSI den bei der Kernausslegung definierten, zur Verhinderung des Dryouts ungeeigneten Grenzwert als Vorkommnis der INES-Stufe 1 ein. Ein Vorkommnis aus dem Vorjahr, die Befunde im Reaktordruckbehälter von Block 1 des KKW Beznau, liess sich Ende des Berichtsjahres noch nicht einstufen. 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 2016 befanden sich in der Behälterlagerhalle 56 Transport- und Lagerbehälter mit abgebrannten Brennelementen und Glaskokillen sowie ein Behälter mit den Brennelementen aus dem stillgelegten Forschungsreaktor DIORIT des Paul Scherrer Instituts (PSI) und sechs Behälter mit Stilllegungsabfällen aus dem Versuchatomkraftwerk Lucens. Im Jahr 2016 wurde wie im Vorjahr nur eine Kampagne zur Verbrennung und Einschmelzung von radioaktiven Abfällen durchgeführt.

Bei der Zwiilag verzeichnete das ENSI im Berichtsjahr keine meldepflichtigen Vorkommnisse.

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Zwiilag im Berichtsjahr die bewilligten Betriebsbedingungen eingehalten hat.

## Paul Scherrer Institut (PSI) und Forschungsreaktoren in Lausanne und Basel

Die Kernanlagen des Paul Scherrer Instituts (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 (BZL). In den Kernanlagen des PSI war im Jahr 2016 kein meldepflichtiges Vorkommnis zu verzeichnen. Auch in den Forschungsanlagen der ETH Lausanne (EPFL) und an der Universität Basel kam es im Berichtsjahr zu keinem meldepflichtigen Vorkommnis.

Das ENSI kommt zum Schluss, dass sowohl die Kernanlagen des PSI als auch die Forschungsreaktoren der EPFL und der Universität Basel die bewilligten Betriebsbedingungen eingehalten haben.

## Abgaben radioaktiver Stoffe

Die Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt via Abwasser und Abluft der Kernkraftwerke, des Zentralen Zwischenlagers Würenlingen, der beaufsichtigten Forschungsanlagen resp. Kernanlagen am PSI sowie in Basel und Lausanne lagen im vergangenen Jahr 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

Die bei der Wiederaufarbeitung in den Wiederaufarbeitungsanlagen von La Hague (Frankreich) und von Sellafield (Vereinigtes Königreich) entstehenden Abfälle müssen vertragsgemäss in die Schweiz zurückgeführt werden.

Im Berichtsjahr wurden kompaktierte metallische mittelaktive Abfälle aus La Hague sowie hochaktive Glaskokillen aus La Hague und Sellafield zum zentralen Zwischenlager in Würenlingen transportiert. Damit sind nun alle aus der Wiederaufarbeitung schweizerischer Brennelemente im Ausland zurückzunehmenden radioaktiven Abfälle im ZZL zwischengelagert.

Alle Transporte radioaktiver Stoffe von und zu den Kernanlagen der Schweiz verliefen im Jahr 2016 unfallfrei. Von der ordnungsgemässen Durchführung hat sich das ENSI anlässlich mehrerer Inspektionen beim Transport 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. Das Sachplanverfahren befindet sich in der Etappe 2. Im Januar 2015 hatte die Nagra den Vorschlag für die in der Etappe 3 weiter zu untersuchenden Standortgebiete eingereicht. Das ENSI prüfte im Berichtsjahr den Vorschlag der Nagra. Für die HAA-Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost identifizieren sowohl das ENSI als auch die Nagra keine eindeutigen Nachteile. Abweichend von der Nagra sieht das ENSI auch keine eindeutigen Nachteile für das Standortgebiet Nördlich Lägern. Aus Sicht des ENSI sind die drei geologischen Standortgebiete Zürich Nordost, Jura Ost und Nördlich Lägern sowohl für ein SMA-Lager als auch ein HAA-Lager in der Etappe 3 des Sachplanverfahrens weiter zu untersuchen. Externe Experten haben die Beurteilungsarbeiten des ENSI unterstützt.

Darüber hinaus haben das ENSI und die von ihm beauftragten Experten eigene, für die Tiefenlagerung relevante Untersuchungen und Forschungsarbeiten durchgeführt. Ein grosser Teil davon wurde im Felslabor Mont Terri durchgeführt. Zudem war das ENSI im Berichtsjahr wiederum an mehreren Forschungsprojekten am Mont Terri beteiligt.

Das ENSI verfolgt den Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich der Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle mit seiner Mitarbeit in verschiedenen internationalen Programmen.

# Résumé et aperçu

## L'IFSN

L'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) est l'autorité de surveillance de la Confédération. Elle expertise et surveille les installations nucléaires en Suisse. Il s'agit des cinq centrales nucléaires (tranches 1 et 2 de Beznau, Mühleberg, Gösgen, 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. Les inspections, entretiens de surveillance, contrôles et analyses ainsi que les rapports des exploitants des installations permettent à l'IFSN d'acquiescer la vue d'ensemble nécessaire sur la sécurité des installations nucléaires surveillées. L'IFSN veille au respect des prescriptions et à la conformité de la gestion de l'exploitation avec la loi. 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 en couches géologiques profondes des déchets radioactifs. L'IFSN gère sa propre organisation d'urgence, qui fait partie d'une organisation d'urgence nationale. Celle-ci est susceptible d'intervenir 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 nucléaire, 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. L'IFSN élabore et met à jour ses propres directives en s'appuyant sur ces bases légales. Elle y formule les critères d'après lesquels elle évalue les activités et les projets des exploitants d'installations nucléaires. De plus, les directives en vigueur peuvent être consultées sur le site de l'IFSN ([www.ifs.n.ch](http://www.ifs.n.ch)) sous la rubrique «documents > directives» (la liste complète est disponible uniquement sur la version du site en allemand).

## Information

L'IFSN donne des informations régulières sur ses activités de surveillance et sur la sécurité nucléaire des installations suisses. Elle informe le public des événements et constats particuliers dans les installations nucléaires, par exemple dans le cadre de réunions publiques, d'exposés ou sur son site Internet [www.ifs.n.ch](http://www.ifs.n.ch).

Le présent rapport de surveillance fait partie du compte rendu périodique de l'IFSN. L'IFSN publie aussi chaque année un rapport sur la radioprotection ainsi qu'un rapport sur les expériences et la recherche. Ces rapports sont publiés dans leur langue d'origine, l'allemand. Les résumés sont traduits en français et en anglais. L'IFSN publie aussi ses rapports sur son site Internet.

## Contenu du présent rapport

L'IFSN décrit dans les chapitres 1 à 4 du présent rapport de surveillance le déroulement de l'exploitation, la technique de l'installation, la radioprotection et la gestion des centrales nucléaires de Beznau 1 et 2, Mühleberg, Gösgen et Leibstadt. L'IFSN réalise une évaluation de la sécurité de chaque centrale nucléaire pour l'exercice. Le chapitre 5 traite du dépôt de stockage intermédiaire Zwiilag à Würenlingen. Les chapitres 6 et 7 sont consacrés aux installations nucléaires de l'Institut Paul Scherrer ainsi qu'au réacteur de recherche de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (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 précédente. L'IFSN arrive à la conclusion que les conditions d'exploitation autorisées ont été respectées. Les exploitants ont respecté leurs devoirs de notification fixés par la loi à l'égard de l'autorité de surveillance. L'état de la sécurité des installations nucléaires exploitées était bon.

Dans les centrales nucléaires suisses, 31 évènements soumis au devoir de notification sont survenus en 2016. Il n'y a pas eu d'évènement qui a concerné à lui tout seul la tranche 1 de la centrale nucléaire de Beznau. Par contre six évènements ont concerné la tranche 2 de Beznau, et un les deux tranches. Trois évènements ont été notifiés à la centrale nucléaire de Mühleberg, douze à celle de Gösgen et neuf à la centrale de Leibstadt. Parmi ceux-ci, l'IFSN a classé 30 évènements au niveau 0 (évènement sans ou avec une faible importance pour la sécurité) de l'échelle internationale de classement des évènements INES, et 1 évènement au niveau 1 (anomalie). Celui-ci a concerné la centrale de Leibstadt: l'IFSN a classé au niveau 1 de l'échelle INES la valeur limite insuffisante fixée lors de la conception du cœur pour empêcher le phénomène de «dryout». Les constats dans la cuve de pression du réacteur de la tranche 1 de la centrale nucléaire de Beznau, un évènement de l'année précédente, ne peuvent pas encore être classés dans l'échelle INES à la fin de l'année sous revue. L'IFSN évalue la sécurité de chaque centrale nucléaire dans le cadre d'une évaluation systématique de la sécurité. En plus des évènements devant être notifiés, elle tient compte d'autres éléments, notamment des résultats des inspections.

## Dépôt de stockage intermédiaire de Zwiilag à Würenlingen

Le dépôt de stockage intermédiaire Zwiilag à Würenlingen comprend plusieurs bâtiments d'entreposage, l'installation de conditionnement et l'installation plasma (station d'incinération et de fusion). Fin 2016, la halle des conteneurs abritait 56 emballages de transport et d'entreposage avec assemblages combustibles usés et colis vitrifiés ainsi qu'un conteneur avec des éléments combustibles provenant de la désaffectation du réacteur de recherche DIORIT de l'Institut Paul Scherrer (PSI), et six conteneurs de déchets de désaffectation de la centrale nucléaire expérimentale de Lucens. En

2016, comme l'année précédente, une seule campagne d'incinération et de fusion des déchets radioactifs a eu lieu. Lors de l'exercice sous revue, l'IFSN n'a recensé au Zwiilag aucun évènement soumis au devoir de notification. L'IFSN en conclut que le Zwiilag a respecté en 2016 les conditions d'exploitation autorisées.

## Institut Paul Scherrer (PSI) et réacteurs de recherche à Lausanne et à Bâle

Les installations nucléaires de l'Institut Paul Scherrer (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 –, ainsi que de la station d'élimination de déchets radioactifs, inclut le dépôt intermédiaire de la Confédération (BZL). Aucun évènement soumis au devoir de notification n'a été recensé en 2016 dans les installations nucléaires du PSI. Aucun évènement soumis au devoir de notification n'est non plus survenu dans les installations de recherche de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) et de l'Université de Bâle. L'IFSN en conclut que les conditions d'exploitation autorisées ont été respectées en 2016 tant dans les installations nucléaires du PSI que dans les réacteurs de recherche de Lausanne et de Bâle.

## Rejets de substances radioactives

L'année passée, les rejets de substances radioactives dans l'environnement via les eaux usées et l'air rejeté des centrales nucléaires, du dépôt de stockage intermédiaire Zwiilag, 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 de 1 % de l'exposition annuelle naturelle aux radiations.

## Transports de matières radioactives

Les déchets résultant du retraitement dans les installations de retraitement de La Hague (France) et de Sellafield (Royaume-Uni) doivent être rapatriés en Suisse conformément aux contrats. Lors de l'exercice sous revue, des déchets d'activité moyenne



compactés et métalliques de La Hague, ainsi que des colis vitrifiés de haute activité de La Hague et de Selafiel ont été transportés au dépôt intermédiaire Zwiilag à Würenlingen et y ont été emmagasinés. Ainsi, l'ensemble des déchets radioactifs provenant du retraitement à l'étranger d'éléments combustibles suisses se trouvent maintenant entreposés au Zwiilag. Tous les transports d'éléments radioactifs en provenance, ou en direction, de la Suisse se sont passés sans accident sur l'année sous revue. 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 de sites (le plan sectoriel «dépôts en couches géologiques profondes») pour l'entreposage de déchets radioactifs a débuté en 2008. Elle est dirigée par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN). L'IFSN porte la responsabilité générale à propos de l'évaluation de la sécurité technique des domaines d'implantation géologiques. Le plan sectoriel se trouve actuellement dans l'étape 2. Dans ce cadre, la Nagra a remis en janvier 2015 sa proposition pour les domaines d'implantation à analyser plus en profondeur à l'étape 3. L'IFSN a contrôlé au cours de l'année sous revue la proposition de la Nagra. Pour les domaines Zurich nord-est et Jura est dévolus aux déchets de haute activité, autant l'IFSN que la Nagra n'ont pas constaté de désavantages univoques. Par contre, et contrairement à l'avis de la Nagra, l'IFSN ne constate pas de désavantages univoque pour le domaine Nord du Lägern. Du point de vue de l'IFSN, les trois domaines Zurich nord-est, Jura est et Nord du Lägern doivent continuer à être étudié dans l'étape 3 autant pour les déchets de faible et de moyenne activité, que pour ceux de haute activité. Des experts externes ont soutenu le travail d'évaluation de l'IFSN.

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. L'IFSN a aussi de nouveau participé l'an passé à différents projets de recherche au Mont Terri. A travers la participation à différents programmes internationaux, l'IFSN suit de près la situation scientifique et technique sur l'entreposage de déchets radioactifs en couches géologiques profondes.

# Summary and Overview

## ENSI

ENSI, the Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate, acting as the regulatory body of the Swiss Federation, assesses and monitors safety in the Swiss nuclear facilities. These include the five nuclear power plants (Beznau Units 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 facilities at the Paul Scherrer Institute (PSI), the University of Basel and the Federal Institute of Technology in Lausanne. 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 in these facilities. It ensures that they comply with the regulations and operate as required by law. 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, staff training, emergency protection, the transport of radioactive materials 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](http://www.ensi.ch), under the link Documents/Guidelines.

## Reporting

ENSI reports periodically on its supervisory activities and the nuclear safety of Swiss nuclear installations. It informs the public about special events and findings in the nuclear installations, for example within the framework of public presentations and lectures as well as via its website [www.ensi.ch](http://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 technology, 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 at the Paul Scherrer Institute and the research reactor of the Federal Institute of Technology (EPFL) in Lausanne as well as 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 corresponding 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 and nuclear safety at all plants in operation was rated as good or satisfactory.

In 2016, there were 31 reportable events at the nuclear power plants: No events related to Beznau 1 alone. 6 events concerned Beznau 2 and one event affected both Beznau 1 & 2. Mühleberg NPP was affected by 3 events, Gösgen NPP by 12 and Leibstadt NPP by 9. Of these, 30 events were rated Level 0 (event of no or low safety significance) on the International Nuclear and Radiological Event Scale (INES) and one was rated Level 1 (anomaly). The power plant concerned was Leibstadt. At Leibstadt NPP, ENSI classified the event resulting from the inadequate core design limit specified to prevent dryout occurrence as INES Level 1. An event occurring in the previous year involving findings in the reactor pressure vessel of Beznau 1 could still not be classified by the end of the reporting year.

ENSI evaluates the safety of each nuclear power plant as part of a systematic safety assessment. 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 2016, the cask storage hall contained 56 transport/storage casks with spent fuel assemblies and vitrified residue packages as well as one cask with the fuel assemblies from the shut down research reactor DIORIT of the Paul Scherrer Institute (PSI) and six casks with waste from the decommissioning of the experimental nuclear power plant at Lucens.

During 2016, as in the previous year, only one campaign to incinerate and melt radioactive waste was carried out.

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 (PSI) and the research reactors at Basel and Lausanne**

ENSI is also responsible for the surveillance of the nuclear facilities at the Paul Scherrer Institute (PSI), i.e. the hot laboratory, the three former research reactors SAPHIR, DIORIT and PROTEUS now in varying phases of decommissioning, the former experimental incineration plant whose site is to be restored for safe use and the facilities for the disposal of radioactive materials including the Federal Government's interim storage facility (BZL).

During 2016, there were no reportable events at the PSI nuclear facilities. Neither were there any reportable events at the research facilities of the Federal Institute of Technology in Lausanne (EPFL) or at the University of Basel.

ENSI concluded that the nuclear facilities at PSI and the research reactors at Lausanne and Basel had complied with their approved operating conditions.

### **Release of radioactive materials**

Last year, the amount of radioactive material released 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 was significantly less than the limits specified in the operating licenses. Analyses showed that the maximum dose for persons in the immediate vicinity of a plant was less than 1 % of the annual exposure to natural radiation.

### **Transport of radioactive materials**

The waste produced during reprocessing at the reprocessing facilities of La Hague (France) and Sellafield (United Kingdom) must, under the terms of the contracts, be subsequently returned to Switzerland. In the reporting year, compacted, metallic, intermediate level waste and intermediate level vitrified residue packets were transported from La Hague and Sellafield to the Central Interim Storage Facility (Zwiilag) in Würenlingen for storage there. In doing

*so all nuclear waste from Swiss fuel assemblies sent abroad for reprocessing is now temporarily stored in the Central Interim Storage Facility.*

*All transport of radioactive substances to and from Swiss nuclear installations took place without any incidents or accidents during 2016. ENSI verified the correct transport of differing types of radioactive materials and waste by means of multiple inspections during the said transport.*

## **Deep geological repositories**

*The site selection procedure (Sectoral Plan for Deep Geological Repositories SGT) for the storage of radioactive waste initiated 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. The sectoral plan process has reached stage 2. In January 2015, Nagra submitted its suggestion for the site areas to be further investigated in stage 3. During the reporting year, ENSI checked Nagra's suggestions. For the HAA site areas of Zurich North-East and Jura East, neither ENSI or Nagra have been able to identify any significant disadvantages. In contrast with Nagra, ENSI also sees no significant advantages for the site area North of Lägern. From ENSI's viewpoint, the three geological site areas Zurich North-East, Jura East and North of Lägern require further investigation both for use as an SMA store and as an HAA store in stage 3 of the sectoral plan process. External experts have supported the assessment work of ENSI.*

*In addition, ENSI and the experts it has appointed have carried out investigations and research work relevant for deep geological repositories. A large part of this was carried out in the Mont Terri Rock Laboratory. Additionally, ENSI participated during the current reporting year in a number of research projects at Mont Terri.*

*ENSI is monitoring the state of the art in science and technology in respect of the deep geological storage of radioactive waste through its participation in various international programs.*







Kernkraftwerk Beznau.  
Foto: KKB

# 1. Kernkraftwerk Beznau

## 1.1 Überblick

Der Block 1 des Kernkraftwerks Beznau (KKB) war während des ganzen Berichtsjahres ausser Betrieb. Im Block 2 wurde der Brennelementwechsel aufgrund der Nachrüstungen im primären Nebenkühlwassersystem vom Juni auf den August 2016 verschoben. Ab dem 26. Juni 2016 befand sich die Anlage mit abnehmender Leistung im Streckbetrieb. Vom 5. bis 18. August 2016 war sie für den Brennelementwechsel abgeschaltet. Das ENSI stellt fest, dass die bewilligten Betriebsbedingungen immer eingehalten wurden.

Für den Block 1 wird angesichts der noch offenen Bewertung der Befunde am Reaktordruckbehälter (RDB) auf eine zusammenfassende Beurteilung verzichtet. Das ENSI beurteilt die Sicherheit des KKB im Jahr 2016 im Block 2 hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als gut, hinsichtlich der Betriebsvorgaben als hoch, hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der

Anlage als gut sowie hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als gut.

Das KKB umfasst zwei weitgehend baugleiche Zwei-Loop-Druckwasserreaktor-Blöcke (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 zu keinem meldepflichtigen Vorkommnis.

Im Block 1 begann der Revisionsstillstand 2015 am 13. März 2015. Da eine abschliessende sicherheitstechnische Beurteilung der Befunde am RDB noch nicht vorlag, befand sich die Anlage zum Jahresende 2016 immer noch im Stillstand (siehe Abschnitt BEFLAW, Kap. 1.3.1).

Im Block 2 kam es zu sechs meldepflichtigen Vorkommnissen. Sie wurden alle der Stufe 0 der interna-

tionalen Ereignisskala INES zugeteilt. Ein Vorkommnis betraf beide Blöcke. Es wurde der Stufe 0 zugeteilt. Im Block 2 dauerte der Brennelementwechsel 13 Tage.

Im Berichtsjahr 2016 sind in beiden Blöcken keine Brennelementschäden aufgetreten.

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 sind verglichen mit der natürlichen Strahlenexposition unbedeutend.

Der Anfall radioaktiver Rohabfälle entsprach dem aufgrund der durchgeführten Arbeiten zu erwartenden Umfang.

Das ENSI hat im Rahmen seiner Aufsicht 96 Inspektionen durchgeführt. Wo erforderlich verlangte das ENSI Verbesserungsmaßnahmen und überwachte deren Umsetzung.

Zwei Reaktoroperateure und ein Pikettingenieur bestanden ihre Zulassungsprüfung. Drei Reaktoroperateur-Anwärter absolvierten die kerntechnische Grundlagenausbildung an der Reaktorschule des PSI erfolgreich.

## 1.2 Betriebsgeschehen

Block 1 war infolge der noch laufenden sicherheitstechnischen Beurteilung der Befunde am RDB das ganze Jahr ausser Betrieb. Block 2 erreichte im Jahr 2016 eine Arbeitsausnutzung von 95,1 % und eine Zeitverfügbarkeit von 96,5 %. Die unproduktiven Anteile im Block 2 waren durch den Brennelementwechsel und bei der Arbeitsausnutzung zusätzlich durch den Streckbetrieb am Ende des Betriebszyklus 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 Jahr 2016 175,8 GWh.

Zur Durchführung von Funktionsprüfungen und auf Anforderung des Lastverteilers erfolgten im Block 2 kurzzeitige Leistungsreduktionen.

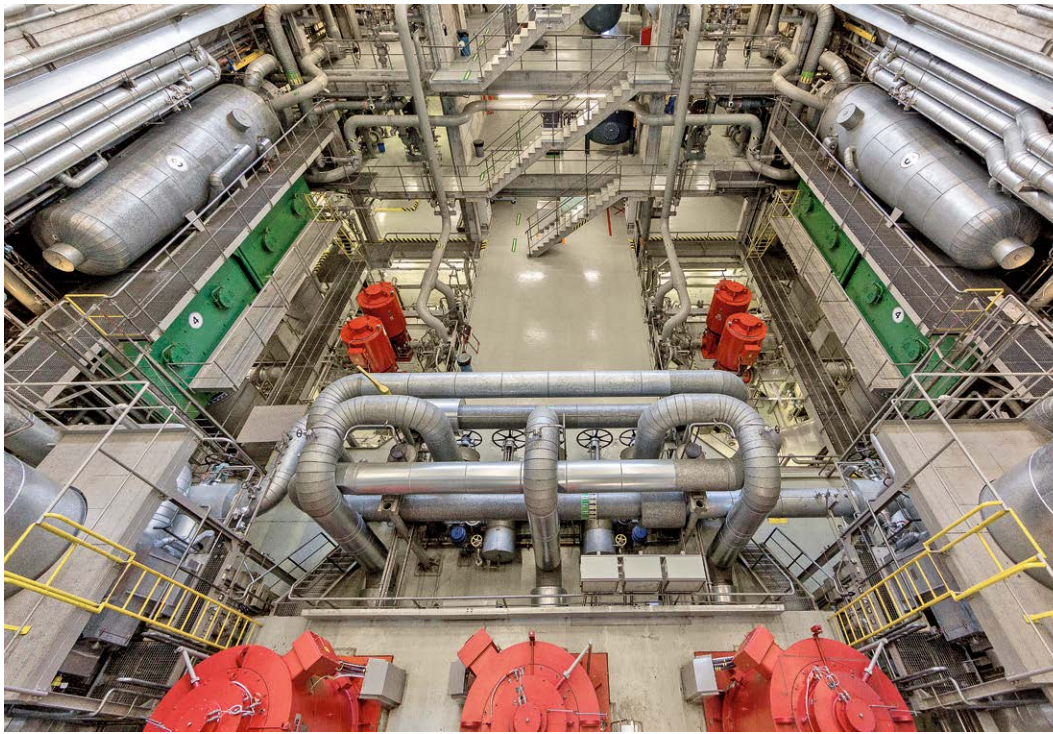
Im Block 1 kam es 2016 zu keinem meldepflichtigen Vorkommnis.

Im Block 2 kam es 2016 zu sechs meldepflichtigen Vorkommnissen, die vom ENSI alle der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet wurden.

■ Die nach dem Vorkommnis vom 14. Juli 2015, bei dem ein Kompensator unzulässig deformiert worden war (siehe Aufsichtsbericht 2015), durchgeführten vertieften Analysen zeigten für den Notstromfall während des Restwärmebetriebs unzulässige Druckspitzen im Bereich der Umluftkühler im Containment. Diese Druckspitzen treten beim Zuschalten der Pumpen des primären Nebenkühlwassersystems nach dem Start der Notstromdiesel auf. Am 12. Februar 2016 wurden diese Ergebnisse dem ENSI als Auslegungsfehler gemäss Richtlinie ENSI-B03 gemeldet. Während des Restwärmebetriebs wird die Wärme aus dem abgestellten Reaktor über das Restwärmesystem abgeführt. Dieses kommt zum Einsatz, wenn Druck und Temperatur im Primärkreislauf so tief sind, dass die Wärme nicht über die Dampferzeuger abgeführt werden kann. Der Restwärmebetrieb ist eine Betriebsweise während des Abfahrens der Anlage zum Revisionsstillstand und während des Wiederanfahrens. Da sich der Block 1 des KKB seit der Realisierung der neuen Notstromversorgung (Projekt AUTANOVE) bis zum Ende des Berichtsjahres nie im Restwärmebetrieb befand, wird der Auslegungsfehler formal nur dem Block 2 zugeordnet. Technisch sind die Analysen für beide Blöcke relevant. Das KKB hatte bereits Ende 2015 und damit vor dem Abschluss der Druckstossanalysen proaktiv festgelegt, dass die Umluftkühler vor Beginn des Restwärmebetriebs abgesperrt und damit vor Druckstössen im Notstromfall geschützt werden. Die Betriebsbereitschaft der Umluftkühler bleibt dabei gewahrt, die Absperrarmaturen können jederzeit geöffnet werden. Während des Restwärmebetriebs ist kein automatischer Start der Umluftkühler durch den Reaktorschutz vorgesehen. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Auslegungsfehler im primären Nebenkühlwassersystem der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt der Auslegungsvorgaben mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

■ Am 10. Mai 2016 befand sich die Anlage im Vollastbetrieb. Das primäre Zwischenkühlwassersystem war im Normalbetrieb mit einer laufenden Zwischenkühlwasserpumpe. Zur Vorbereitung eines Tests der Rezirkulationspumpen des Sicherheitseinspeisesystems sollte gemäss Prüfvorschrift eine zweite Zwischenkühlwas-





In der  
Maschinenhalle.  
Foto: KKB

serpumpe in Betrieb genommen werden. Diese startete jedoch nicht, worauf die dritte Zwischenkühlwasserpumpe in Betrieb genommen und der Test der Rezirkulationspumpen durchgeführt wurde. Eine sofortige Kontrolle des Einschubs für die Motorsteuerung der nicht gestarteten Pumpe ergab keine Befunde. Zwei anschliessend durchgeführte Startversuche verliefen erfolgreich. Spätere Abklärungen zeigten einen ungewöhnlich hohen Übergangswiderstand am Hilfskontakt des Überstromschutzes, der ausgetauscht wurde. Bei der dritten Zwischenkühlwasserpumpe zeigte sich während des Betriebs eine Leckage der Gleitringdichtung, welche die Funktion der Pumpe nicht unmittelbar beeinträchtigte. Trotzdem wurde die Pumpe umgehend ausgetauscht und die korrekte Funktion der Ersatzpumpe in einem 24-stündigen Probelauf nachgewiesen. Ursache für die Leckage der Gleitringdichtung war erhöhter Verschleiss am rotierenden Kohlering. Die von der Technischen Spezifikation verlangte Betriebsbereitschaft aller Pumpen des Zwischenkühlwassersystems wurde innerhalb der verlangten Frist wieder hergestellt.

Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die vorübergehende Nichtverfügbarkeit der Zwischenkühlpumpen der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit

Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 3 sowie die Schutzziele «Kühlung der Brennelemente» und «Einschluss radioaktiver Stoffe».

- Am 23. Juni 2016 wurden auf der Anzeigetafel im Kommandoraum die Positionen der Steuerstäbe teilweise nicht korrekt angezeigt. Eine sofortige Kontrolle des Anlagezustands durch das Schichtpersonal zeigte einen unveränderten Vollastbetrieb und keine Anzeichen für veränderte Stabpositionen. Ursache der falschen Anzeigen waren Fehlauflösungen der Spannungsüberwachung in der Spannungsversorgung der betroffenen Teile der Regelungselektronik. Die betroffenen Baugruppen wurden ausgetauscht und die korrekte Funktion der Positionsanzeigen innerhalb der durch die Technische Spezifikation gesetzten Frist wieder erstellt. Aufgrund der Ergebnisse einer externen Analyse der Fehlauflösungen wurden die betroffenen Baugruppen im Block 1 und die eingelagerten Ersatzbaugruppen im Berichtsjahr ertüchtigt. Die Ertüchtigung im Block 2 erfolgt im Revisionsstillstand 2017. Die Reaktorschnellabschaltung durch den Reaktorschutz oder durch Handauflösung wäre im Anforderungsfall jederzeit gewährleistet gewesen.

Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die fehlerhafte Anzeige der Steuerstabpositionen der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Ver-

haltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie das Schutzziel «Kontrolle der Reaktivität».

- Am 3. September 2016 bemerkte ein Operateur, dass der Einspeiseschieber des Notspeisewassersystems fälschlicherweise geschlossen war. Damit hätte das Notspeisewassersystem bei einer automatischen Anforderung nicht in die Dampferzeuger einspeisen können. Der Schieber wurde umgehend geöffnet und so die Betriebsbereitschaft des Systems innerhalb der von der Technischen Spezifikation gesetzten Frist nach Erkennen des Vorfalls wieder erstellt. Ursache für den geschlossenen Schieber war ein Fehler in einer Routinevorschrift für eine Reaktorschutzprüfung, die im Rahmen des Projekts AUTANOVE neu verfasst worden war. Im Verlauf dieser Reaktorschutzprüfung wird die Notspeisewasserpumpe bei geschlossenem Einspeiseschieber gestartet. Das Schliessen des Schiebers zu Beginn der Prüfung war in der Vorschrift aufgeführt, nicht aber das Öffnen des Schiebers nach der Prüfung. Die Prüfung wurde plangemäss am 14. August 2016 während des bis zum 18. August 2016 dauernden Brennelementwechsels durchgeführt. Anschliessend blieb der Einspeiseschieber bis zum 3. September 2016 geschlossen.

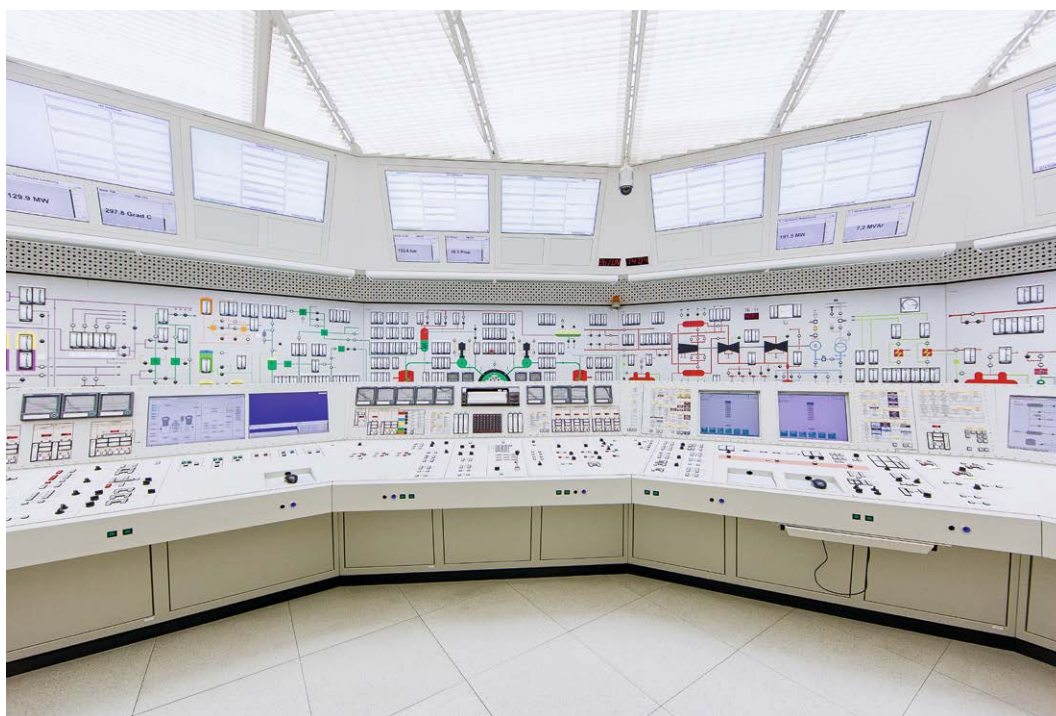
Die mangelhafte Vorschrift wurde ergänzt. Ebenso wurde die übergeordnete Vorgabe zur Erstellung von Routinevorschriften angepasst, um sicherzustellen, dass die Routinevorschriften

verlangen, während Tests veränderte Komponentenstellungen nach Testabschluss wieder in die Ausgangslage zu bringen.

Das Notspeisewassersystem steht bei einem Ausfall des Hauptspeisewassersystems zusammen mit dem Hilfs- und dem Notstandspeisewassersystem zur Verfügung, um die Nachzerfallswärme aus dem Reaktor über die Dampferzeuger abzuführen. Während der Nichtverfügbarkeit des Notspeisewassersystems waren Haupt-, Hilfs- und Notstandspeisewassersystem gemäss den im jeweiligen Anlagezustand massgeblichen Vorgaben der Technischen Spezifikation betriebsbereit. Bei einem kombinierten Ausfall dieser drei Systeme wäre die Wärmeabfuhr durch die Bespeisung der Dampferzeuger mit Notspeisewasser aus dem Block 1 oder mittels Feuerwehrpumpen möglich gewesen. Weiter hätte der geschlossene Schieber im Anforderungsfall nach Erkennen der Fehlstellung innert kurzer Zeit geöffnet werden können.

Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Nichtverfügbarkeit des Notspeisewassersystems infolge des geschlossenen Einspeiseschiebers der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Die damit verbundene Risikoerhöhung wurde der Kategorie A (Abweichung) zugeordnet – als Aspekt des Zu-

Kommandoraum  
eines Blocks.  
Foto: KKB



standes und Verhaltens der Anlage mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzziel- übergreifender Bedeutung.

- Seit dem Wiederanfahren der Anlage im Dezember 2015 waren periodische geringfügige Leckagen von nicht radioaktivem Dampf aus dem Sekundärteil der Anlage beobachtet worden. Sie wurden im Bereich eines Dampferzeuger-Sicherheitsventils lokalisiert, das im Revisionsstillstand geöffnet wurde. Eine Farbeindringprüfung zeigte mehrere Risse an der Dichtfläche des Ventilsitzes, die durch eine Schweissschweissreparatur behoben wurden. Die Sicherheitsfunktion des Ventils war jederzeit gewährleistet. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Risse am Ventilsitz eines Dampferzeuger-Sicherheitsventils der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».
- Am 9. September 2016, zwei Tage nach dem letzten Probelauf der Sprühpumpen, bemerkte ein Anlagenoperator eingetrocknete Borsäure am Boden im Bereich der Entlüftungsleitung der Mindestmengenleitung des Containmentsprühsystems. Um eine Verschleppung radioaktiver Stoffe zu vermeiden, wurde der betroffene Bereich abgesperrt. Am 12. September 2016 wurde ein Riss an der Entlüftungsarmatur gefunden, der zu einer Tropfleckage geführt hatte. Die Armatur wurde am folgenden Tag ersetzt, unter Beachtung der erforderlichen Strahlenschutzmassnahmen. Das Containmentsprühsystem sprüht im Anforderungsfall borsäurehaltiges Wasser ins Containment ein, um den Druck und die Temperatur im Containment zu senken. Bei Testläufen der Sprühpumpen bleiben die Einspeiseventile ins Containment geschlossen. Um eine Überhitzung der Pumpen zu verhindern, wird ein geringer Massenstrom über die Mindestmengenleitung gefördert und in den Vorratstank zurückgeleitet. Die Ursache für den Riss waren durch ungünstige geometrische Gegebenheiten verstärkte Schwingungen bei den regelmässigen Testläufen der Sprühpumpen. Die Halterung der betroffenen Armatur wird überprüft und angepasst. Im Anforderungsfall hätte das Containmentsprühsystem seine Funktion selbst unter der ungünstigen Annahme eines Abrisses der Entlüftungsarmatur erfüllt. Für den Ersatz der Armatur mussten die Sprüh-

pumpen vorübergehend freigeschaltet werden. Die Betriebsbereitschaft wurde innerhalb der von der Technischen Spezifikation gegebenen Frist wieder erstellt. Es kam zu keiner Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die rissbedingte Leckage an der Entlüftungsarmatur der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe».

Ein Vorkommnis betraf beide Blöcke. Es wurde vom ENSI der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet.

- Im Jahr 2015 wurde in beiden Blöcken eine erdbebensichere Wasserzufuhr aus dem Notstandbrunnen in den Notspeisewassertank nachgerüstet. Bei einer Garantieinspektion der Brunnenwasserpumpe im Block 1 wurden am 13. Oktober 2016 mehrere korrodierte Schrauben an Verbindungsflanschen zwischen den sich im Brunnenschacht befindenden Rohrelementen gefunden. Eine gleichentags durchgeführte Kontrolle der Brunnenwasserpumpe im Block 2 ergab einen vergleichbaren Befund. Die Pumpe im Block 2 wurde gegen eine Ersatzpumpe ausgetauscht, korrodierte Schrauben wurden ersetzt. Der vorläufige Schadensbericht, aus dem die Meldepflicht folgte, lag am 29. November 2016 vor. Die Pumpe im Block 1 wurde am 1. Dezember 2016 mit neuen Schrauben an den Flanschverbindungen wieder eingesetzt. Die Aufgabe des Notspeisewassersystems ist im Abschnitt zum Vorkommnis vom 3. September 2016 im Block 2 beschrieben. Da sich der Block 1 im Stillstand befand, mit allen Brennelementen im Brennelementlagerbecken, musste die Brunnenwasserpumpe gemäss Technischer Spezifikation nicht zur Verfügung stehen. Eine Wärmeabfuhr über die Dampferzeuger ist in diesem Anlagezustand physikalisch ausgeschlossen. Im Block 2 war die Pumpe nach dem Austausch innerhalb der von der Technischen Spezifikation gegebenen Frist wieder betriebsbereit. Das Hilfsspeisewassersystem, das Notstandspeisewassersystem und die Versorgung des Notspeisewassertanks durch das Deionatsystem standen während des Austauschs zur Verfügung, der Notspeisewassertank war vorschriftsgemäss gefüllt. Die nach dem Befund durchgeführten Berechnungen zeigten, dass



beide Pumpen im Anforderungsfall ihre Funktion erfüllt hätten. Die Ursache für die Korrosion der Schrauben waren Inhomogenitäten im für die Herstellung verwendeten Werkstoff. Diese führten zu lokal erhöhter Korrosionsanfälligkeit des an und für sich unter den gegebenen Bedingungen korrosionsbeständigen Werkstoffs.

Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die korrodierten Schrauben der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Die damit verbundene, primär durch den Austausch der Pumpe im Block 2 bedingte Risikohöherung wurde der Kategorie A (Abweichung) zugeordnet – als Aspekt des Zustandes und Verhaltens der Anlage mit ebenen- oder barriereübergreifender 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.

## 1.3 Anlagentechnik

### 1.3.1 Revisionsarbeiten

Der Block 1 wurde am 13. März 2015 für den Revisionsstillstand 2015 abgestellt. 2016 war er infolge der noch laufenden sicherheitstechnischen Beurteilung der Befunde am RDB ausser Betrieb. Die Brennelemente befanden sich im Brennelement-Lagerbecken. Die 2015 zur Verhinderung von Korrosions- und Standschäden getroffenen Konservierungsmassnahmen wurden 2016 beibehalten. Grosse Teile des Sekundärkreislaufs sind entleert und die Luftfeuchtigkeit wird kontrolliert tief gehalten.

Der Block 2 wurde vom 5. bis 18. August 2016 für den Brennelementwechsel abgestellt. Weiter fanden System- und Komponententests sowie Funktionskontrollen statt. Die Dichtheit der Hauptschleuse, der Notschleuse, der Brennelement-Transferschleuse sowie diverser Containment-Durchdringungen wurde erfolgreich geprüft.

### Projekt BEFLAW

Das ENSI hatte das KKB 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. Der Reaktor ist seitdem abgestellt, der RDB entladen.

Für die Durchführung der Untersuchungen und die sicherheitstechnische Bewertung erstellte das KKB ein Gesamtkonzept, das vom ENSI und einem unabhängigen internationalen Expertenteam (IRP) kommentiert wurde. Im Mai 2016 präsentierte das KKB dem IRP und dem ENSI den aktuellen Stand seiner Arbeiten. Im Anschluss liess das KKB eine Nachbildung eines Schmiederinges des RDB herstellen, um die Ursachenanalyse zu verifizieren und mögliche Veränderungen der Materialeigenschaften zu quantifizieren.

Das KKB reichte dem ENSI im November 2016 den Abschlussbericht zu seinem sicherheitstechnischen Nachweis ein. Im Dezember 2016 behandelten das IRP und das ENSI diesen Nachweis im Rahmen eines Workshops. Das ENSI stellte mehrere Nachforderungen an das KKB, deren Umsetzung bei Redaktionsschluss noch nicht abgeschlossen war. Daher kann das ENSI die sicherheitstechnische Bedeutung des Vorkommnisses noch nicht definitiv beurteilen.

### 1.3.2 Anlageänderungen

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

Die Vorbereitungsarbeiten für eine batteriegestützte, unterbrechungsfreie Stromversorgung der Pumpen des primären Nebenkühlwassersystems wurden aufgenommen. Damit bleiben die Pumpen beim Ausfall der normalen Stromversorgung und beim Zuschalten der Versorgung durch die Notstromdieselgeneratoren ohne Unterbruch in Betrieb und es treten keine Druckstösse auf.

Zur Verbesserung der Erdbebensicherheit wurden mehrere Halterungen der zur Kühlwasserversorgung der Umluftkühler dienenden Leitungen des primären Nebenkühlwassersystems im Containment verstärkt.

Verschiedene Ladegleichrichter für Batteriesysteme der 24- und 120-V-Gleichstromversorgung wurden im Berichtsjahr ersetzt, als Teil eines mehrjährigen Projekts zum Ersatz aller Ladegleichrichter.



Innenseite eines  
RDB-Deckels.  
Foto: KKB

### 1.3.3 Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente

Die Blöcke 1 und 2 des KKB werden mit je 121 Brennelementen betrieben. Im Betriebszeitraum traten keine Defekte an Brennelementen auf. Die Integrität der ersten Barriere zum Schutz gegen den Austritt radioaktiver Stoffe war somit gegeben.

Der Block 1 wurde zu Beginn des Brennelementwechsels 2015 vollständig entladen und die Brennelemente ins Brennelement-Lagerbecken verbracht. Da sich der Stillstand aufgrund der Befunde am RDB über den Jahreswechsel 2016/17 hinaus verlängerte, wurden auch 2016 keine Brennelemente in den Kern geladen.

Während des Revisionsstillstands im Block 2 wurden 20 abgebrannte Brennelemente des Typs FOCUS durch baugleiche frische Brennelemente ersetzt. Diese enthalten als Brennstoff wiederaufgearbeitetes Uran (WAU). Der Reaktorkern enthält im 43. Betriebszyklus 117 WAU-Brennelemente des Typs FOCUS und 4 WAU-Vorläufer-Brennelemente des Typs AGORA-4H, welche erstmalig im 40. Betriebszyklus im KKB 2 zum Einsatz kamen.

Der Reaktorkern des KKB 2 wurde mit freigegebenen und qualitätsgeprüften Brennelementen bestückt. Die neue, für das KKB 2 gültige, vom ENSI freigegebene Kernbeladung erfüllt entsprechend der Dokumentation alle Anforderungen.

Im Jahr 2014 wurden in beiden Blöcken jeweils alle 25 Steuerelemente durch neue Steuerelemente gleicher Bauart ersetzt. Vor dem Ersteinsetz wurden die Steuerelemente einer Wirbelstromprüfung unterzogen, welche die Einsatzbereitschaft bestätigte. Aufgrund der guten Betriebserfahrung mit Steuerelementen dieser Bauart sowie der stetigen Überwachung des Reaktorkühlkreislaufes, bei der keine Hinweise auf Steuerelementdefekte vorlagen, wurden 2016 gemäss der langfristigen Planung des KKB keine Steuerelementinspektionen durchgeführt.

Im Berichtszeitraum ist der Reaktorkern des Blocks 2 auslegungsgemäss und im bewilligten Rahmen betrieben worden. Die Anfahrmessungen des Blocks 2, die vom ENSI vor Ort inspiziert wurden, verliefen plangemäss. Die Ergebnisse der reaktorphysikalischen Messungen stimmten gut mit den Ergebnissen der Kernauslegungsberechnungen überein. Die maximal zulässigen Toleranzen wurden klar eingehalten.

### 1.4 Strahlenschutz

Im Kalenderjahr 2016 wurde in den beiden Blöcken des KKB eine Kollektivdosis von 530 Pers.-mSv verzeichnet. Die höchste im KKB registrierte Individualdosis betrug 8,5 mSv und lag deutlich unter-

halb 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 13. März 2015 zu einem geplanten Revisionsstillstand abgefahren. Aufgrund der noch nicht abgeschlossenen Bewertung der Befunde im Grundmaterial des Reaktordruckbehälters blieb Block 1 im gesamten Berichtsjahr im Stillstand. Dabei wurden einige strahlenschutzrelevante Revisionsarbeiten durchgeführt. Die akkumulierte Kollektivdosis für die Revisionsabstellung des Blocks 1 im Berichtsjahr betrug 417 Pers.-mSv (mit elektronischen Dosimetern ermittelt). Im Vergleich zur Plandosis von 410 Pers.-mSv liegt das Gesamtergebnis im Rahmen der Prognosegenauigkeit von  $\pm 20\%$ . Aufgrund des fortdauernden Stillstands des Reaktors hat sich die radiologische Situation seit den Abstellarbeiten im Jahr 2015 nicht wesentlich geändert. Die nuklidspezifischen Messungen der Kontaminationen im KKB 1 zeigen, dass das Beta/Gamma- zu Alpha-Verhältnis im hohen Masse system- und komponentenabhängig ist. Für den operationellen Strahlenschutz bedeutet dies, dass neben der Beta/Gamma-Kontamination auch die Alpha-Kontamination separat gemessen und bei jeder Öffnung des Primärkreislaufs bzw. Bearbeitung von kontak-

minierten Oberflächen eine Inkorporation mittels Zone-IV-Tenue verhindert werden muss.

Die im Jahr 2015 aufgebauten Standardabschirmungen blieben auch im Jahr 2016 installiert. Im Durchschnitt konnte die Ortsdosisleistung im Arbeitsbereich um den Faktor 3,5 gesenkt werden. Vereinzelt wurden deutlich höhere Abschirmfaktoren erreicht. Block 2 wurde am 5. August 2016 für den Brennelementwechsel abgestellt. Das Abfahren verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden.

Die Ortsdosisleistungen an den Komponenten des Primärkreislaufs haben sich im Vergleich zum Vorjahr, mit Ausnahme der Closure Legs (Teil der Hauptkühlmittelleitung zwischen Dampferzeuger und Reaktorhauptpumpe) und des RDB-Deckels nicht signifikant verändert. An den Closure Legs stieg die Ortsdosisleistung im Mittel um 8 % an. Sie beträgt für das Closure Leg A jetzt ca. 1 mSv/h und für die B-Seite ca. 1,25 mSv/h. Die Dosisleistung auf der Innenseite des RDB-Deckels liegt aufgrund des letztjährigen Austauschs niedriger als im Vorjahr. Die Ortsdosisleistung an den Dampferzeugern ist im Vergleich zum Vorjahr um rund 3 % gefallen und liegt mit 0,13 mSv/h auf sehr niedrigem Niveau.

Die Kollektivdosis für den Brennelementwechsel betrug 25 Pers.-mSv (mit elektronischen Personendosimetern ermittelt), welche während 5800 Arbeitsstunden in der kontrollierten Zone akkumuliert wurden. Die geplante Dosis von 40 Pers.-mSv wurde um 38 % unterschritten. Die 25 Pers.-mSv verteilten sich zu jeweils 50 % auf Eigen- und Fremdpersonal. Für sämtliche Arbeiten konnte die Planungs-dosis aufgrund der sehr guten radiologischen Bedingungen (z.B. niedrige Werte des Beckenwassers) sowie des reibungslosen Ablaufs der Arbeiten (Zeitersparnis) unterschritten werden. Zudem waren weniger Instandhaltungsarbeiten erforderlich als geplant.

Das ENSI konnte sich bei den durchgeführten Inspektionen davon überzeugen, dass im KKB während der Revisionsstillstände ein fachgerechter Strahlenschutz praktiziert wurde.

Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen, Iod und Edelgasen lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Grenzwerte. Dies gilt auch für die radioaktiven Abgaben mit dem Abwasser. Die für Druckwasserreaktoren typischen Tritium-Abgaben des KKB betragen rund 3 % des Jahresgrenzwerts. Die quartalsweise vom ENSI durchgeführten Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern zeigten Übereinstimmung mit den vom KKB gemeldeten Analyseergebnissen. Aus den

RDB-Deckel mit Durchführungsrohren.  
Foto: KKB





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 Dosen betragen weniger als 0,001 mSv für Erwachsene, Zehnjährige und Kleinkinder und lagen somit deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr gemäss der Richtlinie ENSI-G15. Die Dosisleistungsmesssonden des vom ENSI betriebenen Messnetzes (MADUK) in der Umgebung des Werkes zeigten keine durch den Betrieb der Anlage erhöhten Werte. Die Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD), die an ausgewählten Stellen am Zaun des Kraftwerksareals angebracht sind, liessen keine nennenswerte Erhöhung gegenüber der Untergrundstrahlung erkennen. Bei den quartalsweise vom ENSI zur Kontrolle durchgeführten Messungen an der Umzäunung des KKB wurden ebenfalls keine signifikanten Erhöhungen gegenüber der Untergrundstrahlung festgestellt. Die nach Artikel 102 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerksareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche wurden eingehalten. Für detailliertere Angaben zur radiologischen Situation innerhalb und ausserhalb der Anlage Beznau wird auf den Strahlenschutzbericht 2016 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 32 m<sup>3</sup> radioaktive Rohabfälle an (vgl. Tabelle 6). Die Menge radioaktiver Rohabfälle entsprach dem aufgrund der durchgeführten Arbeiten zu erwartenden Umfang. Die radioaktiven Rohabfälle werden gesammelt, kampagnenweise konditioniert und anschliessend zwischengelagert. Die im KKB vorhandenen unkonditionierten Abfälle werden in dafür vorgesehenen Räumlichkeiten in den Nebenanlagengebäuden und im ZWIBEZ aufbewahrt. Ihr Bestand liegt mit 150 m<sup>3</sup> im Erfahrungsbereich der vergangenen Jahre. 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 19 Gebinde mit Schlämmen konditioniert. Die konditionierten Abfallgebinde werden in das Rückstandslager und in das SAA-Lager des ZWIBEZ eingelagert. Das KKB nutzt zudem die Kapazitäten des zentralen Zwischenlagers in Würenlingen. 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, so dass die Information über Menge, Lagerort und radiologische Eigenschaften jederzeit verfügbar ist. Ein wichtiges Element bei der Minimierung der radioaktiven Abfälle ist die Inaktiv-Freimessung von Materialien aus der kontrollierten Zone. Im KKB wurden im Berichtsjahr insgesamt 54,4 t Material freigemessen.

Bestrahlte Brennelemente des KKB werden nach einigen Jahren Lagerung im betrieblichen Brennelementbecken in Transport- und Lagerbehältern in das ZWIBEZ zur Trockenlagerung überführt. Im Jahr 2016 fanden zwei derartige Transporte aus Block 1 und 2 statt.

Weitere Information zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente sowie zu Wiederaufarbeitungsabfällen findet sich für alle Werke 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 und einer entsprechenden Auslegung der Anlage hat das Werk die Notfallbereitschaft auf hohem Niveau sicherzustellen.

Das ENSI hat im September 2016 anlässlich der Werksnotfallübung IGNAVIS die Notfallorganisation beobachtet und beurteilt. Der Übung wurde ein Szenario zugrunde gelegt, bei dem eine Frachtmachine bei einer versuchten Notlandung auf das Kraftwerksareal abstürzte. Dabei wurden neben Anlageteilen auch beide Kommandoräume zerstört. Der Pikettingenieur und die Notfallorganisation wurden dadurch mit einer ausserordentlichen Situation konfrontiert, bei der die gewohnten Abläufe, Ansprechpartner und Einrichtungen zur Erfassung des Anlagezustandes un verfügbar waren. Die Übung war durch eine anfänglich sehr

unübersichtliche Lage, herausfordernde Stabsarbeit sowie anspruchsvolle Öffentlichkeitsarbeit geprägt. Verbesserungsbedarf zeigte sich sowohl aus Sicht des ENSI wie auch der KKB-Übungsleitung insbesondere bei der raschen Alarmierung des ENSI. Das KKB setzte die Verbesserungsmaßnahmen unmittelbar im Anschluss an die Übung um. Das Ereignis wurde anhand der im Mai 2016 neu eingeführten IAEA-kompatiblen Notfallklassierung korrekt eingestuft. Im Laufe der Übung erfolgte im Notfallstab periodisch eine Überprüfung dieser Klassierung. Insgesamt hat das KKB zahlreiche Optimierungsvorschläge sowohl zur Notfallorganisation wie auch zu künftigen Notfallübungen identifiziert, die sich aus der komplexen Übung ergeben haben. Diese werden im Rahmen von etablierten Abläufen auf Umsetzbarkeit überprüft werden. Aufgrund seiner Übungsbeobachtungen kam das ENSI zum Schluss, dass die Ziele gemäss der Richtlinie ENSI-B11 erreicht wurden. Das KKB verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.

Eine Inspektion im November 2016 hat zudem gezeigt, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit sind. Ferner löste das ENSI im September 2016 ohne Voranmeldung einen Übungsalarm im KKB aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Notfallstabs gemäss Richtlinie ENSI-B11 bestätigt wurde.

## 1.7 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr hat sich der Personalbestand des KKB auf 483 Personen, welche 475 Vollzeitstellen besetzen, reduziert (Ende 2015: 511). Der im Rahmen des Generationswechsels erforderliche Know-how-Transfer, unter Berücksichtigung notwendiger Überlappungszeiten, ist im KKB weitgehend abgeschlossen. Die Stellenreduktion erfolgte u.a. durch Entfall von Stellen, welche im Rahmen der Umsetzung der Grossprojekte des KKB geschaffen worden waren. Angesichts der laufenden Massnahmen der Axpo zur Reduktion der Produktionskosten des KKB wird das ENSI im Rahmen seiner Aufsicht darauf achten, dass die Vorgaben von Artikel 30 der Kernenergieverordnung und Kapitel 5 der Richtlinie ENSI-G07 durch den Bewilligungsinhaber weiterhin erfüllt werden. Aufgrund der weiteren Bündelung von Dienstleistungen im Axpo-Konzern wurde das KKB aufgefordert, die von Organisationseinheiten des Axpo-Konzerns zu erbringenden Dienstleistungen zur Gewährleistung der Sicherheit der Kernan-

lage dahingehend zu überprüfen, dass diese im Normalbetrieb sowie in Stör- und Notfallsituationen dem KKB zur Verfügung gestellt werden können. Das KKB hat im Jahr 2016 keine grösseren organisatorischen Änderungen vorgenommen.

Das Managementsystem des KKB besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2008. Das ENSI führte eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Änderungsmanagement durch. Es wurde überprüft, ob die Organisation der Kernanlage die Abläufe und Vorgaben bei technischen und organisatorischen Änderungen klar, kohärent, angemessen detailliert und verbindlich geregelt hat sowie ob die Auswirkungen auf Mensch, Technik und Organisation und auf deren Wechselwirkungen berücksichtigt wurden. Die entsprechenden Anforderungen wurden erfüllt.

Im Berichtsjahr bestanden drei Reaktoroperateur-Anwärter die Abschlussprüfung der kerntechnischen Grundlagenausbildung an der Reaktorschule des PSI. Dies ist eine Voraussetzung für die weitere Ausbildung und spätere Zulassungsprüfung zum Reaktoroperateur. Die Ausbildung vermittelt die erforderlichen theoretischen Kenntnisse auf den Gebieten der thermischen Kraftwerkstechnik, Nuklearphysik, Reaktortechnik und des Strahlenschutzes. Zwei Reaktoroperateure sowie ein Pickettingenieur des KKB 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 hat eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2015 und der Planung des Ausbildungsprogramms 2016 der Abteilung Betrieb durchgeführt. Gegenstand der Inspektion waren die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator und die allgemeine Wiederholungsschulung sowie deren Änderungen und Neuerungen. Ferner wurden die Ausbildung des Personals der Abteilung Maschinenteknik auf Einhaltung der Vorgaben der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen und der Richtlinie ENSI-B10 überprüft. Die Ausbildungsprogramme des KKB in den inspizierten Bereichen erfüllen die Anforderungen.

## 1.8 Periodische Sicherheitsüberprüfung

Das ENSI hat im Berichtsjahr eine Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) des KKB veröffentlicht. Diese PSÜ behandelt sowohl das KKB als auch das Zwischenlager Beznau (ZWIBEZ). In seiner Stellungnahme kam das ENSI zum Schluss, dass beide die Anforderungen für den laufenden Betrieb im Wesentlichen erfüllen. Es stellte jedoch punktuellen Verbesserungsbedarf fest. Dieser betraf beim KKB den Nachweis und die Sicherstellung einer hohen Qualität, die technischen Störfallanalysen, die radiologischen Analysen von Auslegungstörfällen, die Alterungsüberwachung, die probabilistischen Sicherheitsanalysen, die Störfallvorsorge, die Unfallbegrenzungsrichtlinien, die Transport- und Lagerfähigkeit von Transport- und Lagerbehältern und das Löschwasserrückhaltekonzept. Beim ZWIBEZ betraf der Verbesserungsbedarf den Nachweis und die Sicherstellung einer hohen Qualität, technische Störfallanalysen und den Sicherheitsbericht. Übergeordnet stellte das ENSI fest, dass für das KKB zum Zeitpunkt der Einreichung der PSÜ-Unterlagen der Sicherheitsnachweis für den Langzeitbetrieb nicht aktualisiert worden war.

## 1.9 Sicherheitsbewertung

### 1.9.1 Block 1

Im Jahr 2016 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). Da die Bewertung der Befunde im RDB Ende des Berichtsjahrs noch ausstehend war, kann sie in der nachfolgenden Matrix nicht berücksichtigt werden. Dabei kam das ENSI für die einzelnen Zellen der Sicherheitsbewertungsmatrix zu folgenden zusammenfassenden Beurteilungen: Zellen ohne Bewertung bedeuten, dass weder Inspektionsergebnisse, Zulassungsprüfungen, Vorkommnisse noch Sicherheitsindikatoren eine Bedeutung für diese Zellen hatten. Die Zellenbewertungen richten sich nach der höchsten einer Zelle zugeordneten Bewertung eines Sachverhalts. Der der Kategorie A (Abweichung) zugeordnete Sachverhalt ist im Unterkapitel 1.2 dargestellt.

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

### Sicherheitsbewertung 2016 KKB1: Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge

In dieser Darstellung nicht enthalten ist die Bewertung der bewertungspflichtigen Anzeigen am Reaktordruckbehälter, da diese bis zum Redaktionsschluss des Aufsichtsberichts noch nicht vorlag. Die von dieser Bewertung abhängige Tabellenzelle ist grau dargestellt.

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

### Sicherheitsbewertung 2016 KKB1: Schutzziel-Perspektive

Anmerkung: alternative Darstellung derselben Sachverhalte wie in der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge, aber mit zusätzlicher Darstellung radiologischer Auswirkungen. Auch in dieser Darstellung ist die Bewertung der bewertungspflichtigen Anzeigen am Reaktordruckbehälter nicht enthalten, da diese bis zum Redaktionsschluss des Aufsichtsberichts noch nicht vorlag. Die von dieser Bewertung abhängigen Tabellenzellen sind grau dargestellt.

Für den Block 1 wird angesichts der noch offenen Bewertung der Befunde am RDB auf eine zusammenfassende Beurteilung verzichtet.

### 1.9.2 Block 2

Im Jahr 2016 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:

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 und die in Kap. 1.2 beschriebene Abweichung im Bereich der Betriebsvorgaben als Abweichung mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit beurteilt wird, bewertet das ENSI 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 Kapitel 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

Es liegen keine Bewertungen der Kategorien A und höher vor. Aufgrund des Verhaltens der Organisation im Rahmen der laufenden Personalreduktion und Restrukturierungen sowie des Vorgehens bei der Ermittlung der Ursachen von Vorkommnissen bewertet das ENSI die Sicherheit des Blocks 2 des KKB hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als gut und nicht als hoch.

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

Sicherheitsbewertung 2016 KKB2:  
Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge

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

Sicherheitsbewertung 2016 KKB2: Schutzziel-Perspektive  
Anmerkung: alternative Darstellung derselben Sachverhalte wie in der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge, aber mit zusätzlicher Darstellung radiologischer Auswirkungen





*Kernkraftwerk  
Mühleberg.  
Foto: KKM*

## 2. Kernkraftwerk Mühleberg

### 2.1 Überblick

Im Betriebsjahr 2016 waren im Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) neben dem geplanten Revisionsstillstand mit Brennelementwechsel keine automatischen Reaktorschnellabschaltungen und auch keine ungeplanten Leistungsreduktionen zu verzeichnen. Wegen einer Brennstabhüllrohr-Leckage wurde die Anlage ab Ende Mai bis zum Beginn des Revisionsstillstands nicht mit Volllast betrieben. Das ENSI stellt fest, dass die bewilligten Betriebsbedingungen im Betriebsjahr 2016 immer eingehalten wurden. Das ENSI beurteilt die Sicherheit des KKM im Jahr 2016 hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als gut, hinsichtlich des Betriebsvorgaben als hoch, hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut und hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als hoch. Das KKM, welches seinen kommerziellen Betrieb im Jahr 1972 aufnahm, ist eine Siedewasserre-

aktor-Anlage mit 373 MW elektrischer Nettoleistung. Weitere Daten sind in den Tabellen 1 und 2 des Anhangs zu finden. Figur 5b zeigt das Funktionsschema einer Siedewasserreaktor-Anlage. Im Berichtsjahr waren im KKM drei meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen, welche das ENSI auf der internationalen Ereignisskala INES alle der Stufe 0 zuordnete.

Das ENSI hat im Rahmen seiner Aufsichtstätigkeit 98 Inspektionen durchgeführt. Wo erforderlich, verlangte das ENSI Verbesserungsmaßnahmen und überwachte deren Umsetzung. Während des Revisionsstillstands vom 14. August bis 9. September 2016 wurden neben dem Brennelementwechsel und den üblichen Revisionsarbeiten umfangreiche Wiederholungsprüfungen durchgeführt. Dabei wurden keine Befunde festgestellt, die einem sicheren Betrieb entgegenstanden.

Im Berichtsjahr ist ein Brennelementschaden aufgetreten. Die gemessenen Aktivitätswerte während



des vergangenen Zyklus und beim Abfahren am Zyklusende deuteten auf einen defekten Brennstab im Kern hin. Um das defekte Brennelement zu lokalisieren, wurde in der Jahresrevision 2016 eine Dichtheitsprüfung aller Brennelemente im Kern durchgeführt und das schadhafte Brennelement identifiziert. Bei der nachfolgenden Inspektion des betroffenen Brennelementes wurde ein defekter Brennstab gefunden. Das defekte Brennelement war in diesem Zyklus zum ersten Mal im Reaktorkern und wurde nicht wieder eingesetzt.

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.

Das KKM hat im Berichtsjahr keine grösseren Anpassungen seiner Organisation vorgenommen.

Nach dem Entscheid der BKW, das KKM Ende 2019 endgültig ausser Betrieb zu nehmen, wurde das ursprüngliche Nachrüstprogramm, welches auf einen unbefristeten Langzeitbetrieb ausgerichtet war, nicht umgesetzt. Das ENSI hatte im Januar 2015 zum vom KKM unter Berücksichtigung der geänderten Situation neu geplanten weiteren Vorgehen Stellung genommen und zehn Forderungen (EABN2019-Forderungen 1 bis 10) erhoben.

Im Dezember 2015 hatte das ENSI drei noch nicht oder noch nicht vollständig umgesetzte sowie zwei in jeder Jahresrevision neu zu erfüllende EABN-

Forderungen formell verfügt. Das ENSI forderte jährliche Kernmantelüberprüfungen (Forderung 1) inkl. Bewertung (Forderung 2) sowie folgende drei Nachrüstungen:

- Erweiterung der Speisewasserleitungsbruch-Logik gegen interne Überflutung (Forderung 3)
- Zusätzliche Brennelementbecken-Notfallkühlung und deren Ausbau zu einem Sicherheitssystem (Forderung 4)
- Zusätzliche Niederdruckeinspeisung in den RDB (Forderung 5)

Das KKM hat die Erweiterung der Speisewasserleitungsbruch-Logik sowie die Nachrüstung einer Niederdruck-Noteinspeisung termingerecht in der Jahresrevision 2016 realisiert. Die Nachrüstung der Brennelementbecken-Notfallkühlung verläuft planmässig (siehe Kap. 2.3.2).

Vor dem Hintergrund der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs im Jahr 2019 hat das ENSI zehn Forderungen verfügt, mit dem Ziel, Umfang und zeitliche Staffelung der für die Etablierung und Aufrechterhaltung eines sicheren technischen Nachbetriebs erforderlichen Massnahmen festzulegen. Weitere Ausführungen zur Vorbereitung der Stilllegung des KKM finden sich in Kapitel 2.9.

## 2.2 Betriebsgeschehen

Das KKM erreichte im Berichtsjahr eine Arbeitsausnutzung von 89,8 % und eine Zeitverfügbarkeit von 92,9 %. Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnut-

BE-Becken-Notkühlung.  
Foto: KKM



zung der letzten zehn Jahre sind in Figur 1 dargestellt. Die Nichtverfügbarkeit der Anlage war hauptsächlich durch den Revisionsstillstand bedingt.

Die ausgekoppelte thermische Energie für die Heizung der Wohnsiedlung Steinriesel belief sich auf 1,6 GWh.

Zur Durchführung von Wiederholungsprüfungen und Instandhaltungsarbeiten erfolgten geplante Leistungsabsenkungen. Im Jahr 2016 kam es zu keiner automatischen Schnellabschaltung und auch zu keiner ungeplanten automatischen Leistungsreduktion. Wegen einer Brennstabhüllrohr-Leckage wurde die Anlage jedoch ab Ende Mai bis zum Revisionsstillstand nicht mit Volllast betrieben. Der Produktionsverlust infolge der Brennstabhüllrohr-Leckage entsprach ungefähr fünf Volllasttagen. Weitere Leistungsreduktionen erfolgten auf Anforderung des Lastverteilers.

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

Bedingt durch Anlageertüchtigungen (siehe Kap. 2.3.2 Anlageänderungen), welche insbesondere aus den Forderungen des ENSI zum Weiterbetrieb des KKM bis zur endgültigen Ausserbetriebnahme im Jahr 2019 (EABN2019) resultieren, wurden verschiedene betriebliche Tests durchgeführt:

- Das KKM hat die Funktionstüchtigkeit der optimierten Leckageüberwachung in den Einspeiseleitungen des Reaktorkernisolations-Kühlsystems (RCIC) mit einem umfassenden Test nachgewiesen (siehe Kap. 2.3.2).
- Die Nachrüstung einer zusätzlichen RDB-Niederdruck-Notfalleinspeisung wurde in der Jahresrevision 2016 mit den Inbetriebnahmetests abgeschlossen. Ziel dieser Tests war die Einstellung und Überprüfung des neuen Systems mit unterschiedlichen Fahrweisen und Wasserquellen (Hochreservoir und CWS-Kühlwassersystem). Es wurde gezeigt, dass die spezifizierten Einspeisemengen in den RDB bereitgestellt werden können (siehe Kap. 2.3.2).
- Mit einem Test wurde die Funktionsfähigkeit der unterbruchlosen Stromversorgung der sicheren Schienen S1 und S2 nach Ausfall der Gleichrichter und Zuschaltung der Notschmieröl- und Notdichtölpumpen nachgewiesen.

Im Berichtsjahr waren drei meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen, welche das ENSI alle auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 0 zuordnete. Für die risikotechnische Beurteilung wird auf Kapitel 10 verwiesen.

- Ein defektes Relais führte am 11. März 2016 zu falschen Alarmen im Bereich der Speisewasserregelventile und zur Umschaltung auf Handsteuerung. Für den normalen Volllastbetrieb hatte das Vorkommnis keine direkte Bedeutung, da die Regelung der Speisewassermenge im Leistungsbetrieb über die Pumpendrehzahl erfolgt. Wäre jedoch eine Mengenreduktion ausserhalb des Regelbereichs über die Pumpendrehzahl erforderlich gewesen, wäre diese nicht automatisch erfolgt. Mit den voll geöffneten, auf Handsteuerung geschalteten Speisewasserregelventilen stand der automatische Überflutungsschutz für das Reaktorgebäude nicht zur Verfügung. Nach Ersatz des betroffenen Relais funktionierte die Speisewasserregelung innerhalb der von der Technischen Spezifikation vorgegebenen Frist wieder normal.

Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Störung im Speisewasserregelsystem der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

- Am 11. Mai 2016 wurde bei der täglichen Analyse der Abgasproben aus den Hauptkondensatoren ein Anstieg der Edelgasaktivität festgestellt. Das Isotopenverhältnis Xe-133 zu Xe-135 wies auf eine Leckage an einem Brennstabhüllrohr hin. Die Analyse des Reaktorwassers ergab keine Anzeichen für einen Austritt von Brennstoff. Die begrenzenden Betriebsbedingungen der Technischen Spezifikation wurden eingehalten. Der defekte Brennstab wurde in der Jahresrevision 2016 identifiziert und in einen Einzelstabbehälter eingelagert. Als Ursache für die Beschädigung wurde Reibung durch einen unbekanntem Fremdkörper ermittelt. Das betroffene Brennelement wurde nicht wieder in den Kern eingesetzt.

Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Leckage des Brennstabhüllrohrs der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die 1. Barriere und das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe».

- Am 25. Juni 2016 kam es zu einem Ausfall einer der beiden Edelgasmessungen im Kamin. Die Edelgasmessungen sind Teil der kontinuierlichen Fortluftüberwachung. Die Störung konnte in-

nerhalb von zwei Stunden und damit innerhalb der von der Technischen Spezifikation gesetzten Frist, durch Rücksetzen der Instrumentierung behoben werden. Die redundante Edelgasmessung stand zu jedem Zeitpunkt zur Verfügung. Die Ursachenanalyse zeigte ein nicht voll funktionstüchtiges Netzgerät, das am 14. Juli 2016 ersetzt wurde.

Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Ausfall der zweiten Kamin-Edelgasmessung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – 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».

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 Anlagetechnik

### 2.3.1 Revisionsarbeiten

Die Revision dauerte vom 14. August bis 9. September 2016. Während dieser Zeit wurden geplante Tätigkeiten wie Brennelementwechsel und Brennelementinspektionen, Inspektionen elektrischer und mechanischer Einrichtungen, zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen, wiederkehrende Funktionsprüfungen an Komponenten und Systemen sowie Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten durchgeführt.

Schwerpunkte bei den Wiederholungsprüfungen an mechanischen Komponenten waren visuelle Prüfungen des Kernmantels sowie dessen Abstützkonstruktion, mechanisierte Ultraschallprüfungen von Stützeninnenkanten und Stützeinschweissnähten am RDB, manuelle Ultraschall- und Oberflächenrissprüfungen an Rohrleitungsschweissnähten sowie Wanddickenmessungen am Kernsprühsystem und am Primärcontainment.

Folgende Prüfungen sind hervorzuheben:

- Die im Jahr 2014 detektierten vertikalen Anrisse quer zu einer horizontalen Schweissnaht wurden mit einem qualifizierten Prüfsystem erneut visuell inspiziert. Alle Rissanzeigen wiesen keinerlei Veränderung gegenüber der 2015 durchgeführten Prüfung auf. Die für alle relevanten Störfallkombinationen ermittelten Spannungs-

intensitätsfaktoren lagen deutlich unter dem vom ENSI definierten Maximalwert. Alle Befunde wurden bewertet und sind gemäss den bruchmechanischen Berechnungen zulässig. Die Kriterien für den sicheren Weiterbetrieb des Kernmantels, die im Rahmen der Verfügung zur Restlaufzeit des KKM vom ENSI im Jahr 2015 festgelegt wurden, sind erfüllt.

- Besonderes Augenmerk galt der visuellen Inspektion der Kernmantelabstützung einschliesslich der Schweissnähte zum RDB. Die Inspektion wurde mit einem mit Unterwasserkameras ausgerüsteten Prüfroboter nach einem verifizierten Verfahren durchgeführt. Es wurden keine bewertungspflichtigen Auffälligkeiten oder Beschädigungen festgestellt.
  - Auch in diesem Jahr wurden umfangreiche visuelle Prüfungen der Einbauten im RDB vorgenommen. Dabei wurden auch die bekannten Befunde am Wasserabscheider einer erneuten Prüfung unterzogen. Diese zeigten keinerlei Veränderungen. Der erbrachte Sicherheitsnachweis behält daher weiterhin seine Gültigkeit. Neue Befunde ergaben sich nicht.
  - Am RDB wurden die Einschweissnähte und Innenkanten von drei Stützen mit Ultraschall geprüft. Die Prüfung war ursprünglich für die Revision 2015 geplant, musste aber aufgrund einer Fehlfunktion des Manipulators um ein Jahr verschoben werden. Der SVTI hat den Prüfablaufplan, der von der Prüffirma erstellt wurde und der die wichtigsten Kontrollschritte enthält, geprüft und akzeptiert. Während der gesamten Prüfdauer hat der SVTI die Prüfungen begleitet und an der Auswertung der Prüfungen teilgenommen. Es wurden keine bewertungspflichtigen Anzeigen gefunden.
  - Am Kernsprühsystem sowie am Primärcontainment wurden zahlreiche Wanddickenmessungen durchgeführt. Sämtliche gemessenen Wandstärken erfüllten die Anforderungen. An einer Druckleitung des Kernsprühsystems wurde ein bewertungspflichtiger Befund festgestellt. Die berechnete Mindestwanddicke wurde nicht unterschritten. Der betroffene Rohrbogen wird in der Jahresrevision 2017 erneut geprüft.
  - An diversen Rohrleitungsschweissnähten wurden manuelle Ultraschallprüfungen sowie Oberflächenrissprüfungen durchgeführt. Es wurden keine bewertungspflichtigen Anzeigen gefunden.
- Schwerpunkte des diesjährigen Wiederholungsprüfprogramms an elektrischen und leittechnischen Ausrüstungen waren die Prüfungen an den





BE-Lademaschine.  
Foto: KKM

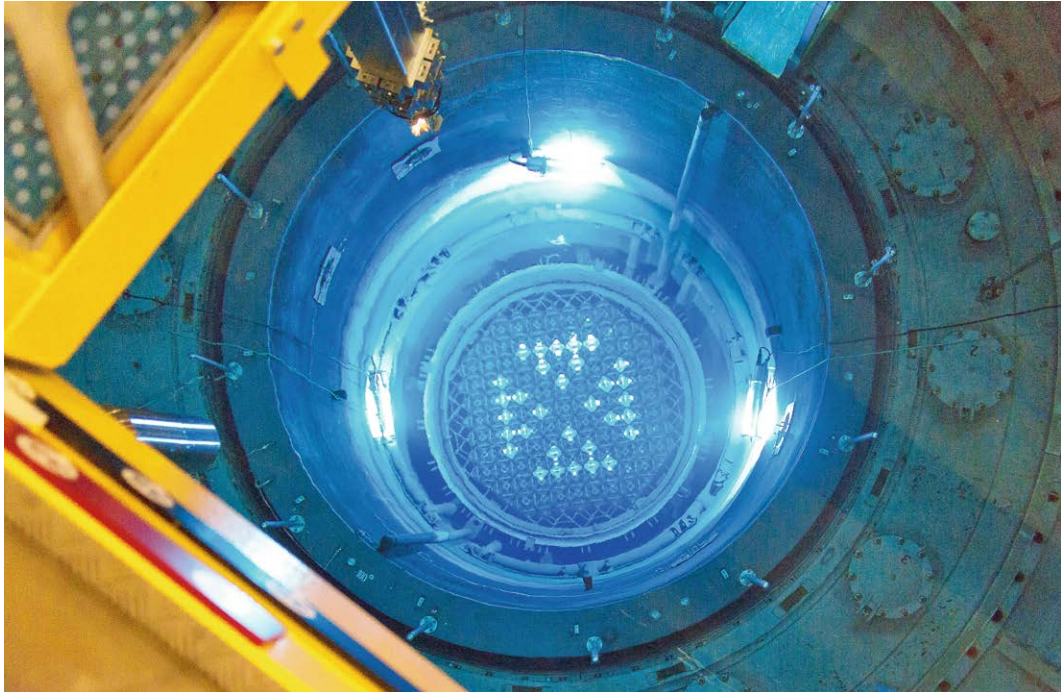
Umrichtern der Umwälz-, Speisewasser- und Hauptkühlwasserpumpenmotoren sowie an den Block-, Erreger- und Eigenbedarfstransformatoren, am Anfahrtransformator und an diversen Leistungsschaltern der 380-V- und 6-kV-Schaltanlagen. Im Bereich der Grosskomponenten erfolgten die Wartung und Inspektion an beiden Generatorlastschaltern. Im leittechnischen Bereich sind die wiederkehrenden Prüfungen aller Kanäle der Nuklearinstrumentierung, der Leittechnik einer Notabluft-Division, des SUSAN sowie zweier Redundanzen des Reaktorschutzes und die Sensortests zu nennen.

Im Rahmen des periodischen Erneuerungsprogramms wurden die 125-V-Batterie eines Strangs sowie jene einer USV-Anlage des Reaktorschutzes ersetzt. Mit der Überprüfung sämtlicher Ladegleich- und Wechselrichter in den 24-V- und 125-V-DC-Anlagen der Stränge I und II sowie der 24-V- und 110-V-DC-Anlagen der Stränge III und IV wurde die zuverlässige Funktion der USV-Installationen aufgezeigt. In diesem Zusammenhang wurden auch die 24-V- und 110-V-Gleichrichter zur Versorgung der Gleichspannungsschienen einer SUSAN-Division wie geplant ausgetauscht. Um die Verfügbarkeit von Ersatzteilen auch zukünftig sicherzustellen, erfolgte zudem in dieser Division ein Austausch der Hardware-Komponenten des Systems zur Überwachung des Reaktorniveaus und im Rahmen des Alterungsüberwachungsprogramms (AÜP) die Ertüchtigung von 40 Iskamatic- und 8 Decontic-Baugruppen.

### 2.3.2 Anlageänderungen

Zur Erfüllung der Verfügung vom 3. Dezember 2015 wurden folgende drei Nachrüstungen vorgenommen:

- Erweiterung der bisherigen Speisewasserleitungsbruch-Logik: Die in der letztjährigen Jahresrevision begonnenen Arbeiten zur Optimierung der Leckageüberwachung in den Einspeiseleitungen des Reaktorkernisolations-Kühlsystems (RCIC) fanden in der Jahresrevision 2016 ihren Abschluss. Bei einer Leckage im Bereich der RCIC-Anbindungen in die Speisewasserleitungen werden die Speisewasserregelventile automatisch geschlossen. Die Funktionstüchtigkeit dieser Erweiterung wurde nachgewiesen. Mit dieser Massnahme ist das KKM der Forderung 3 der Verfügung vom 3. Dezember 2015 nachgekommen.
- Automatisches, erdbeben- und überflutungssicheres RDB-Niederdruck-Notfalleinspeisesystem: Mit der Realisierung dieses Systems ist das KKM der Forderung 5 gemäss der Verfügung vom 3. Dezember 2015 nachgekommen. Damit wird die Nachwärmeabfuhr bei einem postulierten Anforderungsfall, unter Annahme eines Ausfalls der Sicherheitssysteme auf Kote -11 m im Reaktorgebäude, zusammen mit dem vorhandenen Containment-Druckentlastungssystem, sichergestellt. Das System besteht im Wesentlichen aus einer von einem Dieselmotor angetriebenen Pumpe, Rohrleitungen sowie Armaturen mit elektrischem Stellantrieb.



- Brennelementbecken-Notfallkühlung: Die Umsetzung dieser Nachrüstungsmaßnahme zur Erfüllung eines Teils der Forderung 4 gemäss der Verfügung vom 3. Dezember 2015 verlief planmässig. Zur Abfuhr der Nachzerfallswärme aus dem Brennelement-Lagerbecken wurde ein zusätzliches Notfallkühlsystem installiert. In bestehenden Brennelement-Lagergestellen, im Randbereich des Brennelement-Lagerbeckens, wurden Eintauchkühler mit der Aussenkontur eines Brennelementes eingeschoben. Die Eintauchkühler sind einzeln über flexible Vor- und Rücklaufleitungen an einen Kühlwasserkollektor am Beckenrand angeschlossen. Die Brennelementbecken-Notfallkühlung verfügt über eine unabhängige Wasserzufuhr. Der hydraulische Funktionsnachweis fand im Dezember 2016 statt.

Weitere nennenswerte Anlageänderungen und Instandhaltungsarbeiten, welche in der Jahresrevision 2016 umgesetzt wurden, sind:

- Im Jahr 2015 waren in den Abblaseleitungen der Sicherheits- und Abblaseventile palladiumbeschichtete Spezialschrauben eingesetzt worden. Ihre autokatalytische Wirkung dient der Rekombination von wasserstoffhaltigen Radiolysegasen, die durch geringfügige Leckagen der Ventile in die Abblaseleitungen gelangen könnten. Zwei der insgesamt zwölf Schrauben wurden in der Jahresrevision 2016 einer visuellen Kontrolle unterzogen und anschliessend durch neue Schrauben ersetzt. Aufgrund der Ergebnisse

wurden die Austauschzyklen für die katalytischen Sonderschrauben festgelegt und in die Instandhaltungsdokumente aufgenommen.

- Zur Optimierung des Strömungswiderstandes im Ansaugbereich der Kühlwasserpumpen (CWS-Pumpen) wurden die Schmutzfängergehäuse durch gerade Rohrstücke ersetzt.
- Im Rahmen des Projekts zur Erhöhung der Sicherheitsmargen bei Erdbeben und externer Überflutung wurde die elektrische Anspeisung einer äusseren Isolationsarmatur des Reaktorwasserreinigungssystems von einer dieselgestützten Schiene auf eine batteriegestützte Wechselrichterschiene geändert.
- Die Gleichrichter zur Versorgung der Gleichspannungsschienen einer SUSAN-Division wurden im Rahmen der präventiven Instandhaltung ersetzt. Die neuen Geräte sind für die heute gültigen Erdbebenspektren gebaut und entsprechen dem Stand der Technik. Dadurch kann die Versorgung der Leittechnik bei Netzausfall sicher gewährleistet werden.

### 2.3.3 Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente

Im August 2016 wurde der 43. Betriebszyklus des KKM planmässig abgeschlossen. Aufgrund der gemessenen Aktivitätswerte während des 43. Zyklus konnte auf eine Brennstabhüllrohr-Leckage geschlossen werden. Nach dem Abfahren der Anlage bestätigte die Dichtheitsprüfung aller Brennele-



mente im Kern ein defektes Brennelement des Typs GNF2. Das Brennelement wurde inspiziert, wobei ein einzelner Brennstab mit einem Defekt gefunden wurde. Die Ursache des Defekts wurde auf Fremdkörperreibung (Fretting) zurückgeführt. Der betroffene Stab wurde nach einer Freigabe des ENSI aus dem Brennelement entfernt und in einen Einzelstabbehälter eingelagert. Alle übrigen eingesetzten Brennelemente zeigten ein bestimmungsgemässes Betriebsverhalten. Die visuellen Inspektionen bestätigten erneut, dass die Edelmetalleinspeisung in das Kühlmittel (vgl. Kap. 2.4) keinen negativen Einfluss auf die Brennstab-Hüllrohre oder die Strukturteile der Brennelemente hat. Für den 44. Betriebszyklus setzte das KKM insgesamt 32 frische Brennelemente des Typs GNF2 ein. Damit wird der Reaktorkern weiterhin ausschliesslich mit GNF2-Brennelementen betrieben. Nach bisheriger positiver Betriebserfahrung wurden vier Brennelemente mit Kästen aus dem weiterentwickelten Material NSF sowie zwei Steuerelemente des Typs Marathon Ultra MD weiterhin als Vorläufer eingesetzt. Das ENSI überzeugte sich davon, dass nur freigegebene und den Qualitätsanforderungen entsprechende Brennelemente geladen wurden und alle Sicherheitsmassnahmen während des Brennelementwechsels den Vorgaben entsprechen. Der vom ENSI geprüfte Beladepfad des Reaktorkerns erfüllte die Sicherheitsanforderungen. Im Berichtszeitraum ist der Reaktorkern auslegungsgemäss und im bewilligten Rahmen betrieben worden. Die Ergebnisse der reaktorphysikalischen Messungen stimmten gut mit den Ergebnissen der Kernauslegungsberechnungen überein.

## 2.4 Strahlenschutz

Im Jahr 2016 betrug die akkumulierte Kollektivdosis für das KKM 664 Pers.-mSv. Die maximale Individualdosis lag mit 7,2 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. Während des Betriebs wurden Anzeichen für eine Brennstabhüllrohr-Leckage festgestellt, was zu entsprechenden Vorbereitungs- und Schutzmassnahmen im Zusammenhang mit dem Abfahren der Anlage zur Jahresrevision führte.

Die Kollektivdosis aller Mitarbeiter im Revisionsstillstand 2016 lag bei 509,3 Pers.-mSv (EPD-Wert).

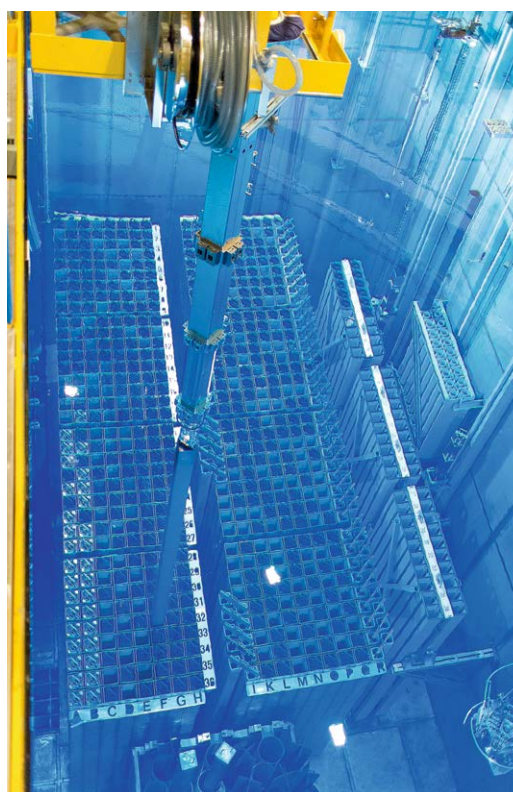
Der vom KKM vor Beginn der Arbeiten geschätzte Wert lag bei 655 Pers.-mSv.

Die mittlere Dosisleistung an den beiden Umwälzschleifen zeigt im Vergleich zu den Vorjahren mit 1,30 mSv pro Stunde im Berichtsjahr eine weitere leichte Abnahme (2015: 1,44 mSv pro Stunde). Der Höchststand im Jahr 1994 betrug 6,4 mSv pro Stunde.

Der Personalbestand des Ressorts Strahlenschutz war im Betriebsjahr angemessen und ermöglichte es, die administrativen und technischen Schutz- und Überwachungsaufgaben sicherzustellen. Zudem setzt das KKM erfahrenes und mit der Anlage vertrautes Strahlenschutzpersonal externer Firmen ein. Die regelmässigen und arbeitsbedingten Kontaminationskontrollen der Oberflächen und der Raumluft bestätigten einen radiologisch sauberen Zustand der kontrollierten Zonen im KKM. Als einzige Ausnahme wurde während Arbeiten mit einem Dichtungsflanschschutz in der Reaktorgrube kurzfristig eine erhöhte Oberflächenkontamination auf +29 m im Reaktorgebäude festgestellt.

Die Edelmetalleinspeisung wurde fortgesetzt. Gemeinsam mit der kontinuierlichen Zugabe von Wasserstoff sollen dadurch die Einbauten im Reaktordruckbehälter vor Spannungsrischkorrosion geschützt und die Kontamination der Primärkühlmittleitungen gesamthaft reduziert werden.

Während des Betriebs wurde eine Erhöhung der Xenon-133-Aktivität im Reaktorwasser festge-



Umladen von BE  
im BE-Becken.  
Foto: KKM



stellt. Daher wurde der ganze Reaktorkern auf defekte Brennelemente mittels eines Mastshippingverfahrens kontrolliert. Die Prüfung ergab, dass ein Brennelement defekt war, welches deshalb nicht mehr eingesetzt wurde. Der KKM-Strahlenschutz überwachte die Prüfarbeiten kontinuierlich und sorgte dafür, dass die erforderlichen radiologischen Schutzmassnahmen umgesetzt wurden und die strahlenschutztechnische Infrastruktur entsprechend angepasst wurde.

Die in der Berichtsperiode durch das ENSI zum Thema Strahlenschutz durchgeführten Inspektionen bestätigten, dass im KKM ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz praktiziert wird. Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen, Iod und Edelgasen lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Grenzwerte. Dies gilt auch für die radioaktiven Abgaben mit dem Abwasser einschliesslich Tritium. Die quartalsweise vom ENSI durchgeführten Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern ergaben eine Übereinstimmung mit den vom KKM gemeldeten Ergebnissen. Aus den tatsächlich über die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnet das ENSI die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKM unter konservativen, das heisst ungünstigen, Annahmen. Die berechneten Dosen betragen rund 0,003 mSv für Erwachsene sowie 0,004 mSv für Zehnjährige und Kleinkinder und liegen somit deutlich unter dem quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0,3 mSv pro

Jahr gemäss der Richtlinie ENSI-G15. Die Dosisleistungsmesssonden des vom ENSI betriebenen Messnetzes in der Umgebung des Werks (MADUK) 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 (TLD), welche an mehreren Stellen am Zaun des Kraftwerkareals die Dosis messen, zeigten mit einem Höchstwert von 1,5 mSv einschliesslich natürlicher Untergrundstrahlung im Jahr 2016 einen gegenüber dem Vorjahr vergleichbaren Wert. Bei den quartalsweise vom ENSI zur Kontrolle durchgeführten Messungen am Zaun des Kraftwerkareals wurden ebenfalls keine signifikanten Veränderungen festgestellt. Die in Artikel 102 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung vorgegebenen Immissionsgrenzwerte für Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerksareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche wurden eingehalten. Für detailliertere Angaben zur radiologischen Situation innerhalb und ausserhalb der Anlage Mühleberg wird auf den Strahlenschutzbericht 2016 des ENSI verwiesen.

## 2.5 Radioaktive Abfälle

Radioaktive Rohabfälle fallen im KKM regelmässig aus den Wasserreinigungssystemen, der Abgas- und Fortluftreinigung und als verbrauchte Brenn-



elementkästen an. Weitere Abfälle stammen aus dem Austausch von Komponenten bei Instandhaltungs-, Umbau- oder Nachrüstungsmaßnahmen und den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien. Im Berichtsjahr fielen 20 m<sup>3</sup> radioaktive Rohabfälle an (vgl. Tabelle 6). Die Abfallmenge bewegt sich in der mehrjährigen Schwankungsbreite auf einem niedrigen Niveau.

Die radioaktiven Rohabfälle werden gesammelt, kampagnenweise konditioniert und anschliessend zwischengelagert. Die im KKM vorhandenen unkonditionierten Abfälle sind in dafür vorgesehenen Räumlichkeiten der kontrollierten Zone aufbewahrt. Ihr Bestand liegt mit 53 m<sup>3</sup> im Erfahrungsbereich der vergangenen Jahre. Brennbar und weitere Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in der Plasma-Anlage 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 Harze konditioniert. Ausserdem erfolgte eine Kampagne zur Konditionierung von nicht wiederverwendbaren Brennelementkästen. Wie bisher wurden diese mit Hilfe einer hydraulischen Unterwasserschere zerschnitten, in einen Edelstahlkorb gefüllt und anschliessend zementiert. Das ENSI hat die Durchführung der Konditionierungskampagne freigegeben und das Zerschneiden der Brennelementkästen unter Wasser inspiziert.

Die konditionierten Abfallbinde werden in das werkseigene Zwischenlager eingelagert. Das KKM nutzt zudem die Kapazitäten des zentralen Zwischenlagers in Würenlingen. Die radioaktiven Abfälle des KKM sind in einem von allen schweizerischen Kernanlagen eingesetzten elektronischen Buchführungssystem erfasst, sodass die Information über Menge, Lagerort und radiologische Eigenschaften jederzeit verfügbar ist.

Ein wichtiges Element bei der Minimierung der radioaktiven Abfälle ist die Inaktiv-Freimessung von Materialien aus der kontrollierten Zone. Im KKM wurden im Berichtsjahr insgesamt 14,0 t Material freigemessen.

Weitere Information zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente sowie zu den Wiederaufarbeitungsabfällen findet sich für alle Werke 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 hat im November 2016 an der Werksnotfallübung (WNU) KALABIA die Notfallorganisation beobachtet und beurteilt. Das Übungssze-



Turbinen im Maschinenhaus.  
Foto: KKM



nario sah einen externen Stromausfall verbunden mit einem Kurzschluss auf beiden Generatoren vor. Zu einem späteren Zeitpunkt fielen weitere Systeme und Notstrom-Dieselgeneratoren aus. Die Feuerwehr errichtete eine Wassereinspeisung für das neue RDB-Niederdruck-Notfalleinspeisesystem (siehe Kapitel 2.3.2). Zwischenzeitlich durchgeführte Reparaturmassnahmen waren zeitlich gestaffelt erfolgreich, sodass nach einiger Zeit ein Notstrom-Dieselgenerator sowie das Notkühlsystem und die ursprünglich vorgesehene Einspeisemöglichkeit wieder verfügbar waren.

Die WNU KALABIA war die erste Werksnotfallübung seit der Einführung der IAEA-kompatiblen Notfallklassierung im Mai 2016. Die Übung war so angelegt, dass im Verlauf der Übung zunächst die Klasse Bereitschaft erreicht wurde. Der Notfallstab hat das Vorliegen der Kriterien für diese Klasse erkannt und zeitgerecht eine Meldung an das ENSI abgesetzt. Im Verlaufe der Übung wurde die Notfallklassierung weiter verfolgt.

Aufgrund seiner Übungsbeobachtungen kam das ENSI zum Schluss, dass die Übungsziele gemäss der Richtlinie ENSI-B11 erreicht wurden. Das KKM verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.

Eine Inspektion hat zudem gezeigt, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit sind.

Ferner löste das ENSI ohne Voranmeldung einen Übungsalarm im KKM aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabs bestätigt wurde.

## 2.7 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr hat sich der Personalbestand im KKM auf 335 Personen, welche 326 Vollzeitstellen besetzen, verringert (Ende 2015: 342). Die BKW hat die Funktionen Beschaffung, Controlling und Rechnungswesen aus dem KKM ausgelagert und konzernweit zentralisiert. Schwerpunktthema der Aufsicht im Bereich «Mensch und Organisation» ist der erforderliche Kompetenzerhalt für einen sicheren Betrieb des KKM in den letzten Betriebsjahren bis zur endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs Ende 2019.

Das Managementsystem des KKM besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2015. Das ENSI führte eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Kompetenzmanagement durch. Es wurde überprüft, ob die Organisation der Kernanlage über geeignete Abläufe und

Vorgaben zur Ermittlung der erforderlichen Kompetenzen des Eigenpersonals und die Identifikation des Bedarfs zum Kompetenzerhalt und -aufbau inklusive der Überprüfung der Wirksamkeit verfügt. Die entsprechenden Anforderungen wurden erfüllt.

Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in Tabelle 3 zusammengestellt.

Das ENSI hat eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2015 und der Planung des Ausbildungsprogramms 2016 der Abteilung Betrieb durchgeführt. Gegenstände der Inspektion waren die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator, die allgemeine Wiederholungsschulung sowie deren Änderungen und Neuerungen. Ferner wurde die Ausbildung des Personals der Abteilung Maschinentechnik auf Einhaltung der Vorgaben der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen und der Richtlinie ENSI-B10 überprüft. Die Ausbildungsprogramme des KKM in den inspizierten Bereichen erfüllen die Anforderungen.

## 2.8 Vorbereitung der Stilllegung

Im Oktober 2013 gab die BKW bekannt, dass sie das KKM im Jahr 2019 endgültig vom Netz nehmen will. Seither laufen verschiedene Vorbereitungsarbeiten im Hinblick auf die Stilllegung des Kraftwerks.

So erliess das ENSI nach der Bekanntgabe der geplanten Ausserbetriebnahme eine Verfügung, in der die BKW aufgefordert wurde, erste Angaben dazu zu liefern, welche sicherheitsrelevanten Systeme und Anlageteile des Kraftwerks für den Nachbetrieb und die Stilllegung noch benötigt werden und wie logistische Fragen im Bereich der Abfälle und des Kernbrennstoffs angegangen werden sollen.

Im Dezember 2015 hat die BKW die Unterlagen zur Erlangung der Stilllegungsverfügung dem BFE und dem ENSI zur Prüfung eingereicht. Im Berichtsjahr prüfte das ENSI das Stilllegungsprojekt im Rahmen der sicherheitstechnischen Anforderungen auf Plausibilität und Gesetzeskonformität. Im Rahmen der Detailprüfung der Unterlagen ergaben sich bei einigen Punkten Nachforderungen und zusätzlicher Abklärungsbedarf. Die ergänzenden Auskünfte wurden in Fachgesprächen erläutert und schriftlich festgehalten.

Auf Basis der von der BKW vorgelegten Projektunterlagen erstellt das ENSI ein sicherheitstechnisches Gutachten, in dem es die aus sicherheitstechnischer Sicht nötigen Auflagen für die Stilllegungsver-

fügung und die darauf aufbauenden Bewilligungsschritte der einzelnen Stilllegungsphasen vorschlägt. Das Gutachten ist eine Grundlage für den Erlass der Stilllegungsverfügung durch das UVEK.

## 2.9 Sicherheitsbewertung

Im Jahr 2016 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
<b>Ziele</b>				
<b>Ebene 1</b>	N	N	A	N
<b>Ebene 2</b>		N	A	N
<b>Ebene 3</b>	N		A	N
<b>Ebene 4</b>			V	N
<b>Ebene 5</b>			N	N
<b>Barrieren</b>				
Integrität der Brennelemente	N		A	N
Integrität des Primärkreises			N	N
Integrität des Containments			N	
<b>ebenen- oder barrierenübergreifende Bedeutung</b>		N	N	N

Sicherheitsbewertung 2016 KKM: Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge

Bewertungsgegenstand	Anforderungen		Betriebsgeschehen	
	Auslegungsvorgaben	Betriebsvorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch & Organisation
<b>Ziele</b>				
<b>Schutzziele</b>				
Kontrolle der Reaktivität			N	N
Kühlung der Brennelemente	N		A	N
Einschluss radioaktiver Stoffe	N		A	N
Begrenzung der Strahlenexposition		N	A	N
<b>schutzzielübergreifende Bedeutung</b>		N	N	N

Sicherheitsbewertung 2016 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 den Kategorien A (Abweichung) zugeordneten Sachverhalte sind im Unterkapitel 2.2 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 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 in Kap. 2.2 beschriebenen Abweichungen im Bereich des Zustands und Verhaltens der Anlage als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Weil Bewertungen der Kategorie A unterhalb der internationalen Ereignisskala INES liegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKM 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 KKM hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als hoch.





Kernkraftwerk Gösgen.  
Foto: KKG

## 3. Kernkraftwerk Gösgen

### 3.1 Überblick

Im Betriebsjahr 2016 wurde der Volllastbetrieb des Kernkraftwerks Gösgen (KKG) neben dem geplanten Revisionsstillstand zweimal störungsbedingt und einmal geplant unterbrochen. Es war keine Reaktorschnellabschaltung zu verzeichnen. Das ENSI stellt fest, dass die bewilligten Betriebsbedingungen immer eingehalten wurden. Das ENSI beurteilt die Sicherheit des KKG im Jahr 2016 hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als hoch, hinsichtlich der Betriebsvorgaben als hoch, hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut und hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als 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 Anhangs zusammen-

gestellt. Figur 5a zeigt das Funktionsschema einer Druckwasserreaktor-Anlage.

Im Berichtsjahr waren im KKG zwölf meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen, die das ENSI auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 0 zuordnete. Das ENSI hat im Rahmen seiner Aufsicht 102 Inspektionen durchgeführt. Wo erforderlich verlangte das ENSI Verbesserungen und überwachte deren Umsetzung. Der Revisionsstillstand dauerte vom 4. bis 26. Juni 2016. Neben Brennelementwechsel sowie Prüfungen und Inspektionen an Komponenten und Systemen wurden Änderungsarbeiten durchgeführt. Es wurden keine Befunde festgestellt, die einem sicheren Betrieb entgegenstehen. Die Messwerte der kontinuierlichen Überwachung der Primärkühlmittelaktivität zeigten keine Anzeichen für Brennstabdefekte. Die Kollektivdosis war im Revisionsstillstand und im Verlauf des ganzen Betriebsjahrs tief. Die für berufliche strahlenexponierte Personen geltenden Dosis-



grenzwerte wurden eingehalten. Die Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung lagen unter den behördlich festgelegten Grenzwerten. Die dadurch verursachten zusätzlichen Strahlendosen für die Bevölkerung sind verglichen mit der natürlichen Strahlenexposition unbedeutend.

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

Das KKG hat im Berichtsjahr keine grösseren Organisationsänderungen vorgenommen. Im Berichtsjahr legten drei Schichtchefs und sechs Reaktoroperatoren ihre Zulassungsprüfung mit Erfolg ab. Zwei Reaktoroperator-Anwärter absolvierten die kerntechnische Grundlagenausbildung an der Reaktorschule des PSI erfolgreich.

### 3.2 Betriebsgeschehen

Das Kernkraftwerk Gösgen erreichte im Berichtsjahr eine Arbeitsausnutzung von 93,1 % und eine Zeitverfügbarkeit von 93,7 %. Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung der letzten zehn Jahre sind in Figur 1 dargestellt. Die Nichtverfügbarkeit der Anlage war hauptsächlich durch den Revisionsstillstand bedingt.

Die ausgekoppelte Prozesswärme für die Versorgung der zwei nahe gelegenen Kartonfabriken belief sich auf 194 GWh.

Abschirmungen.  
Foto: KKG



Zur Durchführung geplanter Funktionsprüfungen und Arbeiten sowie auf Anforderung des Lastverteilers erfolgten kurzzeitige Leistungsabsenkungen. Im Berichtsjahr waren zwölf meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen, die das ENSI auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 0 zuordnete. Für die risikotechnische Beurteilung wird auf Kapitel 10 verwiesen.

- Der Fortluftkanal für den Ringraum zwischen Primär- und Sekundärcontainment enthält insgesamt vier Abschlussklappen, welche bei einem Lüftungsabschluss des Primärcontainments geschlossen werden. Die einzelnen Klappen sind mit konzentrischen Doppeldichtungen versehen. Am 18. Februar 2016 erfolgte die jährliche Funktions- und Dichtheitsprüfung. Während die Öffnungs- und Schliesszeiten aller Klappen die Anforderungen erfüllten, erwies sich die innere Dichtung einer Klappe als undicht. Wahrscheinlich hatte sich bei der vorhergehenden Prüfung der Öffnungs- und Schliesszeiten die Dichtung aus der Nut gelöst. Die Dichtungen an der betroffenen Klappe wurden gewechselt. Die Dichtheit der Klappe war innert der durch die Technische Spezifikation gesetzten Frist wieder gewährleistet. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung das Nichterfüllen der Dichtheitsanforderung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 und das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe».

- Am 25. März 2016 wurde im Kommandoraum ein Ausfall des Iodmonitors zur Überwachung der Kaminfortluft angezeigt. Die Kontrolle der Anzeigen auf Schreiber und Prozessrechner zeigte, dass die Messung kein Signal mehr lieferte. Die Ursache liess sich nicht eingrenzen. Während der Störungsanalyse quittierte sich der Fehler ohne weitere Massnahmen selbständig und die Messung zeigte wieder normale Werte. Der Iodmonitor zur Überwachung der Kaminfortluft war während gut zwei Stunden nicht verfügbar. Die gemäss Technischer Spezifikation zulässige Nichtverfügbarkeit beträgt 100 Stunden. Alle anderen Messsysteme zur kontinuierlichen und bilanzierenden Überwachung der Kaminfortluft waren vom Ausfall nicht betroffen. Die Auswertung der Filter der bilanzierenden Abgabemessung ergab, dass die Abgaben von radioaktivem Iod an die Umwelt während des Ausfalls unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Der Ersatz der Messung wurde eingeleitet. Das ENSI hat im



Kühlwasserdiesel für  
zweite Wasserfassung.  
Foto: KKG

Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Ausfall des Iodmonitors der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – 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».

- Am 29. März 2016 fiel ein Steuerstab bei Vollast, ohne dass Fahrbefehle erteilt worden waren, in den Kern ein und löste die für diesen Fall vorgesehenen automatischen Massnahmen aus. Die Reaktorleistung und die Generatorleistung wurden auslegungsgemäss auf etwa 85 % der Nennleistung reduziert. Nach der Anlagenkontrolle durch die Schichtmannschaft und der Beurteilung des Stabfehleinfalls durch die Fachabteilung wurde der Stab zur weiteren Ursachenabklärung gezogen. Dabei fiel er erneut ein. In der Folge wurden die Einschübe für die Stromversorgung der Hub-, Greif- und Haltespulen des betroffenen Steuerstabs ersetzt. Danach wurde der Stab erfolgreich gezogen. Die dabei zur Überprüfung der Stabfahrfunktion aufgenommenen Oszillogramme der Spulenspannungen zeigten keine Auffälligkeiten. Anschliessend wurde die Leistung wieder auf Vollast erhöht. Alle Limiten für den Betrieb der Brennelemente wurden eingehalten, sodass das Vorkommnis kein Potenzial für Brennstabschäden lieferte. Die Schnellabschaltung des Reaktors durch Unterbruch des Stroms in den Haltespulen

aller Steuerstäbe wäre im Anforderungsfall jederzeit gewährleistet gewesen. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den fehlerhaften Einfall eines Steuerstabs der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 2 und 3 sowie das Schutzziel «Kontrolle der Reaktivität».

- Am 20. April 2016 führte die Schichtmannschaft eine periodische Reaktorschutzprüfung mit Start eines Notstromdiesels durch den Reaktorschutz durch. Dabei kam es zu einer Fehlbedienun. Beim Prüfschritt zum Start des Notstromdiesels durch den Reaktorschutz wurde anstelle der in der Prüfvorschrift verlangten die benachbarte Prüftaste eines anderen Auslösestrangs gedrückt. Das Drücken dieser Prüftaste unterbrach die Versorgung der zugeordneten Notstromschiene ab der Normalnetzschiene. Wie für solche Fälle vorgesehen, startete automatisch der zugeordnete Notstromdiesel und versorgte die Notstromschiene wieder mit Spannung. Nach Kontrolle des Anlageverhaltens wurde die Spannungsversorgung der Notstromschiene ab der Normalnetzschiene wieder hergestellt. Die Reaktorschutzprüfung wurde wiederholt und erfolgreich abgeschlossen. Um künftig Verwechslungen zu vermeiden, hat das KKG die verschiedenen Auslösestränge mit gut sichtbaren, farblich markierten römischen Zahlen versehen. Das ENSI hat im Rahmen der syste-



systematischen Sicherheitsbewertung die Fehlbedienung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

- Während des Revisionsstillstands war am 7. Juni 2016 ein weiterer Ausfall des Iodmonitors zur Überwachung der Kaminfortluft zu verzeichnen. Wie zuvor am 25. März 2016 wurde dieser im Kommandoraum angezeigt. Während der Störungsanalyse quittierte sich der Fehler selbständig und die Messung zeigte wieder normale Werte. Der Iodmonitor war während 30 Minuten nicht verfügbar. Die gemäss Technischer Spezifikation zulässige Nichtverfügbarkeit bei abgeschalteter Kraftwerkanlage beträgt 240 Stunden. Alle anderen Messsysteme zur kontinuierlichen und bilanzierenden Überwachung der Kaminfortluft waren vom Ausfall nicht betroffen. Die Auswertung der Filter der bilanzierenden Abgabemessung ergab, dass die Abgaben von radioaktivem Iod an die Umwelt während des Ausfalls unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Ein Ersatz der Messung wurde bereits nach dem Ausfall vom 25. März 2016 eingeleitet. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Ausfall des Iodmonitors der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeord-

net – 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».

- Zu Beginn des Revisionsstillstands wurde der Reaktor entladen. Dabei kam es infolge vorübergehender Überlast zu einer Abschaltung des Hubwerks der Brennelement-Lademaschine. Beim Ziehen hatte sich ein Brennelement mit einem benachbarten Brennelement verhakt. Die visuelle Prüfung am 10. Juni 2016 zeigte einen beschädigten Abstandshalter am benachbarten Brennelement. Ein Stück des Abstandshalters war abgerissen worden. Es wurde im gezogenen Brennelement gefunden. Dieser Befund steht in Übereinstimmung mit dem spontanen Rückgang der Belastung des Hubwerks nach dessen Abschaltung. Beide Brennelemente wurden am Ende der Revision 2016 nicht wieder in den Reaktor eingesetzt. Die Untersuchungen ergaben, dass das erste Brennelement bei einem künftigen Brennelementwechsel wieder eingesetzt werden kann, falls der vom abgerissenen Stück des Abstandshalters stammende Fremdkörper geborgen werden kann. Beim benachbarten Brennelement erfordert der Wiedereinsatz weitere Untersuchungen. Es kam zu keiner Freisetzung radioaktiver Stoffe. Die Biegung der beiden Brennelemente hatte das Verhaken begünstigt. Eine leichte Biegung von Brennelementen im Laufe des Betriebs infolge der ortsabhängigen Neutronenfluenz ist normal und ist auch Gegenstand regelmässig im Revisionsstillstand durchgeführter Messungen. Das KKG und der Lieferant der Brennelemente arbeiten an der Entwicklung von Brennelementen mit einem verbesserten Biegeverhalten. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den beschädigte Abstandshalter der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».
- Am 12. Juni 2016 fanden in der ersten Wasserfassung Vorbereitungsarbeiten zum Freischalten einer der beiden Einlaufstrassen statt. Eine temporäre Öffnung im Boden war mit Absperrband zu markieren. Dabei fiel die Absperrbandrolle in die Zuleitung zum Nebenkühlwasserpumpenhaus. In der Folge wurden alle Systeme überwacht, die vom Fremdkörpereintrag betrof-

Einbau eines Niederdruck-Vorwärmers.  
Foto: KKG





fen sein könnten. Weiter wurden alle in Flussrichtung liegenden sicherheitsrelevanten Kühler und Pumpen auf Fremdkörpereintrag untersucht und die gefundenen Teile des Absperrbandes entfernt. Im ganzen Zeitraum traten keine unzulässigen Auswirkungen auf die betriebliche Wärmeabfuhr auf. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Fremdkörper im Kühlwasserzulauf der ersten Wasserfassung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1, 2 und 3 sowie das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

- Aufgrund des vorgenannten Vorkommnisses musste am 12. Juni 2016 die Zuleitung zum Nebenkühlwasserpumpenhaus freigeschaltet, entleert und die Kühlwasserversorgung auf die zweite Wasserfassung unterhalb des Wasserkraftwerks Gösgen umgeschaltet werden. Dazu wurde in der zweiten Wasserfassung der erste Kühlwasserdiesel gestartet und vor Ort von einem Operateur permanent überwacht. Nach drei Stunden störungsfreiem Betrieb bemerkte der Operateur eine Veränderung der Laufruhe sowie ein Absinken der Drehzahl und schaltete umgehend auf den zweiten Kühlwasserdiesel um. Kurz danach fiel der erste Kühlwasserdiesel aus. Ursache waren mechanische Schäden im Bereich des Antriebs einer Nockenwelle. Der Kühlwasserdiesel musste ausgetauscht werden. Der neu installierte Kühlwasserdiesel wurde am 20. Juni 2016 erfolgreich geprüft. Damit war die Verfügbarkeit der zweiten Wasserfassung für das Anfahren der Anlage nach dem Revisionsstillstand nachgewiesen. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Schäden am Kühlwasserdiesel der zweiten Wasserfassung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1, 2 und 3 sowie das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».
- Während des Revisionsstillstands am 17. Juni 2016 ging ein Mitarbeiter einer Fremdfirma bei einer Leittechnikprüfung im Notstandgebäude fehlerhaft vor. Dadurch wurde die Spannungsversorgung einer Notstromschiene ab dem Normalnetz unterbrochen. Auslegungsgemäss startete der zugehörige Notstanddiesel. Der Mitarbeiter bemerkte den Fehler sofort

und steckte ein irrtümlich ausgezogenes Kabel innert weniger Sekunden wieder ein. Dadurch wurde die Anlaufsequenz der Notstromeinspeisung unterbrochen und der Diesel nicht auf die spannungslose Notstromschiene geschaltet. Damit blieb auch die für die Kühlwasserversorgung des Notstromdiesels benötigte Pumpe spannungslos. Der Anstieg der Kühlwassertemperatur führte auslegungsgemäss nach kurzer Zeit zur automatischen Abschaltung des Diesels. Nach knapp 13 Minuten wurde die Versorgung der Notstromschiene ab dem Normalnetz wieder zugeschaltet und die Kühlwasserversorgung des Diesels in Betrieb genommen. Rund 35 Minuten nach der Abschaltung des Diesels erreichte die Kühlwassertemperatur wieder den zulässigen Bereich und der Diesel war wieder verfügbar. Der zweite Notstanddiesel war zum Zeitpunkt des Vorkommnisses in Übereinstimmung mit der Technischen Spezifikation für die Durchführung von Revisionsarbeiten freigeschaltet. Alle Brennelemente befanden sich im Brennelementbecken, dessen Kühlung durch das Vorkommnis nicht beeinträchtigt wurde. Die von der Technischen Spezifikation für diesen Anlagenzustand verlangte Verfügbarkeit eines der beiden Notstanddiesel wurde innerhalb der gegebenen Frist wieder sichergestellt. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die gleichzeitige Nichtverfügbarkeit beider Notstanddiesel der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

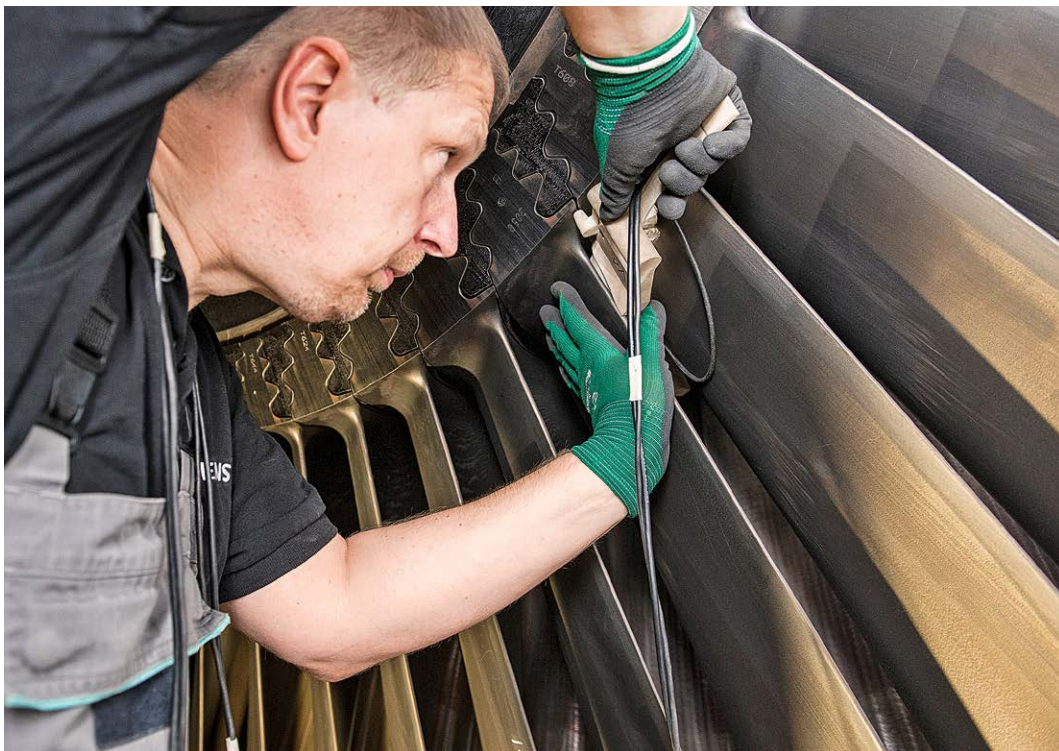
- Am 30. Juni 2016 überprüfte ein Mitarbeiter des Fachbereichs Messtechnik in der ersten Wasserfassung am Oberwasserkanal zum Wasserkraftwerk Gösgen zwei Niveaumessungen. Dabei wurde an einem Messumformer ein Wackelkontakt festgestellt. Zur genaueren Betrachtung wurde der Messumformer unter Spannung aus seinem Sockel gezogen und wieder eingesteckt, da kein Fehler erkennbar war. Kurz darauf bemerkte der Mitarbeiter einen Sammelalarm, der das Auslösen einer Sicherung in der Spannungsversorgung der Niveaumessungen anzeigte. Im betroffenen Schrank war nicht erkennbar, welche Sicherung angesprochen hatte. Wie in solchen Fällen üblich klopfte der Mitarbeiter gegen die Halterungen der in Frage kommenden Sicherungen, um den Knopf der angesprochenen Sicherung zum Fallen zu bringen. Dabei löste eine

zweite Sicherung aus. Damit waren die Signale beider Pegelstandmessungen im Oberwasserkanal ausgefallen und die Kühlwasserschutzlogik forderte auslegungsgemäss den Start der Kühlwasserdiesel der zweiten Wasserfassung unterhalb des Wasserkraftwerks Gösgen an. Der erste Kühlwasserdiesel war zu diesem Zeitpunkt in Übereinstimmung mit der Technischen Spezifikation für Wartungsarbeiten freigeschaltet, der zweite Kühlwasserdiesel startete erfolgreich. Die Versorgung mit Kühlwasser erfolgte damit zusätzlich zur ersten über die zweite Wasserfassung und hatte keinen Einfluss auf den sicheren Betrieb der Anlage. Die beiden Sicherungen wurden sofort ersetzt. Damit stand die Pegelstandmessung wieder zur Verfügung und der Kühlwasserdiesel konnte nach rund vier Minuten wieder abgestellt werden. Während das Auslösen der ersten Sicherung wahrscheinlich durch das Einstecken des Messumformers verursacht wurde, konnte das Auslösen der zweiten Sicherung bei der Fehlersuche nicht reproduziert werden. Die erste Wasserfassung funktionierte zu jedem Zeitpunkt normal und der Pegel im Oberwasserkanal war konstant. Der Zulauf des Wassers erfolgt unabhängig von der Pegelstandmessung aufgrund der Höhendifferenz zwischen Einlaufbauwerk und den zu versorgenden Systemen. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Ausfall der Pegelstandmessungen der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungs-

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

- Am 2. September 2016 wurde vom Turbinenschutz eine Turbinenschnellabschaltung ausgelöst, ohne dass dafür eine technische Notwendigkeit bestand. Die Anlage verhielt sich auslegungsgemäss. Der Generator wurde vom Netz getrennt und die Reaktorleistung stark reduziert. Ursache für die Fehlauflösung waren softwarebedingte Unregelmässigkeiten im Bereich der Kommunikation verschiedener Komponenten des rechnerbasierten Turbinenschutzes. Die betroffenen Einheiten wurden neu gestartet. Nach einem einstündigen Probebetrieb wurde die Anlage wieder mit dem Netz synchronisiert und auf Vollast hochgefahren. Um die Ursache zu beheben, waren Anpassungen in der Software des Turbinenschutzes erforderlich. Dazu wurde die Anlage am 16. Oktober 2016 bei stark reduzierter Reaktorleistung für wenige Stunden vom Netz genommen. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die fehlerhaft ausgelöste Turbinenschnellabschaltung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 2 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

Prüfung Turbine.  
Foto: KKG



■ Bei einem Test von Brandschutzklappen im Schaltanlagegebäude am 15. Dezember 2016 erreichten nicht alle Klappen exakt die vorgesehene Endstellung, was sich in einer fehlenden Rückmeldung der Endschalter manifestierte. Der Test wurde durchgeführt, um in der Lüftungsanlage die Druck- und Strömungsbedingungen zu optimieren. Als Ursachen für die Befunde erkannt wurden einerseits die Druck- und Strömungsverhältnisse, andererseits aber auch erhöhte Reibung an den Klappenlagern sowie schwergängige Endschalter. Die betroffenen Klappen wurden einer Wartung unterzogen und anschliessend erfolgreich geprüft. Anlässlich einer reaktiven Inspektion im April 2017 stellte das ENSI fest, dass die Brandschutzklappen des betroffenen Typs nicht mehr dem heutigen Stand der Technik entsprechen und verlangte vom KKG, ein Konzept für deren Ersatz einzureichen. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung das Schliessverhalten der Brandschutzklappen der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustandes und Verhaltens der Anlage mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung. Die damit verbundene Risikoerhöhung wurde der Kategorie A (Abweichung) zugeordnet – als Aspekt des Zustandes und Verhaltens der Anlage mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

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

### 3.3 Anlagentechnik

#### 3.3.1 Revisionsarbeiten

Während des Revisionsstillstands vom 4. bis 26. Juni 2016 wurden geplante Tätigkeiten wie Brennelementwechsel und Brennelementinspektionen, Inspektionen elektrischer und mechanischer Einrichtungen, zerstörungsfreie Prüfungen, wiederkehrende Funktionsprüfungen an Komponenten und Systemen sowie Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten durchgeführt.

Schwerpunkte der Wiederholungsprüfungen an mechanischen Komponenten waren Ultraschallprüfungen und visuelle Prüfungen am Reaktor-

druckbehälter (RDB), visuelle Prüfungen an den Dampferzeugern, Funktionsprüfungen an Sicherheitsventilen und das Sonderprüfprogramm an austenitischen Armaturen. Folgende Prüfungen sind hervorzuheben:

- Am RDB-Deckel wurde eine Schweisssnaht von der Aussenseite einer qualifizierten mechanisierten Ultraschallprüfung unterzogen. Es wurden keine registrier- oder bewertungspflichtigen Anzeigen gefunden.
- An der Innenoberfläche des RDB-Deckels sowie an den Schrauben am oberen und unteren Kerngerüst wurden visuelle Prüfungen durchgeführt. An den Kernumfassungsschrauben ergaben sich neue, aber zulässige Befunde.
- An zwei Dampferzeugern wurden an den primärseitigen Wasserkammern qualifizierte visuelle Prüfungen durchgeführt. Es ergaben sich keine bewertungspflichtigen Anzeigen.
- An den Sicherheitsventilen der Frischdampfleitungen und des Druckhalters wurden beim Abfahren der Anlage Funktionsprüfungen durchgeführt. Es ergaben sich keine bewertungspflichtigen Befunde.
- An weiteren Sicherheitsventilen wurden gemäss Wiederholungsprüfprogramm Funktionsprüfungen durchgeführt. Die gemessenen Ansprechüberdrücke lagen im Sollbereich.
- Das Sonderprüfprogramm an den austenitischen Armaturen mit visuellen Prüfungen sowie Farbeindringprüfungen an den Dichtflächen wurde fortgesetzt. Die geprüften Armaturen zeigten normale Gebrauchsspuren. Es gab keine Anzeichen auf Spannungsrisskorrosion.

Im Bereich der Starkstrom- und Leitechnik wurden die wiederkehrenden Prüfungen und Instandhaltungsarbeiten gemäss mehrjähriger Planung durchgeführt. Aus terminlichen Gründen wurde in den Bereichen Steuerungen, Messtechnik, Regelungen und nuklearer Instrumentierung bereits mehrere Wochen vor dem Revisionsstillstand mit ausgewählten Arbeiten begonnen. Im Rahmen diverser leitetechnischer Funktionsprüfungen wurden auch die notwendigen Prüfungen, Kontrollen und Inspektionen bezüglich der Alterungsüberwachung durchgeführt. Im Bereich der Starkstromtechnik hervorzuheben ist die Grosrevision in einer Redundanz. Dabei erfolgte eine Kontrolle aller Sammelschienen, der Teilersatz von Schaltereinschüben an 380-V-AC-Motorabgängen, der Ersatz der Stromwandler inklusive der kapazitiven Spannungsanzeigen in zwei 10-kV-Einspeisefeldern sowie der Austausch eines Blocktransformatorpols.



Alle Revisionsarbeiten wurden mit hoher Qualität und unter Beachtung der Strahlenschutzvorgaben geplant und durchgeführt. Die Prüfungen wurden, wo erforderlich, vom ENSI beaufsichtigt. Es ergaben sich keine Befunde, die einem sicheren Betrieb entgegenstehen. Die durchgeführten Prüfungen haben insgesamt den guten Zustand sowohl der mechanischen als auch der elektrischen und leittechnischen Ausrüstungen bestätigt.

### 3.3.2 Anlageänderungen

Im Berichtsjahr wurden insbesondere folgende Anlageänderungen durchgeführt:

- Der Konsolladekran im Ringraum des Reaktorgebäudes mit einer Tragkraft von 125 t wurde durch einen neuen mit einer Tragkraft von 180 t ersetzt.
- Die Einrichtung zur Inspektion der Brennelemente (BE) im BE-Becken wurde umfassend erneuert. Die Arbeiten umfassten den Einbau einer neuen Steuerung, den Austausch der elektrischen Komponenten sowie die Montage eines neuen Hubmechanismus und Schlittens.
- Im Lagergebäude für abgebrannte BE des externen Nasslagers wurde das Beckenkühlsystem ausgebaut.
- Die Sensoren und die Auswerteeinheit der Wasserstoffmessung im Containment wurden ersetzt.
- Die Lademaschine für die Handhabung von Brenn- und Steuerelementen im Reaktordruckbehälter und dem danebenliegenden BE-Becken wurde umfassend erneuert.
- Am Volumenregelsystem wurde ein Rückschlagventil aufgrund einer Rissanzeige im Ventilsitz ersetzt.
- Im Rahmen des Austauschs eines weiteren Teils der Leittechnik wurde als vorgezogene Arbeit für den Ersatz der Notgefahrmeldeanlage die Verkabelung zu den Leuchtmeldern und Steuerstellen erneuert.
- Bei einem Teil der Notstromsammelschienen und gesicherten Sammelschienen wurden die bestehenden 380-V-AC-Messfeldeinbauten ersetzt. Bei einer gesicherten Sammelschiene wurde eine zusätzliche automatische Umschalt-einrichtung integriert.
- An einem Teil der 380-V-AC-Leistungsschalter wurden technische Verbesserungsmaßnahmen vorgenommen, um ein ungewolltes manuelles Zuschalten der Leistungsschalter zu verhindern.
- Beim Netzspannungsregler wurde eine Möglichkeit zur Unterbrechung geschaffen. Für das Ein- und Ausschalten des Handkanals des Generatorspannungsreglers wurde ein Schlüsselschalter installiert.
- Zur Erhöhung der Erdbebensicherheit der Leitstände im Kommandoraum und von Schaltschränken im Notstandsgebäude wurden neue erdbebensichere Schrankbefestigungen eingebaut.

Reinigung der Reaktorgube.  
Foto: KKG





### 3.3.3 Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente

Geringe Aktivitätskonzentrationen im Primärkühlmittel liessen den Schluss zu, dass im 37. Betriebszyklus (2015/2016) keine Brennstab-Hüllrohrdefekte mit Aktivitätsfreisetzung aufgetreten sind. Während des Revisionsstillstands wurden 36 frische Brennelemente aus wiederaufgearbeitetem Uran (WAU) in den Reaktorkern geladen. Er enthält damit im 38. Betriebszyklus insgesamt 173 WAU- und 4 Uran-Brennelemente.

Bei umfangreichen Inspektionen der Standard-Brennelemente mit Uran- und WAU-Brennstoff und verschiedenen Standzeiten wurden bezüglich des Brennelement- und Brennstabwachstums sowie der Brennelementbiegung auslegungsgemässe Zustände festgestellt. Die an Brennstäben mit verschiedenen Hüllrohrmaterialien gemessenen Oxidschichtdicken sind gering und liegen im erwarteten Bereich.

Die Steuerstabfinger aller 48 Steuerelemente wurden während des Revisionsstillstands auf Wanddickenschwächungen und Beschädigungen untersucht. Bei vier Steuerelementen aus der Erstaustattung und zwei aus der ersten Nachlieferung sind Rissanzeigen festgestellt worden. Sie wurden vorsorglich ausgetauscht und kommen nicht mehr zum Einsatz. Alle anderen Steuerelemente befanden sich in einem auslegungsgemässen Zustand.

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

Im Berichtszeitraum 2016 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 Kalenderjahr 2016 betrug die Kollektivdosis im KKG 439 Pers.-mSv. Die höchste im KKG registrierte Individualdosis lag bei 8,2 mSv. Der für beruflich strahlenexponierte Personen geltende Dosisgrenzwert von 20 mSv pro Jahr wurde eingehalten.

Während des Revisionsstillstands wurden 392 Pers.-mSv akkumuliert, geplant waren 433 Pers.-mSv. Es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt,



Schichtübergabe.  
Foto: KKG

die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten. Es sind keine Inkorporationen aufgetreten. 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 Dosisleistung und die akkumulierten Dosen aus. Im Durchschnitt lag die Dosisleistung an ausgewählten Primärkomponenten um 66 % tiefer als vor Beginn der Zinkdosierung im Jahr 2005. Im Vergleich zum Vorjahreswert (der 62 % unter dem Wert von 2005 lag) wurde damit eine weitere Reduktion erreicht.

Die radiologische Situation aufgrund des nach wie vor erhöhten Trampurananteils im Kreislauf als Folge der Brennelementdefekte in früheren Jahren erforderte auch in der Revision 2016 vorsorgliche Schutzmassnahmen, obwohl mit den letzten defektfreien Zyklen die Spaltproduktkonzentrationen insgesamt weiter abnahmen. Eine Zutrittsbegrenzung für das gesamte Containment wurde nur beim Abheben des RDB-Deckels angeordnet. Die Luftkontamination konnte mit Hilfe der Spülluftanlage rasch gesenkt werden.

Das ENSI hat sich bei mehreren Inspektionen davon überzeugt, dass im KKG ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz praktiziert wird. 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 festgeleg-

ten Grenzwerte. Dies gilt auch für die Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser ohne Tritium. Die für Druckwasserreaktoren typischen Tritium-Abgaben des KKG betragen rund 17 % des Jahresgrenzwerts. Die quartalsweise vom ENSI durchgeführten Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern ergaben eine gute Übereinstimmung mit den vom KKG gemeldeten Analyseergebnissen. Aus den tatsächlich über die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnet das ENSI die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKG unter konservativen, das heisst ungünstigen Annahmen. Die Dosen liegen für Erwachsene, Zehnjährige und für Kleinkinder unter 0,001 mSv. Sie liegen damit deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr gemäss 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 Dosimeter) registrierten keine signifikante Erhöhung gegenüber der Untergrundstrahlung. Bei den quartalsweise vom ENSI zur Kontrolle durchgeführten Messungen an der Umzäunung des KKG wurden ebenfalls keine signifikanten Erhöhungen gegenüber der Untergrundstrahlung festgestellt. Die nach Artikel 102 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung vorgegebenen Immissionsgrenzwerte für Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerksareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche wurden eingehalten. Für detaillierte Angaben zur radiologischen Situation innerhalb und ausserhalb der Anlage Gösgen wird auf den Strahlenschutzbericht 2016 des ENSI verwiesen.

Strahlenschutz-  
Messung.  
Foto: KKG



### 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 15 m<sup>3</sup> radioaktive Rohabfälle an (vgl. Tabelle 6). Der Anfall bewegt sich innerhalb der mehrjährigen Schwankungsbreite auf einem niedrigen Niveau.

Die radioaktiven Rohabfälle werden gesammelt, kampagnenweise konditioniert und anschliessend zwischengelagert. Die im KKG vorhandenen unkonditionierten Abfälle sind in dafür vorgesehenen Räumlichkeiten der kontrollierten Zone aufbewahrt. Ihr Bestand liegt mit 38 m<sup>3</sup> im Erfahrungsbereich der vergangenen Jahre. Brennbare Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in der Plasma-Anlage der Zwiilag bereitgestellt und 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 angewendeten Verfahren liegen die erforderlichen behördlichen Typengenehmigungen vor. Im Berichtsjahr wurden neun Gebinde mit borhaltigen Konzentraten konditioniert.

Die konditionierten Abfallgebinde werden im werkseigenen Zwischenlager eingelagert. Das KKG nutzt zudem die Kapazitäten des zentralen Zwischenlagers in Würenlingen. Bei der jährlichen Inspektion des Lagerguts wurden keine meldepflichtigen Befunde festgestellt. Die radioaktiven Abfälle des KKG sind in einem von allen schweizerischen Kernanlagen eingesetzten elektronischen Buchführungssystem erfasst, so dass die Information über Menge, Lagerort und radiologische Eigenschaften jederzeit verfügbar ist.

Ein wichtiges Element bei der Minimierung der radioaktiven Abfälle ist die Inaktiv-Freimessung von Materialien aus der kontrollierten Zone. Im KKG wurden im Berichtsjahr 11,0 t Material freigesessen.

Im Frühjahr 2016 fanden drei innerbetriebliche Transporte mit insgesamt 36 abgebrannten Brennelementen aus dem Brennelementbecken des Reaktorgebäudes ins externe Nasslager des KKG statt. Information zu Wiederaufarbeitungsabfällen und zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente findet sich gesamthaft für alle Werke 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.

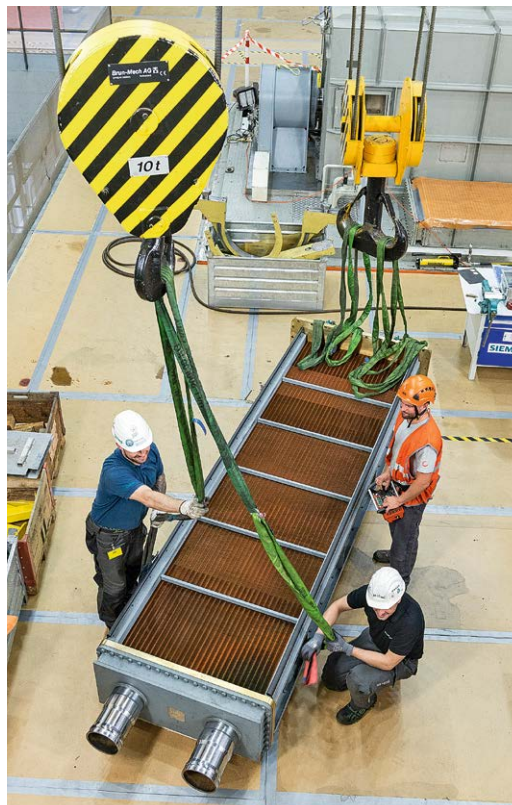
Das ENSI hat im November 2016 an der Werksnotfallübung TUSSIS die Notfallorganisation beobachtet und beurteilt. Die Übung sah als Szenario einen Lagerschaden an einer Hauptspeisewasserpumpe vor, welcher nach einiger Zeit infolge der mit dem Speisewasser in die Dampferzeuger transportierten Partikel zu einem Dampferzeugerheizrohrleck führte. Beim Umschalten auf eine andere Hauptspeisewasserpumpe erweiterte sich das Leck zu einem Bruch, was zu einem sekundärseitigen Aktivitätsanstieg führte. Die beiden wichtigsten Massnahmen zur Minimierung des Kühlmittelübertrags auf die Sekundärseite wurden durch einen Leittechnikfehler und ein defektes Ventil verzögert. Ein sekundärseitiges Leck führte zu einer Aktivitätsfreisetzung im Maschinenhaus und eine Störung am Dichtölssystem des Generators führte zu einer Wasserstofffreisetzung mit anschliessender Deflagration im Maschinenhaus. Eine alternative Wärmenenke musste aufgrund des eingetretenen Notstromfalls in Kombination mit einer Fehlfunktion der Abblasestationen vorbereitet werden.

Das Szenario wurde anhand der im KKG definierten Notfallarten und zugehörigen Kriterien gemäss der im Mai 2016 eingeführten IAEA-kompatiblen Notfallklassierung korrekt eingestuft. Das KKG konnte zeigen, dass die Unterlagen zur Bestimmung der Notfallklasse einsatztauglich sind.

Aufgrund seiner Übungsbeobachtungen kam das ENSI zum Schluss, dass die Übungsziele gemäss der Richtlinie ENSI-B11 erreicht wurden. Das KKG verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.

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

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



Wasserstoffkühler des Generators.  
Foto: KKG

### 3.7 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr hat das KKG den Personalbestand auf 549 Personen, welche 526 Vollzeitstellen besetzen, erhöht (Ende 2015: 535). Dies ist hauptsächlich auf den Personalbedarf für laufende und geplante Projekte sowie auf die notwendigen Einarbeitungszeiten neuer Mitarbeiter und den Know-how-Transfer (Überlappungszeiten) zurückzuführen. Das KKG hat im Jahr 2016 innerhalb der Abteilung Maschinentechnik eine Reorganisation durchgeführt. Das ENSI überzeugte sich im Rahmen seiner Aufsicht davon, dass diese Reorganisation sorgfältig und umsichtig geplant, vorbereitet und umgesetzt wurde.

Aufgrund von Vorkommnissen im Jahr 2015, zu welchen menschliche und organisatorische Aspekte wesentlich beigetragen hatten, verlangte das ENSI vertiefte Abklärungen des KKG, welche einen Aufsichtsschwerpunkt für das KKG auch im Jahr 2017 bilden. Auf Grund dieser Vorkommnisse wurden beispielsweise, als eine der wesentlichen Massnahmen, Human-Performance-Optimierung-Trainings eingeführt. Diese dienen dazu, spezifische Fehlervermeidungstechniken zu üben.

Das Managementsystem des KKG besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2015. Das ENSI führte eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Änderungsmanagement durch. Es überprüfte, ob die Organisation der Kernanlage die Abläufe und Vorgaben bei technischen und organisatorischen Änderungen klar, kohärent, angemessen detailliert und verbindlich geregelt hat. Die Anforderungen wurden erfüllt. Im Berichtsjahr bestanden zwei Reaktoroperateur-Anwärter des KKG die Abschlussprüfung der kern-technischen Grundlagenausbildung an der Reaktorschule des PSI. Dies ist eine Voraussetzung für die weitere Ausbildung und spätere Zulassungsprüfung zum Reaktoroperateur. Die Ausbildung vermittelt die erforderlichen theoretischen Kenntnisse auf den Gebieten der thermischen Kraftwerkstechnik, Nuklearphysik, Reaktortechnik und des Strahlenschutzes. Sechs Reaktoroperateure und drei Schichtchefs legten 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 hat eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2015 und der Planung des Ausbildungsprogramms 2016 der Abteilung Maschinenteknik durchgeführt. Gegenstand waren die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator, die allgemeine Wiederholungsschulung sowie deren Änderungen und Neuerungen. Ferner wurden die Ausbildung des Personals der Abteilung Überwachung auf Einhaltung der Vorgaben der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen und der Richtlinie ENSI-B10 überprüft. Die Ausbildungsprogramme des KKG im inspizierten Bereich erfüllen die Anforderungen.

### 3.8 Sicherheitsbewertung

Im Jahr 2016 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 \ Ziele	Anforderungen		Betriebsgeschehen	
	Auslegungs-Vorgaben	Betriebs-Vorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch & Organisation
Ebene 1	V	V	A	A
Ebene 2		V	A	A
Ebene 3		N	A	V
Ebene 4			N	N
Ebene 5			N	N
Integrität der Brennelemente			N	N
Integrität des Primärkreises			N	N
Integrität des Containments			N	
ebenen- oder barrieren-übergreifende Bedeutung		N	V	N

Sicherheitsbewertung 2016 KKG: Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge

Bewertungsgegenstand \ Ziele	Anforderungen		Betriebsgeschehen	
	Auslegungs-Vorgaben	Betriebs-Vorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch & Organisation
Kontrolle der Reaktivität		N	A	N
Kühlung der Brennelemente			A	N
Einschluss radioaktiver Stoffe			A	V
Begrenzung der Strahlendexposition		V	A	N
schutzzielübergreifende Bedeutung	V	N	A	A

Sicherheitsbewertung 2016 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 den Kategorien 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 nach dem Unfall von Fukushima vorgenommenen Überprüfungen die grosse Robustheit der Auslegung zeigten und keine Bewertungen der Kategorien A und höher vorlagen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKG hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als hoch.

#### **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 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 KKG hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als gut.





*Kernkraftwerk  
Leibstadt.  
Foto: KKL*

## 4. Kernkraftwerk Leibstadt

### 4.1 Überblick

Im Jahr 2016 war das Kernkraftwerk Leibstadt (KKL) bis zur geplanten Jahreshauptrevision am 2. August 2016 unterbrechungsfrei in Betrieb. Die in der Jahreshauptrevision vorgesehenen Instandhaltungsarbeiten wurden innerhalb der geplanten 25 Tage umgesetzt. Bei den vom KKL durchgeführten Inspektionen wurde an mehreren Brennstäben eine erhöhte Oxidation von Hüllrohren festgestellt. Das Brennelement-Inspektionsprogramm wurde daraufhin deutlich erweitert. Die vom ENSI als Voraussetzung zum Wiederaufstart verlangten Abklärungen und Analysen waren Ende des Berichtsjahres noch nicht abgeschlossen. Das ENSI stellt fest, dass die bewilligten Betriebsbedingungen immer eingehalten wurden. Basierend auf den Erkenntnissen aus dem Betriebsjahr 2016 beurteilt das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als ausreichend und hinsichtlich

der Betriebsvorgaben als hoch. Hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage und des Zustands sowie Verhaltens von Mensch und Organisation beurteilt das ENSI die Sicherheit des KKL als gut.

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 des Anhangs zu finden. Figur 5b zeigt das Funktionsschema einer Siedewasserreaktor-Anlage.

Im Berichtsjahr gab es neun meldepflichtige Vorkommnisse mit Bezug zur nuklearen Sicherheit. Acht wurden der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet. Das Vorkommnis mit erhöhter Oxidation an mehreren Brennelementen wurde als INES 1 eingestuft. Im Betriebsjahr 2016 konnte die Anlage ohne Brennstoffschaden betrieben werden.

In der Zeit der geplanten Jahreshauptrevision wurden verschiedene routinemässige Instandhaltungs-



arbeiten und Inspektionen an diversen Komponenten, Systemen und elektro- und leittechnischen Einrichtungen durchgeführt.

Zu den geplanten Schwerpunkten der diesjährigen Revision gehörten unter anderem der Austausch eines Eigenbedarfstransformators, die Wartung eines Dieselmotors einer Notstromdivision, der Ersatz der Leittechnik im Bereich der Lüftungsanlagen sowie die vorbereitenden Arbeiten für eine zusätzliche RDB-Füllstandmessung. Die Dauer des Revisionsstillstands verlängerte sich gegenüber der Planung über das Ende des Kalenderjahres 2016 hinaus.

Die für beruflich strahlenexponierte Personen geltenden Dosisgrenzwerte 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 sind verglichen mit der natürlichen Strahlenexposition unbedeutend.

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

Das ENSI führte in allen Fachgebieten 114 Inspektionen durch. Wo erforderlich verlangte das ENSI Verbesserungsmaßnahmen und überwachte deren Umsetzung.

Fünf Reaktoroperatoren, zwei Schichtchefs und ein Pikettingenieur bestanden ihre Zulassungsprüfung. Ein Reaktoroperator-Anwärter absolvierte die kerntechnische Grundlagenausbildung an der Reaktorschule des PSI erfolgreich.

## 4.2 Betriebsgeschehen

Das KKL verzeichnete in seinem 32. Betriebsjahr eine Arbeitsausnutzung von 57,2 % und eine Zeitverfügbarkeit von 58,6 %. Die Zeitverfügbarkeit und die Arbeitsausnutzung der letzten zehn Jahre sind im Anhang in Figur 1 dargestellt. Für Steuerstabmusteranpassungen und Funktionsprüfungen erfolgten geplante Lastreduktionen. An einzelnen Tagen musste die Reaktorleistung infolge hoher Umgebungstemperaturen reduziert werden.

Das KKL wurde am 2. August 2016 zum Revisionsstillstand abgestellt und wurde bis Ende des Jahres nicht wieder angefahren. Die Nichtverfügbarkeit der Anlage wurde im Betriebsjahr 2016 somit weitgehend durch die Jahreshauptrevision und den verlängerten Anlagenstillstand zur Ursachenabklärung der Dryout-Befunde verursacht.

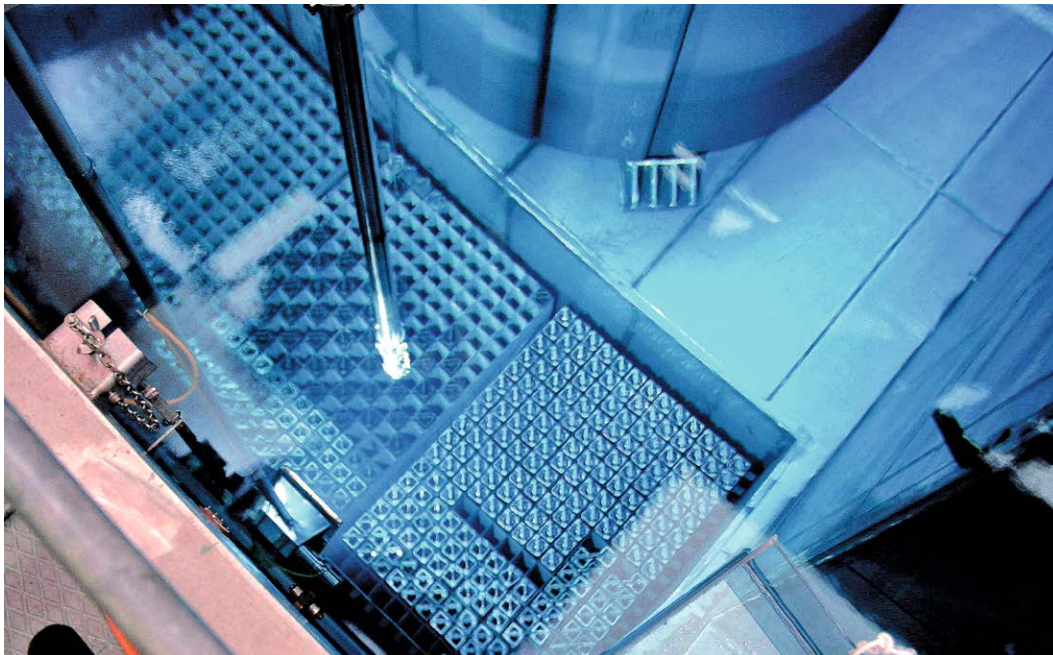
Im Berichtsjahr 2016 waren neun meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen. Acht wurden der

Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet und eines der Stufe 1. Für die risikotechnische Beurteilung wird auf Kapitel 10 verwiesen.

■ Bei einer alle 18 Monate zu wiederholenden Prüfung wurde am 13. Januar 2016 festgestellt, dass eine gedämpfte Rückschlagklappe in einem Kühlwassersystem nicht öffnete. Ein an der Armatur befestigter Ölbehälter des Dämpfungszylinders der Klappe war bei Instandhaltungsarbeiten im April 2015 falsch montiert worden. Dadurch blockierte er die Rückschlagklappe. Unvollständige Instandhaltungsunterlagen hatten die falsche Montage im April 2015 begünstigt. Weiter war auch keine Funktionsprüfung nach Abschluss der Instandhaltungsarbeiten vorgeschrieben. Daher konnte der Montagefehler nicht bereits im April 2015 bemerkt werden. Die betroffenen Unterlagen wurden aufgrund der Erkenntnisse aus dem Vorkommnis angepasst. Die betroffene Rückschlagklappe dient der redundanten Kühlwasserversorgung eines Notstromdiesels durch das Notkühlwassersystem. Fällt die Kühlwasserpumpe des Notstromdiesels aus, sinkt der Druck im Kühlwasserkreislauf des Diesels unter den Druck im Notkühlwassersystem und die Rückschlagklappe in der Verbindungsleitung zum Notkühlwassersystem öffnet sich. Damit kann bei einem Ausfall der Kühlwasserpumpe des Diesels dieser wieder mit Kühlwasser versorgt werden. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den falsch montierten Ölbehälter der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Die damit verbundene Risikohöherung wurde der Kategorie A (Abweichung) zugeordnet – als Aspekt des Zustandes und Verhaltens der Anlage mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

■ Der Ausfall von zwei Transponderkarten am 13. Mai 2016 im Bereich des Stabgruppenantriebssystems führte zu einer Störung im Steuerstab-Steuer- und -Informationssystem. Das interne Test- und Prüfprogramm des Stabgruppenantriebssystems erkannte und alarmierte den Ausfall der Transponderkarten. Der Ausfall bewirkte, dass keine betrieblichen Steuerstabbewegungen mehr ausgeführt werden konnten und die Meldungen der Steuerstabbewachung auf dem Reaktorpult nicht





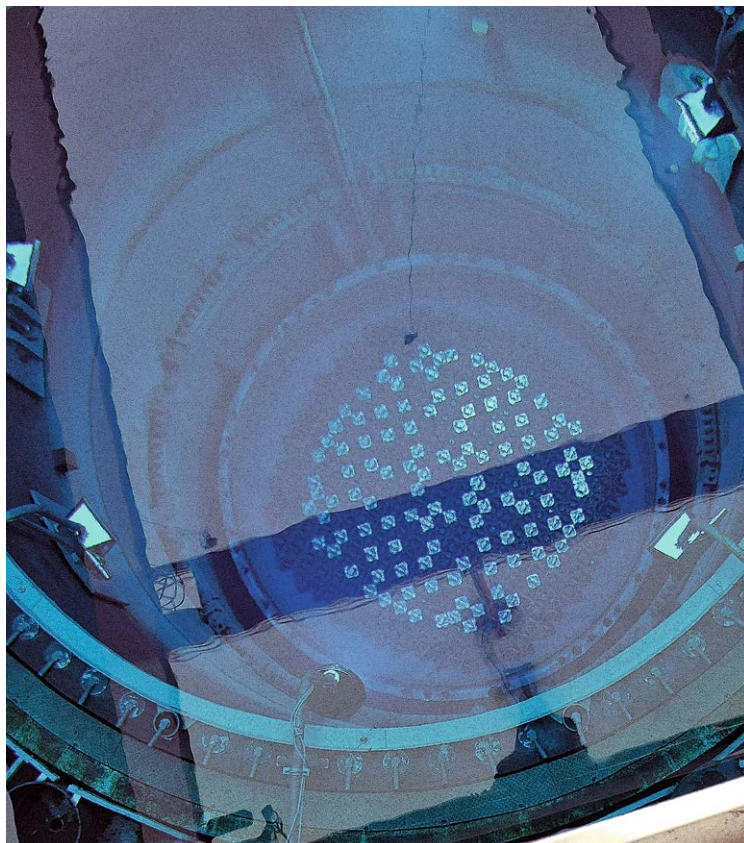
Brennelement-  
Lagerbecken im KKL.  
Foto: KKL

mehr aktualisiert wurden. Die Ausfälle der Transponderkarten führten zu einer etwa vierstündigen Nichtverfügbarkeit des Stabgruppenantriebsystems. Die Position der Steuerstäbe konnte in dieser Zeit an einem redundanten System überprüft werden. Die defekten Transponderkarten wurden ersetzt und anschliessend die Funktionstüchtigkeit des Steuerstab-Steuer- und -Informationssystem innerhalb der von der Technischen Spezifikation gesetzten Frist nachgewiesen. Die Schnellabschaltfunktion und das Einschliessen einzelner Steuerstäbe zur schnellen Verringerung der Reaktorleistung waren nicht betroffen. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Nichtverfügbarkeit des Stabgruppenantriebsystems der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Kontrolle der Reaktivität».

- Der Ausfall einer Transponderkarte am 25. Mai 2016 im Bereich des Stabgruppenantriebsystems führte zu einer Störung im Steuerstab-Steuer- und -Informationssystem, analog zu derjenigen vom 13. Mai 2016. Die Funktionstüchtigkeit des Steuerstab-Steuer- und -Informationssystems konnte durch ein Reset des Stabgruppenantriebsystems innerhalb der von der Technischen Spezifikation gesetzten Frist wieder hergestellt werden. Der Ausfall der Transponderkarte führte zu einer etwa eineinhalbstündigen Nichtverfügbarkeit des Stabgruppenantriebsystems. Da keine di-

rekte Ursache für den Ausfall gefunden wurde, baute das KKL die betroffene Transponderkarte am 1. Juni 2016 aus und schickte sie zur weiteren Untersuchung an den Hersteller. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Nichtverfügbarkeit des Stabgruppenantriebsystems der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Kontrolle der Reaktivität».

- Im Rahmen von Brennelementinspektionen in der Jahreshauptrevision 2016, die als Folge eines Hüllrohrschadens an einem Brennelement im Zyklus 30 (2013/2014) durchgeführt wurden, zeigte sich an mehreren Brennstäben eine lokale Verfärbung der Hüllrohroberfläche infolge verstärkter Bildung von Zirkoniumoxid. Das Inspektionsprogramm wurde daher im Laufe des verlängerten Revisionsstillstands auf insgesamt über 200 Brennelemente erweitert. An einzelnen Brennstäben mit Befund wurde die Oxidschichtdicke gemessen, wobei sich Werte bis zu 260 µm (Oxidschichtdicke plus Crud) ergaben. Zulässig sind 100 µm Oxidschichtdicke. Das ENSI hat die Durchführung der Brennelementinspektionen durch den Hersteller anlässlich einer eigenen Inspektion stichprobenweise geprüft und mit Normalität bewertet, die Befunde mit zu hoher Oxidschichtdicke wurden als Abweichung taxiert. Die Befunde betrafen nur Brennelemente eines Typs und ausschliesslich den Ecken der Brennelemente benachbarte Brennstäbe.



Kern im  
offenen Reaktor.  
Foto: KKL

Die Bereiche mit erhöhter Oxidation lagen unterhalb des obersten bzw. zweitobersten Abstandhalters. Die axiale Ausdehnung betrug bis zu 26 cm. Azimutal war nur ein geringer Anteil des Hüllrohrumfangs betroffen, wobei die Orientierung relativ zu den Brennelementecken in allen Fällen vergleichbar war. Die am stärksten betroffenen Brennstäbe wurden durch Stäbe aus Zirkonium ersetzt, um einen Wiedereinsatz der Brennelemente zu ermöglichen. Die Befunde zeigen, dass es im Normalbetrieb lokal zeitweise zu einem Dryout gekommen war. Bei einem Dryout ist die Hüllrohroberfläche nicht mehr mit flüssigem Wasser bedeckt. Sie wird nur noch durch Dampf gekühlt. Dadurch verschlechtert sich der Wärmeübergang und die Temperatur der Hüllrohroberfläche steigt. Dies bewirkt eine Beschleunigung der chemischen Reaktion zwischen dem den Hauptanteil der Hüllrohre bildenden Zirkonium und dem am Ort des Dryouts dampfförmig vorliegenden Wasser. Bei der erwähnten Reaktion entstehen Zirkoniumoxid und Wasserstoff. Die Reaktion läuft auch ohne Dryout ab, allerdings deutlich langsamer, sodass die Schichtdicke des Zirkoniumoxids unterhalb des Grenzwerts bleibt. Der Dryout im Normalbetrieb trat auf, obwohl der massgebliche Sicherheitsgrenzwert der Technischen Spezifikation,

das minimale kritische Leistungsverhältnis (MCPR), nicht unterschritten worden war. Das MCPR wird im Rahmen der Kernausslegung für jeden Betriebszyklus neu berechnet. Die Einhaltung wird während des Betriebs laufend überwacht. Das Auftreten des Dryouts trotz eingehaltenem Grenzwert zeigt, dass letzterer bei der Kernausslegung nicht in geeigneter Weise berechnet worden war. Die festgestellten Befunde an den Brennelementen führten zu keiner Freisetzung radioaktiver Stoffe in den Kühlkreislauf und es wurden keine radiologischen Grenzwerte überschritten. Es kam auch nicht zu einem Ansprechen von Sicherheitseinrichtungen. Ein Versagen eines Hüllrohrs während des Leistungsbetriebs wäre durch die permanente radiologische Prozessüberwachung umgehend erkannt worden. Die sicherheitstechnische Bedeutung des Vorkommnisses wurde jedoch gesamthaft als wesentlich für die nukleare Betriebsführung eingestuft, weil es im Normalbetrieb zu einer lokalen Überschreitung der Siedeübergangsleistung an einzelnen Brennstäben gekommen ist. Weitere Angaben zum Vorkommnis und zu den in der Folge getroffenen Massnahmen für den neuen Betriebszyklus finden sich in Kap. 4.3.3 sowie den vom ENSI publizierten Artikeln. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung das Auftreten von kritischen Siedezuständen im Normalbetrieb der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Der bei der Kernausslegung definierte, zur Verhinderung des Dryouts ungeeignete Grenzwert (MCPR) wurde als INES 1 eingestuft, als Aspekt der Auslegungsvorgaben mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Die Überschreitung von Grenzwerten für die Oxidschichtdicke wurde der Kategorie A zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die erste Barriere und das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe».

- Während der Jahreshauptrevision 2016 wurden bei der geplanten Inspektion von zwei Vorläufer-Brennelementen am 18. August 2016 gebrochene Fussdichtungen an einem Brennelement gefunden. Die Fussdichtungen der Brennelemente, welche zur thermohydraulischen Abdichtung des Spaltes zwischen Brennelement-

kasten und -füsse dienen, werden als Fingerfedern bezeichnet. Jede Fingerfeder verfügt über sieben Finger. Der Bruch der Fingerfedern hatte keine Beschädigung von Hüllrohren und daher auch keine Freisetzung radioaktiver Stoffe zur Folge. Der Hersteller der Brennelemente hat in Zusammenarbeit mit dem KKL den Befund bewertet: Lose Bruchstücke können sich nicht aus dem Brennelement fortbewegen, einfach gebrochene Fingerfedern sind weiterhin fest im Brennelement arretiert. Der Bruch von Fingerfedern hat daher keine unmittelbare sicherheitstechnische Relevanz. Das ENSI hat vom KKL für das gesamte Vorläuferprogramm mit Brennelementen des betroffenen Typs zusätzliche Analysen und eine Ausweitung des Inspektionsprogramms verlangt. Im Lauf der erweiterten Inspektionen wurden weitere gebrochene Fingerfedern an Brennelementen identifiziert, welche auf die gleiche Ursache hinweisen. Der Brennelementhersteller wird daher mögliche konstruktive Änderungen prüfen und das KKL hat weitere Inspektionen vorgesehen. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die gebrochenen Fingerfedern der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und die Schutzziele «Kühlung der Brennelemente» und «Einschluss radioaktiver Stoffe».

- Bei Wartungsarbeiten wurde am 15. August 2016 eine Leckage an der Rezirkulationsleitung eines Strangs des Notkühlwassersystems festgestellt. Die betroffene Stelle wurde mittels einer Aufschweissung repariert. Die Materialschwächung, die zu der Leckage geführt hatte, ist von der Innenseite der Rohrleitung her entstanden. Für die abschliessende Ursachenabklärung wurde die betroffene Rohrleitung ausgebaut und ersetzt. Das Notkühlwassersystem kommt bei einem Ausfall des Nebenkühlwassersystems oder des nuklearen Zwischenkühlwassersystems zum Einsatz. Die Wärmeabfuhr erfolgt über Notkühltürme. Bei tiefen Aussentemperaturen kann das Wasser über eine in die Rezirkulationsleitung mündende Bypassleitung direkt in das Kühlturmbassin geleitet werden, um so eine Vereisung der Kühlturmeinheiten zu verhindern. Weiter ermöglicht die Rezirkulationsleitung die Prüfung der Hauptpumpe des Strangs, ohne dass der ganze Kreislauf durchströmt wird. Die Leckage hätte im Anforderungsfall die Funktionsbereitschaft des Notkühlwassersystems nicht beeinträchtigt, da die austretende Leckagemenge einen minimalen Anteil des Gesamtmassenstroms in der Rohrleitung dargestellt hätte. Da sich die Gesamtanlage zum Zeitpunkt des Erkennens der Leckage im Revisionsstillstand befand, bestanden keine Anforderungen der Technischen Spezifikation an die Verfügbarkeit des Notkühlwassersystems. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Leckage an einer Rezirkulationsleitung des Notkühlwassersystems der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

■ Am 17. August 2016 wurde bei der Durchführung eines Funktionstests an einer Schweisssnaht im Druckhaltekreis des Hochdruck-Kernsprühsystems eine Leckage festgestellt. Der Druckhaltekreis stellt sicher, dass dieses System permanent mit Wasser gefüllt ist. Der betroffene Rohrleitungsabschnitt wurde umgehend ersetzt. Der herausgetrennte Abschnitt wurde fraktografisch untersucht und als Ursache der Leckage wurde ein durch Schwingungen verursachter Ermüdungsriss identifiziert. Da es bereits in früheren Jahren zu ähnlichen Schäden im Bereich des Hochdruck-Kernsprühsystems gekommen war, hat das KKL eine Verbesserung der Schwingungsüberwachung eingeleitet. Bei der Bewertung des Vorkommnisses konnte unter der Berücksichtigung von konservativen Annahmen gezeigt werden, dass der Riss in der Schweisssnaht im Anforderungsfall die Verfügbarkeit des Hochdruck-Kernsprühsystems nur geringfügig beeinflusst hätte. Da sich die Gesamtanlage zum Zeitpunkt des Erkennens des Risses im Revisionsstillstand befand, bestanden keine Anforderungen der Technischen Spezifikation an das Hochdruck-Kernsprühsystem bezüglich der Verfügbarkeit. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Leckage an der Schweisssnaht der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

- Bei Untersuchungen im Rahmen des erweiterten Inspektionsprogramms zur Abklärung der festgestellten Dryout-Befunde wurde am 28. Okto-



ber 2016 an einem der vier Teilbündel eines Brennelements der oberste Abstandshalter beschädigt. Für die visuelle Inspektionen der Hüllrohre wurden die Oberflächen mittels eines Spezialwerkzeuges unter Wasser manuell gereinigt. Dabei wurde der oberste Abstandshalter an einer Stelle verbogen. Nach Abschluss der visuellen Inspektion wurde die Verbiegung soweit rückgängig gemacht, dass das Teilbündel wieder in das Brennelement eingesetzt werden konnte. Das betroffene Brennelement war bereits vor der Inspektion nicht mehr für den Wiedereinsatz im Reaktorkern vorgesehen. Die Verbiegung des Abstandshalters hatte weder eine Beschädigung von Hüllrohren noch eine Freisetzung radioaktiver Stoffe zur Folge. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den beschädigten Abstandshalter der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

- Bei Instandhaltungsarbeiten wurde am 23. November 2016 an einem der beiden Dieselmotoren des Notstandsystems am Rädertrieb eine beschädigte Achse festgestellt. Der Rädertrieb dient dem Antrieb von Hilfsaggregaten des Motors. Die stirnseitig an der Achse angebrachte Nut zur Aufnahme einer Verdrehsicherung war auf einer Seite ausgebrochen. Die formschlüssige Verdrehsicherung sowie die Funktionalität der Achse blieben erhalten. Die Achse wurde ersetzt und die Funktionstüchtigkeit des Dieselmotors nachgewiesen. Gemäss den Angaben des Herstellers war die Einsatzbereitschaft des Dieselmotors durch den Befund nicht beeinträchtigt. Eine umgehende Überprüfung des baugleichen Dieselmotors der anderen Division des Notstandsystems zeigte keine Abweichungen. Die Schadensanalyse ergab als Ursache einen Montagefehler bei der vom Hersteller im Jahr 2014 durchgeführten Grundüberholung des Motors, der zu einer erhöhten Belastung des ausgebrochenen Teils geführt hatte. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die beschädigte Nut der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Die Anzahl Vorkommnisse in den vergangenen zehn Jahren ist im Anhang

in Figur 2 dargestellt. Eine Übersicht über die meldepflichtigen Vorkommnisse im Berichtsjahr findet sich in Tabelle 4.

## 4.3 Anlagentechnik

### 4.3.1 Revisionsarbeiten

Die Anlage wurde am 2. August 2016 zur Durchführung der geplanten Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten ausser Betrieb genommen. Nach Abschluss dieser Arbeiten wurde die Anlage bis zum Ende des Berichtsjahres nicht wieder angefahren. Während des Revisionsstillstands wurden die geplanten Instandhaltungsarbeiten sowie Inspektionen an mechanischen und elektrischen Einrichtungen, zerstörungsfreie Prüfungen sowie wiederkehrende Funktionsprüfungen durchgeführt. Anschliessend befand sich die Anlage infolge der Befunde an mehreren Brennelementen in einem verlängerten Stillstand. Das KKL hat in dieser Zeit zusätzlich Instandhaltungstätigkeiten ausgeführt, die nur bei abgeschalteter Anlage möglich sind.

Von besonderer Bedeutung waren die folgenden Prüfungen:

- An der Mischnaht einer Kleinleitung im Vergiftungssystem wurde eine manuelle Ultraschallprüfung durchgeführt. Es wurde festgestellt, dass das mindestens erforderliche Prüfvolumen nicht erreicht werden konnte. Die Prüfung musste als nicht erfüllt bewertet werden. Das ENSI hat das KKL aufgefordert, die Schweißnaht in der nächsten Jahreshauptrevision mit einem nach Richtlinie ENSI-B07 qualifizierten Prüfverfahren erneut zu prüfen.
- Einzelne Mischnahtverbindungen in den RDB-Stützenanschlussnähten sowie eine Mischnaht der Einbindung an das Nach- und Notkühlsystem wurden einer mechanisierten Ultraschallprüfung unterzogen. Die Prüfungen wurden gemäss den qualifizierten Prüfvorschriften vollständig und erfolgreich durchgeführt. Es ergaben sich keine bewertungspflichtigen Anzeigen.
- Die Einbauten des RDB wurden mit einem Kamerasystem qualifiziert visuell geprüft. Es wurden keine neuen Auffälligkeiten festgestellt. Ebenso erfolgte eine mechanisierte Sichtprüfung der äusseren Oberflächen der Stützendurchführungen an der Bodenkalotte des RDB. Es wurden keine Veränderungen im Vergleich mit der Prüfung im Jahr 2015 festgestellt.



- Die Wanddickenmessungen an klassierten und unklassierten Rohrleitungen im Rahmen eines systematischen Wiederholungsprüfprogramms ergaben keine Befunde, bei denen eine Unterschreitung der rechnerischen Mindestwanddicke festgestellt wurde.

#### 4.3.2 Anlageänderungen

Nachfolgend sind einige der sicherheitstechnisch bedeutsamen Anlagenänderungen erwähnt, welche das ENSI vorgängig geprüft und freigegeben hat:

- Installation von neuen Koaxial-Penetrationsmodulen am Primärcontainment
- Umrüstung der Kältemaschine in der Notsteuerstelle und des Signalumformers in der Division 11
- Ersatz der Push-Ventile im Bereich der Kondensatreinigung

Der Bau der neuen Aktivlagerhalle für kontaminierte Grosskomponenten wurde im Berichtsjahr fortgesetzt.

Im Revisionsstillstand 2016 wurden auch zahlreiche nicht freigabepflichtige Anlageänderungen vorgenommen, zwecks Verbesserung der Verfügbarkeit und Modernisierung der Anlage. Hierzu gehören unter anderem:

- Ersatz des Blocktrafos für die Eigenbedarfsversorgung
- Ersatz der Mindestmengenregelung des Speisewassers
- Ertüchtigung und Implementierung einer digitalen Leittechnik im Bereich des Kühlturmsatzwassersystems
- Die Erneuerung der Brandschutzanlage wurde fortgesetzt.

#### 4.3.3 Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente

Der Reaktor wurde im Berichtszeitraum planmässig bis zur Abstellung zur Jahreshauptrevision im August 2016 betrieben.

Als Ursache für den Defekt eines Brennstabs an einem Brennelement im Zyklus 30 (2013/2014) und die leicht erhöhte Oxidation an Brennelementen im Folgezyklus war ein lokales Kühlungsdefizit (Dryout) in hochbelasteten Brennelementen identifiziert worden. Die Ursachenforschung für die Kühlungsdefizite ist im Berichtszeitraum fortgesetzt worden und der Reaktor wurde weiter mit einer erhöhten Sicherheitsmarge gegen Dryout betrieben. Während der Jahreshauptrevision 2016 wurden zusätzliche Inspektionen an Brennelementen des vom

Dryout betroffenen Typs durchgeführt, um die Wirksamkeit der erhöhten Sicherheitsmarge für den abgelaufenen Zyklus zu überprüfen. Dabei wurde festgestellt, dass es an mehreren Brennelementen wiederum zu einem Dryout gekommen war. Das Inspektionsprogramm wurde daraufhin fortlaufend erweitert, sodass 201 Brennelemente des bereits im Zyklus 30 betroffenen Typs visuell inspiziert wurden. Insgesamt wurde bei den Inspektionen der Jahre 2014 bis 2016 an 47 Brennelementen desselben Typs aus fünf Zyklen verstärkte Oxidation infolge von Dryout in unterschiedlicher Ausprägung identifiziert. Inspiziert wurden auch 13 Brennelemente anderer Typen, wobei keine verstärkte Oxidation identifiziert wurde. Insgesamt befanden sich im Berichtszeitraum vier verschiedene Brennelementtypen im Kern des KKL. Fallweise wurde an den mit Befunden behafteten Brennstäben eine Messung des sogenannten Lift-off (Oxid-schichtdicke plus magnetischer Crud) durchgeführt. Bei 15 Brennelementen wurden die von erhöhter Oxidation betroffenen Brennstäbe durch Dummstäbe aus Zirkonium-Vollmaterial ersetzt, um sie wieder im Reaktor einsetzen zu können. Bei den übrigen von Dryout betroffenen Brennelementen zeigten die zusätzlich erbrachten Nachweise, dass ein für den Wiedereinsatz anforderungsgemässer Zustand vorlag.

Die Inspektionsergebnisse haben gezeigt, dass trotz der erhöhten Sicherheitsmarge der für den betroffenen Betriebszyklus nachgewiesene Grenzwert des minimalen Abstands zum Siedeübergang nicht geeignet war, lokale Kühlungsdefizite für alle Brennelemente im gesamten Betriebszyklus zu vermeiden. Jedoch haben die Inspektionsergebnisse auch gezeigt, dass Dryout nur bei frischen Brennelementen oberhalb einer Brennelementleistung von 7,4 MW und einem Kühlmitteldurchsatz im Reaktor von mehr als 95 % des Nennwerts auftrat, wobei der Zeitpunkt des lokalen und temporären Dryouts gegen Zyklusende lag.

Durch die verlängerte Revisionsabstellung erfolgte eine Verkürzung des geplanten Betriebszeitraums für den Folgezyklus und dadurch auch eine Verminderung der Anzahl der nachzuladenden frischen Brennelemente auf 84. Wegen der Dryoutbefunde wurden betriebliche Begrenzungen für den Kühlmitteldurchsatz im Reaktor (max. 95 %) und die Leistung frischer Brennelemente (max. 7,0 MW) festgelegt.

Die Integrität der Steuerelemente wurde anhand regelmässiger Analysen der Wasserchemie nachgewiesen. Da alle im letzten Zyklus eingesetzten Steuerstäbe auch im folgenden Zyklus unterhalb der zu-

lässigen Borabbrände bleiben werden, war kein Ersatz von Steuerstäben erforderlich.

Des Weiteren wurden in der Jahreshauptrevision 2016 die Inspektionen an Hochabbrand- und Vorläufer-Brennelementen zweier Hersteller durchgeführt. Diese Inspektionen umfassten visuelle Prüfungen, Messungen der Brennstablängen sowie die Vermessung der Kastenverbiegung. Diese Inspektionen bestätigten das auslegungsgemässe Verhalten. Die Messergebnisse lagen im erwarteten Bereich. Bei den Inspektionen wurden vereinzelt Brüche an Fingerfedern bestimmter nicht vom Dryout betroffener Brennelementtypen festgestellt. Lose Teile wurden entfernt. Als Ursache wurde Materialermüdung ermittelt. Die Brennelemente sind weiterhin sicher einsetzbar, da nachgewiesen wurde, dass die thermohydraulischen Auswirkungen geringfügig sind und weitere potenziell auftretende lose Teile nicht zu einer Beschädigung der Brennelemente führen können.

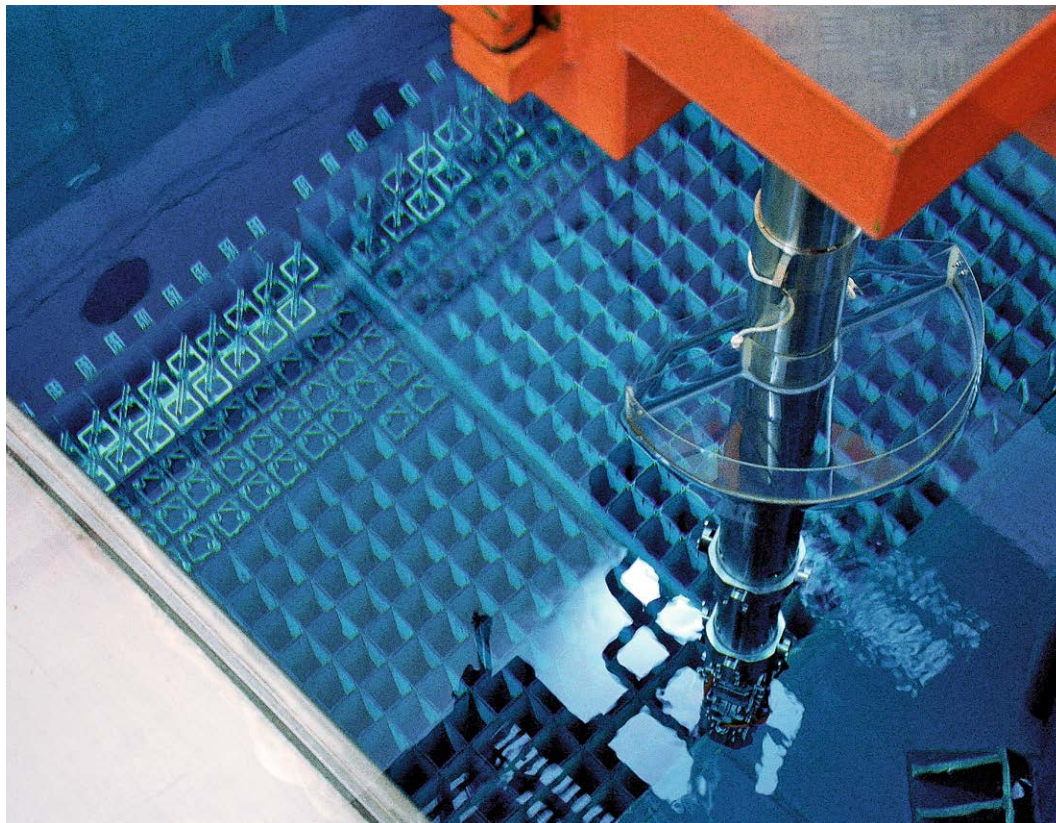
Die durchgeführten Inspektionen sowie die Analyse der Untersuchungsergebnisse haben bestätigt, dass im Berichtszeitraum keine Hüllrohrleckagen aufgetreten sind. Die Integrität der ersten Barriere zum Schutz gegen den Austritt radioaktiver Stoffe war daher im gesamten Berichtszeitraum jederzeit gewährleistet.

## 4.4 Strahlenschutz

Die 2016 im KKL akkumulierte Kollektivdosis betrug 1225 Pers.-mSv. Die höchste registrierte Jahresindividualdosis betrug 10 mSv. Alle Individualdosen lagen unter dem Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, die sich nicht mit einfachen Mitteln entfernen liessen. Inkorporationen von radioaktiven Stoffen oberhalb der Triageschwelle gab es ebenfalls keine. Im Jahr 2016 gab es keine Hinweise auf Brennelementschäden. Die Wasserstoffeinspeisung wurde am 2. August um 09:20 Uhr abgestellt, um den Übertrag von Iod aus der Wasser- in die Dampfphase zu minimieren. Es wurde während dem Abfahren zur Jahreshauptrevision 2016 kein Iod-Peak festgestellt.

Die Dosisprognose für die gesamte Revision hatte 740 Pers.-mSv ergeben, tatsächlich wurde eine Kollektivdosis von 883 Pers.-mSv (EPD-Wert) gemessen. Die Überschreitung des Planwerts entstand durch Mehrarbeit bei Sicherheitsventilen im Drywell und im Dampftunnel sowie wegen der Befunde an den Brennelementen. Der radiologische Zustand im Primärteil der Anlage hat sich im Vergleich zum Vorjahr nicht wesentlich verändert. Die Anzahl der Hot Spots in der Anlage hat gegenüber dem Vorjahr um zwei zugenommen.

Brennelementlager.  
Foto: KKL



Das ENSI stellte bei mehreren Inspektionen mit einer Ausnahme fest, dass im KKL ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz praktiziert wird. Bei der Inspektion der Instandsetzung von Brennelementen im Lagerbecken stellte das ENSI fest, dass keine vorsorglichen Massnahmen getroffen worden waren, um im Fall eines Hüllrohrbruchs austretenden Brennstoff sowie Bruchstücke des Hüllrohrs aufzufangen. Damit waren die entsprechenden Vorgaben der Richtlinie ENSI-G20 nicht erfüllt. Das ENSI hat im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung diese fehlenden Massnahmen der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 2 und das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe». Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen, Iod und Edelgasen lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Grenzwerte. Dies gilt auch für die radioaktiven Abgaben mit dem Abwasser ohne Tritium. Die Tritium-Abgaben des KKL betragen rund 2 % des Jahreshrenzwertes. Die quartalsweise vom ENSI durchgeführten Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern ergaben eine Übereinstimmung mit den vom KKL gemeldeten Analyseergebnissen. 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 konservativen, das heisst ungünstigen Annahmen. Die Dosen betragen rund 0,002 mSv für Erwachsene und für Zehnjährige sowie 0,003 mSv für Kleinkinder und lagen damit deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr gemäss der Richtlinie ENSI-G15. Die Dosisleistungsmesssonden des vom ENSI betriebenen Messnetzes (MADUK) in der Umgebung des Werkes zeigten keine durch den Betrieb der Anlage erhöhten Werte. Im Nahbereich eines Siedewasserreaktors ist die Ortsdosisleistung durch Direkt- und Streustrahlung aus dem Maschinenhaus erhöht. Die Thermolumineszenz-Dosimeter, die an mehreren Stellen am Zaun des Kraftwerksareals die Dosis messen, zeigten mit einem Höchstwert von 1,4 mSv im Jahr 2016 einen mit jenem aus dem Vorjahr (1,3 mSv) vergleichbaren Wert. Bei den quartalsweise vom ENSI zur Kontrolle durchgeführten Messungen an der Umzäunung des KKL wurden ebenfalls keine signifikanten Veränderungen festgestellt. Die in Artikel 102 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung vorgegebenen Immissionsgrenzwerte für Direkt-



Reaktorgebäude  
neben Kühlturm.  
Foto: KKL

strahlung ausserhalb des Kraftwerksareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche wurden eingehalten. Für detailliertere Angaben zur radiologischen Situation innerhalb und ausserhalb des KKL wird auf den Strahlenschutzbericht 2016 des ENSI verwiesen.

#### 4.5 Radioaktive Abfälle

Radioaktive Rohabfälle fallen im KKL regelmässig aus den Wasserreinigungssystemen, der Abgas- und Fortluftreinigung und als verbrauchte Kernkomponenten an. Weitere Abfälle stammen aus dem Austausch von Komponenten bei Instandhaltungs-, Umbau- oder Nachrüstungsmassnahmen und den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien. Im Berichtsjahr fielen 32 m<sup>3</sup> radioaktive Rohabfälle an (vgl. Tabelle 6). Die Abfallmenge lag in der mehrjährigen Schwankungsbreite auf einem niedrigen Niveau.

Die radioaktiven Rohabfälle werden gesammelt, kampagnenweise konditioniert und anschliessend zwischengelagert. Die im KKL vorhandenen unkonditionierten Abfälle sind in dafür vorgesehenen Räumlichkeiten der kontrollierten Zone aufbewahrt. Ihr Bestand liegt mit 1 m<sup>3</sup> im Erfahrungsbereich der vergangenen Jahre. Brennbar und weitere Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in der Plasma-Anlage der Zwiilag bereitgestellt und dorthin transportiert.

Als Konditionierungsverfahren kommt im KKL die Zementierung von Harzen und Konzentraten zum Einsatz. Für alle angewendeten Verfahren liegen die behördlichen Typengenehmigungen vor. Im Berichtsjahr wurden verbrauchte Harze und Konzentrate zementiert.



Die konditionierten Abfallgebinde werden im werkseigenen Zwischenlager eingelagert. Das KKL nutzt zudem die Kapazitäten der Zwiilag. Im Berichtsjahr wurden 40 Fässer mit konditionierten Harzen und Konzentraten dorthin transferiert. Bei der jährlichen Inspektion des Lagergutes wurden keine meldepflichtigen Befunde festgestellt. Die radioaktiven Abfälle des KKL sind in einem von allen schweizerischen Kernanlagen eingesetzten elektronischen Buchführungssystem erfasst, so dass die Information über Menge, Lagerort und radiologische Eigenschaften jederzeit verfügbar ist.

Ein wichtiges Element bei der Minimierung der radioaktiven Abfälle ist die Inaktiv-Freimessung von Materialien aus der kontrollierten Zone. Im KKL wurden im Berichtsjahr insgesamt 53,3 t Material freigemessen.

Bestrahlte Brennelemente des KKL werden nach einigen Jahren Lagerung im betrieblichen Brennelementbecken in Transport- und Lagerbehältern in das zentrale Zwischenlager der Zwiilag zur Trockenlagerung überführt. Im Jahr 2016 fanden drei Transporte mit je 69 Brennelementen statt.

Weitere Information zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente und zu den Wiederaufarbeitungsabfällen findet sich für alle Werke 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 hat im Juni 2016 an der Werksnotfallübung AGATHA mit Schwerpunkt Feuerwehreinsatz die Notfallorganisation zusammen mit dem kantonalen Feuerwehrenspektorat beobachtet und beurteilt. Der Übung wurde folgendes Szenario zugrunde gelegt: Ein Blitzschlag verursachte einen Kurzschluss auf der Oberspannungsseite eines Blocktransformators, der daraufhin in Brand geriet. Die Explosion des Transformators und anschliessendes Auslaufen von Transformatorenöl führten zu einem Flächenbrand. Trümmerteile beschädigten den 50-kV-Eigenbedarfstrafo, der sofort ausfiel. Durch die Druckwelle verursachte umherfliegenden Glassplitter verletzten mehrere Personen. Nach dem Kurzschluss im Blocktransformator fielen alle 10-kV-Verbraucher aus. Es folgten eine Turbinen-

schnellabschaltung und eine Reaktorschnellabschaltung. Der Reaktor wurde automatisch isoliert. Als Folge des Ausfalls der Dichtölpumpen strömte Wasserstoff aus dem Generator ins Maschinenhaus, was eine akute Explosionsgefahr verursachte. Die Wärmeabfuhr aus dem Reaktor erfolgte über das Notstandssystem.

In der Erstorientierung des ENSI-Pikettingenieurs erfolgte eine zweckmässige Information über die Anlagesituation, anhand der im Mai 2016 neu eingeführten IAEA-kompatiblen Notfallklassierung wurde die Stufe Bereitschaft deklariert. Die Notfallklassierung wurde entsprechend der Lageentwicklung regelmässig überprüft. Die Kriterien für eine Hochklassierung wurden nicht erreicht.

Aufgrund seiner Übungsbeobachtungen kamen das ENSI und das kantonale Feuerwehrenspektorat zum Schluss, dass die Übungsziele gemäss der Richtlinie ENSI-B11 erreicht wurden. Das KKL verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.

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

Ferner löste das ENSI ohne Voranmeldung einen Übungsalarm im KKL aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabs gemäss Richtlinie ENSI-B11 bestätigt wurde.

## 4.7 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr hat sich der Personalbestand des KKL auf 526 Personen, welche 514 Vollzeitstellen besetzten, reduziert (Ende 2015: 533). Der Personalarückgang im Betrachtungszeitraum ist weiterhin vor allem auf Pensionierungen von langjährigen Mitarbeitern und damit der Reduktion von Doppelbesetzungen zurückzuführen. Diese waren seit 2008 im Hinblick auf den Generationenwechsel aufgebaut worden. Die vorübergehenden Doppelbesetzungen haben sich bewährt und werden solange der momentane Generationenwechsel dauert auch in den folgenden Jahren weiter geführt. Das KKL hat im Jahr 2016 keine grösseren organisatorischen Änderungen vorgenommen.

Im Rahmen des Aufsichtsschwerpunktes 2015 hatte das ENSI vom KKL aufgrund einer Häufung von Vorkommnissen mit wesentlichen Grundursachen im Bereich Mensch und Organisation weitergehende Abklärungen verlangt und die Vorkommnisse aus dem Jahr 2015 in Zusammenhang mit den bereits im Jahr 2014 beurteilten Defiziten im Be-



reich Mensch und Organisation gestellt. Als eine der daraus abgeleiteten Massnahmen hat das KKL im Berichtsjahr, gemeinsam mit dem KKB, eine Schulungseinrichtung auf dem Gelände des KKB in Betrieb genommen. Mit dieser Schulungseinrichtung sollen die Human-Performance-Optimization-Trainings intensiviert werden. Diese Trainings dienen unter anderem dazu, spezifische Fehlervermeidungstechniken zu üben. Die Entwicklung eines Konzepts zur Wirksamkeitskontrolle von beschlossenen und eingeleiteten Massnahmen wird weiterhin durch das ENSI im Rahmen seiner Aufsicht überwacht.

Das Managementsystem des KKL besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2015. Das ENSI führte eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Änderungsmanagement durch. Es wurde dabei überprüft, ob die Organisation der Kernanlage die Abläufe und Vorgaben bei technischen und organisatorischen Änderungen klar, kohärent, angemessen detailliert und verbindlich geregelt hat. Die Anforderungen wurden erfüllt.

Im Berichtsjahr bestand ein Reaktoroperateur-Anwärter des KKL die Abschlussprüfung der kerntechnischen Grundlagenausbildung an der Reaktorschule des PSI. Dies ist eine Voraussetzung für die weitere Ausbildung und spätere Zulassungsprüfung zum Reaktoroperateur. Die Ausbildung vermittelt die erforderlichen theoretischen Kenntnisse auf den Gebieten der thermischen Kraftwerkstechnik, Nuklearphysik, Reaktortechnik und des Strahlenschutzes.

Fünf Reaktoroperateure, zwei Schichtchefs sowie ein Pikettingenieur des KKL 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 hat eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2015 und der Planung des Ausbildungsprogramms 2016 der Abteilung Betrieb durchgeführt. Gegenstände der Inspektion waren die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator, die allgemeine Wiederholungsschulung sowie deren Änderungen und Neuerungen. Ferner wurde die Ausbildung des Personals der Abteilung

Maschinentchnik auf Einhaltung der Vorgaben der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen und der Richtlinie ENSI-B10 überprüft. Die Ausbildungsprogramme des KKL in den inspizierten Bereichen erfüllen die Anforderungen.

#### **4.8 Periodische Sicherheitsüberprüfung**

Ende 2016 reichte das KKL fristgerecht die von der Kernenergieverordnung im Rahmen der Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) geforderte Dokumentation ein.

## 4.9 Sicherheitsbewertung

Im Jahr 2016 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	
	Auslegungs-Vorgaben	Betriebs-Vorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch & Organisation
Ziele				
Ebene 1	1	N	A	V
Ebene 2		N	N	A
Ebene 3		V	A	V
Ebene 4			V	V
Ebene 5			N	N
Integrität der Brennelemente		N	A	N
Integrität des Primärkreises		N	N	V
Integrität des Containments			N	N
ebenen- oder barrieren-übergreifende Bedeutung		N	A	V

Sicherheitsbewertung 2016 KKL:  
Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge

Bewertungsgegenstand	Anforderungen		Betriebsgeschehen	
	Auslegungs-Vorgaben	Betriebs-Vorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch & Organisation
Ziele				
Kontrolle der Reaktivität			A	V
Kühlung der Brennelemente	1	V	A	V
Einschluss radioaktiver Stoffe		N	A	A
Begrenzung der Strahlendosis		N	N	N
schutzzielübergreifende Bedeutung		N	A	V

Sicherheitsbewertung 2016 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, 4.3.3 und 4.4 dargestellt.

Zusammenfassend kommt das ENSI zu folgenden Gesamtbewertungen:

### Auslegungsvorgaben

Das ENSI ordnet den bei der Kernausslegung definierten, zur Verhinderung des Siedeübergangs ungeeigneten Grenzwert (vgl. Unterkapitel 4.2) der Stufe 1 der internationalen Ereignisskala INES zu. Entsprechend bewertet das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als ausreichend.

### Betriebsvorgaben

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

### Zustand und Verhalten der Anlage

Das ENSI beurteilt die in den Unterkapiteln 4.2 und 4.3.3 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 KKL hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut.

### Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

Das ENSI beurteilt die im Unterkapitel 4.4 beschriebene Abweichung im Bereich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als Abweichung mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Weil Bewertungen der Kategorie A unterhalb der internationalen Ereignisskala INES liegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als gut.





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 (HAA-Lager) für abgebrannte Brennelemente und verglaste hochaktive Abfälle (Glaskokillen) aus der Wiederaufarbeitung, das Lagergebäude für mittelaktive Abfälle (MAA-Lager) und die Lagergebäude für

schwach- und mittelaktive Abfälle (MAA/SAA-Lager). Zum Zwischenlager gehören auch das Empfangsgebäude und die Heisse Zelle.

Im HAA-Lager wurden im Berichtsjahr drei Transport- und Lagerbehälter (TL-Behälter) mit jeweils 69 abgebrannten Brennelementen aus dem Kernkraftwerk Leibstadt eingelagert. Ferner wurden im Herbst 2016 insgesamt sieben TL-Behälter mit hochaktiven verglasten Abfällen aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen aus La Hague (F) und Sellafield (UK) angeliefert. Das ENSI hat die entsprechenden Einlagerungsanträge geprüft und die Einlagerung freigegeben. Ende 2016 betrug der Lagerbestand im HAA-Lager 57 TL-Behälter, davon 11 CASTOR®- und 12 TN-Behälter mit insgesamt 632 Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung von Brennelementen, 33 TN-Behälter mit insgesamt 2384 abgebrannten Brennelementen aus dem Betrieb der KKW



sowie ein CASTOR®-Behälter mit den Brennelementen aus dem stillgelegten Forschungsreaktor DIORIT des Paul Scherrer Instituts (PSI). Die Belegung des HAA-Lagers beträgt per Ende 2016 rund 28,5%. 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 sowie mittelaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in Frankreich (CSD-C) eingelagert. Ende 2016 betrug die Ausnutzung des MAA-Lagers rund 38%. Das SAA-Lager wird entsprechend dem Nutzungskonzept der Zwiilag bis etwa Mitte 2018 als konventionelles Lager für nicht radioaktive Ausrüstungen und Materialien genutzt. Demzufolge ist der maschinentechnische Ausbau auf die für diese Nutzung erforderlichen Einrichtungen beschränkt. Zur Vorbereitung der aktiven Inbetriebnahme auch des letzten Anlagenteils, des MAA/SAA-Lagers, startete die Zwiilag ein Projekt und hat erste Arbeiten lanciert.

Mit den im Jahr 2016 durchgeführten Rückführungen von Wiederaufarbeitungsabfällen aus La Hague (F) und Sellafield (UK) konnte das Rückführungsprogramm der Schweiz abgeschlossen werden. Somit befinden sich sämtliche Abfälle, welche bei der Wiederaufarbeitung von

abgebrannten Brennelementen aus schweizerischen Kernkraftwerken angefallen sind, im Zentralen Zwischenlager in Würenlingen.

## 5.2 Konditionierungsanlage

Die Konditionierungsanlage dient der Behandlung von schwachaktiven Abfällen aus dem Betrieb der schweizerischen Kernkraftwerke sowie von weiteren radioaktiven Abfällen, z.B. aus der Sammelstelle des Bundes (Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung), sofern diese keine Alphastrahler enthalten. Betriebsabfälle aus den Kernkraftwerken, die nicht als verbrennbarer oder schmelzbarer Abfall direkt in der Plasma-Anlage verarbeitet werden können, werden hier der Konditionierung bzw. 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 83,4 t Material gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B04 als inaktiv freigesessen.

Das Hochregallager der Konditionierungsanlage wird auch als Eingangslager für die für die Plasma-Anlage vorgesehenen und entsprechend vorkonditionierten Rohabfälle benutzt. Zu einem späteren Zeitpunkt werden diese ins Hochregallager (Produktionspuffer) der Plasma-Anlage transferiert und von dort aus der Verarbeitung zugeführt.

Unterirdische  
Transportwege.  
Foto: Zwiilag



## 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 Kernkraftwerke sowie aus Medizin, Industrie und Forschung.

Im Jahr 2016 wurde nach einer grossen Revision der Anlage mit dem Austausch des Ofendeckels eine Kampagne in der Plasma-Anlage durchgeführt. Die Arbeiten verliefen planmässig, was sich in der spezifikationsgerechten Verarbeitung von 671 Abfallfässern und 800 Liter Flüssigabfällen zu 147 konditionierten Gebinden ausdrückt.





Ofenanlage.  
Foto: Zwiilag

## 5.4 Strahlenschutz

Im Jahr 2016 akkumulierten im ZZL 202 beruflich strahlenexponierte Personen eine Kollektivdosis von 8,5 Pers.-mSv. Sie lag damit bei 35% des für das Berichtsjahr geplanten Wertes von 24,2 Pers.-mSv. Ein Grund für die deutliche Unterschreitung der geplanten Dosis liegt in der Tatsache, dass die Dosis für einige Arbeiten schwer vorherzusagen waren. Werden dann noch nach KSR-Empfehlung viele kleine Dosen unterhalb 0,075 mSv abgerundet, so kann sich eine Diskrepanz zur Planungsdosis ergeben.

Die höchste registrierte Einzeldosis betrug 1,0 mSv (2015: 3,2 mSv). Im Berichtsjahr wurden weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen festgestellt. Die durch den Strahlenschutz regelmässig erhobenen Proben zeigten weder auf den Oberflächen noch in der Atemluft Hinweise auf unzulässige Kontaminationen. Zu den strahlenschutzrelevanten Arbeiten im Berichtsjahr mit signifikanten Beiträgen zur Kollektivdosis zählten 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 Betriebsbewilligung festgelegten Grenzwerte. Die quartalsweise vom ENSI durchgeführten Kontrollmessungen von Abwasserproben und Aerosolfiltern bestätigten die von der Zwiilag gemeldeten Analyseergebnisse. Die aufgrund der Abgaben unter un-

günstigen Annahmen berechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des ZZL lagen 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 einen gemeinsamen Standort; die Umgebungsüberwachung für den gesamten Standort mittels Thermolumineszenz-Dosimetern (TLD) wird vom PSI durchgeführt. Die TLD in der Umgebung und am Arealzaun des ZZL zeigten keine dem Betrieb der beiden Anlagen zuzuschreibende Erhöhung gegenüber der Untergrundstrahlung. Die nach Art. 102 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für Direktstrahlung ausserhalb des Betriebsareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche wurden somit in jedem Fall eingehalten. Die Tätigkeiten in den Anlagen der Zwiilag wurden unter Einhaltung der gesetzlichen und internen Strahlenschutzvorgaben durchgeführt. Die Ergebnisse der Inspektionen des ENSI bestätigen, dass im ZZL ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz angewendet wird.

## 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

Behälterlagerhalle  
mit Kran.  
Foto: Zwilag



einer entsprechenden Auslegung der Anlagen hat die Zwilag die Notfallbereitschaft auf hohem Niveau sicherzustellen.

Das ENSI hat im Juli 2016 an der Werksnotfallübung DIONYSOS die Notfallorganisation beobachtet und beurteilt. Der Übung wurde als Szenario ein Brandausbruch in der Nähe eines Elektroschranks zugrunde gelegt. Parallel dazu waren mehrere Mitarbeiter damit beschäftigt, Wartungsarbeiten an einem Hallenkran durchzuführen. Durch eine unkontrollierte Handlung eines Mitarbeiters beim Auftreten des Brandalarms stürzte ein schwerer Getriebemotor vom Hebezeug. Der Absturz führte zu mehreren Verletzten und zur Beschädigung eines von den am Boden gelagerten Kunststoffbehältern mit schwachaktiven Chemikalien. Als Herausforderung bei der Übung zeigte sich für die Einsatzkräfte der Feuerwehr die notwendige Höhenrettung einer verletzten Person auf der unteren Kranebene. Die innerhalb des Gebäudes K supponierte Kontamination stellte in keinem Fall eine Gefahr für Mensch und/oder Umwelt dar. Das radiologische Ausmassen der Personen aus den evakuierten Bürogebäuden war aus Sicht des ENSI daher nicht notwendig. Die Zuständigkeiten zwischen den Strahlenschutzverantwortlichen und der ebenfalls mitübenden Kantonspolizei müssen noch genauer abgestimmt werden.

Das gewählte Szenario wurde gemäss der im Mai 2016 neu eingeführten IAEA-kompatiblen Klassierung anhand der Unterlagen des Zwilag korrekt der Notfallklasse Bereitschaft B zugeordnet und dem

ENSI gemeldet. Es wurde reibungslos mit den neuen Dokumenten gearbeitet und es konnte eine zutreffende Klassierung vorgenommen werden.

Aufgrund seiner Übungsbeobachtungen kam das ENSI zum Schluss, dass die Übungsziele gemäss der Richtlinie ENSI-B11 erreicht wurden. Die Zwilag verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.

Ferner löste das ENSI ohne Voranmeldung einen Übungsalarm im ZZL aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabs gemäss der Richtlinie ENSI-B11 bestätigt wurde.

## 5.6 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr hat die Zwilag keine grösseren organisatorischen Änderungen vorgenommen. Zum 1. Juli 2016 wurde die Funktion des Geschäftsführers neu besetzt. Die Belegschaft hat sich um 5 Personen auf 83 Personen, welche 79 Vollzeitstellen besetzen, erhöht.

Das Managementsystem der Zwilag besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2008. Das ENSI führte eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Änderungsmanagement durch. Es wurde dabei überprüft, ob die Organisation der Kernanlage die Abläufe und Vorgaben bei technischen und organisatorischen Änderungen klar, kohärent, angemessen detailliert und verbindlich geregelt hat und ob die Auswirkungen auf Mensch, Technik und

Organisation und auf deren Wechselwirkungen dabei berücksichtigt wurden. Die entsprechenden Anforderungen wurden erfüllt.

## **5.7 Vorkommnisse**

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

## **5.8 Gesamtbeurteilung**

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Zwiilag die verschiedenen Anlagen des zentralen Zwischenlagers im Jahr 2016 sicher betrieben und dabei jederzeit die bewilligten Betriebsbedingungen eingehalten hat. Die Sicherheit und somit der Schutz von Mensch und Umwelt war im Berichtsjahr gewährleistet. Das Managementsystem, die Qualifikation und die Kapazität des Personals sowie der Zustand der verschiedenen Anlagen stellen ein hohes Mass an Qualität und Zuverlässigkeit sicher.







Paul Scherrer Institut.  
Foto: PSI

## 6. Paul Scherrer Institut (PSI)

Das PSI ist das grösste eidgenössische Forschungsinstitut für Natur- und Ingenieurwissenschaften. Zusammen mit in- und ausländischen Hochschulen, Instituten, Kliniken und Industriebetrieben arbeitet es in den Forschungsbereichen Mensch und Gesundheit, Materie und Material sowie Energie und Umwelt. Zudem betreibt das PSI das Bundeszwischenlager (BZL), welches der Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle aus der gesamtschweizerischen Medizin, Forschung und Industrie dient.

Das Hotlabor, die Anlagen für die Behandlung und Lagerung radioaktiver Abfälle sowie die sich im Nachbetrieb oder in der Stilllegung befindlichen Forschungsreaktoren PROTEUS, SAPHIR und DIO-RIT sind Kernanlagen und werden durch das ENSI beaufsichtigt.

In der Berichtsperiode war kein meldepflichtiges Vorkommnis gemäss der Richtlinie ENSI-B03 zu verzeichnen. Die Sicherheit und somit der Schutz von Mensch und Umwelt war stets gewährleistet.

### 6.1 Hotlabor

Im Hotlabor werden hochradioaktive Substanzen im Labormassstab gehandhabt. Die Abteilung Hotlabor, das Forschungslabor für nukleare Materialien und die Target-Entwicklungsgruppe untersuchen mit unterschiedlichen makro- und mikroskopischen Methoden unter anderem bestrahlte Werkstoffe und Kernbrennstoffe aus Reaktoren oder Beschleunigern. Das PSI-Labor für Endlagersicherheit benutzt das Hotlabor für wissenschaftliche Untersuchungen des Transportverhaltens von Radionukliden in Gesteinen.

Im Jahr 2016 führte das PSI das Projekt zur Auflösung des Plutoniumlagers des Bundes erfolgreich zum Abschluss. Das Kernmaterial wurde im Rahmen der Global Threat Reduction Initiative (GTRI) Anfang 2016 in die USA überführt.

Im Hotlabor erfolgt auch die Konditionierung der radioaktiven Abfälle aus dem Betrieb seiner heissen Zellen. Darunter fallen einerseits flüssige Abfälle, die

bei der Brennstoff-Analytik anfallen und die Aktinide sowie Spalt- und Aktivierungsprodukte enthalten. Zur Verfestigung dieser flüssigen radioaktiven Abfälle hat das PSI im Jahr 2013 die neue Fixbox-3-Anlage im Rahmen einer Typenprüfung in Betrieb genommen. Ende 2016 kann die Typenprüfung nach diversen Optimierungen der Anlage faktisch als abgeschlossen betrachtet werden, sodass das PSI nun den Typengenehmigungsantrag ausarbeiten kann. Andererseits fallen bei der Brennstoffanalytik im Hotlabor auch feste bestrahlte Kernbrennstoff- und Strukturmaterialabfälle an. Diese Abfälle werden im Hotlabor hochdruckverpresst und in Stahlzylinder verpackt. Die im Jahr 2015 initiierte Erneuerung der diesbezüglichen Einrichtungen wurde in der Berichtsperiode abgeschlossen. Sobald die für die herzustellenden Abfallgebinde erforderliche neue Typengenehmigung erteilt ist, können die Konditionierungsarbeiten wieder aufgenommen werden. Zudem erfolgt im Hotlabor die Behandlung der radioaktiven Abwässer des PSI-Ost. Da die Sammel-tanks Alterungserscheinungen aufwiesen, musste diese Anlage erneuert werden. Im Jahr 2015 wurden die Installationsarbeiten abgeschlossen, sodass Ende 2015 der aktive Testbetrieb aufgenommen werden konnte. Mitte 2016 wurde die Aktiv-Abwasseranlage schliesslich in den Normalbetrieb überführt. In der Berichtsperiode wurden 400 kg Material aus dem Hotlabor gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B04 freigemessen (im Vorjahr wurde kein Material aus dem Hotlabor freigemessen). Ausserdem wurden Ende 2016 zwei Alpha-Boxen zwecks Entsorgung an die Sektion RBE (AERA, siehe Kap. 6.3) abgeliefert; im Folgejahr sollen noch drei weitere ausgediente Alpha-Boxen entsorgt werden.

## 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

Der Rückbau des Reaktorbeckens und der biologischen Abschirmung ist seit längerer Zeit abgeschlossen. Nach der Entfernung sämtlicher Kernbrennstoffe im Jahr 2015 konnten die Rückbauarbeiten Anfang 2016 fortgesetzt werden. Im Berichtsjahr wurde eine Änderung des Abgabepfads von Schmutzwasser aus dem Zonenbereich durchgeführt und nicht mehr benötigte, teilweise kontaminierte Rohrsysteme wurden demontiert.

Die stillgelegte Anlage unterliegt der betrieblichen Überwachung und Instandhaltung im Hinblick auf deren Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung.

### 6.2.2 DIORIT

Die Rückbauarbeiten des DIORIT sind weitgehend abgeschlossen. Per Ende 2016 befanden sich im DIORIT-Gebäude noch knapp 2 t Aluminium-Stilllegungsabfälle aus dem Rückbau von DIORIT und SAPHIR, welche noch mit der Aluminium-Schmelzanlage im DIORIT eingeschmolzen und anschliessend endkonditioniert werden müssen. Das PSI führte Vorbereitungsarbeiten aus, um diese Schmelzanlage zu ertüchtigen. Weiterhin wurde in der Berichtsperiode der im Vorjahresbericht noch erwähnte gering aktivierte obere Arbeitsboden zerlegt, gereinigt und verpackt. Anschliessend wurde das Material zum Abklingen der Gruppe AERA (Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle, vgl. Kap. 6.3) übergeben. Weitere Abfälle aus dem Rückbau des DIORIT befinden sich im Hinblick auf eine künftige Freimessung zur Abklinglagerung in einer Halle der AERA. Alle übrigen Abfälle aus diesem Rückbau wurden entweder dekontaminiert, freigemessen und konventionell entsorgt oder endkonditioniert und ins BZL eingelagert (Kap. 6.3). Insgesamt wurden im Berichtsjahr mehr als 130 t Materialien aus dem DIORIT freigemessen. Im Juni 2015 legte das PSI ein Rückbaukonzept vor, nach dem die Gebäulichkeiten des DIORIT vollständig zurückgebaut werden sollen. Dazu muss das PSI sein ursprünglich eingereichtes Stilllegungsprojekt überarbeiten und den Behörden erneut zur Bewilligung vorlegen.

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

Name	Erste Kritikalität	Endgültige Ausserbetriebnahme	Stilllegungsverfügung ausgestellt	Entlassung aus KEG
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	ausstehend	–
VVA	21.10.1974 (erste Verbrennung)	19.11.2002	02.07.2014	–



### 6.2.3 PROTEUS

Der Reaktor PROTEUS befindet sich in der Nachbetriebsphase. Das Gutachten zum Stilllegungsprojekt PROTEUS wurde im Dezember 2015 fertiggestellt und dem verfahrensleitenden Bundesamt für Energie (BFE) eingereicht. Im Hinblick auf die Stilllegung bzw. auf den Rückbau der Kernanlage muss das PSI noch die Beseitigung des Kernbrennstoffs vornehmen. Diese Aufgabe wird mit hoher Priorität weiterverfolgt.

Die stillgelegte Anlage unterliegt der betrieblichen Überwachung und Instandhaltung. Die Infrastruktur der Anlage wurde regulär unterhalten. In der Berichtsperiode wurden kleinere Mengen Material freigeschleust und dem Wertstoffkreislauf zugeführt.

### 6.2.4 Versuchsverbrennungsanlage

Das UVEK hat am 2. Juli 2014 die Stilllegungsverfügung für die Versuchsverbrennungsanlage (VVA) erlassen. Danach ist die Anlage – wie im Stilllegungsprojekt beschrieben und unter Beachtung der in der Stilllegungsverfügung formulierten Auflagen – vollständig zurückzubauen. Mit den eigentlichen Rückbauarbeiten wurde im Berichtsjahr begonnen. Mit dem Rückbaubeginn gab es organisatorische Anpassungen. So wurde die VVA organisatorisch aus den Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (AERA, vgl. Kap. 6.3) herausgelöst und dazu ein eigenes Betriebsreglement erstellt, welches das ENSI beurteilt und freigegeben hat. Im Rahmen des ersten Rückbau-Teilschritts wurden sowohl bauliche Anpassungen vorgenommen als auch die Hilfsanlagen der VVA demontiert. Der Freigabeantrag für Teilschritt 2 (Demontage des Verbrennungsofens) wurde ausgearbeitet.

### 6.2.5 Rückhaltebecken Wald

Das PSI beabsichtigt bereits seit längerem, das Rückhaltebecken Wald (RHBW), welches zum Aktivabwassersystem des PSI Ost gehörte, vollständig zu entleeren, zu reinigen und ausser Betrieb zu nehmen. Nach diversen Verzögerungen und Unterbrüchen griff das PSI das Projekt unter Berücksichtigung der aktuellen Gegebenheiten im Jahr 2016 neu auf. Aufgrund der zahlreichen Schnittstellen erweist sich das Vorhaben als komplex. Der detaillierte Projekt- und Finanzierungsplan soll bis Ende 2017 fertig ausgearbeitet und eingereicht werden. Für die Durchführung des Gesamtprojekts veranschlagt das PSI fünf bis acht Jahre.

## 6.3 Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (AERA)

### 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 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 Kernkraftwerken zu einem umfangreicheren und sich häufiger ändernden Spektrum an Abfallgebindetypen führt.

Zur Behandlung der radioaktiven MIF-Abfälle betreibt die Sektion RBE des PSI (siehe auch Kap. 6.6) die Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (AERA), darunter das Betriebsgebäude (siehe Kap. 6.3.2) und insbesondere auch das Abfalllabor. Für diese zwei Anlagen hat das PSI im Berichtsjahr jeweils einen überarbeiteten Sicherheitsbericht mit zugehörigen Störfallanalysen beim ENSI zur Beurteilung eingereicht. Sie sollen die neue Grundlage für den künftigen Betrieb dieser Anlagen bilden.

Im Jahr 2016 wurden insgesamt rund 36,4 m<sup>3</sup> (Vorjahr 25,5 m<sup>3</sup>) Abfälle bei der Bundessammelstelle angeliefert, davon 30,9 m<sup>3</sup> (Vorjahr 21,4 m<sup>3</sup>) aus dem PSI, 4,2 m<sup>3</sup> aus der ZwiLAG (MEGAPIE-Sekundärabfälle) und 1,29 m<sup>3</sup> (Vorjahr 4,1 m<sup>3</sup>) aus der jährlichen Sammelaktion des Bundesamts für Gesundheit (BAG). Extern konditionierte Stahlzylinder mit Industrieabfällen wurden in der Berichtsperiode keine abgeliefert; die Charge 2016 wurde erst Anfang 2017 abgeliefert.

Im Jahr 2016 wurden 8,24 m<sup>3</sup> (Vorjahr 7,1 m<sup>3</sup>) Material dekontaminiert und freigeschleust.

Zur Behandlung in der Plasma-Anlage der ZwiLAG wurden im Berichtsjahr 41 neue 200-Liter-Abfallgebände mit sortierten und verpressten Abfällen (A-Fässer) hergestellt und zusammen mit weiteren Gebinden zur Behandlung in der Plasmaanlage an die ZwiLAG abgeliefert. Das ENSI wird darauf achten, dass das PSI seine Anstrengungen zum Abbau seiner Rohabfalllasten fortführt.

### 6.3.2 Lagerung radioaktiver Abfälle

Im Bundeszwischenlager (BZL) werden konditionierte Abfälle vorwiegend in 200-Liter-Fässern und Kleincontainern (bis 4,5 m<sup>3</sup>) 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 nach Artikel 6 der Strahlenschutzverordnung entspricht.

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 Bundeszwischenlager. Diese Analyse ist periodisch zu aktualisieren, wobei insbesondere die Entwicklung des Lagerinventars sowie der jeweilige Stand von Wissenschaft und Technik zu berücksichtigen sind. Im Berichtsjahr hat das PSI die grundlegende Überarbeitung der BZL-Störfallanalyse abgeschlossen und diese termingerecht dem ENSI zur Prüfung vorgelegt.

In der Berichtsperiode wurden 6 endkonditionierte 200-Liter-Gebinde sowie zwei KC-T12-Container in das Bundeszwischenlager (BZL) eingelagert. Somit war der mit 200-Liter-Fässern belegte Raum per Ende 2016 mit 4904 Gebinden gefüllt, was einem Belegungsgrad von rund 80% entspricht. Das Inventar im BZL-Container-Teil belief sich auf 95 endkonditionierte KC-T12/30. Schliesslich waren per Ende 2016 2219 Stahlzylinder in neun KC-T12-Containern im BZL gelagert. 156 Zylinder aus industrieller Fertigung wurden zur Überwachung lose in 200-Liter-Fässer mit Ventilen eingestellt und nach Zustimmung des ENSI in das BZL überführt.

In den Hallen des Betriebsgebäudes sowie in weiteren Hallen des Bereichs AERA lagern entsprechend den betrieblichen Erfordernissen sowohl unkonditionierte als auch konditionierte Abfälle. Für die letztgenannten Lagerhallen, in denen im Wesentlichen radioaktive Stoffe aus diversen Rückbauprojekten und ausgediente Komponenten zum Abklingen eingestellt sind, hat das PSI im Berichtsjahr eine Sicherheitsbetrachtung durchgeführt und dem ENSI zur Beurteilung vorgelegt.

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

Schliesslich reichte das PSI Anfang 2016 die vom ENSI geforderten, überarbeiteten Gesuchsunterlagen zum Bau- und Betriebsbewilligungsgesuch für das als Erweiterung des BZL geplante Gebäude OSPA (Stapelplatz PSI Ost) ein. Zu dem per Ende 2016 fertig gestellten Gutachtenentwurf des ENSI nimmt die KNS noch Stellung, bevor er dem BFE als Beurteilungsgrundlage des PSI-Gesuches eingereicht wird.

## 6.4 Strahlenschutz

Im Jahr 2016 akkumulierten die 1716 beruflich strahlenexponierten Personen des PSI eine Kollektivdosis von 64,1 Pers.-mSv (2015: 114,2 Pers.-mSv). Davon stammen 10,7 Pers.-mSv (2015: 41,9 Pers.-mSv) aus dem Aufsichtsbereich des ENSI mit 343 beruflich strahlenexponierten Personen bei einer höchsten Individualdosis von 1,4 mSv (2015: 9,2 mSv).

Bei mehreren Inspektionen hat das ENSI festgestellt, dass der operationelle Strahlenschutz in den Kernanlagen des PSI die gesetzlichen und behördlichen Vorgaben erfüllt.

Das ENSI hat vierteljährlich Wasserproben aus den Abwassertanks des PSI erhoben und bei der gamma-spektrometrischen Auswertung festgestellt, dass die Ergebnisse des ENSI 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 rund 0,007 mSv/Jahr (gleich wie im Vorjahr) berechnet. Diese Dosis liegt deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwertes von 0,15 mSv/Jahr gemäss PSI-Abgabereglement.

## 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 Bundesamt für Gesundheit BAG haben im November 2016 an der Institutsnotfallübung DARK die Notfallorganisation beobachtet und beurteilt. Das Szenario sah vor, dass aus unbekanntem Gründen in der Kraft-/Wärmezentrale Dieselöl aus einem Tagestank für die Notstrom-

diesel ausläuft. Dieses floss durch undichte Stellen in das Untergeschoss. Wegen einer Fahrlässigkeit kam es bei Arbeiten an der Reinbenzin-Waschanlage neben dem Tagestank zu einem Brand. Der Brand entzündete das ausgelaufene Dieselöl und breitete sich im Untergeschoss aus. Es kam zu einem Kabelbrand, der sich im gesamten Untergeschoss und in den Durchgangsstollen ausbreitete. In einem Durchgangsstollen zur Kraft-/Wärmezentrale wurden zwei Personen vom Rauch überrascht und konnten sich nicht mehr selber retten. Durch den supponierten Brand kam es in vielen Gebäuden des Ost-Areals zu Stromausfällen. Wegen der schwierigen Verhältnisse im Untergeschoss der Kraft-/Wärmezentrale und im anschliessenden Stollensystem dauerten dort die Löscharbeiten länger. Zwei Angehörige der Feuerwehr wurden verletzt, einer davon schwer.

Das Ereignis des Übungsszenarios wurde gemäss der im Mai 2016 eingeführten IAEA-kompatiblen Notfallklassierung korrekt mit Bereitschaft B eingestuft. Aufgrund ihrer Übungsbeobachtungen kamen das ENSI und das BAG zum Schluss, dass die Übungsziele gemäss der Richtlinie ENSI-B11 erreicht wurden. Das PSI verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.

## 6.6 Personal und Organisation

Die Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit (ASI), die Sektion Rückbau und Entsorgung (RBE) sowie die Abteilung Hotlabor (AHL) bzw. das Labor für nukleare Materialien (LNM) haben eigene Managementsysteme, welche gemäss ISO/IEC 17020 akkreditiert bzw. der Norm DIN EN ISO 9001:2008 zertifiziert sind. Das ENSI führte 2016 eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Änderungsmanagement durch. Es wurde dabei überprüft, ob die Organisation der Kernanlage die Abläufe und Vorgaben bei technischen und organisatorischen Änderungen klar, kohärent, angemessen detailliert und verbindlich geregelt hat und ob die Auswirkungen auf Mensch, Technik und Organisation und auf deren Wechselwirkungen berücksichtigt wurden. Die Anforderungen wurden erfüllt. Die Betriebsreglemente der Kernanlagen des PSI wurden, was den Teil «Personal und Organisation» anbelangt, wie in den letzten Jahren gut weiterentwickelt. Das PSI hat seine übergeordneten Weisungen, die Betriebsreglemente und die darin enthaltenen generischen Themen der unterschiedlichen Anlagen miteinander harmonisiert. Hin-

sichtlich der vom ENSI geforderten Technischen Spezifikation sind die Überarbeitungen noch nicht abgeschlossen.

Die Anzahl des zulassungspflichtigen Personals für den Forschungsreaktor PROTEUS am PSI betrug Ende 2016 wie im Vorjahr sechs Personen, was aus Sicht des ENSI im Hinblick auf den laufenden Nachbetrieb und die darauf folgende Stilllegung des Forschungsreaktors genügend ist.

Zur Personalsituation und Organisation in den sich im Rückbau befindenden Kernanlagen SAPHIR, DIORIT und VVA sowie im Hotlabor und in den Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (AERA) ergaben sich im Vergleich zum Vorjahr folgende, nennenswerten Änderungen:

Zum 1. Januar 2016 wurde ein neuer Anlagenleiter für die VVA ernannt. Zum 1. März 2016 wurde ein neuer Anlagenleiter AERA ernannt. Zum 1. Januar 2016 wurde die Organisation des Hotlabors zur Optimierung der internen und externen Prozessabläufe angepasst. Diese Anpassung der Organisation erfolgte ohne Änderung der Personalzahl.

## 6.7 Vorkommnisse

In der Berichtsperiode war am PSI kein meldepflichtiges Vorkommnis zu verzeichnen.

## 6.8 Schule für Strahlenschutz

Im Berichtsjahr wurde der vom ENSI anerkannte Ausbildungskurs zur Strahlenschutz-Fachkraft durchgeführt. Dieser mit einer Kursdauer von 13 Wochen längste Strahlenschutz-Kurs in der Schweiz wurde von acht Teilnehmenden besucht und mit schriftlichen, mündlichen und praktischen Prüfungen erfolgreich abgeschlossen. Sechs Teilnehmende stammten aus schweizerischen Kernkraftwerken, eine Person aus dem PSI und eine aus einem international agierenden Dienstleistungsunternehmen, welches schon seit längerer Zeit für schweizerische Kernanlagen Personal stellt. Das ENSI hat die Qualität des Unterrichts beurteilt, die Prüfungen beaufsichtigt und der Schule ein hohes Niveau der Lehrveranstaltungen attestiert. Der erfahrene Kursleiter verliess die Schule für Strahlenschutz im Berichtsjahr. Zusätzlich führte die Strahlenschutzschule des PSI mehrere Weiterbildungs- und Zusatzkurse für Strahlenschutz-Techniker und Fachkräfte durch. An insgesamt drei durchgeführten Kursmodulen nahmen 33 Techniker und Fachkräfte teil.



Insgesamt wurden an der Schule für Strahlenschutz 31 Aus- und Fortbildungskurse für verschiedene Personengruppen aus den schweizerischen Kernanlagen durchgeführt. An neun Kursen mit Bezug zu Transporten radioaktiver Gefahrgüter nahmen insgesamt 78 Personen teil. Das ENSI hat sich durch stichprobenhaften Besuch der Kurse und durch mehrere Fachgespräche mit den Kursleitern von der guten Qualität des Unterrichts überzeugt. Daneben wurden an der Schule für Strahlenschutz zahlreiche Ausbildungskurse im Bereich Notfallorganisation, Medizin und Forschung durchgeführt.

# 7. Weitere Kernanlagen

## 7.1 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

Die Kernanlage der EPFL umfasst den Forschungsreaktor CROCUS, das Neutronenexperiment CARROUSEL, die Neutronenquelle LOTUS und die angegliederten Labors. Diese Anlagen sind dem Laboratoire de physique des Réacteurs et de comportement des Systèmes (LRS) zugeteilt, das dem Institut de Physique de l'Énergie et des Particules (IPEP) angehört.

Im Jahr 2016 stand der CROCUS-Reaktor insbesondere Ingenieur- und Physikstudenten der EPFL, Kursteilnehmern der Reaktorschule des PSI und Studenten des Swiss Nuclear Engineering Masterkurses der ETHZ/EPFL während 245,7 Stunden bei kleiner Leistung (unter 100 W) für Ausbildungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 334,9 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.

Im Berichtsjahr wurde der Reaktorkern des CROCUS aufgrund von Versuchen und Reparaturen zweimal ausgebaut. Dabei wurden alle Brennstäbe aus den vorgegebenen Positionen herausgenommen und inspiziert.

In der EPFL wurde 2016 eine Kollektivdosis von 0,3 Pers.-mSv akkumuliert. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend. Im November 2016 hat das ENSI seine Jahresinspektion durchgeführt. Dabei wurden technische, organisatorische und personelle Änderungen besprochen und verschiedene Anlagenräume inspiziert.

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Betriebsbedingungen im Jahr 2016 eingehalten wurden.

## 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 Studenten und der Anwendung in der Neutronenaktivierungsanalytik. Vor der Ausserbetriebnahme wurde der Kernbrennstoff 2015 in die USA zurückgeführt. Das gesamte noch in der Anlage vorhandene Quelleninventar aus dem Aufsichtsbereich des ENSI wurde in den Aufsichtsbereich des Bundesamts für Gesundheit BAG transferiert.

Der Reaktor befindet sich zurzeit im Nachbetrieb und wird auf die Stilllegung vorbereitet.

Aufgrund der Verfügung des ENSI hat die Universität Basel bis spätestens August 2017 das Stilllegungsprojekt für den Reaktor bei den Behörden einzureichen. Die Universität Basel liess im Jahr 2016 das Stilllegungsprojekt für den Reaktor ausarbeiten.

Im Berichtsjahr lagen die Dosen des Personals für den Nachbetrieb unterhalb der Nachweisgrenze. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und den Abwasserpfad war unbedeutend.

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Betriebsbedingungen im Jahr 2016 eingehalten wurden.





# 8 Transporte und Behälter

## 8.1 Genehmigungen nach Gefahrgutgesetzgebung

Die schweizerischen Vorschriften für den Transport radioaktiver Stoffe auf der Strasse und Schiene basieren u. a. auf den entsprechenden internationalen Regelwerken ADR<sup>1</sup> bzw. RID<sup>2</sup>. 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. Diese Empfehlungen wurden 2012 aufdatiert (SSR-6<sup>3</sup>); ihre Einarbeitung in die modalen Transportvorschriften für die einzelnen Verkehrsträger folgte per Anfang 2015, wobei je nach Verkehrsträger unterschiedliche Übergangsregelungen gelten. Im schweizerischen Transportrecht für Gefahrgüter der Klasse 7 (radioaktive Stoffe) gelten u.a. die SDR<sup>4</sup> und die RSD<sup>5</sup>.

Die nach diesen Rechtsvorschriften erforderlichen Genehmigungen betreffen je nach Anwendungsfall die Versandstücke und/oder den Beförderungsvorgang. Sie bilden eine Voraussetzung für die ebenfalls erforderlichen Bewilligungen nach Kernenergie- oder Strahlenschutzgesetz (vergl. folgende Kapitel). Das ENSI ist die zuständige schweizerische Behörde für die Ausstellung von Genehmigungszeugnissen und Bauart-Zulassungsscheinen bzw. entsprechenden Anerkennungen gemäss Gefahrgutgesetzgebung, und zwar unabhängig davon, ob es sich beim Transportgut um radioaktive Stoffe aus Kernanlagen oder aus anderen Betrieben handelt. Das ENSI stützt sich bei der Prüfung der Bauartzulassungen in der Regel auf die umfassenden Beurteilungen von Versandstückmustern durch die zuständige Behörde im jeweiligen Ursprungsland der Bauart. In diesen Fällen prüft das ENSI die Vollständigkeit des zugehörigen Sicherheitsberichts, insbesondere hinsichtlich des Nachweises, dass alle gemäss ADR/RID und SSR-6 vorgeschriebenen Anforderungen erfüllt sind, der Kritikalitätssicherheit und allfälliger 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 vom Versandstückmuster, sondern auch von der Einhaltung von Massnahmen während des Beförderungsvorgangs abhängt. Das ENSI prüft anhand der eingereichten Dokumente, ob Verpackung, Inhalt und beförderungsspezifische Massnahmen alle gefahrgutrechtlichen Anforderungen erfüllen.

Im Berichtsjahr 2016 hat das ENSI fünf Gesuche nach Gefahrgutgesetzgebung beurteilt und die entsprechenden Genehmigungen ausgestellt. Vier Gesuche betrafen die Zulassung von Versandstückmustern für die Verwendung in der Schweiz auf der Basis einer vorliegenden ausländischen Zulassung. Ein Gesuch bezog sich auf eine Beförderungsgenehmigung nach Gefahrgutrecht.

## 8.2 Bewilligungen nach Strahlenschutzgesetzgebung

Gemäss Artikel 2 des Strahlenschutzgesetzes sind die Beförderung auf öffentlichen Verkehrswegen sowie die Ein- und Ausfuhr von radioaktiven Stoffen bewilligungspflichtige Tätigkeiten. Die Voraussetzungen für die Erlangung solcher Bewilligungen sind im Strahlenschutzgesetz (StSG) und in der Strahlenschutzverordnung (StSV) festgehalten. Derartige Bewilligungen sind über einen längeren Zeitraum, maximal auf zehn Jahre hinaus, befristet und hinsichtlich der Anzahl Transporte üblicherweise nicht begrenzt. Allerdings verlangt die Strahlenschutzverordnung jeweils eine separate Bewilligung, falls bei einem einzelnen Vorgang eine bestimmte Aktivitätsmenge überschritten wird. Für Beförderungen von oder zu

1 Europäisches Übereinkommen über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse

2 Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter

3 IAEA Safety Standards: Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 2012 Edition, Specific Safety Requirements SSR-6

4 Verordnung vom 29. November 2002 über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SR 741.621)

5 Verordnung vom 3. Dezember 1996 über die Beförderung gefährlicher Güter mit der Eisenbahn (SR 742.401.6)

Kernanlagen ist das ENSI die zuständige Behörde, für den sonstigen Bereich ist das Bundesamt für Gesundheit BAG zuständig. Ein vereinfachtes Anerkennungsverfahren wird dann durchgeführt, wenn der Gesuchsteller im jeweils anderen Zuständigkeitsbereich bereits eine gültige Bewilligung besitzt.

Im Berichtsjahr 2016 wurde einer ausländischen Firma für zerstörungsfreie Prüfungen die Anerkennung einer bestehenden Bewilligung des BAG erteilt. Der EPFL, die nicht über eine Bewilligung des ENSI für den Transport und die Ein- und Ausfuhr von radioaktiven Stoffen verfügt, wurde die Einfuhr von sogenannten Spaltkammern bewilligt. Diese Spaltkammern sind uranhaltige Messgeräte, die aufgrund ihres geringen radioaktiven Inhalts als freigestellte Versandstücke transportiert werden können. Der Transport freigestellter Versandstücke ist von der Bewilligungspflicht ausgenommen, nicht jedoch die Ein- und Ausfuhr.

### 8.3 Bewilligungen nach Kernenergiegesetzgebung

Nach den Artikeln 6 und 34 des Kernenergiegesetzes (KEG) bedarf der Umgang mit Kernmaterialien und radioaktiven Abfällen aus Kernanlagen einer Bewilligung des Bundes. Der Artikel 3 des KEG präzisiert den Begriff «Umgang» als Forschung, Entwicklung, Herstellung, Transport, Einfuhr, Ausfuhr, Durchfuhr und Vermittlung. Zuständig für die Erteilung solcher Bewilligungen ist das BFE. Im Hinblick auf die kernenergierechtliche Bewilligung von Transporten prüft das ENSI als Fachbehörde, ob die nukleare Sicherheit und Sicherung gewährleistet und die Vorschriften für die Beförderung gefährlicher Güter erfüllt sind. Das BFE erteilt die Bewilligung erst, wenn eine positive Beurteilung des ENSI vorliegt. Die Bewilligungen werden in der Regel für die Dauer eines Jahres ausgestellt.

Im Berichtsjahr 2016 hat das ENSI fünf kernenergierechtliche Transportgesuche für den Transport radioaktiver Betriebsabfälle zur ZWILAG, drei Gesuche für die Einfuhr von Wiederaufarbeitungsabfällen aus La Hague und Sellafield, drei Gesuche für die Einfuhr von frischen Brennelementen, und zwei Gesuche für den Transport von abgebrannten Brennelementen zur ZWILAG beurteilt. Auf der Basis dieser Beurteilungen wurden die entsprechenden Bewilligungen durch das BFE jeweils ausgestellt. Einige der Bewilligungen für den Transport von Betriebsabfällen wurden auf Antrag der Gesuchsteller unter Beizug des ENSI vom BFE verlängert.

### 8.4 Rücknahme von Wiederaufarbeitungsabfällen

Im Jahr 2016 durchgeführte Rückführungen von Wiederaufarbeitungsabfällen aus:

La Hague (F):

- 2 Behälter mit mittelaktiven kompaktierten Abfällen des Typs CSD-C
- 3 Behälter mit hochaktiven verglasten Abfällen des Typs CSD-V

Sellafield (UK):

- 4 Behälter mit hochaktiven verglasten Abfällen des Typ «vitrified residues»

Mit diesen Rückführungen wurde Ende 2016 ein langes Kapitel der schweizerischen nuklearen Entsorgung abgeschlossen, nämlich die durch zwischenstaatliche Vereinbarung verbrieft Rücknahme aller mit der Wiederaufarbeitung (WA) schweizerischer Brennelemente im Ausland angefallenen radioaktiven Abfälle.

Hierzu waren von den Betreibern der WA-Anlagen verschiedene Abfallspezifikationen erstellt worden. In einem zweiten Schritt wurden den einzelnen Kunden, entsprechend der Art und Menge ihrer aufgearbeiteten Brennelemente, entsprechende Anteile an diesen spezifizierten Abfällen als Rücknahmeverpflichtung (Debit) zugeordnet. Im dritten Schritt wurden dann durch die tatsächliche Rücknahme (Credit) einer Anzahl dieser spezifizierten Abfallgebände die entsprechenden Rücknahmeverpflichtungen ausgeglichen. In den mehr als 25 Jahren von der Erstellung der Abfallspezifikationen bis hin zur abschliessenden Erfüllung aller Verpflichtungen haben zunächst die HSK, später dann das ENSI kontinuierlich prozessbegleitend ihre Aufsicht durchgeführt durch:

- Prüfung der erstellten Abfallspezifikationen hinsichtlich der Transport-, Zwischenlager- und Endlagerfähigkeit der zu erzeugenden Gebände,
- Methodik des Verfahrens zur Ermittlung der Rücknahmeverpflichtung (Debits),
- Qualitätssicherung und Dokumentationsprüfung bei der Herstellung der Abfallgebände
- Prüfung der Abfallgebändezuteilung für die Rücknahme (Credits),
- Inspektionen bei Transportvorbereitung und -durchführung der einzelnen Rücknahmechargen.

Somit befinden sich sämtliche Abfälle, welche bei der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen aus schweizerischen Kernkraftwerken angefallen sind, im Zentralen Zwischenlager in Würenlingen, die hochaktiven verglasten Abfälle in total 23 T/L-Behältern im HA-Lagerteil und die mittelaktiven verglasten bzw. kompaktierten Ab-

fälle in insgesamt 552 Einzelbinden im MA-La-gerteil. Während der gesamten Zeit gab es weder auf der Seite der in der Schweiz beteiligten Unter-nehmen noch bei den ausländischen WA-Anlagen Inspektionsbefunde oder andere Anlässe für be-hördliche Interventionen.

## 8.5 Beschaffung von Transport- und Lagerbehältern

Das Konzept der Zwischenlagerung von bestrahl-ten Brennelementen und von hochaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung (Glaskokillen) besteht darin, diese Abfälle in störfallsicheren Transport- und Lagerbehältern (T/L-Behältern) einzuschlies-sen, deren Dichtheit im Zwischenlager kontinuier-lich überwacht wird. Im Falle des KKG erfolgt vorgängig dieser Behälterlagerung eine verlängerte Lagerung unter Wasser im störfallsicheren externen Nasslager auf dem Betriebsgelände des KKG.

Die T/L-Behälter werden von den Kernkraftwerken bzw. von den Wiederaufarbeitungsanlagen zum je-weiligen Zwischenlager (ZWIBEZ für Brennelement des KKB und ZZL für alle anderen Werke und die WA-Abfälle) transportiert, dort in der Behälterla-gerrhalle abgestellt und an ein Überwachungssys-tem angeschlossen, das die Dichtheit überwacht. Die Behälter müssen die Sicherheit für den gesam-ten Zeitraum der Zwischenlagerung gewährleisten, weshalb hierfür gegenüber einem reinen Trans-portbehälter nochmals erhöhte Anforderungen zu erfüllen sind. 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 Anfor-derungen an die Behälterfertigung, wie etwa Quali-tätsanforderungen, begleitende Kontrollen oder Behälterdokumentation. Bei der Fertigung der T/L-Behälter sind festgelegte und vom ENSI freigege-bene Abläufe einzuhalten, was im Auftrag des ENSI von unabhängigen Experten kontrolliert wird. Für jedes einzelne Behälterexemplar bestätigt das ENSI schliesslich den qualitätsgerechten Abschluss der Fertigung durch seine Freigabe zur Verwendung. Ende 2016 befanden sich 31 Transport- und Lager-behälter in den verschiedenen Fertigungsphasen, von der Fertigungsvorbereitung bis zur Freigabe zur Verwendung durch das ENSI. Die 31 Behälter teilen sich auf in

- 7 Behälter zweier unterschiedlichen Bauarten für die hochaktiven Abfälle aus den Wiederauf-arbeitungsanlagen La Hague und Sellafeld und

- 24 Behälter aus vier unterschiedlichen Bauarten für abgebrannte Brennelemente.

Weiter wurden dem ENSI Bestellungen für 10 wei-tere Behälterexemplare einer Bauart für abge-brannte Brennelemente mitgeteilt.

Soweit sich Abweichungen bei der Fertigung erga-ben, wurden diese in allen Fällen von den Herstel-tern korrigiert oder nach eingehender Prüfung als akzeptabel qualifiziert, nachdem die auslegungs-gemässe Sicherheit des jeweiligen Behälters nach-gewiesen werden konnte. Der Vermeidung von Ab-weichungen bzw. den Vorkehrungen gegen deren Wiederholung wurde im Berichtszeitraum von den Herstellern und den Schweizerischen Werken ver-stärkte Beachtung geschenkt, sodass die Behälter-fertigungsprozesse dadurch inzwischen deutlich weniger behindert werden. Dies drückt sich sowohl durch einen zeitnäheren Abschluss der Dokumen-tationsprüfung als auch generell kürzerer Ferti-gungszeiten aus.

Das ENSI bedient sich zur Fertigungsüberwachung externer Sachverständiger, zum weitaus überwie-genden Teil aus der Schweiz, aber in Einzelfällen auch aus den Herstellungsländern.

Ergänzend zu den Kontrollen im Bereich der laufen-den Fertigung von T/L-Behältern wird die Zulassung und Vorab-Fertigung für eine neue, speziell für die Schweiz vorgesehene Behälterbauart für bestrahlte Brennelemente bearbeitet und überwacht. In die-sem Zusammenhang findet auch ein regelmässiger Austausch mit der belgischen Aufsichtsbehörde FANC sowie der amerikanischen Aufsichtsbehörde US NRC statt.

Im Berichtsjahr 2016 wurden seitens des ENSI zwölf Behälterexemplare gemäss der Richtlinie ENSI-G05 abgenommen und als beladene Behälter zur Einla-gerung im ZWIBEZ bzw. im ZZL freigegeben.

Zurzeit befinden sich vier neue Behälterbauarten im Bauartfreigabeverfahren nach der Richtlinie ENSI-G05. Auf Grund des teilweise innovativen Charak-ters dieser Behälterbauarten wird die Begutach-tung unter Beizug externer Experten abgewickelt. Das ENSI hat für eine bereits bekannte Behälterbau-art die Bauartfreigabe nach Richtlinie ENSI-G05 er-neuert. Für Transport- und Lagerbehälter wurden ebenfalls zwei schweizerische Zulassungen erteilt. Im Berichtsjahr wurde die Aktualisierung aller Sub-prozesse, Prüfliste, Formblätter Standardbriefe und sonstiger Unterlagen im Managementsystem des ENSI aktualisiert. Die ca. 80 verschiedenen Unterla-gen bilden nun wieder sowohl den aktuellen Stand des Regelwerkes, als auch die tatsächlichen Ab-läufe der jeweiligen Tätigkeiten vollständig und



korrekt ab. Diese Überarbeitung war notwendig geworden, da einerseits das zugrunde liegende Regelwerk einem ständigen Änderungsprozess unterliegt, andererseits sich das Tätigkeitsspektrum des ENSI den Bedürfnissen der Werke entsprechend deutlich erweitert hat.

## 8.6 Inspektionen und Audits

Bei der Beförderung radioaktiver Stoffe müssen zur Sicherheit des Transportpersonals und der Bevölkerung die Strahlenschutz- und Transportvorschriften eingehalten werden. Die Qualitätssicherungsprogramme der Konstrukteure und Hersteller von Verpackungen sowie diejenigen der Spediteure, Absender, Beförderer und Empfänger von radioaktiven Stoffen müssen die Einhaltung der Vorschriften gewährleisten. Im Rahmen der in den Kapiteln 8.1, 8.2 und 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.

Zur Unterstützung der Anwender und zur Harmonisierung der Aufsichtstätigkeit hatten das BAG, die Suva und das ENSI mit der Unterstützung des Schweizerischen Vereins für technische Inspektionen SVTI einen Leitfaden für das Qualitätsmanagement bei der Herstellung und Verwendung von Verpackungen für radioaktive Stoffe erarbeitet und im

letzten Jahr veröffentlicht. Im Berichtsjahr 2016 wurde nun auch die französische Version des Leitfadens erstellt, sodass dieser nun in Deutsch, Englisch und Französisch verfügbar ist.

Das ENSI führte im Jahr 2016 in seinem Aufsichtsbe-  
reich acht Inspektionen im Bereich Transporte und  
Behälter für radioaktive Stoffe durch. Die Inspektio-  
nen betrafen den Versand und Empfang von Brenne-  
lementen, Proben, kontaminierten Werkzeugen  
und Komponenten sowie die Überwachung der  
Handhabung von Transport- und Lagerbehältern  
für abgebrannte Brennelemente. Die gefahrgut-  
rechtlichen Grenzwerte, insbesondere für Konta-  
mination und Dosisleistung, wurden in allen Fäl-  
len eingehalten. In einem Fall wurden lediglich die  
restriktiveren Werte einer internen Arbeitsanwei-  
sung überschritten. Bei allen Inspektionen konnte  
die Einhaltung der Vorschriften bezüglich Sicherheit  
und Strahlenschutz des Personals, der Bevölkerung  
und der Umwelt nachgewiesen werden. Des Wei-  
teren ergab sich in einem Fall eine Beanstandung  
bezüglich der mitgeführten Transportdokumente.  
Die vom ENSI geforderten Verbesserungsmassnah-  
men wurden vom betroffenen Beförderer umge-  
setzt. In zwei Fällen konnte aufgrund vorbildlicher  
Arbeitsvorbereitung sowie der sofortigen Identifi-  
zierung und Behebung kurzfristig aufgetretener  
Handhabungsstörungen die Bewertung «gute Pra-  
xis» vergeben werden, das heisst dass das ENSI die  
inspizierten Sachverhalte als vorbildlich und deut-  
lich über die vorgeschriebene Qualität hinausge-  
hend bewertet.





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

## 9. Geologische Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle

### 9.1 Einleitung

Die Verursacher der radioaktiven Abfälle in der Schweiz sind gesetzlich verpflichtet, die aus ihren Anlagen stammenden radioaktiven Abfälle sicher in geologischen Tiefenlagern zu entsorgen. Die Entsorgungspflichtigen haben diese Pflicht an die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) übertragen, die dafür ein Entsorgungskonzept mit zwei geologischen Tiefenlagern entwickelt hat, eines für schwach- und mittelaktive Abfälle und eines für hochaktive Abfälle. Als Möglichkeit besteht ausserdem die Alternative eines Kombilagere, wenn ein Standort für beide Abfallarten geeignet ist und sich die beiden Lagertypen nicht gegenseitig negativ beeinflussen. Die durch die Nagra verfolgte wissenschaftliche und technische Vorbereitung der

geologischen Tiefenlagerung umfasst eine Vielzahl interdisziplinärer Projekte und bezweckt die Erarbeitung konkreter Vorschläge für Standortgebiete und die Ausgestaltung der Lager im Untergrund. Diese Arbeiten müssen alle fünf Jahre den Bundesbehörden in einem Entsorgungsprogramm vorgelegt werden.

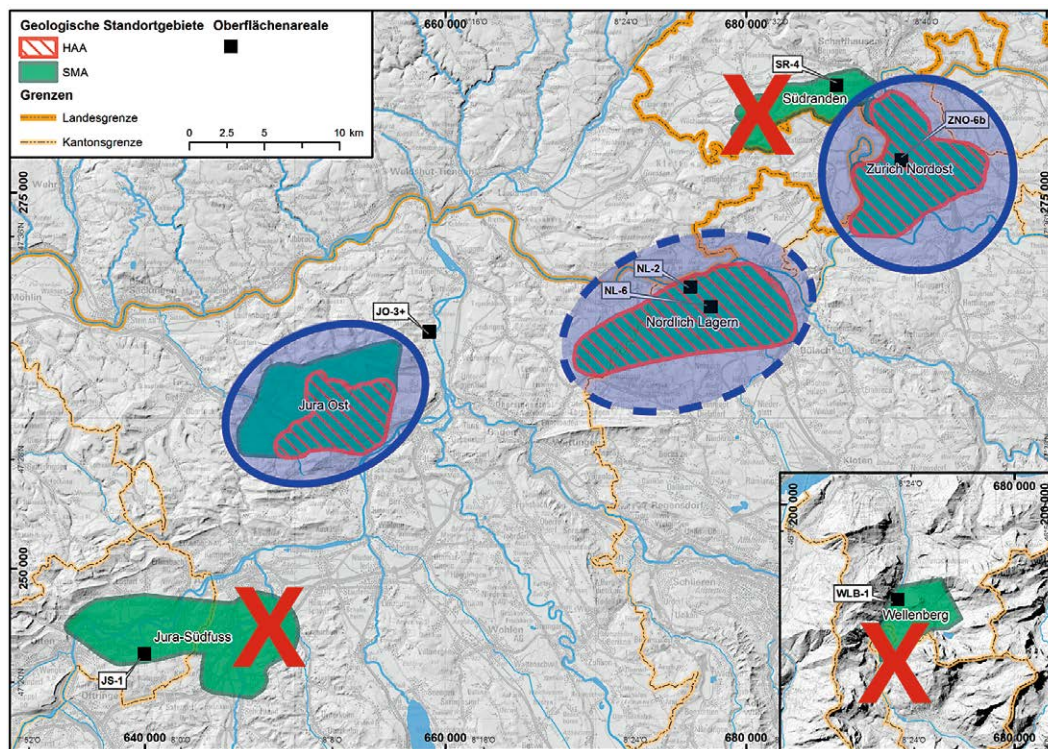
Seit 2008 läuft mit dem Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) in der Schweiz ein Standortauswahlverfahren (Kap. 9.2), das durch das Bundesamt für Energie (BFE) geleitet wird. Das ENSI trägt im Rahmen dieses Auswahlverfahrens die Gesamtverantwortung für die sicherheitstechnische Beurteilung der geologischen Standortgebiete. Das Sachplanverfahren befindet sich aktuell in der Etappe 2. Ende Januar 2015 hat die Nagra den Vorschlag für die in der Etappe 3 weiter zu untersuchenden Standortgebiete mit umfangreicher



## Mögliche

### Standortgebiete:

Aus Sicht des ENSI sind die drei Standortgebiete Zürich Nordost, Jura Ost und Nördlich Lägern jeweils für ein SMA- und ein HAA-Lager in Etappe 3 vertieft weiter zu untersuchen. Die anderen Standorte (Südranden, Jura-Südfuss und Wellenberg) weisen eindeutige Nachteile auf und sollen deshalb zurückgestellt werden.



chen Unterlagen eingereicht. Das ENSI prüft seither im Rahmen der Detailprüfung den Vorschlag der Nagra und hat zu den Unterlagen im September 2015 eine Nachforderung hinsichtlich der Mängel in der Begründung des Indikators «Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit» gestellt. Im Juli 2016 reichte die Nagra dazu zusätzliche Unterlagen ein, die das ENSI während der zweiten Hälfte 2016 überprüfte. Externe Experten haben die Beurteilungsarbeiten des ENSI unterstützt, insbesondere swisstopo und die internationalen Experten der Expertengruppe geologische Tiefenlagerung (EGT) (Kap. 9.3).

Neben den intensiven Beurteilungsarbeiten im Rahmen des Sachplans haben das ENSI und die von ihm beauftragten Experten weitere eigene, für die Tiefenlagerung relevante Untersuchungen und Forschungsarbeiten durchgeführt. Ein grösserer Teil dieser Daten stammt aus dem Felslabor Mont Terri. Das ENSI war auch im Berichtsjahr an mehreren der dortigen Forschungsprojekte beteiligt (Kap. 9.4). Ein Gesamtüberblick über die vom ENSI geleiteten und unterstützten Forschungsarbeiten wird im Erfahrungs- und Forschungsbericht gegeben.

Das ENSI verfolgt den Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich tiefenlagerrelevanter Prozesse durch die vielfältige Mitarbeit in internationalen Programmen (Kap. 9.5).

## 9.2 Sachplan geologische Tiefenlager

Das vom Bundesrat im April 2008 genehmigte Sachplanverfahren zur Standortwahl für geologische Tiefenlager ist in drei Etappen gegliedert. Die Etappe 1 wurde Ende 2011 vom Bundesrat abgeschlossen, nachdem das ENSI und weitere Gremien dem von der Nagra eingereichten Vorschlag zustimmten. Sechs Standortgebiete für ein Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA-Lager: Gebiete Südranden, Zürich Nordost, Nördlich Lägern, Jura Ost, Jura-Südfuss und Wellenberg) sowie drei Standortgebiete für die Lagerung hochaktiver Abfälle (HAA-Lager: Gebiete Zürich Nordost, Nördlich Lägern und Jura Ost) wurden in die Raumplanung der jeweiligen Region integriert und bilden den Ausgangspunkt für die Etappe 2. In dieser werden die Standortgebiete verglichen, um für weitere Untersuchungen in der Etappe 3 mindestens zwei geologische Standortgebiete pro Lagertyp auszuwählen.

Am 30. Januar 2015 wurde der Vorschlag der Nagra zur Einengung der Standortgebiete in der Etappe 2 mit einer umfangreichen Dokumentation veröffentlicht. Sie schlägt vor, dass in der Etappe 3 sowohl für ein SMA-Lager als auch für ein HAA-Lager die Standortgebiete Jura Ost und Zürich Nordost weiter untersucht werden sollen. Alle anderen Standortge-

biete würden gegenüber diesen beiden Standortgebieten eindeutige Nachteile aufweisen. Das ENSI hat in seiner Rolle als gesamtverantwortliche Behörde für die sicherheitstechnische Beurteilung den von der Nagra eingereichten Vorschlag für die Etappe 2 des SGT geprüft. Es wurde dabei von der Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung EGT, von swiss-topo und diversen weiteren Experten unterstützt. Während seiner Überprüfung hat das ENSI im August 2015 festgestellt, dass gewisse Daten zur Beurteilung des Indikators zur «Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit» nicht belastbar sind. Das ENSI hat daraufhin eine Nachforderung formuliert und die Nagra aufgefordert, die technischwissenschaftliche Basis für die Beurteilung des betroffenen Indikators zu ergänzen. Die Nagra kam dieser Nachforderung nach. Das BFE hat die entsprechende Zusatzdokumentation im August 2016 veröffentlicht. Das ENSI und seine Experten haben diese Unterlagen im Berichtsjahr geprüft und das ENSI die Prüfergebnisse in seine Gesamtbeurteilung integriert. Das ENSI hat in Absprache mit dem BFE die wichtigsten Begutachtungsergebnisse im Dezember 2016 bekannt gegeben. Das ENSI wird sein Gutachten im Frühjahr 2017 veröffentlichen.

### **Ergebnisse des ENSI-Gutachtens zur Etappe 2**

Die Prüfung des ENSI hat ergeben, dass die Nagra die vorgegebenen Kriterien hinsichtlich der Sicherheit und technischen Machbarkeit bei der Erarbeitung des Vorschlags adäquat und stufengerecht berücksichtigt hat. Die Erarbeitung des Vorschlags wurde gemäss den Vorgaben des Sachplans transparent und grösstenteils nachvollziehbar dargelegt. Die Nagra hat die verfügbaren relevanten geologischen Informationen und deren Berücksichtigung für die Erarbeitung des Vorschlags ausführlich erläutert.

Das ENSI hat im Rahmen der Überprüfung der Parameter und der Beurteilung der quantitativen Sicherheitsanalyse die Ergebnisse der Nagra durch eigene Dosisberechnungen überprüft und kann die Resultate der Nagra nachvollziehen. Die Dosisintervalle aller Standortgebiete liegen für alle betrachteten Wirtgesteine unterhalb des Dosischutzkriteriums von 0,1 mSv pro Jahr.

Die qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten erfolgt gemäss den Vorgaben im Konzeptteil des SGT und anhand der 13 Kriterien zur Sicherheit und technischen Machbarkeit. Diese 13 Kriterien bestehen, wie in der Etappe 1 des SGT, jeweils aus mehreren Indikatoren. Das ENSI hat die qualitative Bewertung überprüft und bestätigt die Eignung aller Standort-

gebiete mit den jeweiligen Wirtgesteinen aus der Etappe 1 des SGT. Aus Sicht des ENSI ist keines der Standortgebiete aufgrund der charakteristischen Dosisintervalle oder der Gesamtbewertung zurückzustellen. Damit bestätigt das ENSI die Aussage der Nagra, dass in allen in der Etappe 1 des SGT vorgeschlagenen Standortgebieten grundsätzlich sichere geologische Tiefenlager erstellt werden könnten. Die Zurückstellung eines Standortgebiets ist gemäss den behördlichen Vorgaben daher nur über eindeutige Nachteile basierend auf den Kriterien der Sicherheit und technischen Machbarkeit möglich.

Das Vorgehen der Nagra unter Einbezug überwiegend konservativer geomechanischer Grundlagen und vereinfachter Berechnungsannahmen bestätigt grundsätzlich die bautechnische Machbarkeit in den Standortgebieten. Das ENSI beurteilt im Sinn rein bautechnischer Machbarkeitsüberlegungen die Grundlagen der Nagra als ausreichend. Für die quantitative Beurteilung der Tiefenlage und den Nachweis eindeutiger Nachteile aus bautechnischer Sicht sind die geomechanischen Grundlagen, insbesondere die Annahmen zu den geomechanischen Parametern, jedoch nicht belastbar.

Das ENSI kommt bezüglich der von der Nagra identifizierten eindeutigen Nachteile, insbesondere bei der Beurteilung der maximalen Tiefenlage und des Platzangebots, zu einer abweichenden Beurteilung. Das ENSI sieht die bautechnische Machbarkeit eines HAA-Lagers bzw. eines SMA-Lagers in der Nordschweiz bis zu Lagertiefen von 800 m u. T. (SMA-Lager) bzw. 900 m u. T. (HAA-Lager) als gegeben an und identifiziert daher für das Standortgebiet Nördlich Lägern keinen eindeutigen Nachteil. Deshalb kann das ENSI dem Vorschlag der Nagra, das Standortgebiet Nördlich Lägern zurückzustellen, nicht zustimmen.

Das ENSI identifiziert in Übereinstimmung mit der Nagra eindeutige Nachteile für die SMA-Standortgebiete Südanden, Jura-Südfuss und Wellenberg im Vergleich zu den anderen SMA-Standortgebieten. Das Standortgebiet Jura-Südfuss weist für das Wirtgestein Opalinuston einen eindeutigen Nachteil bezüglich der Mächtigkeit und für das Wirtgestein Effinger Schichten eindeutige Nachteile bezüglich der Mächtigkeit, der Kolloide, der Art der Transportpfade, der Homogenität des Gesteinsaufbaus, der Länge der massgebenden Freisetzungspfade, der Transmissivität präferenzialer Freisetzungspfade, des Potenzials zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten, der Variabilität der Gesteinseigenschaften sowie der Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund auf. Das Stand-

ortgebiet Südranden weist eindeutige Nachteile bezüglich der glazialen Tiefenerosion, des Platzangebots und der Mächtigkeit des Opalinuston auf. Das Standortgebiet Wellenberg weist eindeutige Nachteile bezüglich der Kolloide, der Art der Transportpfade, der Homogenität des Gesteinsaufbaus, der Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade, des Selbstabdichtungsvermögens, der Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung, der Seismizität, der Variabilität der Gesteinseigenschaften sowie der Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund auf. Für die SMA-Standortgebiete Jura Ost Zürich Nordost sieht sowohl das ENSI als auch die Nagra keine eindeutigen Nachteile bezüglich des Wirtgesteins Opalinuston. Für die SMA-Standortgebiete Nördlich Lägern und Zürich Nordost sieht sowohl das ENSI als auch die Nagra eindeutige Nachteile bezüglich des Wirtgesteins Brauner Dogger. Die eindeutigen Nachteile des Wirtgesteins Brauner Dogger im Vergleich zum Opalinuston umfassen die Homogenität des Gesteinsaufbaus, die Länge der massgebenden Freisetzungspfade, die Variabilität der Gesteinseigenschaften und die Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund. Im Gegensatz zur Nagra sind aus Sicht des ENSI für das SMA-Standortgebiet Nördlich Lägern bezüglich des Wirtgesteins Opalinuston keine eindeutigen Nachteile feststellbar. Damit ist die von der Nagra vorgeschlagene Zurückstellung des SMA-Standortgebiets Nördlich Lägern nach Ansicht des ENSI basierend auf den vorliegenden Daten und Kenntnissen nicht belastbar. Aus dem Vergleich zwischen den SMA-Standortgebieten bezüglich der eindeutigen Nachteile werden die Standortgebiete Südranden, Jura-Südfuss und Wellenberg zu Recht als eindeutig weniger geeignet bewertet und zurückgestellt.

Für die HAA-Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost identifizieren sowohl das ENSI als auch die Nagra keine eindeutigen Nachteile. Abweichend von der Nagra identifiziert das ENSI auch keine eindeutigen Nachteile für das Standortgebiet Nördlich Lägern. Aufgrund der vorliegenden Daten sowie der bestehenden Ungewissheiten kann kein Standortgebiet als eindeutig weniger geeignet als die anderen Standortgebiete bewertet werden. Das ENSI beurteilt eine Zurückstellung des HAA-Standortgebiets Nördlich Lägern basierend auf den vorliegenden Daten und Kenntnissen als nicht belastbar. Daher ist keines der HAA-Standortgebiete zurückzustellen.

Aus Sicht des ENSI sind die drei geologischen Standortgebiete Zürich Nordost, Jura Ost und Nördlich

Lägern sowohl für ein SMA-Lager als auch ein HAA-Lager in der Etappe 3 des SGT vertieft weiter zu untersuchen.

### **Vorbereitende Arbeiten zur Etappe 3**

Für die Etappe 3 des SGT plant die Nagra umfangreiche erdwissenschaftliche Untersuchungen. Diese umfassen 3D-seismische Messungen und Tiefbohrungen in den verbleibenden Standortgebieten, un tiefe Quartärbohrungen in der Nordschweiz sowie weitere Felduntersuchungen. Von Oktober 2015 bis Februar 2016 hat die Nagra in den von ihr vorgeschlagenen Standortgebieten Jura Ost und Zürich Nordost 3D-seismische Untersuchungen durchgeführt. Aufgrund des absehbaren Weiterzuges des Standortgebiets Nördlich Lägern hat die Nagra im April 2016 bekanntgegeben, auch in Nördlich Lägern eine 3D-Seismik durchzuführen. Die Messarbeiten dazu begannen im Oktober 2016.

Im September 2016 reichte die Nagra beim BFE insgesamt 16 Gesuche für bewilligungspflichtige erdwissenschaftliche Untersuchungen (Sondiergesuche für Tiefbohrungen) in den geologischen Standortgebieten Jura Ost und Zürich Nordost ein. Das ENSI hat diese bis Dezember 2016 grob geprüft und dem verfahrensleitenden BFE mitgeteilt, dass alle Gesuche den Anforderungen des ENSI an die Detaillierung und fachliche Vollständigkeit genügen.

Die Nagra hat ihre Arbeiten bezüglich der erdwissenschaftlichen Untersuchungen 2016 an zwei Sitzungen im Rahmen des 2015 eingesetzten Fachgremiums «Erdwissenschaftliche Untersuchungen» vorgestellt und unter den Bundes- und kantonalen Behörden sowie Vertretern deutscher Fachbehörden breit diskutiert.

### **Technisches Forum Sicherheit**

Im Rahmen des Sachplans für geologische Tiefenlager hat das BFE 2009 das Technische Forum Sicherheit (TFS) als eine Informations- und Austauschplattform eingesetzt, die vom ENSI geleitet wird. 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) bzw. unterstützenden Behörde (swisstopo), von Kommissionen (KNS, EGT), Nichtregierungsorganisationen und der Entsorgungspflichtigen (Nagra) sowie delegierten Personen aus den Standortregionen, Standortkantonen, betroffenen Nachbarkantonen



sowie Deutschland und Österreich. Das ENSI sammelt die Fragen, koordiniert die Beantwortung durch die Forumsmitglieder und leitet die TFS-Sitzungen. Die eingegangenen und beantworteten Fragen werden der Öffentlichkeit im Internet zur Verfügung gestellt. Im Jahr 2016 fanden vier Sitzungen des TFS statt. Von den bis Ende 2016 ins TFS aufgenommenen 137 Fragen waren deren 121 bis Ende 2016 beantwortet. Alle Fragen und Antworten sind unter [www.technischesforum.ch](http://www.technischesforum.ch) einsehbar.

Neben der Beantwortung eingereicherter Fragen wurden in diesem Jahr an den Sitzungen verschiedene Fachthemen vertieft diskutiert. Im März wurden die Stellungnahmen der Kantone und des Umweltbundesamtes Österreich vorgestellt, im Juni informierte das ENSI über die Agneb-Forschungsprojekte Lagerauslegung und Monitoring. Anlässlich der Sitzungen im August und November hat die Nagra die Zusatzdokumentation zur Nachforderung des ENSI zur Etappe 2 SGT vorgestellt sowie über die eingereichten Sondierbohrgesuche informiert.

Um die Arbeit des TFS für die Öffentlichkeit transparent zu gestalten, werden die erarbeiteten Antworten über die Webplattform allen interessierten Personen zugänglich gemacht. Die Plattform bietet praktische Suchfunktionen, um gezielt zu unterschiedlichen Themen recherchieren zu können. Zudem können sich die Besucherinnen und Besucher über die Arbeitsweise des TFS und den Stellenwert der TFS-Antworten informieren. Die Webplattform erlaubt es interessierten Personen, sich mittels den Webartikeln zu den Sitzungen über die Aktivitäten des TFS auf dem Laufenden zu halten.

### Öffentlichkeitsarbeit

Im Berichtsjahr waren die Ressourcen des ENSI auf die Beurteilungsarbeiten fokussiert. Dessen ungeachtet war das ENSI an ausgewählten Veranstaltungen präsent, um seine Rolle und Arbeitsweise zu erläutern. Beginnend mit dem 3. Quartal 2016 hat das ENSI regelmässig an den Vollversammlungen (Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost) teilgenommen. Ausserdem hat das ENSI die Fachgruppe Sicherheit der Regionalkonferenz Nördlich Lägern am 15. Dezember 2016 über seine Beurteilung dieses Standorts informiert.

## 9.3 Expertengruppe geologische Tiefenlagerung

Gemäss dem Sachplan geologische Tiefenlager unterstützt die EGT das ENSI in seiner Arbeit der si-

cherheitstechnischen Beurteilungen, verfasst zuhanden des ENSI Stellungnahmen zur geologischen und sicherheitstechnischen Beurteilung der Standortgebiete und zur bautechnischen Machbarkeit der geologischen Tiefenlager, nimmt Stellung zu Gesuchen für erdwissenschaftliche Untersuchungen und arbeitet im Technischen Forum Sicherheit und im Fachgremium Erdwissenschaftliche Untersuchungen mit. Für das ENSI ist die EGT eine wichtige Wissensträgerin, da darin von der Nagra unabhängige Fachpersonen vertreten sind.

Der EGT gehörten in der Berichtsperiode sieben Mitglieder an, vornehmlich aus dem Hochschulbereich des In- und Auslands, welche verschiedene in der geologischen Tiefenlagerung relevante Fachbereiche abdecken. Die EGT hat sich mit dem Wiedereintritt von Fritz Schlunegger verstärkt. Der Professor für exogene Geologie an der Universität Bern war bereits bis März 2013 Mitglied der EGT. Das Sekretariat der EGT wird vom ENSI geführt. Die Aktivitäten der EGT werden laufend auf deren Webseite ([www.egt-schweiz.ch](http://www.egt-schweiz.ch)) veröffentlicht.

In der Berichtsperiode 2016 fanden sieben ganztägige Plenarsitzungen statt. Im Rahmen des SGT nahm die EGT am Behördenseminar zu den Unterlagen der Nachforderungen des ENSI und an der Medienkonferenz zur Vorstellung der Resultate des sicherheitstechnischen Gutachtens des ENSI zum Vorschlag der in der Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete teil. Die EGT leistete wichtige Zuarbeiten für die Nachforderungen des ENSI an die Nagra für eine bessere Beurteilungsgrundlage der Standortgebiete. Vertreter der EGT nahmen auch an Sitzungen des Fachgremiums «Erdwissenschaftliche Untersuchungen», des Technischen Forums Sicherheit sowie an Fachsitzungen mit Vertretern der Kantone teil.

Die EGT und das ENSI legen jährlich gemeinsam die Schwerpunkte der Arbeiten der EGT fest. Im Berichtsjahr wurde die 2015 begonnene schriftliche Stellungnahme zur Etappe 2 des SGT fertiggestellt, die 2017 gemeinsam mit dem Gutachten des ENSI veröffentlicht werden. Zur Bearbeitung hat sich die EGT u. a. mit Expertenberichten der Kantonalen Expertengruppe Sicherheit (KES) auseinandergesetzt. Die in der Stellungnahme der EGT behandelten Schwerpunkte bildeten die Felsmechanik, die Erosion, die Interpretation der 2D-Seismik und die lagerbedingten Einflüsse. Die EGT beschäftigte sich im Berichtsjahr darüber hinaus auch mit den folgenden Themen:

- Barriereigenschaften der Wirt- und Rahmengesteine für das SMA- und HAA-Lager

- konzeptuelle Modelle und Parameter der SMA-Wirtgesteine für den Radionuklidtransport
- Migration und Verdünnung der Radionuklide in der Biosphäre
- wirtgesteins- und standortgebietspezifische Dosisrechnungen für das SMA-Lager
- sicherheitsrelevante Auswirkungen geochemischer Prozesse auf das SMA-Lager
- Gastransport in den SMA- und HAA-Wirtgesteinen und in technischen Einbauten
- Homogenität und Explorierbarkeit von Heterogenitäten im Opalinuston und Braunen Dogger
- Neotektonik und geodynamische Entwicklung der Nordschweiz
- Seismizität in den geologischen Standortgebieten
- Abgrenzung der Lagerperimeter basierend auf der tektonischen Überprägung
- Platzbedarf der Tiefenlager in den verschiedenen Standortgebieten
- Annahmen zur Auslegung, Vortriebsmethode, Stützung und Versiegelung der SMA- und HAA-Lager
- Abgrenzung der Lagerperimeter
- sicherheitstechnische Bewertung und Vergleich der geologischen SMA- und HAA-Standortgebiete

## 9.4 Felslaboratorien

Unter der Leitung der swisstopo einerseits und der Nagra andererseits werden in der Schweiz die Felslaboratorien Mont Terri und Grimsel betrieben, in welchen 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 Projekten an der Erforschung des Opalinustons im Felslabor Mont Terri beteiligt, um die behördeninterne Fachkompetenz aufzubauen und zu erhalten sowie um eigene Datensätze und Modelle zu entwickeln. Es wird dabei u. a. unterstützt durch die Ingenieurgeologie der ETH Zürich. Die vom ENSI durchgeführten Forschungsarbeiten umfassten 2016 insgesamt sieben Experimente:

Mit dem **FS**-Experiment möchte das ENSI das Verständnis der Stabilität von tektonischen Störungszonen in Tongesteinen und der Bedingungen für deren Reaktivierung verbessern. Dabei sollen die Zusammenhänge zwischen der Bewegung einer Störung, dem Porenwasserdruck und der Mobilität der Fluide untersucht werden. Die Ergebnisse sind zum Beispiel für die Klärung der Mechanismen für natürliche und induzierte Erdbeben, deren Auslöser und das Risikomanagement, aber auch für den Verlust der Integrität natürlicher geringdurchlässiger Barrieren wichtig. Ziel des Jahres 2016 war die Auswertung der durchgeführten Experimente im Bereich der Hauptstörung. In den Tests wurden die Verschiebung der Störung sowie die daraus resultierende Seismizität in Folge der Injektion von Wasser beobachtet. Es konnten mehrere Ereignisse identifiziert werden, die eine Erhöhung der Permeabilität der Störung um einen Faktor 1000 bewirkten.

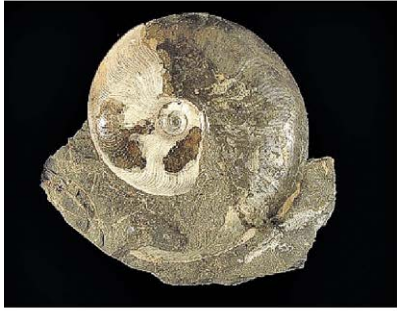
Das **HM**-Experiment diente der Untersuchung von gekoppelten kurzfristigen hydromechanischen Prozessen im Opalinuston anhand von Labor- und Feldversuchen, die für die Bau- und Betriebsphasen eines zukünftigen Tiefenlagers für radioaktive Abfälle in der Schweiz relevant sind. Im Berichtsjahr wurde dieses im Rahmen einer Doktorarbeit an der ETH Zürich laufende Experiment erfolgreich abgeschlossen (Wild 2016). Die ursprünglich geplante numerische Simulation der Laborversuche und die Verifizierung des Stoffgesetzmodells sollen im Rahmen eines neu geplanten HM-C-Experiments ab 2017 durchgeführt werden.

Das **HM-B**-Projekt dient der Evaluierung der mechanisch erzeugten kapillaren Saugwirkung in

### Homogen und feinkörnig:

Die Münze zeigt, dass man auch bei genauem Hinsehen die einzelnen Körner des Tons nicht erkennt. Dafür sind Strukturen zu sehen, die sich beim Ausbruch im Felslabor Mont Terri neu gebildet haben.





#### Fossilien:

Der Ammonit *Leioceras opalinum* (oben links) gab dem Opalinuston seinen Namen. Ammoniten (unten links) sahen ähnlich aus wie der heutige Nautilus (rechts).

Bohrungen im Opalinuston. Im Berichtsjahr 2016 wurde dazu die Versuchseinrichtung (Pilotbohrung, Packer-System, Messgeräte) erfolgreich installiert. Die aus dem HM-B-Experiment zu erwartenden Ergebnisse sind relevant für die Beurteilung der Gebirgsstabilität und der Scherfestigkeit des Opalinustons im Nahbereich von Tunneln.

Im Rahmen des **FM-D**-Experiments in Zusammenarbeit mit dem Karlsruher Institut für Technologie und swisstopo wurden im Berichtsjahr die Erkenntnisse aus den Laborversuchen auf das Bohrlochinstrument übertragen. Die dabei auftretenden technischen Herausforderungen wurden systematisch analysiert und das Bohrlochinstrument wurde optimiert.

Im **HM-A**-Experiment wurde ein numerisches Modell erstellt, welches auf den konstitutiven Stoffgesetzen beruht und das Deformationsverhalten im Felslabor Mont Terri beschreibt. Im Berichtsjahr wurde dieses Modell im Rahmen einer Doktorarbeit an der EPF Lausanne fertiggestellt (Parisio 2016) und das Projekt abgeschlossen. Es zeigte sich, dass noch nicht alle hydromechanischen Prozesse vollständig beschrieben werden können.

Das **MO**-Experiment dient der Vorbereitung und dem Testen von Monitoring-Techniken, indem gegenwärtig in einem versiegelten Bohrloch die Langzeitbeständigkeit von Glasfaser-Kabeln und Sensoren unter In-situ-Bedingungen im Opalinuston untersucht wird. Seit 2012 laufen die Messungen kontinuierlich. Mit einer Auswertung der Temperatur- und Druckdaten soll das Experiment 2017 beendet werden.

## 9.5 Internationaler Wissenstransfer

Basis der fachlichen Beurteilungsarbeit des ENSI ist die Festlegung des Standes von Wissenschaft und Technik. Das ENSI erachtet daher seine Mitarbeit in diversen nationalen und internationalen Arbeitsgruppen als fundamental wichtig, um Fragestellungen im Bereich der Entsorgung in geologischen Tiefenlagern vor allem im europäischen Rahmen zu verfolgen und sich bezüglich Stand von Wissenschaft und Technik über die aktuellen Entwicklungen zu informieren. Neben der Beteiligung an der internationalen Forschung im Felslabor Mont Terri (Kap. 9.4) engagiert sich das ENSI in internationalen Forschungsprojekten zur Entsorgung und arbeitet in verschiedenen internationalen Gremien:

Das Projekt DECOVALEX-2019 begann im Jahr 2016 und wird im Jahr 2019 beendet werden. 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 elf 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 von aktuellen Forschungsarbeiten zu diskutieren und zukünftige Forschungsschwerpunkte festzulegen. Ausserdem finden Workshops zu spezifischen Themenschwerpunkten statt. Schwerpunkt im Berichtsjahr war die Referenzbiosphären-Methodik. Das ENSI ist seit 2012 Mitglied von BIOPROTA. Diese Mitgliedschaft dient der Kompetenzerweiterung des ENSI im Bereich der Biosphärenmodellierung. Das ENSI hat 2013 eine Kooperationsvereinbarung mit Prof. Karl-Heinz Lux und seinen Mitarbeitenden am Lehrstuhl für Deponietechnik und Geomechanik der Technischen Universität (TU) Clausthal unterzeichnet, um einen Informationsaustausch über die Themen der hydromechanischen Modellierung zu ermöglichen. Im Rahmen dieser Kooperationsvereinbarung nimmt das ENSI neben der Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) (Braunschweig, Köln), dem Lawrence Berkeley National Laboratory und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover an dem von der TU Clausthal lancierten Projekt BenVaSim (Internationales Benchmarking zur Verifizierung und Validierung von TH2M-Simulatoren) teil. 2016 wurde das Projektvorhaben zwischen den Teilnehmerinnen und Teilnehmern konkretisiert. Der Projektbeginn ist auf Mitte 2017 vorgesehen. Das ENSI beteiligt sich ferner an den Aktivitäten der OECD-NEA-Arbeitsgruppe IGSC («Integration Group for the Safety Case»), der Untergruppe «Working Group on Measurements and Physical Understanding of Groundwater Flow through Argillaceous Media» (Clay-Club) und der «Expert Group on Operational Safety» (EGOS). 2016 fand das 18. Treffen der Arbeitsgruppe IGSC in Paris statt. In dieser Arbeitsgruppe wird jeweils über landesspezifische und internationale Aktivitäten und Projekte in Bezug auf die Tiefenlagerung berichtet wie z. B. die RWMC-Aktivitäten, die NEA-Projekte, die Aktivitäten der internationalen Organisationen und die spezifischen IGSC-Aktivitäten (Clay Club, Salt Club, EGOS, FEP Database, Crystalline Club und RepMet-Projekt). Das Schwerpunktthema der IGSC im Berichtsjahr war die «Demonstration von Technologien zur Tiefenlagerung» mit Vorträgen von Ländern mit fortgeschrittenen Tiefenlagerungsprogrammen. Die Mitarbeit des

ENSI in der EGOS, im Clay Club und in der IGSC ermöglicht den Zugang zu wichtigen internationalen Informationsplattformen. Im Zentrum steht dabei der Wissenstransfer bezüglich des Sicherheitsnachweises für ein geologisches Tiefenlager, der Tongesteinsforschung und der Betriebserfahrung.

Die Arbeiten des Clay Clubs konzentrierten sich im Berichtsjahr 2016 auf das Projekt «Argillaceous Media Database Compilation» und sind bis Ende 2016 weitgehend abgeschlossen worden. Das Projekt beschäftigt sich mit den für die Sicherheitsbeurteilung von geologischen Tiefenlagern in Tongesteinen massgebenden geologischen, hydrogeologischen, mineralogischen, geophysikalischen, geochemischen und felsmechanischen Datensätzen. Die finale Vernehmlassung des Berichts ist für 2017 geplant. Anschliessend wird der Bericht als NEA-Dokument veröffentlicht. Das Projekt wird von der Nuclear Waste Management Organisation (NWMO, Kanada) koordiniert.

Von der Universität Bern wurde 2016 die Lancierung des Projekts «CLAYWAT – Binding state and mobility of WATER in CLAY-rich media» vorgeschlagen. Darin soll es um die Verbesserung der Methoden zur Bestimmung des Porenwassergehaltes in Tonen und Schiefer-tonen, die Interpretation der Porenwasserzusammensetzung aus Extraktionsexperimenten, die advective Mobilität des Porenwassers und die Evaluation geeigneter Methoden zur Charakterisierung des Bindungszustands von Porenwasser gehen. Das Projekt wurde von den Teilnehmerinnen und Teilnehmern positiv beurteilt. Das Projekt ist 2016 gestartet und wird bis 2019 laufen.

Die Expertengruppe EGOS («Expert Group on Operational Safety») dient dem Austausch von technischen und regulatorisch/gesetzgeberischen Erfahrungen in Bezug auf die nukleare und radiologische Betriebssicherheit eines geologischen Tiefenlagers. Im Berichtsjahr 2016 beschäftigte sich die EGOS vor allem mit Sicherheitsaspekten zu den Themen «Brandschutz und Ventilation» sowie Transport und Einlagerung in geologischen Tiefenlagern. Im Juni 2016 fand in Paris der von der OECD-NEA und der IAEA gemeinsam initiierte Workshop «Operational Safety of Geological Repositories» statt. Dort wurden die aktuellen Entwicklungen und Ergebnisse der E-GOS und des GEOSAF-Projekts der IAEA aus verschiedenen Bereichen der operationellen Sicherheit präsentiert. Darüber hinaus wurden die Erfahrungen der teilnehmenden Länder und die bestehenden regulatorischen Rahmenbedingungen in Bezug auf die Betriebssicherheit von geologischen Tiefenlagern vorgestellt und der Bedarf für eine mögliche Harmonisierung der nationalen Regelwerke diskutiert.



# 10. Anlagenübergreifende Themen

## 10.1 Probabilistische Sicherheitsanalysen und Accident-Management

### 10.1.1 Probabilistische Sicherheitsanalysen

Mit der Probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) wird u.a. das Risiko abgeschätzt, dass ein schwerer Unfall in einem Kernkraftwerk 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 z. B. Brände, Brüche von Kühlmittel führenden Leitungen oder Ausfälle der Wärmeabfuhr, als auch Störfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage, wie Erdbeben, unfallbedingter Flugzeugabsturz oder externe Überflutungen. Die auf den Ergebnissen der Stufe-1-PSA aufbauende Stufe-2-PSA umfasst die Analyse des weiteren Verlaufs eines Kernschadens bis zu einer eventuellen Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umwelt. Mit der Stufe-3-PSA wird schliesslich der Schaden in der Umgebung des Kraftwerks analysiert.

Basierend auf Art. 41 der Kernenergieverordnung verlangt das ENSI für alle schweizerischen Kernkraftwerke 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 Jahr 2016 wurden im Wesentlichen folgende Arbeiten im Bereich PSA durchgeführt:

- Das KKB stellte im Jahr 2016 eine Stufe-1-PSA für den Leistungsbetrieb mit geringfügigen Änderungen im Vergleich zur Version von 2013 fertig und reichte das Modell dem ENSI ein. Ferner wurde ein neues Modell für den Stillstand erstellt, welches optimierter auf die numerischen Verfahren des Berechnungsprogramms abgestimmt ist als die Vorversion. Das ENSI hat die PSA-Aktions-

liste zur Stellungnahme zur PSÜ 2012 fertiggestellt, in welcher die aus der Überprüfung des ENSI abgeleiteten Verbesserungspunkte aufgeführt sind. Zuerst sind vom KKB bis Ende 2018 die Verbesserungspunkte zur PSA der Stufe 1 für den Leistungsbetrieb umzusetzen, die übrigen Punkte folgen gestaffelt bis Ende 2020.

- Wie mit der Stellungnahme zur letzten PSÜ gefordert, hat das KKG die Stufe-1- und Stufe-2-PSA für den Nichtleistungsbetrieb überarbeitet und diese Studien eingereicht. Wichtige Modelländerungen betreffen die Erdbebenmodellierung, bei der Abhängigkeiten von Komponentenversagen bei Erdbeben sowie die probabilistische Bewertung der Erdbebenfestigkeiten überarbeitet wurden, die Brand-PSA, welche komplett überarbeitet wurde, die Gefährdung durch Starkwinde und Tornados, welche neu in die PSA integriert wurde und die Anpassung der Schwachlast- und Stillstandszustände an das neue Betriebshandbuch.
- Ende 2016 reichte das KKL im Rahmen der PSÜ 2016 ein neues integriertes Stufe-1-Stufe-2-PSA-Modell (KKL PSA 2016) für den Leistungs- und den Nichtleistungsbetrieb dem ENSI ein. Als Teil der PSÜ-Unterlagen wurde auch ein «Topical Report» zur PSA geliefert, der sich nach der Gliederung der Richtlinie ENSI-A03, Kap. 5.5.2 richtet. Im Wesentlichen basiert die KKL PSA 2016 auf das im Jahr 2014 eingereichte PSA-Modell (KKL PSA 2014). Die neue PSA berücksichtigt auch den vom ENSI identifizierten Verbesserungsbedarf an der KKL PSA 2014.
- Wie mit der Stellungnahme zur letzten PSÜ gefordert, hat das KKM die Stufe-1-PSA für den Leistungsbetrieb überarbeitet und diese Studie eingereicht. Wichtige Modelländerungen betreffen insbesondere die Brand-PSA, welche komplett überarbeitet wurde. Darüber hinaus arbeitete das KKM im Berichtsjahr an der geforderten Umsetzung des im Rahmen der Stellungnahme zur PSÜ identifizierten Verbesserungsbedarfs zur Stufe-2-PSA für den Leistungsbetrieb und zur Stufe-1-PSA für den Nichtleistungsbetrieb.

Gemäss den per Ende 2016 vorliegenden Analysen der Schweizer Kernkraftwerke wird das von der IAEA für bestehende Anlagen empfohlene proba-

bilistische Sicherheitsziel einer Kernschadenshäufigkeit von weniger als  $10^{-4}$  pro Jahr von allen Anlagen eingehalten.

### 10.1.2 Risikotechnische Beurteilung der Betriebserfahrung

Die probabilistische Bewertung der Betriebserfahrung eines Kernkraftwerks erfolgt auf zwei Arten: Einerseits durch eine zusammenfassende Bewertung des gesamten Vorjahres (also 2015) und andererseits laufend durch die risikotechnische Bewertung einzelner Vorkommnisse. Im Folgenden wird auf die beiden Analysen eingegangen.

■ Alle Kernkraftwerksbetreiber reichten im Berichtsjahr eine probabilistische Bewertung der Betriebserfahrung des Vorjahres 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.

Mit Ausnahme des KKG und des KKL setzten alle Kernkraftwerksbetreiber für die probabilistische Bewertung der Betriebserfahrung 2015 dasselbe PSA-Modell wie im Vorjahr ein. Entsprechend den Vorgaben der Richtlinie ENSI-A06 haben das KKG und das KKL eine rückwirkende Auswertung der Jahre 2011 bis 2014 mit dem aktuellen PSA-Modell durchgeführt.

Das wartungsbedingte inkrementelle kumulative Risiko wie auch die wartungsbedingten Risikospitzen für das Jahr 2015 waren bei allen Werken kleiner als die Planungswerte gemäss 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 nicht nur die momentane Risikoerhöhung durch eine Komponentenunverfügbarkeit, sondern auch die Dauer der Unverfügbarkeit eine Rolle spielt. Latente Unverfügbarkeiten wurden im Jahr 2015 einzig beim KKL identifiziert und in der probabilistischen Bewertung der Betriebserfahrung berücksichtigt. Der Risikobeitrag aufgrund der latenten Fehlerzeit war jedoch unbedeutend.

■ Meldepflichtige Vorkommnisse werden gemäss der Richtlinie ENSI-B03 in Ergänzung zur deterministischen Betrachtungsweise systematisch mit der PSA bewertet. Dazu wird die inkremen-

telle bedingte Kernschadenswahrscheinlichkeit eines Vorkommnisses ( $ICCDP_{Vorkommnis}$ ) gemäss Richtlinie ENSI-A06 berechnet. Ein Vorkommnis wird anhand der  $ICCDP_{Vorkommnis}$  einer der Stufen 0 bis 3 der internationalen Bewertungsskala für nukleare Ereignisse (INES) zugeordnet.

Im Jahr 2016 waren alle von den Kernkraftwerksbetreibern mit der PSA bewerteten Vorkommnisse risikotechnisch unbedeutend, d. h. als INES-Stufe 0 beurteilt ( $ICCDP_{Vorkommnis}$  mindestens  $10^{-8}$ , jedoch kleiner als  $10^{-6}$ ), oder es erfolgte keine Einstufung auf der INES-Skala ( $ICCDP_{Vorkommnis}$  kleiner als  $10^{-8}$ ) aufgrund der Risikobewertung.

### 10.1.3 ADAM-System

Dem ENSI werden auf einem eigenen Übermittlungsnetz im Zweiminutentakt von jedem Schweizer Kernkraftwerk bis zu 27 relevante Anlagenparameter (ANPA) zugestellt. Im ENSI werden die ANPA-Werte vom ADAM-System («Accident Diagnostics, Analysis and Management») verarbeitet. ADAM besteht aus vier Modulen mit folgenden Funktionen:

■ PI-Modul: Das PI-Modul unterstützt den Piketteningenieur (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.

■ Diagnosemodul: Das Diagnosemodul interpretiert die ANPA-Werte und liefert Hinweise zu möglichen Ursachen eines Störfalls und zum Zustand wichtiger Anlagenteile.

■ Simulationsmodul: Mit dem Simulationsmodul kann eine Vielzahl von Unfallabläufen simuliert und untersucht werden. Mit dem Modul kann auch der Eintrittszeitpunkt bestimmter kritischer Ereignisse (Kernschaden, RDB-Versagen etc.) abgeschätzt werden. Dieses Modul wurde verfeinert: Wesentliche Änderungen sind die detailliertere Modellierung des Reaktorkerns, der Schmelze-Beton-Wechselwirkung und der Modellierung des Kriechversagens von Dampferzeugerheizrohren, Druckhalter-Anschlussleitung und heisser Kühlmittelleitung während der Phase der Kernzerstörung.

■ STEP-Modul: Die Abkürzung STEP steht für «Source Term Program». Das Modul verwendet ANPA-Werte und Benutzereingaben, um Quellterme (Menge und Zeitverlauf der Freisetzung radioaktiver Stoffe) bei einem schweren Unfall abzuschätzen. Dieser Quellterm wiederum kann für Ausbreitungsrechnungen ver-

wendet werden. Das Modul wurde so erweitert, dass der STEP-Output direkt in das neue Programm für die Ausbreitungsrechnungen (JRODOS) importiert werden kann.

## 10.2 Erdbebengefährdungsanalyse

Die schweizerischen Kernkraftwerke (KKW) gehören zu den erdbebensichersten Bauten der Schweiz. Sie sind so geplant, gebaut und nachgerüstet, dass sie auch starken Erdbeben standhalten. Ihre Sicherheit wird mit modernsten Analysemethoden immer wieder überprüft. Einer entsprechenden Forderung des ENSI (damals «Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen», HSK) nachkommend, untersuchten die Betreibergesellschaften in den Jahren 2001 bis 2004 mit dem Projekt PEGASOS (Probabilistische Erdbebengefährdungsanalyse für die KKW-Standorte in der Schweiz) die Erdbebengefährdung an den Standorten der KKW vertieft. Das ENSI beurteilte das Projekt PEGASOS überwiegend positiv und ergriff basierend auf den Projektergebnissen Massnahmen zur weiteren Verbesserung der Erdbebensicherheit der Schweizer KKW. Das ENSI wies aber auch auf mögliche Verfeinerungen hin, mit welchen voraussichtlich eine Reduktion der beträchtlichen Streubreiten der Gefährdungsergebnisse erzielt werden könnte.

Nach Abschluss des Projekts PEGASOS wurden national und weltweit in bedeutendem Umfang Erdbebenstandorte gesammelt und seismologische Modelle erarbeitet. Mit dem Ziel, die Streubreite der Gefährdungsergebnisse unter Einbezug der neuen Daten und Modelle zu reduzieren, starteten die Kernkraftwerksbetreiber im Jahr 2008 das «PEGASOS Refinement Project» (PRP). Die Schwerpunkte der Verfeinerungen lagen in den neuen Abminderungsgesetzen und in den standortspezifischen Baugrunduntersuchungen. Die gegenüber dem Projekt PEGASOS weitgehend unveränderten Expertenteams wurden wiederum beauftragt, Modelle für ihre Teilaufgaben zu entwickeln, die der Einschätzung der Fachwelt entsprechen. Gefordert war ein vorurteilsfreier Umgang mit den natur- und modellbedingten Unsicherheiten der Berechnung. Eine wichtige Bedingung bestand darin, dass die beauftragten Experten noch immer unabhängig waren und ihre Einschätzungen wiederum allein nach wissenschaftlichen Kriterien vornahmen.

Der Projektschlussbericht wurde dem ENSI Ende 2013 zur Prüfung eingereicht. Als Resultate wurden für die vier Standorte Gefährdungskurven und Beschleunigungsspektren erstellt. Überwiegend resultierten im PRP gegenüber PEGASOS geringere Streu-

breiten der Gefährdungskurven und ein geringeres Gefährdungsniveau. Die Aufschlüsselung (Deaggregation) der Gefährdungsergebnisse in Teilbeiträge bestätigte die Erkenntnis aus PEGASOS, wonach standortnahe Erdbeben mit relativ kleinen Magnituden zwischen 5 und 6 die Gefährdung stärker beeinflussen als weiter entfernte und stärkere Beben.

Das ENSI verfolgte das Projekt PRP von Projektbeginn an mit einem Team erfahrener Experten. In seinem abschliessenden Prüfbericht stellte das ENSI fest, dass mit den im PRP erarbeiteten Daten und Modellen der Stand von Wissenschaft und Technik im Bereich der probabilistischen Erdbebengefährdungsanalyse erweitert wurde. Die in den eigentlichen Projektschwerpunkten, den Abminderungsmodellen (Teilprojekt 2) und den Standorteinflüssen (Teilprojekt 3), erarbeiteten Verfeinerungen wurden vom ENSI als fachgerecht anerkannt. Demgegenüber wurde das Teilprojekt 1 (Seismische Quellen) nach Ansicht des ENSI nicht ausreichend tief bearbeitet. Nachdem spät im Projektablauf erkannt worden war, dass sich die Modelländerungen im Teilprojekt 1 bedeutend auf die berechnete Erdbebengefährdung auswirkten, konnten die Experten ihre Einschätzungen nicht mehr hinterfragen bzw. bestätigen. Die Gefährdungsberechnung (Teilprojekt 4) wurde auf angemessene Weise bearbeitet und der Software-Einsatz entsprach der vom ENSI genehmigten Planung. Dennoch konnte das ENSI die Erdbebengefährdungsergebnisse des PRP aufgrund der Vorbehalte zur Bearbeitung des Teilprojekts 1 nicht akzeptieren.

Aufgrund der Vorbehalte zum PRP-Teilprojekt 1 liess das ENSI in einer Sensitivitätsanalyse diesen Modellteil durch den entsprechenden Modellteil des Schweizerischen Erdbebendienstes (SED) ersetzen. Es zeigte sich, dass die Resultate dieses kombinierten «SED-PRP-Modells» oberhalb der Resultate der Rechenmodelle des PRP und des SED liegen. Im Mai 2016 verfügte das ENSI die Inkraftsetzung der als «Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015» bezeichneten Resultate des SED-PRP-Modells. Gleichzeitig forderte das ENSI die KKW-Betreiber auf, die Auswirkungen auf die Sicherheit der Anlage und insbesondere auf das Risiko zu bewerten. Dazu sind, betreffend Erdbeben, bis Ende 2018 die nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima im März 2011 vom ENSI geforderten Sicherheitsnachweise, bis Mitte 2019 die probabilistische Sicherheitsanalyse und bis Ende September 2020 die deterministische Störfallanalyse zu aktualisieren.

## 10.3 Schlussbericht zum Aktionsplan Fukushima

Das ENSI hat unmittelbar nach den Reaktorunfällen im japanischen Kernkraftwerk Fukushima Dai-Ichi mit einer umfangreichen Ursachenanalyse begonnen und sich freiwillig an der Überprüfung der europäischen Kernkraftwerke (EU-Stresstest) im Jahr 2011 beteiligt. Aus diesen Untersuchungen wurden zahlreiche Prüfpunkte abgeleitet, die im Rahmen des schweizerischen «Aktionsplanes Fukushima» zu 20 Untersuchungsschwerpunkten zusammengefasst und bearbeitet wurden. Das ENSI hat in den Jahren 2012 bis 2015 jeweils einen Bericht zum Stand der Bearbeitung der Untersuchungsschwerpunkte veröffentlicht. Im Schlussbericht zum Aktionsplan Fukushima wurde der Stand der einzelnen Untersuchungsschwerpunkte, geordnet nach sechs Themenbereichen, dargestellt.

Nachfolgend wird der Stand der Untersuchungen und der daraus resultierenden Massnahmen zusammengefasst, der Umfang der durchgeführten Untersuchungen mit den aus dem Unfall in Fukushima abgeleiteten internationalen Empfehlungen verglichen und das weitere Vorgehen dargelegt.

### 10.3.1 Stand der Untersuchungen und daraus resultierender Massnahmen

#### Schutz gegen naturbedingte Ereignisse und den Verlust fundamentaler Sicherheitsfunktionen

Die Untersuchungen haben insbesondere bestätigt, dass die Schweizer Kernkraftwerke unter Berücksichtigung aktualisierter Gefährdungsannahmen einen hohen Schutz gegen die Auswirkungen der naturbedingten Ereignisse Erdbeben, Überflutung und extreme Wetterbedingungen aufweisen und dass geeignete Vorkehrungen gegen den Verlust fundamentaler Sicherheitsfunktionen getroffen wurden. Unter anderem wurden in den Schweizer Kernkraftwerken zahlreiche zusätzliche Notfallmittel angeschafft, die besonders geschützt fest installiert oder auf dem Anlagenareal gelagert wurden, um bei Ausfall der gesamten Wechselstromversorgung die Anlagen in einen sicheren Zustand überführen zu können.

Es wurde der Nachweis erbracht, dass die grundlegenden Schutzziele (Kontrolle der Reaktivität, Kühlung der Brennelemente und Einschluss radioaktiver Stoffe) eingehalten werden. Im Hinblick auf eine weitere Verbesserung der Sicherheit hat das ENSI dennoch substantielle Nachrüstungen für die Kernkraftwerke Mühleberg und Beznau gefordert:

- Das Kernkraftwerk Mühleberg hat eine überflutungssichere, von der Aare unabhängige Kühlwasserversorgung des Notstandsystems nachgerüstet und diese im Jahr 2015 in Betrieb genommen.
- Das Kernkraftwerk Mühleberg hat ein in das Notstandsystem eingebundenes, erdbeben- und überflutungssicheres Brennelementbeckenkühlsystem nachgerüstet und dieses Ende des Jahres 2016 in Betrieb genommen.
- Das Kernkraftwerk Beznau wird ein ebenfalls in das Notstandsystem eingebundenes, erdbeben- und überflutungssicheres Brennelementbeckenkühlsystem bis Ende des Jahres 2017 in Betrieb nehmen.

Diese Nachrüstungen wurden bzw. werden im Rahmen des Aufsichtsverfahrens durch das ENSI in Form von Freigaben und Inspektionen eng verfolgt. Darüber hinaus wurde aufgezeigt, dass die Schweizer Kernkraftwerke auch aufgrund zwischenzeitlich durchgeführter, punktueller Ertüchtigungen zum Teil deutliche Sicherheitsmargen gegen die Auswirkungen naturbedingter Ereignisse besitzen. Das Kernkraftwerk Gösgen hat im Hinblick auf den geplanten Langzeitbetrieb ein umfangreiches Nachrüstprojekt initiiert, um die aufgrund der erhöhten Erdbebengefährdung deutlich reduzierten Sicherheitsmargen wieder zu erhöhen. Hierbei handelt es sich um ein längerfristig angelegtes Nachrüstprojekt. Zudem ist in allen Schweizer Kernkraftwerken der Schutz gegen extreme Wetterbedingungen noch punktuell zu verbessern.

Die den Untersuchungen gegen naturbedingte Ereignisse zugrunde gelegten Gefährdungsannahmen sind zum Teil auf Basis sehr umfangreicher Gefährdungsanalysen bereits aktualisiert worden bzw. sind noch im Rahmen weiterer Analysen zu aktualisieren. So wurden im Jahr 2016 durch das ENSI neue seismische Gefährdungsannahmen festgelegt, auf deren Basis die Schweizer Kernkraftwerke neue Erdbebennachweise gestaffelt bis 2020 durchzuführen und einzureichen haben. Die vorliegenden Gefährdungsanalysen für extreme Winde und extreme Temperaturen sind durch die Schweizer Kernkraftwerke bis zur nächsten Periodischen Sicherheitsüberprüfung auf der Basis einer regionalen Betrachtung neu zu bestimmen.

#### Schutz gegen schwere Unfälle (Severe Accident Management)

Bei den Untersuchungen des Schutzes der Schweizer Kernkraftwerke gegen schwere Unfälle wurden mehrere Verbesserungen bezüglich der zusätzlichen Bereitstellung von Notfallmitteln, der



Vermeidung kritischer Wasserstoffansammlungen inner- und ausserhalb des Containments, der Unterbringung der Notfallorganisationen wie auch der Überwachung radioaktiver Abgaben über den Wasserpfad identifiziert. Mit der Einrichtung eines externen Lagers für Notfallmittel, der Einrichtung eines Ersatzstandortes für die Notfallorganisation des ENSI, der Anpassung von Prozessabläufen und Kriterien zur Meldung und Alarmierung radioaktiver Abgaben in Fließgewässer und der Erweiterung der diesbezüglichen Überwachungsprogramme wurden zahlreiche der aus den Untersuchungen abgeleiteten Massnahmen bereits umgesetzt. Insbesondere stehen noch

- die Nachrüstungen passiver Rekombinatoren in den Kernkraftwerken Gösgen und Leibstadt,
- die Erweiterung der bestehenden passiven Rekombinatoren im Kernkraftwerk Beznau sowie
- die Einrichtung anlagenexterner Notfalleinsatzräume an.

Auch diese Nachrüstungen werden im Rahmen des Aufsichtsverfahrens durch das ENSI in Form von Freigaben, Inspektionen und Übungen eng verfolgt.

#### **Nationales Notfallmanagement**

Die im Auftrag des Bundesrats einberufene interdepartementale Arbeitsgruppe zur Überprüfung der Notfallschutzmassnahmen bei Extremereignissen in der Schweiz (IDA NOMEX) identifizierte mehrere Verbesserungen bezüglich der Anforderungen an Mess- und Prognosesysteme zur Erfassung und Bewertung der radiologischen Lage nach einem schweren Unfall, der Referenzszenarien für die Notfallplanung, der Vorbereitung zu ergreifender Massnahmen innerhalb der Schutzzonen, der Klassierung von Notfällen und der Kommunikationsnetze. Mit der gezielten Alarmierung von Teilen der Bevölkerung, der erweiterten Verteilung von Jodtabletten und der vorsorglichen Evakuierung in der Zone 2 sowie der Festlegung eines neuen Referenzszenarios mit erhöhter Freisetzung, der Anpassung der bestehenden Notfallklassierung an internationale Anforderungen und der Einführung eines Sicherheitsfunknetzes wurde der Grossteil der aus den Untersuchungen abgeleiteten Massnahmen bereits umgesetzt. Insbesondere stehen noch

- die Ertüchtigung des Ortsdosisleistungs-Messsystems und
- die Implementierung eines speziell geschützten Kommunikationssystems an.

Zudem bedarf es noch Anpassungen verschiedener Verordnungen, damit die abgeleiteten Massnahmen auf gesetzlicher Basis festgelegt sind.

#### **Nationale Aufsicht**

Die Aufsicht des ENSI in den Schweizer Kernkraftwerken wurde im Bereich der Sicherheitskultur durch Inspektionen zum Managementsystem verstärkt und es wurde ein neuer Aufsichtsschwerpunkt im Bereich von Personal und Organisation eingeführt. Gegenstand des neuen Aufsichtsschwerpunktes sind kurz- und langfristige Entwicklungen von Personal und Organisation sowie Massnahmen zur Vorbereitung auf eine mittelfristige Stilllegung und zur Gewährleistung eines sicheren Betriebs bis zur endgültigen Ausserbetriebnahme insbesondere der älteren Schweizer Kernkraftwerke.

Darüber hinaus hat das ENSI ein Projekt initiiert, in dessen Rahmen die eigene Aufsichtskultur reflektiert wurde. Daraus wurden Massnahmen zur Verbesserung bei der Aus- und Weiterbildung der Mitarbeitenden, die Förderung der internen, übergreifenden Zusammenarbeit, die Optimierung des Projektmanagements, Verbesserungen bei den Aufsichtsgrundlagen und die breitere Abstimmung von Aufsichtsentscheidungen mit weitreichenden Auswirkungen abgeleitet. Die Verinnerlichung der im Projekt erarbeiteten und im ENSI-Leitbild verankerten Werte, Haltungen und Praktiken sowie die Umsetzung der definierten Massnahmen erfordern teilweise Anpassungen bezüglich der Verhaltensweisen und etablierten, langjährigen Praktiken innerhalb des ENSI.

#### **Internationale Zusammenarbeit**

Seitens des ENSI wurde die internationale Zusammenarbeit in mehreren Bereichen intensiviert. Dies betrifft insbesondere

- die Auswertung internationaler Betriebserfahrungen,
- die Festschreibung strengerer Sicherheitsanforderungen an neue Kernkraftwerke und einer Nachrüstpflicht für bestehende Kernkraftwerke auf höchster internationaler Ebene und
- die Prüfung der regulatorischen Randbedingungen für die nukleare Aufsicht in der Schweiz und der geltenden Sicherheitsanforderungen an die Schweizer Kernkraftwerke durch internationale Experten (Integrated Regulatory Review Service, IRRS).

In der im Jahr 2015 anschliessenden Überprüfungsmission (IRRS Follow Up) wurde bestätigt, dass die in der Überprüfungsmission 2011 an das ENSI gerichteten Empfehlungen erfolgreich abgeschlossen wurden. Die an die schweizerische Regierung gerichteten Empfehlungen, insbesondere die Ent-

scheidungskompetenzen des ENSI zu erweitern, wurden allesamt als noch offen bewertet.

Zudem hat sich die Schweiz nach dem Unfall in Fukushima freiwillig an dem europäischen Stresstest für Kernkraftwerke (EU-Stresstest) und an den nachfolgenden Workshops (Follow Up) beteiligt. In diesen Workshops wurde die Umsetzung der aus dem Unfall in Fukushima abgeleiteten länderspezifischen und europaweiten Empfehlungen anhand der eingereichten nationalen Aktionspläne überprüft. Der Schweizer Aktionsplan wurde im Rahmen dieser Workshops von den beteiligten internationalen Experten positiv beurteilt, da dieser nachvollziehbar aufzeigt, dass die Sicherheit der Schweizer Kernkraftwerke entsprechend den Empfehlungen aus dem EU-Stresstest und den Schlussfolgerungen aus der ausserordentlichen Überprüfungskonferenz der Convention on Nuclear Safety (CNS) kontinuierlich verbessert wurde.

### **10.3.2 Vergleich des Umfangs der durchgeführten Untersuchungen mit den aus dem Unfall in Fukushima abgeleiteten internationalen Empfehlungen**

Im Rahmen der Überprüfung der nationalen Aktionspläne auf europäischer Ebene hat das ENSI in seinem Bericht einen Abgleich zwischen den im schweizerischen Aktionsplan festgehaltenen Prüfpunkten und den Empfehlungen aus dem EU-Stresstest sowie den Schlussfolgerungen aus der ausserordentlichen Überprüfungskonferenz der CNS durchgeführt. Dieser Abgleich zeigt auf, dass die internationalen Empfehlungen bis auf wenige Ausnahmen durch den schweizerischen Aktionsplan abgedeckt sind. Die Ausnahmen betreffen insbesondere Empfehlungen zur periodischen Aktualisierung der Gefährdungsannahmen naturbedingter Ereignisse sowie zur Durchführung spezifischer Analysen bezüglich kritischer Anlagenzustände während des Revisionsstillstands und schwerer Unfälle. Derartige Analysen wurden vom ENSI bereits vor dem Unfall in Fukushima gefordert und von den Schweizer Kernkraftwerken periodisch durchgeführt.

Darüber hinaus hat das ENSI die im schweizerischen Aktionsplan festgehaltenen Prüfpunkte mit den von der International Atomic Energy Agency (IAEA) im Jahr 2011 kurz nach dem Unfall in Fukushima veröffentlichten Empfehlungen (Action Plan on Nuclear Safety) verglichen. Der Vergleich hat ergeben, dass diese Empfehlungen bis auf wenige Ausnahmen ebenfalls durch den schweizerischen Aktionsplan abgedeckt sind. Die Ausnahmen betreffen insbeson-

dere Empfehlungen zur freiwilligen Durchführung von Überprüfungsmissionen durch internationale Experten, zur Einführung einer gesetzlichen verankerten globalen, nuklearen Haftung bei schweren Unfällen sowie zur Unterstützung der Forschung im Bereich der nuklearen Sicherheit. Diesen Empfehlungen wurde bereits weit vor dem Unfall in Fukushima nachgekommen: So wurde in der Schweiz bereits im Jahr 1998 eine erste Überprüfungsmission durch internationale Experten durchgeführt und weitere folgten. Die nukleare Haftung wurde bereits 1983 in der Schweiz gesetzlich verankert. Die Koordination und Förderung der nuklearen Sicherheitsforschung in der Schweiz ist ein wichtiger Bestandteil der Aufsichtstätigkeit des ENSI.

### **10.3.3 Weiteres Vorgehen**

Insgesamt ist festzuhalten, dass die im schweizerischen Aktionsplan Fukushima geplanten Untersuchungen mit den identifizierten 20 Schwerpunkten allesamt abgeschlossen sind. Ein Grossteil der daraus abgeleiteten Verbesserungsmassnahmen wurde bereits abgeschlossen. Insbesondere sind folgende Verbesserungsmassnahmen noch nicht abgeschlossen:

- Punktuelle Nachrüstungen in den Schweizer Kernkraftwerken zur Erhöhung des Schutzes gegen naturbedingte Ereignisse und schwere Unfälle
- Einrichtung anlagenexterner Notfalleinsatzräume
- Aktualisierung der Gefährdungsannahmen für extreme Winde und Temperaturen
- Ertüchtigung des Ortsdosisleistungs-Messsystems und die Implementierung eines speziell geschützten Kommunikationssystems zur Verbesserung des Notfallmanagements
- Anpassungen verschiedener Verordnungen, damit die im Bereich des Notfallmanagements abgeleiteten Massnahmen auf gesetzlicher Basis festgelegt sind.

Die Umsetzung dieser Massnahmen wird mit Ausnahme des letzten Punktes im Rahmen des Aufsichtsverfahrens durch das ENSI verfolgt bzw. in Zusammenarbeit mit anderen Bundesbehörden koordiniert und wird noch einige Jahre in Anspruch nehmen. Das ENSI wird im Rahmen seiner Aufsichtsberichte darüber berichten.

# Anhang

Sicherheitsbewertung		103
Abbildung 1	ENSI-Sicherheitsbewertungsskala	104
Abbildung 2	Definition der ENSI-Kategorien G, N, V und A	106
Tabelle 1	Hauptdaten der schweizerischen Kernkraftwerke 2016	107
Tabelle 2	Betriebsdaten der schweizerischen Kernkraftwerke 2016	107
Tabelle 3	Bestand an zulassungspflichtigem Personal und Gesamtbelegschaft in den Kernkraftwerken Ende 2016	107
Tabelle 4	Meldepflichtige Vorkommnisse im Bereich der nuklearen Sicherheit 2016	108
Tabelle 5	Kollektivdosen in den schweizerischen KKW im Berichtsjahr	109
Tabelle 6	Radioaktive Abfälle in den Kernkraftwerken und bei der Bundessammelstelle am PSI per 31.12.2016	109
Tabelle 7	Radioaktive Abfälle in den Anlagen der Zwiilag per 31.12.2016	109
Figur 1	Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung 2007–2016	110
Figur 2	Vorkommnisse 2007–2016	112
Figur 3	Ungeplante Reaktorschnellabschaltungen (Scrams) 2007–2016	113
Figur 4	Brennstabschäden (Anzahl Stäbe) 2007–2016	114
Figur 5a	Funktionsschema eines Kernkraftwerks mit Druckwasser-Reaktor	115
Figur 5b	Funktionsschema eines Kernkraftwerks mit Siedewasser-Reaktor	115
Verzeichnis der Abkürzungen		117





## Sicherheitsbewertung

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

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

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

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

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

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

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

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

**Vorkommnisklassierungen:  
Radioaktive Abgaben  
an die Umwelt**

Teilskala 1

**Vorkommnisklassierungen:  
Strahlenexposition  
des Personals**

Teilskala 2

**Vorkommnisklassierungen:  
Gestaffelte Sicherheitsvorsorge**

Teilskala 3

<b>4</b>	Unfall ohne signifikante Gefährdung der Umgebung ICCDP <sub>Vork.</sub> = 1
<b>3</b>	Ernsthafter Zwischenfall 1E-2 < ICCDP <sub>Vork.</sub> < 1
<b>2</b>	Zwischenfall 1E-4 < ICCDP <sub>Vork.</sub> < 1E-2
<b>1</b>	Anomalie 1E-6 < ICCDP <sub>Vork.</sub> < 1E-4

**0** ICCDP<sub>Vork.</sub> < 1E-6

**Vorkommnisklassierungen:**  
ICCDP<sub>Vorkommnis</sub>  
gemäss ENSI-A06

Teilskala 4

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

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

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



	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 2016

	KKB 1	KKB 2	KKM	KKG	KKL
Thermisch erzeugte Energie [GWh]	0,0	9418	8757	24669	18358
Abgegebene elektrische Nettoenergie [GWh]	-12,1	3048	2964	8167	6075
Abgegebene thermische Energie [GWh]	0,0	175,8	1,6	194	0
Zeitverfügbarkeit <sup>1</sup> [%]	0,0	96,5	92,9	93,7	58,6
Nichtverfügbarkeit durch Jahresrevision [%]	100,0	3,6	6,6	6,5	41,7
Arbeitsausnutzung <sup>2</sup> [%]	0,0	95,1	89,8	93,1	57,2
Anzahl ungeplanter Schnellabschaltungen (Scrams)	0	0	0	0	0
Unvorhergesehenes Abfahren der Anlage	0	0	0	0	0
Störungsbedingte Leistungsreduktionen <sup>3</sup> (>10% P <sub>N</sub> )	0	0	0	2	0

**Tabelle 2**  
Betriebsdaten  
der schweizerischen  
Kernkraftwerke 2016

<sup>1</sup> Zeitverfügbarkeit (in %): Zeit, in der das Werk in Betrieb bzw. in betriebsbereitem Zustand ist.

<sup>2</sup> Arbeitsausnutzung (in %): Produzierte Energie, bezogen auf die Nennleistung und eine hundertprozentige Zeitverfügbarkeit.

<sup>3</sup> >10% P<sub>N</sub> an der Tagesleistung gemessen

	KKB 1 + 2	KKM	KKG	KKL
Reaktoroperateur	37 (39)	18 (19)	32 (30)	29 (28)
Schichtchef	28 (31)	12 (12)	16 (15)	25 (23)
Piketzingenieur	15 (14)	9 (11)	13 (13)	10 (9)
Strahlenschutzsachverständiger	6 (8)	7 (7)	4 (4)	6 (6)
Strahlenschutzfachkraft	9 (9)	10 (9)	7 (6)	8 (8)
Strahlenschutztechniker	4 (4)	7 (7)	5 (5)	7 (7)
Gesamtbelegschaft (Personen)	483 (511)	335 (342)	549 (535)	526 (533)

**Tabelle 3**  
Bestand an zulassungspflichtigem  
Personal und Gesamtbelegschaft in  
den Kernkraftwerken  
Ende 2016 (in Klammern  
Werte von 2015)

**Tabelle 4**  
**Meldepflichtige**  
**Vorkommnisse im**  
**Bereich der nuklearen**  
**Sicherheit 2016**

Datum	KKW	Vorkommnis	Einstufung INES
13.1.2016	KKL	Befund an einer Rückschlagklappe im Notkühlwassersystem	0
12.2.2016	KKB2	Auslegungsabweichung im primären Nebenkühlwassersystem	0
18.2.2016	KKG	Undichte Gebäudeabschlussklappe	0
11.3.2016	KKM	Störung in der Speisewasserregelung	0
25.3.2016	KKG	Ausfall eines Iodmonitors zur Überwachung der Kaminfortluft	0
29.3.2016	KKG	Fehlerhafter Einfall eines Steuerstabs	0
20.4.2016	KKG	Anforderung eines Notstromdiesels durch Fehlhandlung bei einer Reaktorschutzprüfung	0
11.5.2016	KKM	Hüllrohrschaden an einem Brennstab	0
13.5.2016	KKL	Teilausfall des Steuerstab-Steuer- und Informationssystems	0
10.5.2016	KKB2	Ausfall einer primären Zwischenkühlwasserpumpe	0
25.5.2016	KKL	Teilausfall des Steuerstab-Steuer- und Informationssystems	0
7.6.2016	KKG	Ausfall eines Iodmonitors zur Überwachung der Kaminfortluft	0
10.6.2016	KKG	Beschädigter Abstandhalter an einem Brennelement	0
12.6.2016	KKG	Fremdkörper in der ersten Wasserfassung	0
12.6.2016	KKG	Ausfall eines Kühlwasserdiesels in der zweiten Wasserfassung	0
17.6.2016	KKG	Anforderung eines Notstanddiesels	0
23.6.2016	KKB2	Fehlerhafte Anzeige von Kontrollstabpositionen	0
25.6.2016	KKM	Ausfall einer Redundanz der Edelgasmessung zur Überwachung der Kaminfortluft	0
30.6.2016	KKG	Anforderung eines Kühlwasserdiesels der zweiten Wasserfassung	0
8.8.2016	KKB2	Risse am Ventilsitz eines Dampferzeuger-Sicherheitsventils	0
12.8.2016	KKL	Befunde an Brennstabhüllrohren	1
15.8.2016	KKL	Leckage in der Rezirkulationsleitung des Notkühlwassersystems	0
17.8.2016	KKL	Leckage an einer Schweißnaht der Druckhalteleitung des Hochdruck-Kernsprühsystems	0
18.8.2016	KKL	Gebrochene Fingerfedern an einem Brennelement	0
2.9.2016	KKG	Turbinenschnellabschaltung	0
3.9.2016	KKB2	Geschlossener Druckschieber der Notspeisewasserpumpe	0
12.9.2016	KKB2	Tropfleckage an einer Entlüftungsarmatur des Containment-Sprühsystems	0
28.10.2016	KKL	Beschädigter Abstandhalter an einem Brennelement	0
23.11.2016	KKL	Befund an einem SEHR-Notstromdiesel	0
29.11.2016	KKB	Korrodierte Schrauben an Brunnenwasserpumpen des Notspeisewassersystems	0
15.12.2016	KKG	Auffälligkeiten bei Brandschutzklappentests	0
16.12.2015	KKB2	Fehlerhaft geschlossenes Ventil im Restwärmesystem	0
18.12.2015	KKM	Ausfall einer Reaktorummwälzpumpe	0
23.12.2015	KKB2	Ausfall der Zuluftventilatoren in einem Dieselgebäude	0

	KKB 1		KKB 2		KKG		KKL		KKM	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Aktionen										
BE-Wechsel				26						
Revisionsstillstand	834	441	342		389	350	1209	915	597	399
Zwischenabstellung										
Leistungsbetrieb	19	0	32	63	104	89	366	310	296	264
<b>Total</b>	<b>853</b>	<b>441</b>	<b>374</b>	<b>89</b>	<b>493</b>	<b>439</b>	<b>1575</b>	<b>1225</b>	<b>893</b>	<b>664</b>

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

	unkonditioniert			konditioniert		
	Anfall	Auslagerung <sup>1</sup>	Bestand	Produktion	Auslagerung <sup>2</sup>	Bestand
PSI	33	11	671	9	-	1562
KKB	32	-	150	4	-	1186
KKM	20	22	53	17	-	935
KKG	15	11	38	2	-	111
KKL	32	44	1	21	9	1392
<b>Total</b>	<b>132</b>	<b>88</b>	<b>913</b>	<b>53</b>	<b>9</b>	<b>5186</b>
Anzahl Behälter mit Brennelementen im KKB				2		8

**Tabelle 6**  
Radioaktive Abfälle in den Kernkraftwerken und bei der Bundessammelstelle am PSI per 31.12.2016 (inklusive Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung), Bruttovolumina gerundet in m<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Bruttovolumen der im Berichtsjahr zur Zwiilag transferierten Abfälle für die Behandlung in der Plasma-Anlage und der Konditionierungsanlage

<sup>2</sup> Transfer konditionierter Abfälle zur Zwischenlagerung bei der Zwiilag

	unkonditioniert			konditioniert
	Anfall	Annahme zur Konditionierung bzw. Triage <sup>2</sup>	Bestand	Produktion
Verarbeitung [m <sup>3</sup> ]	53 <sup>1</sup>	108	247 <sup>3</sup>	31
<b>Bestand (konditionierte Abfälle)</b>		<b>Einlagerung</b>	<b>Auslagerung</b>	<b>Bestand</b>
Bruttovolumen konditionierter Abfälle <sup>4</sup> [m <sup>3</sup> ]		46		1956
Anzahl Behälter mit Brennelementen		3		34
Anzahl Behälter mit Glaskokillen		7		23
Anzahl Behälter mit Lucens-Abfällen		-		6

**Tabelle 7**  
Radioaktive Abfälle in den Anlagen der Zwiilag per 31.12.2016

Hierin enthalten sind:

<sup>1</sup> – Sekundärabfälle aus allen Betriebsbereichen der Zwiilag  
– Im Werksauftrag entstandene, zu verarbeitende Abfälle

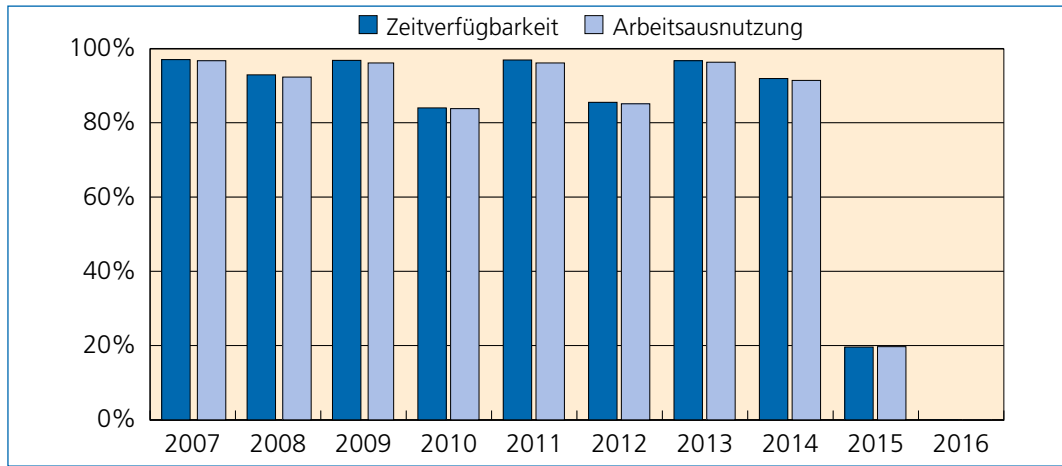
<sup>2</sup> Nur teilweise radioaktiver Abfall

<sup>3</sup> Hierin enthalten sind 38 Gebinde (8 m<sup>3</sup>) mit leicht angereichertem uranhaltigem Material aus dem Versuchsatomkraftwerk Lucens

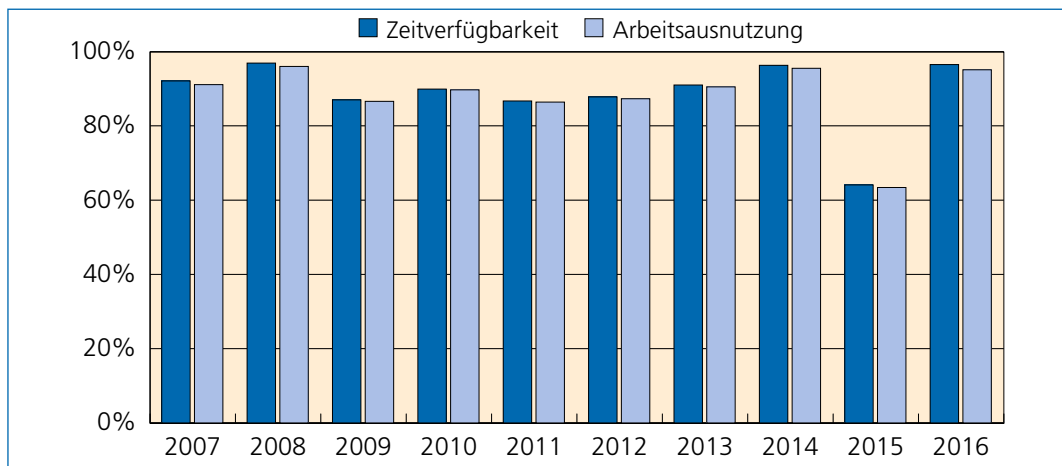
<sup>4</sup> Alle Lagerteile der Zwiilag ausgenommen sep. aufgeführter Bestand des HAA-Lagers

**Figur 1**  
Zeitverfügbarkeit  
und Arbeitsausnutzung  
2007–2016

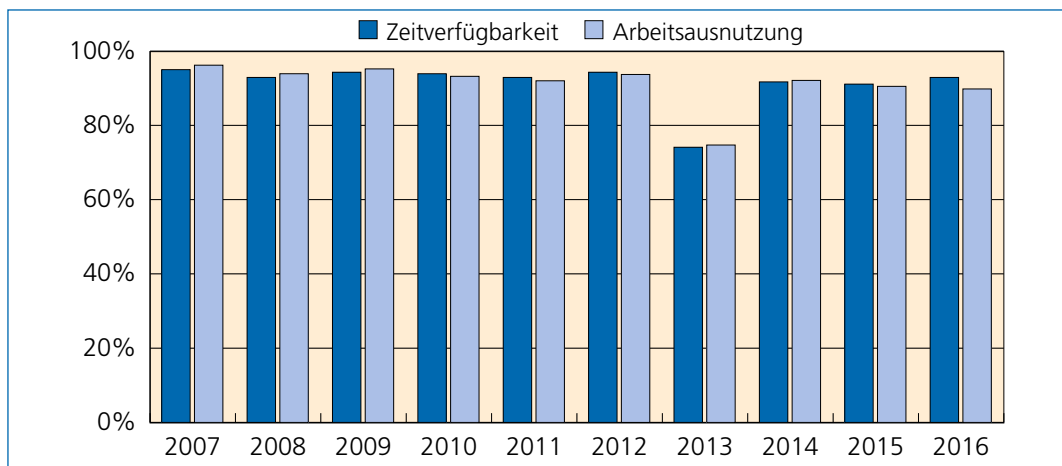
KKB 1



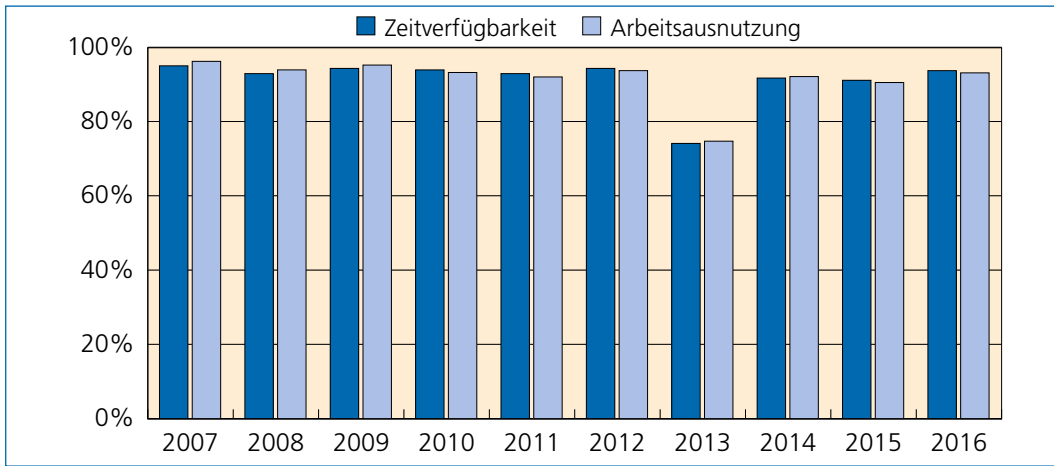
KKB 2



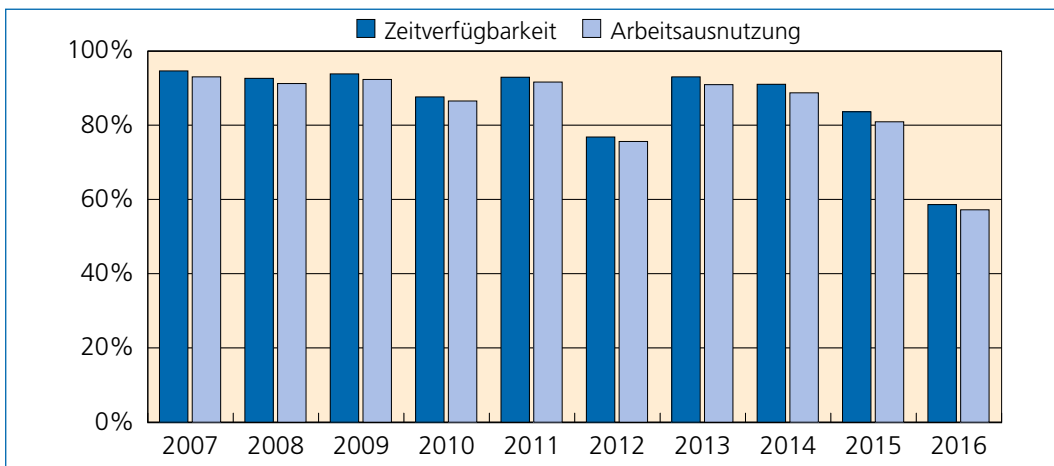
KKM







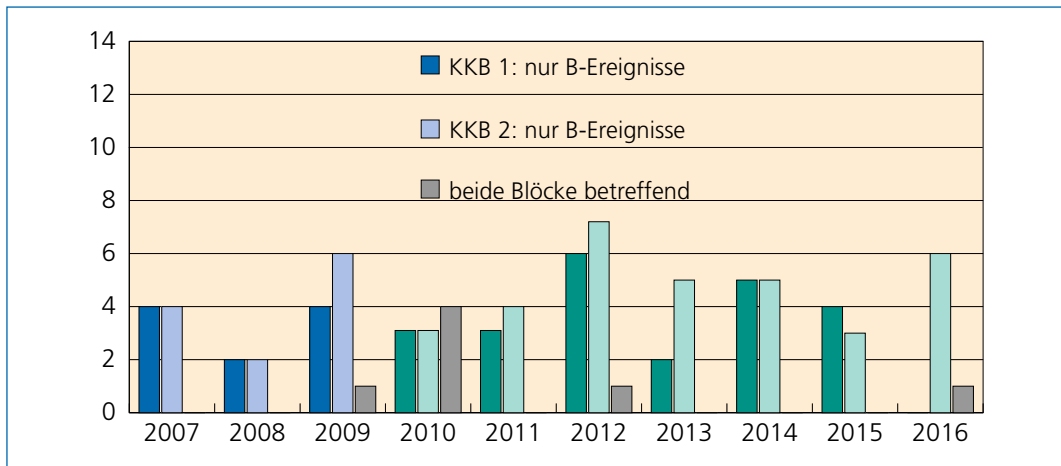
KKG



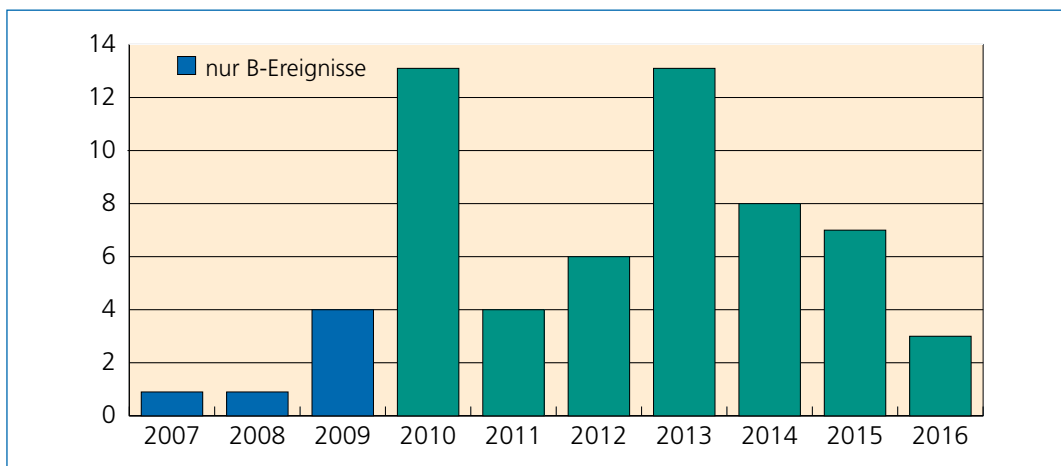
KKL

**Figur 2**  
 Meldepflichtige  
 klassierte Vorkom-  
 mnisse 2007–2008 sowie  
 meldepflichtige Vor-  
 kommnisse im Bereich  
 der nuklearen Sicherheit  
 2009–2016.  
 Aufgrund der geänderten  
 Meldekriterien  
 können die Zahlen  
 vor 2009 nicht mit den-  
 jenigen ab 2009 ver-  
 glichen werden.

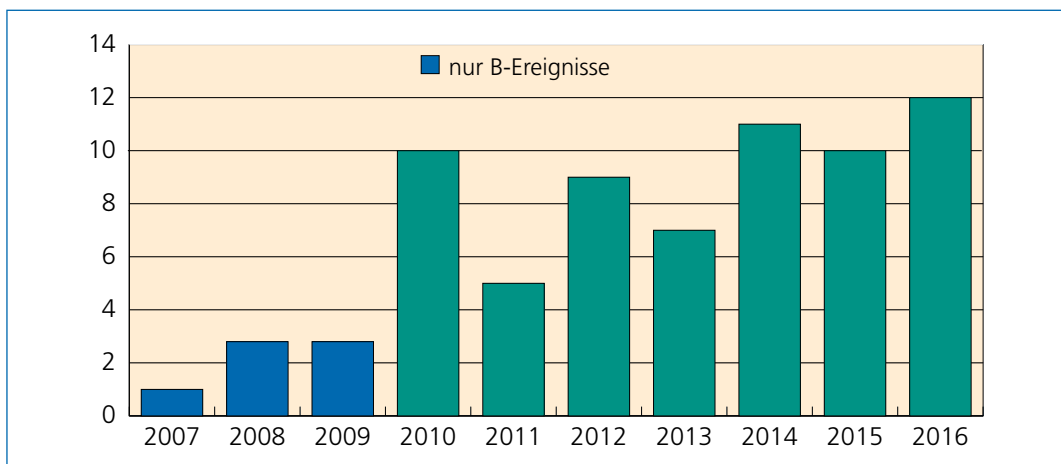
**KKB 1 + 2**



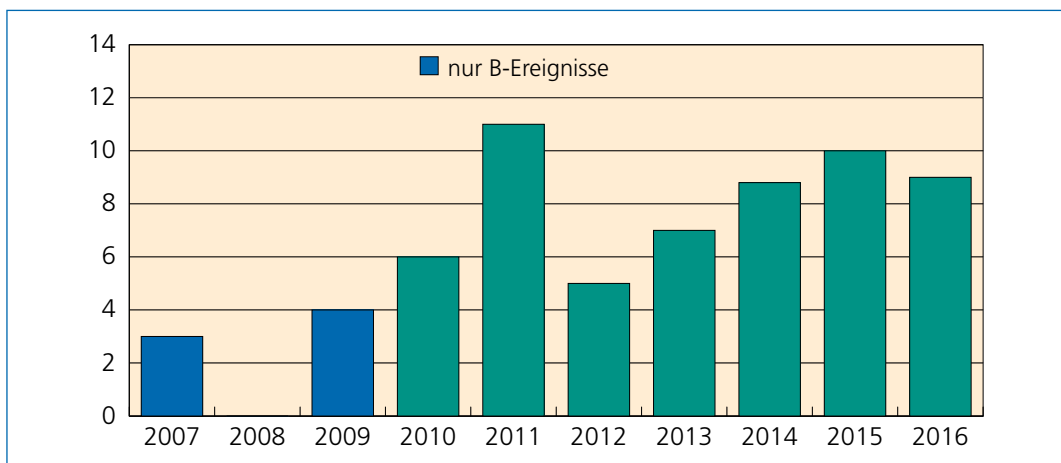
**KKM**



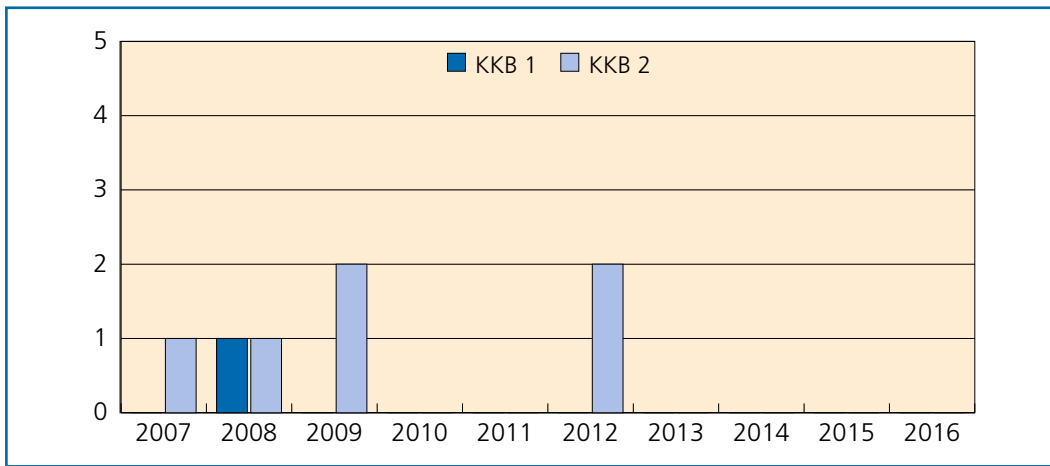
**KKG**



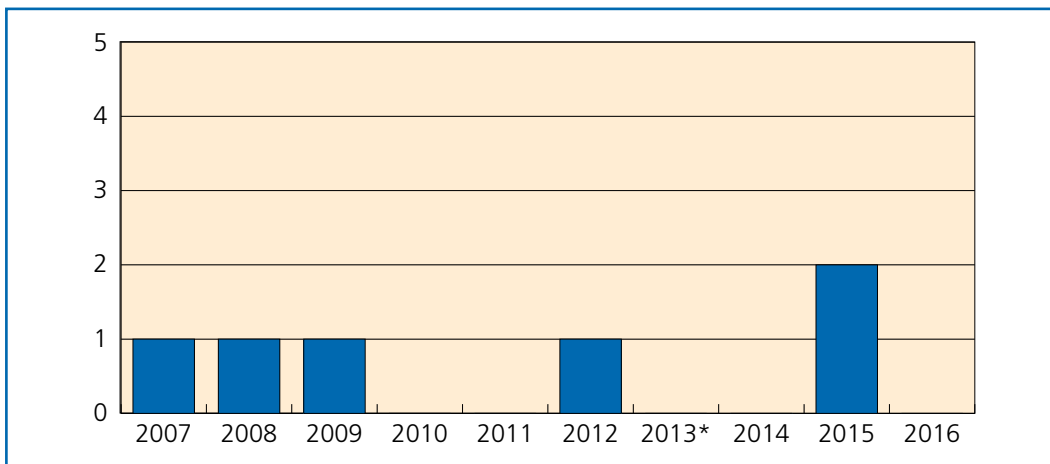
**KKL**



Figur 3  
 Ungeplante Reaktor-  
 schnellabschaltungen  
 (Scrams) 2007–2016

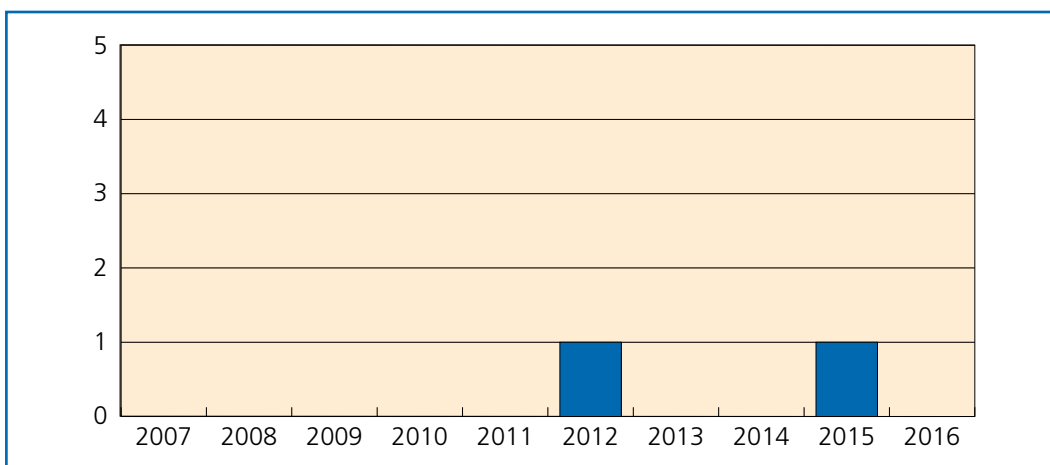


KKB 1 + 2

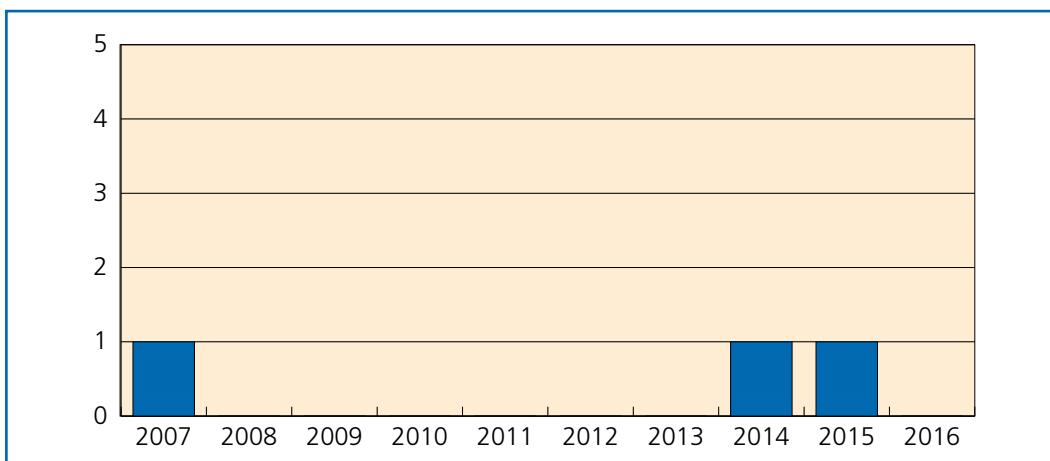


KKM

\* Scram bei  
 Kritikalitätstest  
 vor BE-Wechsel  
 bei Nullleistung



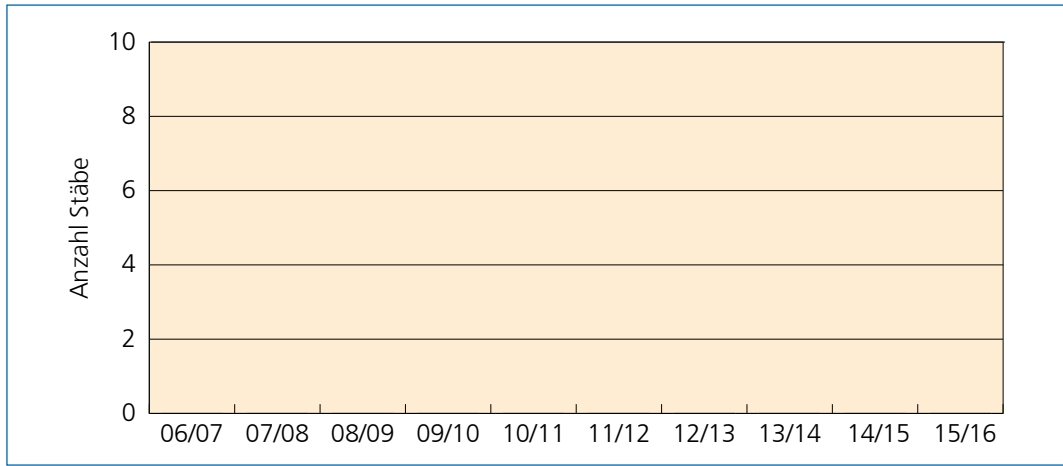
KKG



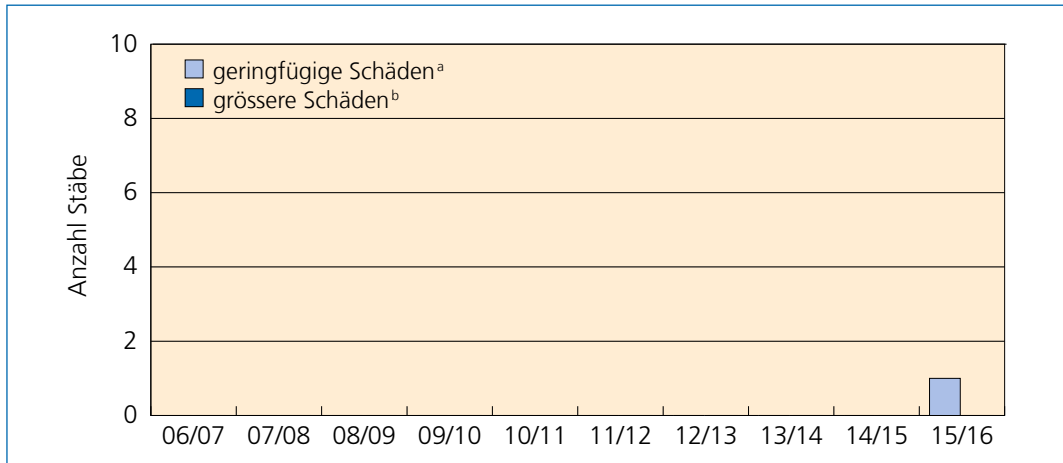
KKL

**Figur 4**  
 Brennstabschäden  
 (Anzahl Stäbe)  
 2007–2016

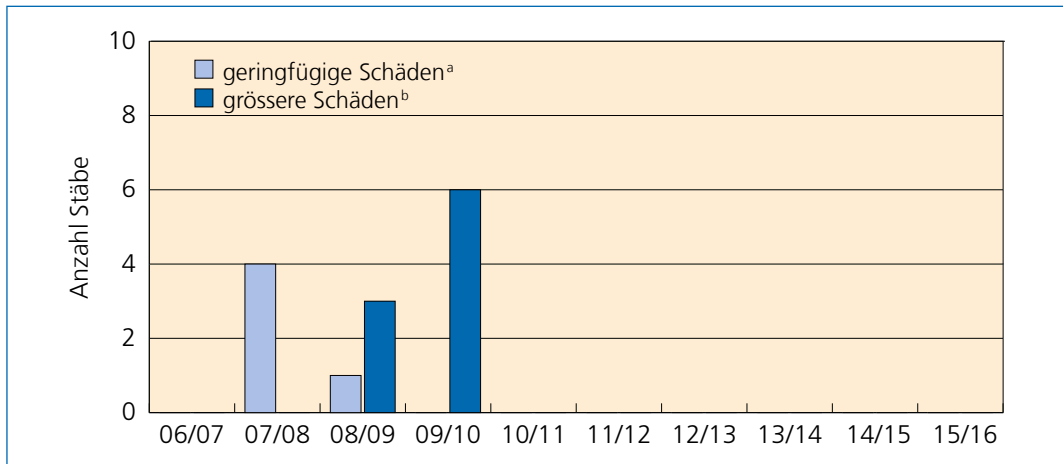
KKB 1 + 2



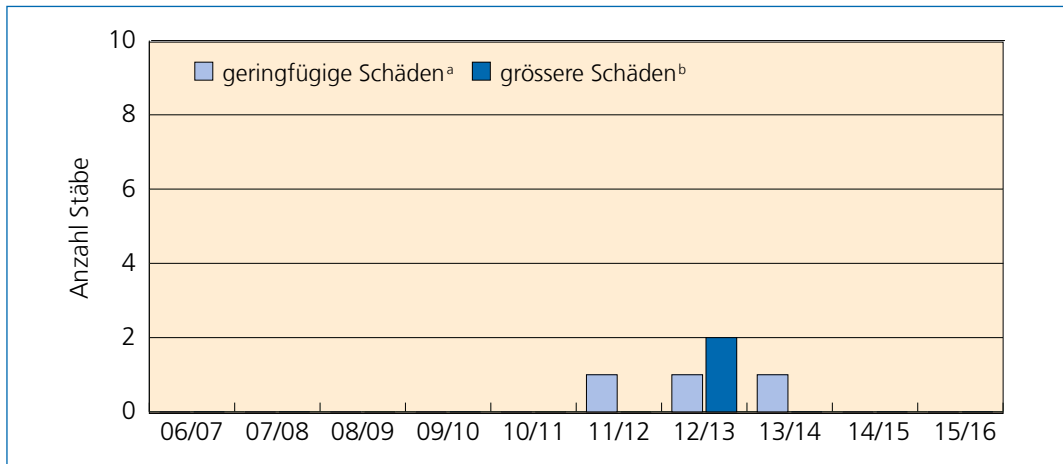
KKM



KKG



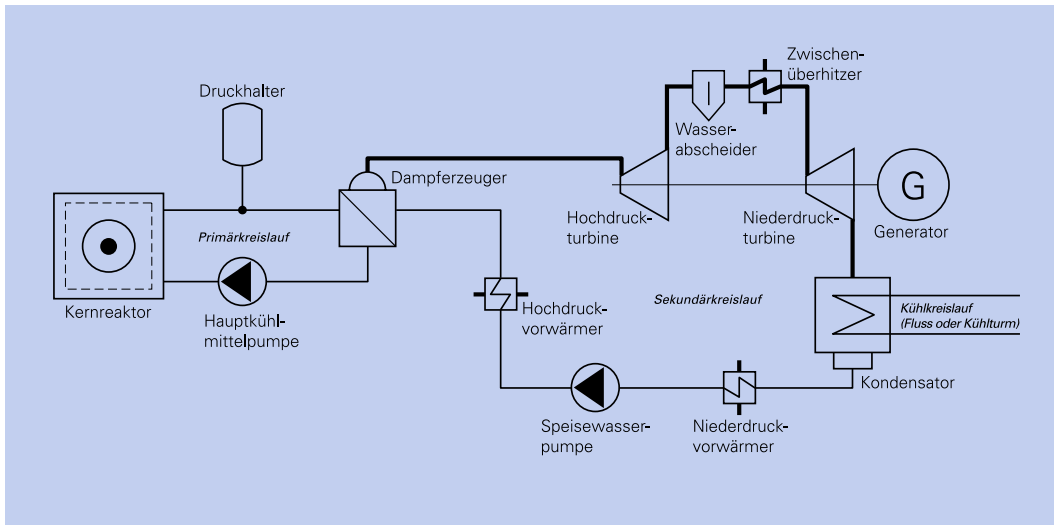
KKL



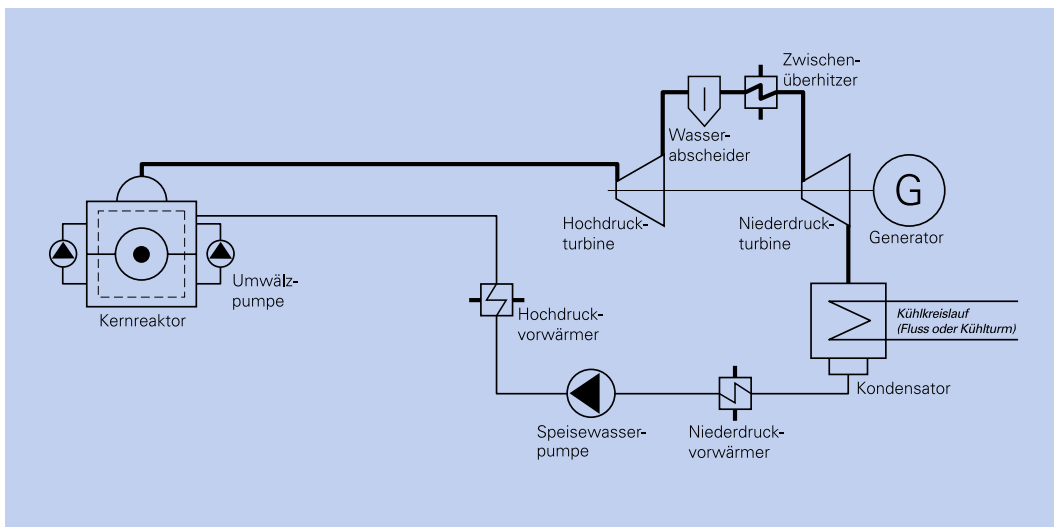
<sup>a</sup> z.B. Haarrisse  
 im Hüllrohr

<sup>b</sup> 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



# Verzeichnis der Abkürzungen

ADAM	Accident Diagnostics, Analysis and Management
ADR	European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road
ALARA	«As low as reasonably achievable» (so gering wie vernünftigerweise erreichbar) Konzept der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) zur Dosisbegrenzung
AM	Accident Management
ANPA	System zur automatischen Übertragung der Anlageparameter der KKW zum ENSI
AÜP	Alterungsüberwachungsprogramm
<hr/>	
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BFE	Bundesamt für Energie
Bq	Becquerel
BZL	Bundeszwischenlager
BE	Brennelement
<hr/>	
CFS	Commission franco-suisse de sûreté nucléaire et de radioprotection
CNS	Convention on Nuclear Safety
<hr/>	
DSK	Deutsch-Schweizerische Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen
DWR	Druckwasserreaktor
<hr/>	
EGT	Expertengruppe für geologische Tiefenlager
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
<hr/>	
GWh	Gigawattstunde = 10 <sup>9</sup> Wattstunden
<hr/>	
HAA	Hochradioaktive Abfälle
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (seit 2009: ENSI)
<hr/>	
IAEA	International Atomic Energy Agency (Internationale Atomenergieagentur), Wien
INES	International Nuclear Event Scale (Internationale Ereignisskala)
IRA	Institut de radiophysique appliquée, Lausanne
<hr/>	
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
KKB	Kernkraftwerk Beznau
KKG	Kernkraftwerk Gösgen
KKL	Kernkraftwerk Leibstadt
KKM	Kernkraftwerk Mühleberg
KKW	Kernkraftwerk
KNS	Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit
KomABC	Eidgenössische Kommission für ABC-Schutz
KSR	Eidgenössische Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität
<hr/>	

LMA	Langlebige mittelradioaktive Abfälle
LOCA	Loss of coolant accident
LWR	Leichtwasserreaktor
<hr/>	
MAA	Mittelradioaktive Abfälle
MADUK	Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernanlagen
MIF	Medizin, Industrie und Forschung
MOX	Uran-Plutonium-Mischoxid
mSv	Millisievert = $10^{-3}$ Sievert
$\mu$ Sv	Mikrosievert = $10^{-6}$ Sievert
MW	Megawatt = $10^6$ Watt, Leistungseinheit
MWe	Megawatt elektrische Leistung
MWth	Megawatt thermische Leistung
<hr/>	
NADAM	Netz für die automatische Dosisleistungsmessung und -alarmierung
Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
NAZ	Nationale Alarmzentrale, Zürich
NEA	Nuclear Energy Agency, Kernenergieagentur der OECD, Paris
NFO	Notfallorganisation
NTB	Nagra Technischer Bericht
<hr/>	
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OSART	Operational Safety Review Team (IAEA)
<hr/>	
Pers.-mSv	Personen-Millisievert = $10^{-3}$ Personen-Sievert
Pers.-Sv	Personen-Sievert = Kollektivstrahlendosis
PSA	Probabilistische Sicherheitsanalyse
PSI	Paul Scherrer Institut, Würenlingen und Villigen
PSÜ	Periodische Sicherheitsüberprüfung
<hr/>	
QM	Qualitätsmanagement
QS	Qualitätssicherung
<hr/>	
RDB	Reaktordruckbehälter
RID	Regulations concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail



SAA	Schwachradioaktive Abfälle
SAMG	Severe Accident Management Guidance
SGT	Sachplan geologische Tiefenlager
SMA	Schwach- und mittelradioaktive Abfälle
StSG	Strahlenschutzgesetz
StSV	Strahlenschutzverordnung
SUVA	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Luzern
Sv	Sievert = Strahlendosisäquivalent
SVTI	Schweizerischer Verein für Technische Inspektionen
SWR	Siedewasserreaktor
<hr/>	
TBq	Terabecquerel (1 TBq = 10 <sup>12</sup> Bq)
TL-Behälter	Transport- und Lagerbehälter
TLD	Thermolumineszenz-Dosimeter
<hr/>	
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
<hr/>	
WANO	World Association of Nuclear Operators
WENRA	Western European Nuclear Regulators' Association
<hr/>	
ZWIBEZ	Zwischenlager für radioaktive Abfälle, KKW Beznau
Zwilag	Zwischenlager Würenlingen AG

**Herausgeber**

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI  
CH-5200 Brugg  
Telefon +41 (0)56 460 84 00  
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-10014  
ISSN 1661-2876

© ENSI, Juni 2017

ENSI-AN-10014  
ISSN 1661-2876

ENSI, CH-5200 Brugg, Industriestrasse 19, Telefon +41 (0)56 460 84 00, [www.ensi.ch](http://www.ensi.ch)