



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 2017

zur nuklearen Sicherheit in den schweizerischen Kernanlagen

## **Aufsichtsbericht 2017**

zur nuklearen Sicherheit in den schweizerischen Kernanlagen

## **Rapport de Surveillance 2017**

sur la sécurité nucléaire dans les installations nucléaires en Suisse

## **Regulatory Oversight Report 2017**

concerning nuclear safety in Swiss nuclear installations

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>4</b>
<b>Préface</b>	<b>6</b>
<b>Foreword</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 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	36
2.5 Radioaktive Abfälle	37
2.6 Notfallbereitschaft	38
2.7 Personal und Organisation	38
2.8 Vorbereitung der Stilllegung	39
2.9 Sicherheitsbewertung	40
<b>3. Kernkraftwerk Gösgen</b>	<b>41</b>
3.1 Überblick	41
3.2 Betriebsgeschehen	42
3.3 Anlagentechnik	44
3.4 Strahlenschutz	46
3.5 Radioaktive Abfälle	47
3.6 Notfallbereitschaft	48
3.7 Personal und Organisation	48
3.8 Sicherheitsbewertung	49
<b>4. Kernkraftwerk Leibstadt</b>	<b>51</b>
4.1 Überblick	51
4.2 Betriebsgeschehen	52
4.3 Anlagentechnik	57
4.4 Strahlenschutz	60
4.5 Radioaktive Abfälle	60
4.6 Notfallbereitschaft	61
4.7 Personal und Organisation	61
4.8 Periodische Sicherheitsüberprüfung	62
4.9 Sicherheitsbewertung	62

<b>5.</b>	<b>Zentrales Zwischenlager Würenlingen</b>	<b>65</b>
5.1	Zwischenlagergebäude	65
5.2	Konditionierungsanlage	66
5.3	Plasma-Anlage	66
5.4	Strahlenschutz	67
5.5	Notfallbereitschaft	68
5.6	Personal und Organisation	68
5.7	Vorkommnisse	69
5.8	Gesamtbeurteilung	69
<b>6.</b>	<b>Paul Scherrer Institut</b>	<b>71</b>
6.1	Hotlabor	71
6.2	Kernanlagen in der Stilllegung	72
6.3	Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle	73
6.4	Strahlenschutz	75
6.5	Notfallbereitschaft	75
6.6	Personal und Organisation	75
6.7	Vorkommnisse	76
6.8	Schule für Strahlenschutz	76
<b>7.</b>	<b>Weitere Kernanlagen</b>	<b>77</b>
7.1	École Polytechnique Fédérale de Lausanne	77
7.2	Universität Basel	77
<b>8.</b>	<b>Transporte und Behälter</b>	<b>79</b>
8.1	Genehmigungen nach Gefahrgutgesetzgebung	79
8.2	Bewilligungen nach Strahlenschutzgesetzgebung	80
8.3	Bewilligungen nach Kernenergiegesetzgebung	80
8.4	Beschaffung von Transport- und Lagerbehältern	80
8.5	Inspektionen und Audits	81
<b>9.</b>	<b>Geologische Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle</b>	<b>83</b>
9.1	Einleitung	83
9.2	Sachplan geologische Tiefenlager	84
9.3	Prüfung der Sondiergesuche für die Etappe 3	87
9.4	Kostenstudie	88
9.5	Entsorgungsprogramm	89
9.6	Neuausgabe der Richtlinie ENSI-G03	89
9.7	Expertengruppe geologische Tiefenlagerung	89
9.8	Felslaboratorien	90
9.9	Internationaler Wissenstransfer	91
<b>10.</b>	<b>Anlagenübergreifende Themen</b>	<b>93</b>
10.1	Probabilistische Sicherheitsanalysen	93
10.2	Risikotechnische Beurteilung der Betriebserfahrung	93
10.3	ADAM-System	94
	<b>Anhang</b>	<b>95</b>
	<b>Verzeichnis der Abkürzungen</b>	<b>111</b>

# Vorwort



Die Öffentlichkeit und der Gesetzgeber wollen, dass die Kernanlagen in der Schweiz sicher und sicher betrieben werden. Als Direktor der zuständigen Aufsichtsbehörde kann ich bestätigen: 2017 haben alle Kernanlagen, die in Betrieb waren, 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 überzeugten wir uns unter anderem im Rahmen unserer rund 470 angemeldeten und unangemeldeten Inspektionen sowie verschiedener Nachweise, die wir von den Betreibern einforderten. Wenn wir begründete Zweifel an der Sicherheit einzelner Anlagenteile haben, verlangen wir von den Betreibern entsprechende Prüfungen und Verbesserungen. Dies kann bisweilen den vorübergehenden Stillstand der Anlage bedeuten sowie für die Betreiber unangenehm und teuer sein. Doch die Sicherheit von Mensch und Umwelt hat oberste Priorität.

Wenn wir Entscheide fällen, dann tun wir dies auf der Basis von wissenschaftlich soliden Grundlagen. Für uns zählen Fakten, die für die Sicherheit

bedeutsam sind. Insbesondere Beznau wird immer wieder allein wegen des Umstands, dass es das älteste Kraftwerk in Europa ist, in Frage gestellt. Das Alter der Kernkraftwerke in der Schweiz ist dabei nicht entscheidend, sondern der reale technische Zustand. Beznau wurde seit der Inbetriebnahme laufend nachgerüstet. Dank den umfangreichen Investitionen in die Sicherheit verfügt Beznau im europäischen Vergleich über einen sehr hohen Sicherheitsgrad.

Allerdings gibt es Anlagenteile eines Kernkraftwerks, die nicht ersetzt werden können. Zu ihnen gehört das «Herzstück», der Reaktordruckbehälter. Gerade beim Reaktordruckbehälter von Beznau 1 wissen wir heute aber sehr genau Bescheid über seinen Zustand. Drei Jahre durfte das Werk keinen Strom produzieren, bis die umfangreichen, vom ENSI überwachten und begleiteten Untersuchungen im Dezember des vergangenen Jahres von der Axpo abgeschlossen und von uns im März 2018 nach eingehender Prüfung akzeptiert werden konnten. Heute wissen wir, dass der Reaktordruckbehälter trotz der Aluminiumoxid-Einschlüsse im Stahl für einen Betrieb von rund 60 Jahren sicher ist.

Auch das Kernkraftwerk Leibstadt stand im Winter 2016/17 länger still. Verfärbungen an gewissen Stellen von einzelnen Brennstäben wiesen auf zeitweiligen lokalen Dryout hin. Auch wenn das Risiko eines solchen Phänomens für Mensch und Umwelt nur gering ist, darf es nicht vorkommen. Aus diesem Grund musste die Betreiberin die Randbedingungen, die dazu führen, ergründen und Massnahmen vorschlagen, die ein erneutes Auftauchen verhindern. Erst als diese beiden Voraussetzungen erfüllt waren, stimmten wir dem Wiederanfahren mit eingeschränkter Leistung zu. Erneute Inspektionen im Herbst haben gezeigt, dass die Massnahmen greifen. Solange die Ursache aber nicht restlos geklärt ist, darf Leibstadt vorderhand nur mit reduzierter Leistung betrieben werden.

Doch nicht nur der Betrieb unserer Kernkraftwerke muss sicher sein, auch die Zeit nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs.

Aus diesem Grund prüften wir im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE) das Stilllegungsprojekt der BKW für das Kernkraftwerk Mühleberg und nahmen im vergangenen Jahr dazu Stellung. Wir sind zum Schluss gekommen, dass das Vorgehen der BKW beim Rückbau sicherheitsgerichtet ist. Als Aufsichtsbehörde werden wir auch nach der Abschaltung 2019 weiter in Mühleberg präsent sein und darüber wachen, dass der Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist.

Mühleberg ist das erste kommerzielle Kernkraftwerk, das in der Schweiz zurückgebaut wird. Neue Kernkraftwerke werden auf absehbare Zeit in der Schweiz keine mehr gebaut. Dies hat das Schweizer Stimmvolk im Mai 2017 mit der Abstimmung über die Energiestrategie 2050 deutlich entschieden. Die bestehenden Kernkraftwerke sollen jedoch solange betrieben werden dürfen, als sie die Sicherheitsanforderungen des Gesetzgebers erfüllen. Dies ist ein klarer Auftrag für uns, weiterhin genau hinzusehen und Entscheidungen zu treffen, die auf Fakten basieren. Aufsicht wird von Menschen ausgeübt. Verantwortungsvoll nehmen sie täglich ihre Aufgabe wahr, unbeirrt von Emotionen, ökonomischem Druck oder politischen Interessen. Ihnen gebührt Respekt. An dieser Stelle danke ich den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des ENSI, dass sie ihr Fachwissen und ihre Arbeitskraft in den Dienst der Aufsichtsbehörde und damit der Gesellschaft stellen.

Dr. Hans Wanner  
Direktor  
Mai 2018

# Préface

*Le public et le législateur veulent que les installations nucléaires suisses soient sûres, et qu'elles soient exploitées en toute sécurité. En tant que directeur de l'autorité compétente, je peux l'attester: en 2017, toutes les installations en fonction ont rempli les exigences du législateur et ont été exploitées en toute sécurité. Aucun événement ne s'est produit qui a mis à mal la sécurité de l'être humain et de l'environnement. Nous nous en sommes convaincu entre autres au travers des 470 inspections, annoncées ou non, que nous avons menées, ainsi qu'au travers des divers justificatifs que nous avons exigés des exploitants.*

*Quand nous avons des doutes fondés à propos de parties spécifiques de l'installation, nous exigeons des exploitants des examens adéquats et des améliorations. Cela peut même aller jusqu'à la mise à l'arrêt provisoire de toute l'installation, une décision déplaisante et coûteuse pour l'exploitant. La sécurité de l'être humain et de l'environnement a la plus haute priorité.*

*Lorsque nous prenons une décision, celle-ci se fonde sur des bases scientifiques solides. Pour nous, ce sont les faits qui importent. Beznau en particulier est continuellement remise en question du simple fait qu'elle est la plus ancienne centrale nucléaire commerciale en fonction en Europe. En Suisse, l'âge des centrales n'est pas déterminant en soi. Ce qui compte, c'est leur état technique réel. Et Beznau a été régulièrement rééquipée depuis sa première mise en service à la fin des années 60. Grâce aux larges investissements réalisés dans sa sécurité, Beznau jouit d'un degré de sécurité très élevé en comparaison européenne.*

*Néanmoins, certaines parties d'une centrale nucléaire ne peuvent être remplacées. C'est le cas du «cœur» du réacteur: sa cuve de pression. Et justement, nous sommes maintenant très précisément informés sur l'état de la cuve de pression de Beznau 1. Trois années durant, la centrale n'a pas pu produire d'électricité. C'est le temps qu'ont duré les examens complets, surveillés et accompagnés par l'IFSN, remis par Axpo à la fin 2017, et que nous avons pu accepter après un*

*contrôle approfondi. Nous savons maintenant que la cuve de pression du réacteur est sûre pour une exploitation de près de 60 ans, malgré les inclusions d'oxyde d'aluminium trouvées dans l'acier sa cuve.*

*Durant l'hiver 2016–2017, la centrale nucléaire de Leibstadt s'est aussi trouvée à l'arrêt plus longtemps que prévu. Les colorations de certaines parties d'éléments combustibles indiquaient qu'il s'agissait d'assèchements locaux temporaires. Même si le risque que fait courir un tel phénomène pour l'être humain et l'environnement est faible, il ne doit pas se produire. Raison pour laquelle l'exploitant a dû étudier les conditions limites à l'origine de ce phénomène, et proposer des mesures pour éviter qu'il ne se reproduise. Nous n'avons accordé le redémarrage avec une puissance réduite qu'une fois ces deux conditions remplies. De nouvelles inspections menées en automne ont montré que les mesures ont des résultats positifs. Mais Leibstadt n'a le droit de fonctionner qu'avec un rendement réduit tant que les causes de ce phénomène ne sont pas complètement expliquées.*

*Pourtant, ce n'est pas seulement l'exploitation de nos centrales nucléaires qui doit être sûre. La période qui suit l'arrêt définitif de leur exploitation doit l'être également. C'est la raison pour laquelle nous avons examiné, sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), le projet de démantèlement de la centrale nucléaire de Mühleberg et avons pris position sur ce sujet lors de l'année passée. Nous sommes arrivés à la conclusion que la procédure choisie par BKW pour le démantèlement garantit la sécurité. En tant qu'autorité de surveillance, nous allons continuer à être présent à Mühleberg après l'arrêt en 2019 et nous allons veiller à ce que la protection de l'être humain et de l'environnement soit garantie.*

*Mühleberg est la première centrale nucléaire commerciale qui sera démantelée en Suisse. Aucune nouvelle centrale nucléaire ne sera construite dans le pays dans un avenir proche, comme en a décidé clairement le peuple suisse en mai 2017 lors de la votation sur la Stratégie énergétique*

*2050. Les centrales nucléaires existantes peuvent cependant être exploitées aussi longtemps qu'elles remplissent les exigences de sécurité du législateur. Cela représente pour nous un mandat clair de continuer à examiner de près et de prendre des décisions basées sur les faits.*

*La surveillance est menée par des personnes. Elles remplissent jour après jour leur fonction, conscientes de leur responsabilité, de manière objective, et insensibles aux pressions économiques ou politiques. Nous leur devons le respect. Je tiens à remercier ici les femmes et les hommes employés de l'IFSN, qui mettent leur expertise et leur force de travail au service de l'autorité de surveillance, et par là même, au service de la société dans son ensemble.*

*Dr Hans Wanner*

*Directeur*

*Mai 2018*

# Foreword

*The public and the legislator want to know both that Swiss nuclear installations are safe and that they are operated safely. As director general of the responsible supervisory authority, I can confirm: During 2017, all operating nuclear installations 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 can be certain of this because, amongst other things, we carried out some 470 announced and unannounced inspections and also required the operators to submit a range of proofs.*

*When we have well-founded reasons for doubting the safety of individual plant parts, we require that the operators carry out appropriate inspections and improvements. Sometimes this can mean a temporary plant outage, which is both inconvenient and expensive for the operator. Nevertheless, safety for people and the environment always comes first.*

*When we make a decision, we do so on the basis of scientifically sound principles. Here it is solid facts that count. In particular, doubts are raised about Beznau time and again, simply because it is the oldest nuclear power plant operating in Europe. In Switzerland, it is not the age of the nuclear power plant that is decisive, rather the actual technical condition. Since it was first commissioned, Beznau has been continuously upgraded. Thanks to the extensive investment in safety, Beznau has a very high level of safety when compared with other European plants.*

*Admittedly, there are parts of a nuclear power plant that cannot be replaced. This includes the «heart» of the plant, the reactor pressure vessel. However, especially where the condition of the Beznau 1 reactor pressure vessel is concerned, we have a very clear picture. The plant could not generate electricity for three years as during this time ENSI oversaw and monitored the Axpo-led investigations which were completed in December of last year and could finally be accepted by us in March 2018 following a detailed review. Now we know that, in spite of the aluminium oxide inclusions in the steel, the reactor pressure vessel is safe to operate for approximately 60 years.*

*Leibstadt nuclear power plant was also shut down for a long period during the winter of 2016/17. Discolouration at certain points on individual fuel rods*

*suggested temporary local dryout. Even if the risk resulting from such a phenomenon remains low for both people and the environment, it should still not occur. Consequently, the operator had to determine the boundary conditions resulting in such a phenomenon and suggest actions that would prevent a re-occurrence. Only when these two conditions were fulfilled, did we agree to restarting with limited power. Further inspections in autumn showed that the actions were effective. However, for as long as the matter is not completely clarified, Leibstadt can presently only operate at reduced power.*

*Yet, it is not just the operation of our nuclear power plants that must be safe, the time after operation finally ceases must also be safe. It was for this reason that, on behalf of the Swiss Federal Office of Energy (SFOE), we reviewed BKW's decommissioning project of the Mühleberg Nuclear Power Plant issuing a statement thereon last year. We concluded that the dismantling approach of BKW is in line with safety principles. As the supervisory authority, we will still be present in Mühleberg after the shutdown in 2019 to confirm that protection of people and the environment is still ensured.*

*Mühleberg is the first commercial nuclear power plant to be dismantled and decommissioned in Switzerland. No new nuclear power plants are to be built for the foreseeable future in Switzerland. This was clearly decided by the Swiss referendum of May 2017 on the Energy Strategy 2050. Nevertheless, the existing nuclear power plants will continue to operate for as long as they fulfil the safety requirements of the regulator. This is a clear definition of our task to continue to carry out close inspections so decisions are made based on fact.*

*This supervision is performed by people. People who execute their task with responsibility, uninfluenced by emotions, economic pressure or political interests. They deserve our respect. At this point, I would like to thank all the employees of ENSI who work and provide their expertise in the service of the supervisory authority and thus ultimately of society.*

*Dr. Hans Wanner  
Director General  
May 2018*

# Zusammenfassung und Übersicht

## Das ENSI

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI ist die Aufsichtsbehörde des Bundes über die Kernanlagen in der Schweiz. Es begutachtet und überwacht die fünf Kernkraftwerke (Beznau 1 und 2, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt), die Zwischenlager bei den Kraftwerken, das Zentrale Zwischenlager der Zwiilag in Würenlingen sowie die Kernanlagen des Paul Scherrer Instituts (PSI), der Universität Basel und der 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 Betriebsführung gesetzeskonform und den Bewilligungen entsprechend erfolgt. Zudem gehören die Transporte radioaktiver Stoffe von und zu den Kernanlagen sowie die Vorbereitungen zur geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle in seinen Aufsichtsbereich. Das ENSI unterhält eine eigene Notfallorganisation, die Bestandteil einer landesweiten Notfallorganisation ist. Im Falle eines schweren Störfalls in einer schweizerischen Kernanlage käme sie zum Einsatz.

## Gesetzliche Basis

Das Kernenergiegesetz, die Kernenergieverordnung, das Strahlenschutzgesetz, die Strahlenschutzverordnung sowie weitere Verordnungen und Vorschriften zur nuklearen Sicherheit und Sicherung insbesondere zur Personalausbildung, zum Notfallschutz, zum Transport radioaktiver Stoffe und zur geologischen Tiefenlagerung bilden die gesetzliche Basis für die Aufsicht des ENSI. Gestützt auf diese gesetzlichen Grundlagen erstellt und aktualisiert das ENSI eigene Richtlinien. Darin formuliert es die Kriterien, nach denen es die Tätigkeiten und Vorhaben der Betreiber der Kernanlagen beurteilt. Die geltenden Richtlinien sind auf der Website des ENSI, [www.ensi.ch](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 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 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 2017 zu 26 meldepflichtigen Vorkommnissen: 3 Vorkommnisse betrafen den Block 1, 4 den Block 2 und ein Vorkommnis betraf beide Blöcke des KKW Beznau. 3 Vorkommnisse betrafen das KKW Mühleberg, 6 das KKW Gösgen und 9 das KKW Leibstadt. Das ENSI hat alle Vorkommnisse der Stufe 0 (Ereignis ohne oder mit geringer sicherheitstechnischer Bedeutung) auf der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet. Ein Vorkommnis aus dem Jahr 2015, die Befunde im Reaktordruckbehälter des Blocks 1 des KKW Beznau betreffend, 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 2017 befanden sich in der Behälterlagerhalle 61 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 Versuchsatomkraftwerk Lucens. Im Jahr 2017 wurden zwei Kampagnen zur Verbrennung und Einschmelzung von radioaktiven Abfällen durchgeführt. Bei der Zwiilag verzeichnete das ENSI im Berichtsjahr ein meldepflichtiges Vorkommnis. Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Zwiilag im Berichtsjahr die bewilligten Betriebsbedingungen eingehalten hat.

## Paul Scherrer Institut 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 rückzubauen ehemalige Versuchsverbrennungsanlage sowie die Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle einschliesslich des Bundeszwischenlagers (BZL). In den Kernanlagen des PSI waren im Jahr 2017 zwei meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen. 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 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

Alle Transporte radioaktiver Stoffe von und zu den Kernanlagen der Schweiz verliefen im Jahr 2017 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 (BFE) 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 veröffentlichte im Berichtsjahr seine Stellungnahme zum Vorschlag der Nagra. Für die HAA-Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost identifizierten 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 realisiert. Zudem war das ENSI im Berichtsjahr wiederum an mehreren Forschungsprojekten am Mont Terri beteiligt. Das ENSI verfolgte den Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich der Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle mit seiner Mitarbeit in verschiedenen internationalen Programmen.

# Résumé et aperçu

## L'IFSN

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

## Base légale

La loi sur l'énergie nucléaire, l'ordonnance sur l'énergie nucléaire, la loi sur la radioprotection, l'ordonnance sur la radioprotection, ainsi que d'autres ordonnances et prescriptions sur la sécurité et sûreté nucléaire, et en particulier sur la formation du personnel, sur la protection en cas d'urgence, sur le transport de matières radioactives et sur le stockage en couches géologiques profondes, constituent les bases légales de la surveillance de l'IFSN. En s'appuyant sur ces bases légales, l'IFSN élabore et met à jour des directives. Elle y formule les critères d'après lesquels elle évalue les activités et les projets des exploitants des installations nucléaires. La liste complète des directives en vigueur peut être consultée sur la version allemande du site de l'IFSN ([www.ifs.n.ch](http://www.ifs.n.ch)) en cliquant sur l'onglet Documents, puis Directives.

## Information

L'IFSN rend compte périodiquement de son activité de surveillance, et de la sécurité nucléaire des installations nucléaires suisses. Elle informe le public des événements et constats dans les installations nucléaires, par exemple dans le cadre de réunions publiques, d'exposés spécialisés, ou à travers son site Internet [www.ifs.n.ch](http://www.ifs.n.ch). Parallèlement, l'IFSN publie chaque année un Rapport sur la radioprotection ainsi qu'un Rapport sur les expériences et la recherche. La langue d'origine de ces rapports est l'allemand. Les résumés sont traduits en français et en anglais. L'IFSN publie aussi ses rapports sur son site Internet.

## Contenu du présent rapport

L'IFSN rend compte dans les chapitres 1 à 4 du présent Rapport de surveillance du déroulement de l'exploitation, de la technique de l'installation, de la radioprotection et de la gestion des centrales nucléaires de Beznau 1 et 2, de Mühleberg, de Gösgen et de Leibstadt. L'IFSN évalue pour l'année sous revue la sécurité de chaque centrale nucléaire prise séparément. Le chapitre 5 traite du dépôt de stockage intermédiaire Zwiilag à Würenlingen. Les chapitres 6 et 7 sont consacrés aux installations nucléaires 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 sous revue. L'IFSN arrive à la conclusion que les exploitants ont respecté les conditions d'exploitation soumises à autorisation. Ces derniers ont observé leurs devoirs légaux de notification à l'égard de l'autorité de surveillance. L'état des installations nucléaires en exploitation lors de l'année sous revue était bon du point de vue de la sécurité technique.

Dans les centrales nucléaires suisses, 26 événements soumis au devoir de notification sont survenus en 2017: trois événements ont concerné uniquement la tranche 1 de la centrale nucléaire de Beznau, quatre ont concernés la tranche 2, et un événement a touché les deux tranches de la centrale nucléaire de Beznau. Trois événements ont été notifiés à la centrale nucléaire de Mühleberg, six à celle de Gösgen et neuf à la centrale de Leibstadt. L'IFSN a classé l'ensemble de ces événements au niveau 0 (événement sans ou avec une faible importance pour la sécurité) de l'échelle internationale de classement des événements INES. Il n'était pas encore possible de classer un événement de l'année 2015, concernant les constats faits dans la cuve du réacteur de la cuve de pression du réacteur de Beznau 1. L'IFSN évalue la sécurité de chaque centrale nucléaire dans le cadre d'une évaluation systématique de la sécurité. En plus des événements devant être notifiés, elle tient compte d'autres éléments, notamment des résultats des inspections.

## Dépôt de stockage intermédiaire 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 fonte). Fin 2017, la halle des conteneurs abritait 61 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 2017, deux campagnes d'incinération et de fonte des déchets radioactifs ont eu lieu. Lors de l'exercice sous revue, l'IFSN a recensé au Zwiilag un évènement

soumis au devoir de notification. L'IFSN conclut que le Zwiilag a respecté en 2017 les conditions d'exploitation autorisées.

## Institut Paul Scherrer 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 de gestion des déchets radioactifs, inclus le dépôt intermédiaire de la Confédération (BZL). Deux événements soumis au devoir de notification ont été recensés en 2017 dans les installations nucléaires du PSI. Aucun événement soumis au devoir de notification n'est survenu dans les installations de recherche de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), ni dans celles de l'Université de Bâle. L'IFSN en conclut que les conditions d'exploitation autorisées ont été respectées en 2017 tant dans les installations nucléaires du PSI que dans les réacteurs de recherche de Lausanne et de Bâle.

## Rejets de substances radioactives

Sur l'année sous revue, les rejets de substances radioactives dans l'environnement via les eaux usées et l'air rejeté des centrales nucléaires, du dépôt de stockage intermédiaire Zwiilag, 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 se montant à moins de 1 % de l'exposition annuelle naturelle aux radiations.

## Transports de matières radioactives

Tous les transports d'éléments radioactifs en provenance, ou en direction, des installations nucléaires de la Suisse se sont passés sans accident en 2017. L'IFSN a pu se convaincre à travers plusieurs inspections du déroulement conforme du transport de différents matériaux radioactifs et de déchets.

## **Stockage en couches géologiques profondes**

*La procédure de sélection des domaines (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). Dans cette procédure, l'IFSN endosse la responsabilité complète de l'évaluation de la sécurité technique des domaines d'implantation géologiques. Le plan sectoriel se trouve actuellement à l'étape 2. 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 publié 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 des Lägern. Du point de vue de l'IFSN, les trois domaines Zurich nord-est, Jura est et Nord des Lägern doivent continuer à être étudié à 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

The Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate, ENSI, is responsible for overseeing nuclear installations in Switzerland. It inspects and monitors the five nuclear power plants (Beznau 1 and 2, Mühleberg, Gösgen and Leibstadt), the interim storage facilities based at each plant, the Central Interim Storage Facility of Zwiilag in Würenlingen together with the nuclear installations at the Paul Scherrer Institute (PSI), the University of Basel and the 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 are operated as required by law and in compliance with the terms of their operating licences. ENSI's regulatory responsibilities also include the transport of radioactive materials from and to nuclear facilities and preparations for a deep geological repository for radioactive waste. ENSI maintains its own emergency organisation, which is an integral part of the national emergency structure that would be activated in the event of a serious incident at a nuclear facility in Switzerland.

## Legal basis

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

## Reporting

ENSI reports periodically on its supervisory activities and the nuclear safety of Swiss nuclear installations. It keeps the public informed about events and findings in the nuclear installations, for example within the framework of public meetings and specialist talks, as well as via its website: [www.ensi.ch](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 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. In 2017, there were 26 reportable events at the nuclear power plants: Beznau 1 had 3 events, Beznau 2 had 4 events and one event that affected both units. Mühleberg NPP was affected by 3 events, Gösgen NPP by 6 and Leibstadt NPP by 9. ENSI rated all events as Level 0 (event of no or low safety significance) on the International Nuclear and Radiological Event Scale (INES). An event dating from 2015 involving findings in the reactor pressure vessel of Beznau 1 had still not been classified by the end of the reporting year. ENSI evaluates the safety of each nuclear power plant as part of a systematic safety evaluation. This reflects both reportable events and other findings, in particular the results of inspections.

## **Central Interim Storage Facility Würenlingen**

The Central Interim Storage Facility of Zwiilag at Würenlingen consists of several interim storage buildings, a conditioning plant and a plasma plant (incineration/melting plant). At the end of 2017, the cask storage hall contained 61 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. Two campaigns to incinerate and melt radioactive waste were carried out in 2017. ENSI recorded one reportable event at Zwiilag during the reporting year. ENSI concludes that Zwiilag complied with its approved operating conditions in the reporting year.

## **Paul Scherrer Institute and the research reactors 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). Two reportable events occurred at the PSI nuclear facilities during 2017. There were no 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, emissions of radioactive material into the environment via waste water and exhaust air from the nuclear power plants, the Central Interim Storage Facility in Würenlingen and the nuclear facilities at PSI, Basel and Lausanne were significantly below the limits specified in the operating licences. Analyses showed that the maximum dose for persons in the immediate vicinity of a plant was less than 1 % of the annual exposure to natural radiation.

## ***Transport of radioactive materials***

*All transport of radioactive substances to and from Swiss nuclear installations took place without any incidents or accidents during 2017. 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) for the storage of radioactive waste initiated by the Federal Office of Energy (SFOE) 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 published its response to Nagra's proposal. Neither ENSI nor Nagra identified any significant disadvantages of the high-level waste (HLW) siting areas of Zurich North-East or Jura East. 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 a low- and intermediate-level waste (L/ILW) store and as an HLW 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 work was done in the Mont Terri Rock Laboratory. Additionally, ENSI participated in a number of research projects at Mont Terri during the current reporting year. ENSI monitored the state of the art in science and technology in respect of the deep geological storage of radioactive waste by participating in various international programmes.*





Kernkraftwerk Beznau.  
Foto: KKB

# 1. Kernkraftwerk Beznau

## 1.1 Überblick

Der Block 1 des Kernkraftwerks Beznau (KKB) war während des ganzen Berichtsjahres ausser Betrieb. Die Betreiberin musste den Leistungsbetrieb des Blocks 2 ausserhalb des Revisionsstillstands einmal reparaturbedingt unterbrechen. Das ENSI stellt fest, dass die bewilligten Betriebsbedingungen immer eingehalten wurden.

Für den Block 1 wird angesichts der am Ende des Berichtsjahrs noch offenen Bewertung der Befunde am Reaktordruckbehälter (RDB) auf eine zusammenfassende Beurteilung verzichtet.

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

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

Im Block 1 hatte der Revisionsstillstand 2015 am 13. März 2015 begonnen. Da eine abschliessende sicherheitstechnische Beurteilung der Befunde am RDB noch nicht vorlag, befand sich die Anlage zum Jahresende 2017 immer noch im Stillstand (siehe Abschnitt BEFLAW, Kapitel 1.3.1).

Im Block 2 kam es zu vier meldepflichtigen Vorkommnissen. Sie wurden alle der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeteilt. Ein

Vorkommnis betraf beide Blöcke. Es wurde der Stufe 0 zugeteilt.

Im Block 2 dauerte der Revisionsstillstand 41 Tage. Im Berichtsjahr 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 waren verglichen mit der natürlichen Strahlenexposition unbedeutend.

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

Das ENSI führte im Rahmen seiner Aufsicht 88 Inspektionen durch. Wo erforderlich verlangte das ENSI Verbesserungsmaßnahmen und überwachte deren Umsetzung.

Ein Schichtchef und zwei Pickettingenieure bestanden ihre Zulassungsprüfung. Vier Reaktoroperateur-Anwärter absolvierten die kerntechnische Grundlagenausbildung an der Reaktorschule des PSI erfolgreich.

## 1.2 Betriebsgeschehen

Der Block 1 war infolge der noch laufenden sicherheitstechnischen Beurteilung der Befunde am RDB das ganze Jahr ausser Betrieb.

Der Block 2 erreichte im Berichtsjahr eine Arbeitsausnutzung von 88,1 % und eine Zeitverfügbarkeit von 88,3 %. Die unproduktiven Anteile im Block 2 waren im Wesentlichen durch den Revisionsstillstand und eine reparaturbedingte Abschaltung bedingt.

Die Zeitverfügbarkeiten und die Arbeitsausnutzungen der letzten zehn Jahre sind in Figur 1 dargestellt. Die ausgekoppelte Wärme für das regionale Fernwärmenetz (REFUNA) betrug im Berichtsjahr 161,2 GWh.

Vom 4. bis 7. August 2017 wurde das KKB 2 für eine Reparatur an einem 220-kV-Kabel in der Hochspannungsschaltanlage abgestellt. Zur Durchführung von Funktionsprüfungen und auf Anforderung des Lastverteilers erfolgten im Block 2 kurzzeitige Leistungsreduktionen.

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

■ Bei der Analyse von visuellen Befunden an der Plattierung des RDB wurde am 6. März 2017 festgestellt, dass ein meldepflichtiges Vorkommnis vorliegt. Es handelt sich um drei kleine Vertiefungen im Bereich eines Austrittsstutzens. Die Vertiefungen stammen von der Herstellung. Die Plattierung schützt das Grundmaterial des RDB vor Korrosion. Sie hat keine drucktragende Funktion. Eine erste Ultraschallprüfung im betroffenen Bereich ergab keine Anzeichen für eine Schädigung des Grundmaterials. Weitere Ultraschallprüfungen mit einem speziell qualifizierten Prüfsystem sind vorgesehen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Befunde an der Plattierung des RDB der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die zweite Barriere sowie für die Schutzziele «Kühlung der Brennelemente» und «Einschluss radioaktiver Stoffe».

■ Bei der Auswertung der nach einem neuen, qualifizierten Verfahren durchgeführten Ultraschallprüfungen an den Tragpratzen des RDB wurde am 6. März 2017 erkannt, dass ein meldepflichtiges Vorkommnis vorliegt. Die Anzeigen im Bereich der Schweissnähte zwischen Pratzen und RDB liegen im Innern des Schweissnahtmaterials. Die festgestellten Unregelmässigkeiten stammen höchstwahrscheinlich von der Herstellung. Entsprechend den damals gültigen Vorgaben fanden eine visuelle Prüfung und eine Oberflächenrissprüfung statt, die keine Befunde ergaben. Eine das Innere der Schweissnähte erfassende volumetrische Prüfung war nicht vorgeschrieben. Die im Berichtsjahr durchgeführten Berechnungen zeigten, dass die Tragpratzen sowohl den im Normalbetrieb als auch den bei Auslegungsstörfällen zu erwartenden Belastungen standhalten. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Befunde an den Tragpratzen des RDB der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die zweite Barriere sowie für die Schutzziele «Kühlung der Brennelemente» und «Einschluss radioaktiver Stoffe».

■ Bei einer Überprüfung der für die Endkonditionierung von radioaktiven Abfällen verwendeten Zementmischungen stellte das KKB am 14. Dezember 2017 eine meldepflichtige Abweichung von der Spezifikation fest. Betroffen sind drei Abfallgebinde mit Filterkerzen. Die Konditio-

nierungsanlage befindet sich im Block 1. Zwei Faktoren trugen zur Abweichung von der Spezifikation bei. Mit der Inbetriebnahme des Plasmaofens der Zwiag mussten nur noch Filterkerzen mit einer besonders hohen Dosisleistung im KKB endkonditioniert werden. Der grösste Teil wird seither im Plasmaofen verarbeitet. Infolge einer nicht mehr lieferbaren Komponente wurde ab 2008 eine veränderte Zementmischung für die Endkonditionierung verwendet. Da für die zukünftig zu erwartenden Filterkerzen noch genügend Gebinde vorbereitet waren, verzichtete das KKB auf eine Anpassung der Spezifikation für Gebinde mit Filterkerzen. Die Betreiberin passte die Spezifikation für Gebinde mit anderen Abfalltypen an, da für diese laufend neue Gebinde erforderlich werden. Sie erkannte nicht, dass auch für Gebinde mit Filterkerzen die Zementmischung in der Spezifikation hätte angepasst werden müssen. Da für die drei in den Jahren 2010, 2011 und 2013 endkonditionierten Gebinde mit Filterkerzen, so wie für alle anderen Gebinde, die neue Zementmischung verwendet wurde, kam es zu einer Abweichung von der unverändert gebliebenen Spezifikation. Die Abweichung hat rein formale Bedeutung, da die neue Zementmischung alle Anforderungen der Richtlinie ENSI-B05 erfüllt. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Abweichung von der Spezifikation bei drei Abfallgebinden der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie für das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe».

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

- Am 6. Januar 2017 kam es zu einer Störung in der unterbrechungsfreien Stromversorgung einer gesicherten Wechselstromschiene. Ursache war ein defekter Gleichstromsensor. Die unterbrechungsfreie Stromversorgung wird von einer halbgesicherten 400-V-Wechselstromschiene versorgt. Die Schiene wird als halbgesichert bezeichnet, da die Versorgung sowohl durch eine nicht notstromgesicherte Eigenbedarfsschiene als auch durch eine Notstromschiene erfolgen kann. In der unterbrechungsfreien Stromversorgung erzeugt ein Gleichrichter in einem ersten

Schritt ausgehend von einer Wechselspannung von 400 V eine Gleichspannung von 120 V. Aus dieser Gleichspannung wird einerseits über einen Wechselrichter wieder eine Wechselspannung von 400 V zur Versorgung der gesicherten Schiene erzeugt, andererseits eine 120-V-Batterie permanent in geladenem Zustand gehalten. Die Batterie stellt bei einem Ausfall der halbgesicherten Schiene die Versorgung der gesicherten Schiene über den Wechselrichter sicher. Das KKB ersetzte den defekten Gleichstromsensor innert 3,5 Stunden und damit innerhalb der massgeblichen Frist der Technischen Spezifikation. Die Versorgung der gesicherten Schiene war während dieser Zeit permanent sichergestellt, in einer ersten Phase durch die 120-V-Batterie, anschliessend über die direkt zugeschaltete halbgesicherte Schiene. Die anderen Schienen der gesicherten Wechselstromversorgung standen uneingeschränkt zur Verfügung. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Störung in der unterbrechungsfreien Stromversorgung einer gesicherten Wechselstromschiene der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1, 2 und 3 sowie die Schutzziele «Kontrolle der Reaktivität», «Kühlung der Brennelemente» und «Einschluss radioaktiver Stoffe». Das ENSI ordnete die damit verbundene Risikohöherung der Kategorie A (Abweichung) zu – als Aspekt des Zustandes und Verhaltens der Anlage mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

- Am 8. Juli 2017 war die automatische Auslösung der Löschanlage in einem Raum des Notstandgebäudes während rund acht Stunden nicht verfügbar. Ursache war eine kalte Lötstelle an einer Diode am Löschventil, die zu einem Signalunterbruch in der Auslöseautomatik geführt hatte. Die Betreiberin ersetzte das Löschventil. Die Löschanlage war innerhalb der vorgesehenen Frist gemäss der Technischen Spezifikation wieder betriebsbereit. Die Alarmierung durch die Brandmelder im betroffenen Raum war ohne Unterbruch verfügbar und die Löschanlage hätte jederzeit von Hand ausgelöst werden können. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Unverfügbarkeit der automatischen Auslösung einer Löschanlage im Notstandgebäude der Ka-

tegorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustandes und Verhaltens der Anlage mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

- Am 25. Juli 2017 fiel ein Messkanal der Dampferzeuger-Niveaumessung des Notstandschutzsystems aus. Ursache war ein defekter Transmitter. Pro Dampferzeuger überwachen drei Messkanäle das Wasserniveau. Bei zu tiefem Niveau löst das Notstandschutzsystem eine Reaktorschnellabschaltung aus. Zudem werden bei Abweichungen des Niveaus nach unten oder nach oben Pumpen ein- beziehungsweise ausgeschaltet, die Speisewasser in die Dampferzeuger fördern. Die Auslösung von Notstandfunktionen erfolgt, wenn zwei von drei Messkanälen ansprechen. Der ausgefallene Messkanal wurde gemäss der Technischen Spezifikation fristgerecht in den logischen Zustand «ausgelöst» geschaltet, womit die Notstandfunktionen beim Ansprechen eines der in Betrieb befindlichen zwei Messkanäle ausgelöst worden wären. Die Betreiberin ersetzte den ausgefallenen Transmitter. Nach rund fünf Stunden war der Messkanal wieder verfügbar. Das Niveau in beiden Dampferzeugern lag während des ganzen Zeitraums im Sollbereich. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Ausfall eines Messkanals der Dampferzeuger-Niveaumessung des Notstandschutzsystems der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie die Schutzziele «Kontrolle der Reaktivität» und «Kühlung der Brennelemente».
- Während des Wiederanfahrens der Anlage nach einer Abschaltung für eine Reparatur in der 220-kV-Schaltanlage wurde am 7. August 2017 innert 20 Minuten dreimal fälschlicherweise der Einfall desselben Steuerstabs signalisiert. Grund war eine defekte elektronische Baugruppe der Positionsanzeige des betroffenen Steuerstabs. Die Anlage reagierte auf jedes Fehlsignal auslegungsgemäss und konservativ mit einer Reduktion der Reaktorleistung. Die Kontrolle der massgeblichen Parameter zeigte, dass kein Einfall des Steuerstabs stattgefunden hatte. Nach Ersatz der defekten Baugruppe und erfolgreicher Prüfung der Positionsanzeige konnte die Anlage am 8. August 2017 auf Vollast gefahren werden. Die Abklärung der Ursache für den Defekt an

der Baugruppe erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Hersteller. Die Funktion des Reaktorschutzes war nicht betroffen. Eine Reaktorschnellabschaltung wäre im Anforderungsfall jederzeit gewährleistet gewesen. Dabei wäre auch der Steuerstab mit der falsch signalisierten Position in den Reaktorkern eingefallen. Im Revisionsstillstand ab 18. August 2017 erfolgten die bereits im Vorjahr geplanten Ertüchtigungen von Baugruppen der Steuerstabpositionsanzeigen im Block 2, analog zu denjenigen von 2016 im Block 1 (siehe Aufsichtsbericht 2016). Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Fehlsignalisation eines Stab-einfalls der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 2 sowie das Schutzziel «Kontrolle der Reaktivität».

Ein Vorkommnis betraf beide Blöcke. Das ENSI ordnete das Vorkommnis der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zu.

- Im Projekt AUTANOVE waren in beiden Blöcken des KKB autarke, das heisst von anderen Teilen der Anlage unabhängige, auf das Sicherheits-erdbeben (SSE) ausgelegte Notstromversorgungen nachgerüstet worden. Beide Blöcke des KKB verfügen über je zwei Notstromdiesel. Jeder Notstromdiesel versorgt im Anforderungsfall eine Notstromschiene. Diese Schienen werden als Schiene BE beziehungsweise BX bezeichnet. Beim SSE wird unterstellt, dass ein Teil der Systeme und Gebäude eines Kernkraftwerks (KKW) versagen. Die nach dem Erdbeben weiterhin zur Verfügung stehenden Systeme stellen insbesondere die Wärmeabfuhr aus dem durch den Reaktorschutz abgeschalteten Reaktor sicher. Ihre Stromversorgung erfolgt durch die Schiene BX sowie die vom Notstanddiesel im gebunkerten Notstandgebäude versorgte Schiene BV. Eine der beiden Schienen ist für die Wärmeabfuhr ausreichend. Am 13. September 2017, beide Blöcke befanden sich im Stillstand, erkannte das KKB einen bei einer Analyse des Systemverhaltens festgestellten Auslegungsfehler als meldepflichtig. Bei einem SSE hätte der Ausfall von Signalen aus nicht dafür ausgelegten Teilen der Anlage zur Abschaltung des Notstromdiesels führen können, der die BX-Schiene versorgt. Damit lag eine Abweichung vom für das Projekt AUTANOVE beim SSE zentralen Prinzip der Autarkie vor. Die direkte Ursache war eine für die autarke Notstromversorgung ungeeignete Soft-



In der  
Maschinenhalle.  
Foto: KKB

ware, welche für den Notstromdiesel davon ausgeht, dass der ausgeschaltete Zustand der sichere Zustand sei. Dies stand im Widerspruch zu den Anforderungen an die autarke Notstromversorgung, für die beim SSE der eingeschaltete Zustand als sicher gilt. Die vorgelagerte Ursache lag im Bereich der Kommunikation mit dem mit der Realisierung des Projekts AUTANOVE beauftragten Totalunternehmer (TU). Die Autarkie der Notstromversorgung war in der Ausschreibungsspezifikation nicht klar genug formuliert worden. Das KKB prüfte die vom TU auf der Basis der Ausschreibungsspezifikation erstellten Unterlagen und erkannte die Abweichung vom Prinzip der Autarkie nicht. Die Betreiberin behob den Auslegungsfehler in beiden Blöcken durch eine Anpassung der Software. Im Block 2 erfolgte die Korrektur noch vor dem Wiederauffahren der Anlage. Sicherheitstechnisch war der Fehler primär für den Block 2 während des Leistungsbetriebs 2016/2017 von Bedeutung. Die Situation entsprach im Wesentlichen derjenigen vor AUTANOVE, als das nicht auf das SSE ausgelegte Wasserkraftwerk Teil der Notstromversorgung war. Im Falle eines SSE wäre die Wärmeabfuhr aus dem Reaktor durch das gebunkerte Notstandssystem permanent gewährleistet gewesen. Da sich im Block 1 während des betrachteten Zeitraums keine Brennelemente im Reaktorkern befanden, hätte zusätzlich die gesamte elektrische Leistung des Notstanddiesels des

KKB 1 für den Block 2 zur Verfügung gestanden. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Auslegungsfehler in der autarken Notstromversorgung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt der Auslegungsvorgaben mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie schutzzielübergreifender Bedeutung. Die damit verbundene Risikoerhöhung im Block 2 ordnete das ENSI der Kategorie A (Abweichung) zu – als Aspekt des Zustandes und Verhaltens der Anlage mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung. Die Mängel bei der Zusammenarbeit mit dem TU ordnete das ENSI der Kategorie A (Abweichung) zu – als Aspekt des Zustandes und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

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

## 1.3 Anlagetechnik

### 1.3.1 Revisionsarbeiten

Der Block 1 war am 13. März 2015 für den Revisionsstillstand 2015 abgestellt worden. Im Berichtsjahr war er infolge der noch laufenden sicherheitstechnischen Beurteilung der Befunde am RDB weiterhin ausser Betrieb. Die Brennelemente befanden sich im Brennelement-Lagerbecken. Die 2015 zur Verhinderung von Korrosions- und Stand-schäden getroffenen Konservierungsmassnahmen wurden im Berichtsjahr beibehalten. Ende des Berichtsjahres waren grosse Teile des Sekundärkreislaufs entleert und die Luftfeuchtigkeit wurde kontrolliert tief gehalten.

Der Block 2 wurde vom 18. August bis zum 27. September 2017 für den Revisionsstillstand abgestellt. Folgende Arbeiten seien an dieser Stelle erwähnt: Alle Durchführungen im Boden des RDB wurden mit Wirbelstrom und Ultraschall geprüft. Es ergaben sich keine unzulässigen Befunde. Die registrierpflichtigen Anzeigen zeigten kein Wachstum verglichen mit der vorhergehenden Prüfung.

Die Wirbelstromprüfungen der Dampferzeuger-Heizrohre zeigten keine signifikanten Veränderungen der bereits bekannten, registrierpflichtigen Wanddickenschwächungen. Es traten keine unzulässigen Befunde auf.

Bei der Prüfung der Sicherheitsventile der Dampferzeuger ergab sich an einem Ventilsitz eine bewertungspflichtige Anzeige. Nach einer Oberflächenbearbeitung war der Ventilsitz ohne Befund und wieder uneingeschränkt einsatzbereit. Am gleichen Ventil wurde der Ventilkegel präventiv ausgetauscht.

Die Funktion aller Stossbremsen wurde auf dem Prüfstand getestet. 13 Stossbremsen wurden aufgrund der Prüfergebnisse instandgesetzt. Sie hätten ihre Funktion im Anforderungsfall trotz Nichterfüllung der Prüfkriterien erfüllt. Bei zwei hydraulischen Stossbremsen zeigte sich eine durch Wärme und Staub verursachte Verfärbung des Öls. Das Öl wurde gewechselt und das Wartungsintervall der Stossbremsen von zehn auf sechs Jahre verkürzt.

Die Bilanzierung der Leckraten der Containment-Durchdringungen zeigte, dass die Anforderungen der Technischen Spezifikation erfüllt waren. Die Dichtigkeitsprüfungen an Haupt-, Not- und Brennelement-Transferschleuse waren ohne Befund.

Am Rundlaufkran im Reaktorgebäude wurden die Lastmessbolzen des Haupt- und des Hilfshubs

sowie die Auswerteelektronik störungsbedingt ersetzt.

Die Kapazitätsmessungen an 120-V- und 24-V-Batterien waren ohne Befunde.

In beiden Blöcken fanden umfassende zerstörungsfreie Prüfungen an den Schweisssnähten der Ein- und Austrittsstutzen für die Hauptkühlmittelleitungen am RDB statt. Die Oberflächen wurden einer Wirbelstromprüfung unterzogen, die volumetrische Prüfung erfolgte mit Ultraschall. Alle Prüfungen ergaben keine unzulässigen Befunde. Die qualifizierten Wirbelstromprüfungen der äusseren Oberflächen fanden zum ersten Mal statt. Während die Eintrittsstutzen in beiden Blöcken geprüft werden konnten, zeigte sich, dass die thermische Isolation der Austrittsstutzen im Block 2 mit dem eingesetzten Manipulator nicht entfernt werden konnte. Ursache hierfür waren zuvor nicht bekannte Kanten eines im Beton eingelassenen Futterrohres, die den Zugang des Fräsmanipulators zur Isolation verhinderten und die aufgrund der Blechdicke mit dem vorhandenen Werkzeug nicht gefräst werden konnten. Daher erfolgte die Prüfung der äusseren Oberflächen der Austrittsstutzen im Berichtsjahr nur im Block 1. Die Prüfung im Block 2 wird mit Zustimmung des ENSI in der Revisionsabstellung 2019 nachgeholt. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die zum vorgesehenen Termin im Block 2 nicht durchgeführten Prüfungen der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustandes und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die zweite Barriere sowie für die Schutzziele «Kühlung der Brennelemente» und «Einschluss radioaktiver Stoffe».

#### Projekt BEFLAW

Das ENSI hatte das KKB im August 2015 aufgefordert, die registrierpflichtigen Anzeigen bei der Prüfung des Grundmaterials der Schmiederinge des RDB im Block 1 detailliert zu untersuchen, zu charakterisieren und zu bewerten. Die Anlage war Ende des Berichtsjahrs abgestellt, der RDB entladen.

Das ENSI und ein unabhängiges internationales Expertenteam (IRP) prüften den Bericht des KKB zu seinem sicherheitstechnischen Nachweis vom November 2016. Die Prüfung zeigte substanziellen Vertiefungs- und Erweiterungsbedarf, dessen Umsetzung Ende 2017 noch nicht abgeschlossen war. Stichworte dazu sind die Validierung des verwendeten Ultraschallprüfverfahrens, die Repräsentati-

vität der Nachbildung eines Schmiederings und der daraus entnommenen Werkstoffproben, der Nachweis der Integrität der Plattierung des RDB sowie Untersuchungen zum Einfluss der Befunde auf die neutroneninduzierte Versprödung des RDB.

### 1.3.2 Anlageänderungen

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

Die batteriegestützte, unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) der Pumpen des primären Nebenkühlwassersystems wurde installiert. Bei den durchgeführten Prüfungen erfolgte bei einem Ausfall der normalen Stromversorgung die Umschaltung auf die USV auslegungsgemäss. Die Rückschaltung auf die Versorgung durch eine Wechselstromschiene funktionierte nicht in jedem Fall. Die Betreiberin leitete ein umfassendes Versuchsprogramm zur Ursachenabklärung ein. Die bereits aufgrund des Vorkommnisses vom 14. Juli 2015 festgelegten Massnahmen zur Verhinderung unzulässiger Druckstösse bleiben im Block 2 für den Betriebszyklus 2017/2018 weiterhin gültig.

Die Betreiberin setzt die seismische Ertüchtigung des primären Nebenkühlwassersystems im Containment fort.

### 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.

Die Betreiberin entlud den Block 1 zu Beginn des Revisionsstillstands 2015 vollständig und verbrachte die Brennelemente ins Brennelement-Lagerbecken. Da die Untersuchungen der Befunde am RDB Ende Jahr noch nicht abgeschlossen waren, wurden auch 2017 keine Brennelemente in den Kern geladen.

Während des Revisionsstillstands im Block 2 ersetzte das KKB 16 abgebrannte Brennelemente des Typs FOCUS durch baugleiche frische Brennelemente. Diese enthalten als Brennstoff wiederaufgearbeitetes Uran (WAU). Der Reaktorkern enthält im 44. Betriebszyklus 117 WAU-Brennelemente des Typs FOCUS und 4 WAU-Vorläufer-Brennelemente des Typs AGORA-4H, die im 40. Betriebszyklus im KKB 2 erstmals zum Einsatz kamen.

Die Betreiberin bestückte den Reaktorkern des KKB 2 mit freigegebenen und qualitätsgeprüften Brennelementen. Das ENSI gab die neue, für das KKB 2 gültige Kernbeladung frei. Sie erfüllte entsprechend der Dokumentation alle Anforderungen. Das KKB ersetzte im Jahr 2014 in beiden Blöcken jeweils alle 25 Steuerelemente durch neue Steuerelemente gleicher Bauart. Vor dem Ersteinsetz wurden die Steuerelemente einer Wirbelstromprüfung unterzogen, die keine Anzeichen für Mängel ergab. Aufgrund der guten Betriebserfahrung mit Steuerelementen dieser Bauart sowie der stetigen Überwachung des Reaktorkühlkreislaufes, die keine Hinweise auf Steuerelementdefekte zeigte, wurden gemäss der langfristigen Planung des KKB keine Steuerelementinspektionen durchgeführt.

Das KKB betrieb den Reaktorkern des Blocks 2 im Berichtsjahr auslegungsgemäss und im bewilligten Rahmen. Die Anfahrmessungen des Blocks 2, die das ENSI vor Ort inspizierte, verliefen plangemäss. Die Ergebnisse der reaktorphysikalischen Messungen stimmten mit den Ergebnissen der Kernauslegungsberechnungen überein. Die maximal zulässigen Toleranzen wurden klar eingehalten.

## 1.4 Strahlenschutz

Im Berichtsjahr wurde in den beiden Blöcken des KKB eine Kollektivdosis von 382 Pers.-mSv verzeichnet. Die höchste im KKB registrierte Individualdosis betrug 5,8 mSv und lag deutlich unterhalb des für beruflich strahlenexponierte Personen geltenden Dosisgrenzwerts von 20 mSv pro Jahr. Es wurden weder Personenkontaminationen, die nicht mit herkömmlichen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen festgestellt.

Der Block 1 wurde am 13. März 2015 zu einem geplanten Revisionsstillstand abgefahren. Aufgrund der noch nicht abgeschlossenen Bewertung der Befunde im Grundmaterial des RDB blieb der Block 1 im gesamten Berichtsjahr im Stillstand. Dabei wurden wenige strahlenschutzrelevante Revisionsarbeiten durchgeführt. Die mit den elektronischen Dosimetern gemessene akkumulierte Kollektivdosis für die Revisionsabstellung des Blocks 1 betrug im Berichtsjahr 79 Pers.-mSv. Im Vergleich zur Plandosis von 110 Pers.-mSv und unter der Berücksichtigung der geplanten, aber nicht durchgeführten Arbeiten, wie beispielsweise die Beladung des Reaktors mit Brennelementen, die Schliessung des RDB, der Rückbau der Abschirmungen und die End-

reinigungen, lag das Gesamtergebnis im Rahmen der Prognosegenauigkeit von  $\pm 20\%$ . Aufgrund des fortdauernden Stillstands des Reaktors veränderte sich die radiologische Situation seit den Abstellarbeiten im Jahr 2015 durch den radioaktiven Zerfall von Nukliden geringfügig. Bezüglich des Kontaminationszustands, insbesondere der nuklid-spezifischen Zusammensetzung, ergab sich keine bedeutende Veränderung gegenüber dem Vorjahr.

Die im Jahr 2015 aufgebauten Standardabschirmungen blieben bis August 2017 installiert. Im Durchschnitt konnte die Ortsdosisleistung im Arbeitsbereich um den Faktor 3,5 gesenkt werden. Vereinzelt wurden deutlich höhere Abschirmfaktoren erreicht.

Der Block 2 wurde vom 18. August bis zum 27. September 2017 für den Revisionsstillstand abgestellt. Das Abfahren verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Die Ortsdosisleistungen an den Komponenten des Primärkreislaufs veränderten sich im Vergleich zum Vorjahr, mit Ausnahme der Closure Legs (Teil der Hauptkühlmittelleitung zwischen Dampferzeuger und Reaktorhauptpumpe) und des RDB-Deckels, nicht signifikant. An den Closure Legs stieg die Ortsdosisleistung im Mittel um 8% an. Sie betrug für das Closure Leg A rund 1,1 mSv pro Stunde und für B rund 1,4 mSv pro Stunde. Die Dosisleistung auf der Innenseite des RDB-Deckels lag bei 11,8 mSv pro Stunde und war um 53,3% angestiegen. Der neue Deckel war im Jahr 2015 eingebaut worden.

Die Kollektivdosis für den Revisionsstillstand im Block 2 betrug 247 Pers.-mSv (EPD-Wert), die während 39480 Arbeitsstunden in der kontrollierten Zone akkumuliert wurden. Die geplante Dosis von 279 Pers.-mSv wurde um 11,5% unterschritten. Die 247 Pers.-mSv verteilten sich zu jeweils 28% auf Eigen- und zu 72% auf das Fremdpersonal. Für viele Arbeiten konnte die Planungs-dosis aufgrund der guten radiologischen Bedingungen (z. B. niedrige Werte des Beckenwassers) sowie des reibungslosen Ablaufs der Arbeiten (Zeitersparnis) unterschritten werden.

Das ENSI konnte sich während der durchgeführten Inspektionen davon überzeugen, dass das KKB einen fachgerechten Strahlenschutz praktiziert.

Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen, Iod und Edelgasen lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Abgabelimiten. Dies gilt auch für die radioaktiven Abgaben mit dem Abwasser. Die für Druckwasserreaktoren typischen Tritium-Abgaben des KKB betragen rund 9% der Jahresabgabelimite. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern durch. Sie stimmten mit den vom KKB gemeldeten Analyseergebnissen überein. Aus den tatsächlich über die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnete das ENSI die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKB unter ungünstigen Annahmen. Die Dosen betragen weniger als 0,001 mSv für Erwachsene, Zehnjährige und Kleinkinder und

Kommandoraum-Simulator.  
Foto: KKB



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. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen an der Umzäunung des KKB durch, die ebenfalls keine signifikanten Erhöhungen gegenüber der Untergrundstrahlung zeigten. 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 Kernanlage Beznau wird auf den Strahlenschutzbericht 2017 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 27 m<sup>3</sup> radioaktive Rohabfälle an (vgl. Tabelle 6). Die Menge entsprach den Erwartungen aufgrund der durchgeführten Arbeiten.

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 35 m<sup>3</sup> im Erfahrungsbereich der vergangenen Jahre. Brennbar und weitere Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in den Anlagen der Zwilag bereitgestellt und dorthin transportiert. Als Konditionierungsverfahren für die Betriebsabfälle kommen im KKB die Einbindung von Harzen in Polystyrol sowie die Zementierung von Schlämmen zum Einsatz. Für alle Verfahren liegen die erforderlichen Typengenehmigungen vor. Im Be-

richtsjahr wurden 20 Gebinde mit Harzen in Polystyrol 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 der Zwilag. Bei der jährlichen Inspektion des Lagergutes wurden keine meldepflichtigen Befunde festgestellt. Die radioaktiven Abfälle des KKB sind in einem von allen schweizerischen Kernanlagen eingesetzten elektronischen Buchführungssystem erfasst, sodass die Information über Menge, Lagerort und radiologische Eigenschaften jederzeit verfügbar ist.

Wichtig bei der Minimierung der radioaktiven Abfälle ist die Inaktiv-Freimessung von Materialien aus der kontrollierten Zone. Im KKB wurden im Berichtsjahr insgesamt 43,8 t Material freigemessen. Weitere Information zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente sowie zu Wiederaufarbeitungsabfällen findet sich im Kapitel 8.

## 1.6 Notfallbereitschaft

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

Das ENSI beobachtete und beurteilte im Juli 2017 anlässlich der Werksnotfallübung AQUILA die Notfallorganisation. Ausgangspunkte für die Übung waren eine angespannte Stromversorgungslage und ein nach dem Start in Skopje entführtes Flugzeug. Der Entführer forderte, Kurs auf Deutschland zu nehmen. Damit war mit einem Überfliegen der Schweiz zu rechnen und die für einen solchen Fall vorgesehenen Alarmierungen erfolgten. Das KKB reagierte gemäss den massgeblichen Vorschriften, bis ein Operateur kurz vor dem Überflug des entführten Flugzeugs eine Überreaktion zeigte und ohne technische Notwendigkeit von Hand eine Reaktorschnellabschaltung auslöste. Der Ausfall der elektrischen Leistung des KKB 1 führte infolge der bereits angespannten Stromversorgungslage zum Ausfall der externen Stromversorgung beider Blöcke. Im abgeschalteten KKB 1 bedeutete dies den Notstromfall. Das KKB 2 reagierte auslegungsgemäss mit einem Lastabwurf auf Eigenbedarf. Wenige Minuten nach der Abschaltung des KKB 1 bestand die Gefahr durch das entführte Flugzeug

nicht mehr. Der Stromausfall führte jedoch zum Ausfall der normalen Kommunikationsmittel, sodass die Information externer Stellen über das für solche Fälle vorgesehene Funknetz erfolgen musste. In einer zweiten Phase der Übung galt es für die Notfallorganisation, technische Komplikationen sowie einen Brand mit verletzten Personen zu bewältigen.

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 2017 zeigte zudem, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit sind.

Ferner löste das ENSI im November 2017 ohne Voranmeldung einen Übungsalarm im KKB aus, bei dem die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabes gemäss der Richtlinie ENSI-B11 bestätigt wurde.

## 1.7 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr reduzierte sich der Personalbestand auf 441 Personen, welche 434 Vollzeitstellen besetzen (Ende 2016: 453 Personen, ohne Lernende). Damit beschäftigte das KKB Ende des Berichtsjahrs 12 Personen weniger als Ende 2016. Das KKB prüfte die Tätigkeiten des Axpo-Konzerns beziehungsweise dessen Division Kernenergie mit Relevanz für den Normalbetrieb sowie für Stör- und Notfallsituationen. Die Prüfung zeigte, dass die Organisationseinheiten Bautechnik und Kernbrennstoff der Division Kerntechnik mit Aufgaben betraut sind, welche gemäss Artikel 30 Absatz 2 der Kernenergieverordnung für die Sicherheit des KKB relevant sind. Weitere Aufgaben, die von der Division Kernenergie (z. B. Personaladministration), vom Axpo-Konzern (z. B. Kommunikation) oder von externen Organisationen (z. B. Call-Center für Rückfragen Dritter in Notfällen) für das KKB ausgeführt werden, bewertet das KKB als nicht sicherheitsrelevant. Im Berichtsjahr kündigte das KKB per 1. Januar 2018 grössere organisatorische Änderungen an und analysierte deren Einflüsse auf die Sicherheit. Das ENSI prüfte die Änderungen auf der Grundlage der Richtlinie ENSI-G07 (Kapitel 7.8). Das KKB will die Effizienz der Organisation mit einer Reduktion von organisatorischen Schnittstellen und einer Verminderung des administrativen Aufwands erhöhen. Im aktuell schwierigen wirtschaftlichen Umfeld sollen mit diesen Massnahmen betriebliche Kosten ge-

senkt werden. Ebenfalls werden Kündigungen durch Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter oder anstehende Pensionierungen genutzt, um bereits länger diskutierte organisatorische Anpassungen (beispielsweise die Integration der Betriebswache in die Abteilung Betrieb) umzusetzen. Aufgrund der laufenden Massnahmen der Axpo zur Reduktion der Produktionskosten des KKB wird das ENSI im Rahmen seiner Aufsicht darauf achten, dass die Bewilligungsinhaberin die Vorgaben von Artikel 30 (Anforderungen an die Organisation) der Kernenergieverordnung und Kapitel 5 (Ressourcen) der Richtlinie ENSI-G07 weiterhin erfüllt.

Das Managementsystem besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2008. Das ENSI führte 2017 eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Thema Betriebserfahrung durch. Es überprüfte, ob das KKB die Auswertung der internen und externen Betriebserfahrung nach einem systematischen, im Managementsystem klar, kohärent, angemessen detailliert und verbindlich geregelten Verfahren durchführt. Die entsprechenden Anforderungen wurden erfüllt. Im Berichtsjahr bestanden vier 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 thermische Kraftwerkstechnik, Nuklearphysik, Reaktortechnik und Strahlenschutz.

Ein Schichtchef sowie zwei Picketingenieure legten im Berichtsjahr ihre Zulassungsprüfung mit Erfolg ab. Die Zulassungsprüfungen bestehen aus einem theoretischen und einem praktischen Teil. Im theoretischen Teil weisen die Kandidaten ihre detaillierten Kenntnisse zum Aufbau und Verhalten der Anlage und zu den anzuwendenden Vorschriften nach. Der praktische Teil erfolgt am eigenen Anlagesimulator und besteht in einer Demonstration der Anwendung der Kenntnisse. Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in der Tabelle 3 zusammengestellt.

Das ENSI führte eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2016 und zur Planung des Ausbildungsprogramms 2017 der Abteilung Betrieb durch. Gegenstand der Inspektion waren die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator und die allgemeine Wiederholungsschulung sowie deren Änderungen und Neuerungen. Ferner wurden die Ausbildung des Personals der Abteilungen Administration und

Dienste auf die Einhaltung der Vorgaben der Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) und der Richtlinie ENSI-B10 überprüft. Die Ausbildungsprogramme in den inspizierten Bereichen erfüllen die Anforderungen.

## 1.8 Sicherheitsbewertung

### 1.8.1 Block 1

Im Jahr 2017 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. Sämtliche den Kategorien A (Abweichung) und höher zugeordneten Sachverhalte sind im Unterkapitel 1.2 dargestellt.

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

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

#### Sicherheitsbewertung 2017 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	
	Auslegungsvorgaben	Betriebsvorgaben	Zustand und Verhalten der Anlage	Zustand und Verhalten von Mensch & Organisation
Kontrolle der Reaktivität		N	N	N
Kühlung der Brennelemente		N		N
Einschluss radioaktiver Stoffe		N		N
Begrenzung der Strahlenexposition			N	N
schutzzielübergreifende Bedeutung	A	N	N	A

#### Sicherheitsbewertung 2017 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.

## 1.8.2 Block 2

Im Jahr 2017 beurteilte das ENSI mit dem im Anhang (Erläuterungen zur Sicherheitsbewertung) beschriebenen System sämtliche Inspektionsgegenstände, Ergebnisse von Zulassungsprüfungen, Einzelaspekte von Vorkommnisabläufen und Sicherheitsindikatoren bezüglich ihrer Bedeutung für die nukleare Sicherheit (einschliesslich die für beide Blöcke relevanten Beurteilungen). Dabei kam das ENSI für die einzelnen Zellen der Sicherheitsbewertungsmatrix zu folgenden zusammenfassenden Beurteilungen:

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

Sicherheitsbewertung 2017 KKB2:  
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	A	N
Kühlung der Brennelemente		N	A	A
Einschluss radioaktiver Stoffe		N	A	A
Begrenzung der Strahlendosis			N	N
schutzzielübergreifende Bedeutung	A	N	A	A

Sicherheitsbewertung 2017 KKB2: Schutzziel-Perspektive  
*Anmerkung: alternative Darstellung derselben Sachverhalte wie in der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge, aber mit zusätzlicher Darstellung radiologischer Auswirkungen*

Zellen ohne Bewertung bedeuten, dass weder Inspektionsergebnisse, Zulassungsprüfungen, Vorkommnisse noch Sicherheitsindikatoren eine Bedeutung für diese Zellen hatten. Die Zellenbewertungen richten sich nach der höchsten einer Zelle zugeordneten Bewertung eines Sachverhalts. Sämtliche den Kategorien A (Abweichung) und hö-

her zugeordneten Sachverhalte sind im Unterkapitel 1.2 dargestellt.

Zusammenfassend kommt das ENSI zu folgenden Gesamtbewertungen:

### Auslegungsvorgaben

Bei der Beurteilung der Auslegungsvorgaben hat das ENSI Erkenntnisse aus der letzten Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) sowie aus dem EU-Stresstest herangezogen und dabei die Auslegung der Anlage bezüglich Redundanzgrad, Diversität, räumlicher Separation und Robustheit gegen auslösende Ereignisse bewertet. Da die Auslegungsvorgaben des KKB die Minimalanforderungen und den Stand ausländischer Anlagen desselben Typs übertreffen und der in Kapitel 1.2 beschriebene Auslegungsfehler in der autarken Notstromversorgung 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

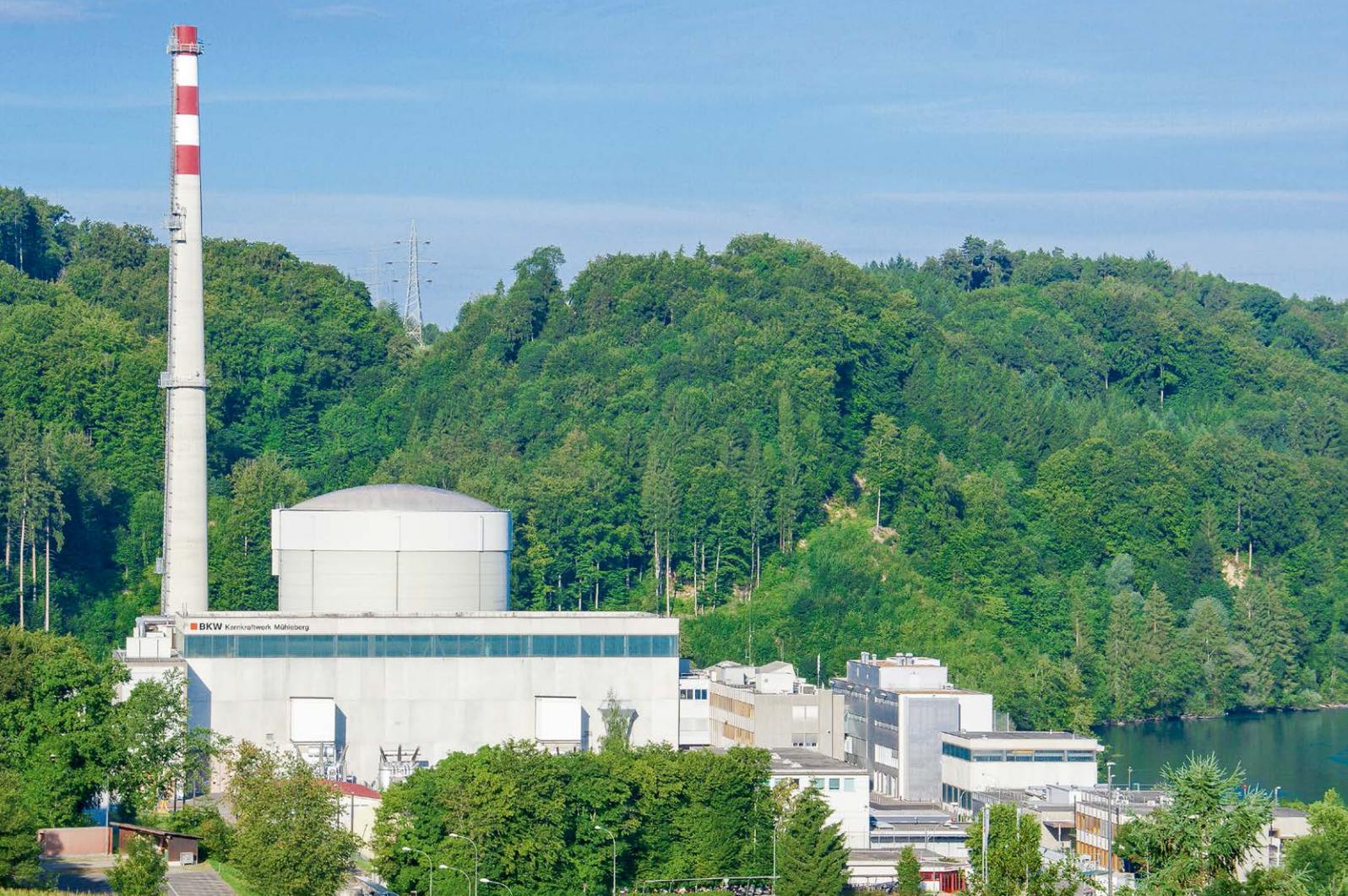
Da keine Bewertungen der Kategorien A und höher vorliegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des Blocks 2 des KKB hinsichtlich der Betriebsvorgaben als hoch.

### 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

Das ENSI beurteilt die in Kapitel 1.2 beschriebenen Abweichungen im Bereich von Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Weil Bewertungen der Kategorie A unterhalb der internationalen Ereignisskala INES liegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des Blocks 2 des KKB hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als gut.



*Kernkraftwerk  
Mühleberg.  
Foto: KKM*

## 2. Kernkraftwerk Mühleberg

### 2.1 Überblick

Im Berichtsjahr waren im Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) neben dem geplanten Revisionsstillstand mit Brennelementwechsel keine automatischen Reaktorschnellabschaltungen und auch keine ungeplanten Leistungsreduktionen zu verzeichnen. Das ENSI stellt fest, dass die bewilligten Betriebsbedingungen im Berichtsjahr immer eingehalten wurden. Das ENSI beurteilt die Sicherheit des KKM im Berichtsjahr hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als gut, hinsichtlich des Betriebsvorgaben als hoch, hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut und hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als gut. Das KKM, das seinen kommerziellen Betrieb im Jahr 1972 aufnahm, ist eine Siedewasserreaktor-Anlage mit 373 MW elektrischer Nettoleistung. Weitere Daten sind in den Tabellen 1 und 2 des Anhangs zu finden. Figur 5b zeigt das Funktionsschema einer

Siedewasserreaktor-Anlage. Im Berichtsjahr waren im KKM drei meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen, die das ENSI auf der internationalen Ereignisskala INES alle der Stufe 0 zuordnete. Das ENSI führte im Rahmen seiner Aufsichtstätigkeit 97 Inspektionen durch. Wo erforderlich verlangte das ENSI Verbesserungsmaßnahmen und überwachte deren Umsetzung. Die Betreiberin führte während des Revisionsstillstands vom 13. August bis 7. September 2017 neben dem Brennelementwechsel und den üblichen Revisionsarbeiten umfangreiche Wiederholungsprüfungen durch. Dabei wurden keine Befunde festgestellt, die einem sicheren Betrieb entgegenstanden. Die für beruflich strahlenexponierte Personen geltenden Dosisgrenzwerte wurden eingehalten. Die radioaktiven Abgaben lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Grenzwerte.

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

Im Berichtsjahr bestanden fünf Reaktoroperateure und ein Pikettingenieur ihre Zulassungsprüfung. Sieben Reaktoroperateur-Anwärter absolvierten die kerntechnische Grundlagenausbildung an der Reaktorschule des PSI erfolgreich.

Das KKM traf im Berichtsjahr Massnahmen im organisatorischen Bereich, die einerseits den Leistungsbetrieb betreffen und andererseits als Vorbereitung für die Etablierung des technischen Nachbetriebes dienen. Ziel ist, die Betriebsorganisation des KKM graduell bereits vor der Stilllegung an die neuen Anforderungen anzupassen. So wurden auf Ressortstufe in den Abteilungen Elektrotechnik, Maschinentechnik und Überwachung Änderungen vorgenommen.

Das ENSI begleitet die organisatorische Entwicklung des KKM eng. Im Rahmen von Fachgesprächen werden die jeweils nächsten Entwicklungsschritte besprochen.

Vor dem Hintergrund der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs im Jahr 2019 hatte das ENSI bereits im Januar 2015 zehn Forderungen (EABN2019-Forderungen 1 bis 10) verfügt, mit dem Ziel, den Umfang und die zeitliche Staffelung der für die Etablierung und Aufrechterhaltung eines sicheren technischen Nachbetriebes erforderlichen Massnahmen festzulegen.

Die geforderten Nachrüstungen sind mit einer Ausnahme abgeschlossen. Noch im Gang ist der plan-

gemäss verlaufende Ausbau der Brennelementbecken-Notfallkühlung zu einem Sicherheitssystem. Weiterhin ist der Kernmantel in jeder Jahresrevision zu prüfen und die Ergebnisse sind zu bewerten. Weitere Ausführungen zur Vorbereitung der Stilllegung des KKM finden sich in Kapitel 2.8.

## 2.2 Betriebsgeschehen

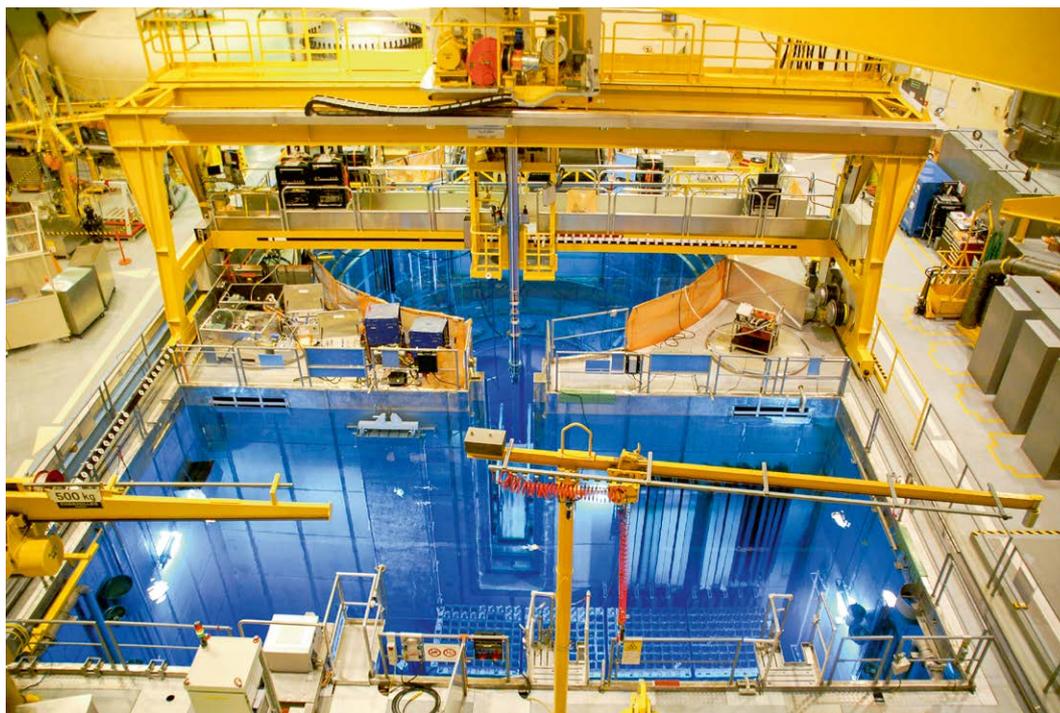
Das KKM erreichte im Berichtsjahr eine Arbeitsausnutzung von 91,1 % und eine Zeitverfügbarkeit von 92,9 %. Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung der letzten zehn Jahre sind in Figur 1 dargestellt. Die Nichtverfügbarkeit der Anlage war hauptsächlich durch den Revisionsstillstand bedingt.

Die ausgekoppelte Wärme für die Heizung der Wohnsiedlung Steinriesel belief sich auf 1,5 GWh. Zur Durchführung von Wiederholungsprüfungen und Instandhaltungsarbeiten erfolgten geplante Leistungsabsenkungen. Im Berichtsjahr kam es weder zu einer automatischen Schnellabschaltung noch zu einer ungeplanten automatischen Leistungsreduktion. Mehrere Leistungsreduktionen erfolgten auf Anforderung des Lastverteilers.

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

Im Berichtsjahr waren drei meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen, die das ENSI auf der

Brennelement-  
Lagerbecken.  
Foto: KKM



internationalen Ereignisskala INES alle der Stufe 0 zuordnete.

- Der Positionsregler für das Speisewasserregelventil B wird durch ein 24-V-Gleichspannungsmodul versorgt. Der Ausfall dieser Komponente führte am 8. Mai 2017 auslegungsgemäss zur Blockierung des Ventils in der momentanen, voll geöffneten Stellung und zur Umschaltung auf Handsteuerung.

Für den Volllastbetrieb hatte das Vorkommnis keine Bedeutung, da die Regelung der Speisewassermenge über die Pumpendrehzahl erfolgt. Wäre jedoch eine Mengenreduktion ausserhalb des Bereichs der Regelung über die Pumpendrehzahl erforderlich gewesen, wäre diese nicht automatisch erfolgt. Mit dem voll geöffneten, auf Handsteuerung geschalteten Speisewasserregelventil stand der automatische Überflutungsschutz für das Reaktorgebäude nicht zur Verfügung. Nach dem Ersatz der ausgefallenen Komponente funktionierte die Speisewasserregelung innerhalb der von der Technischen Spezifikation gesetzten Frist wieder normal.

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

- Das KKM führte während des Anfahrens der Anlage nach der Jahresrevision Testläufe mit beiden Strängen des Reaktorkernisolations-Kühlsystems (RCIC) durch. Am 7. September 2017 konnte der Testlauf eines Strangs nicht auf Antrieb erfolgreich durchgeführt werden. Wenige Minuten nach dem Start erfolgte eine Fehlauflösung der Isolationsarmaturen. Die RCIC-Turbinen werden mit Dampf aus den Frischdampfleitungen des Reaktorkühlkreislaufs betrieben. Die Dampfmenge wird mittels Differenzdruckmessung überwacht. Bei zu hoher Dampfmenge wird der betroffene RCIC-Strang automatisch abgesperrt, da von einer Dampfleckage ausgegangen werden muss. Für die Differenzdruckmessung wird Wasser (kondensierter Dampf) über Impulsleitungen zu den Messstellen geführt. Befinden sich nicht kondensierbare Gase in den Leitungen, kann es wie im vorliegenden Fall zu fehlerhaften Messergebnissen kommen. Während der Jahresrevision gelangt Luft in die Frischdampfleitungen und die Impulsleitungen,

die bei der Wiederinbetriebnahme ausgetrieben werden muss. Im betroffenen Strang war dies nur ungenügend erfolgt. Nach mehreren Testläufen waren die Impulsleitungen der Messstellen entgast und die Messungen verhielten sich auslegungsgemäss. Das Programm zum Wiederanfahren der Anlage nach der Jahresrevision wurde angepasst, um eine genügende Entgastung sicherzustellen.

Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Störung in einem Strang des Reaktorkernisolations-Kühlsystems der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

- Das KKM schaltete für den wöchentlichen Aerosolfilterwechsel bei einem Aerosolmonitor am 25. September 2017 vorschriftsgemäss die Probenahmepumpe aus. Nach dem Filterwechsel startete die Pumpe nicht auslegungsgemäss. Dies hatte eine kurzzeitige Nichtverfügbarkeit der Aerosolmessung und der nachgeschalteten Aktivkohlepatrone zur Bilanzierung der Jodabgaben im Kamin auf 90 m Höhe zur Folge. Der zweite Strang zur Aerosol- und Iodüberwachung war nicht betroffen. Die Betreiberin tauschte die defekte Probenahmepumpe aus und nahm die betroffene Aerosolmessung sowie den Jodsammler innerhalb der von der Technischen Spezifikation gegebenen Frist wieder in Betrieb. Ursache für das Startversagen der Pumpe war das bei der Wartung in der vorhergegangenen Jahresrevision nicht korrekt eingestellte Lagerspiel. Dies führte zur Blockierung der Pumpenwelle. Zur Verhinderung einer Wiederholung des Vorkommnisses präziserte das KKM die Wartungsvorschrift für die Probenahmepumpe.

Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Ausfall eines Probeluftsammlers der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie für die Schutzziele «Einschluss radioaktiver Stoffe» und «Begrenzung der Strahlenexposition».

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 13. August bis 7. September 2017. Während dieser Zeit führte das KKM geplante Tätigkeiten wie Brennelementwechsel und Brennelementinspektionen, Inspektionen elektrischer und mechanischer Einrichtungen, zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen, wiederkehrende Funktionsprüfungen an Komponenten und Systemen sowie Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten durch.

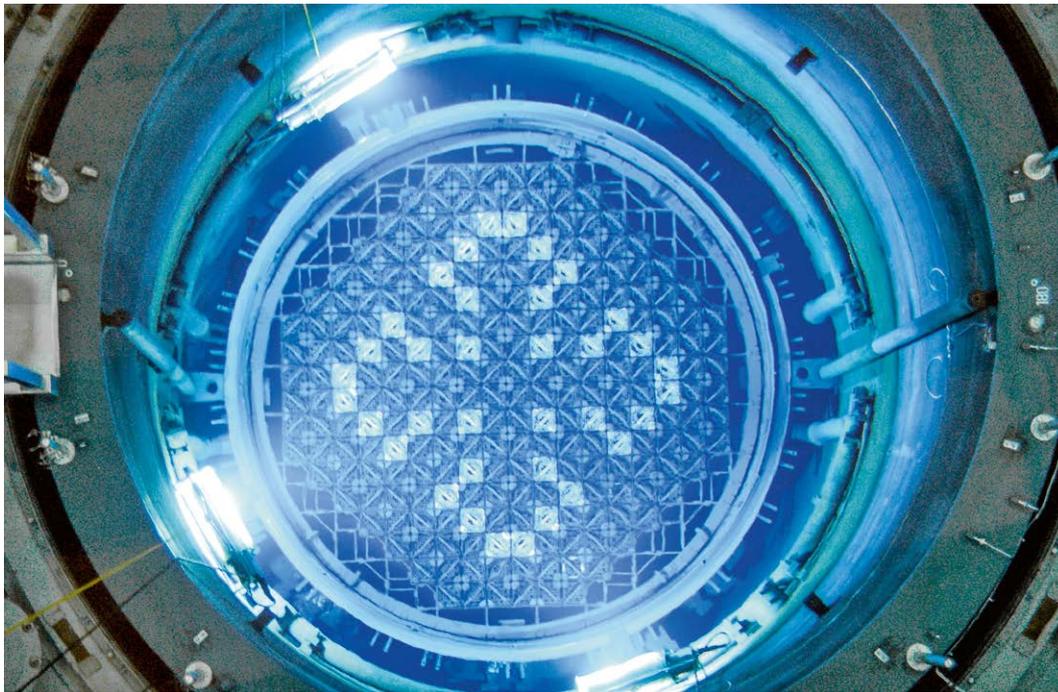
Schwerpunkte bei den Wiederholungsprüfungen an mechanischen Komponenten waren mechanisierte Ultraschallprüfungen von Schweißnähten des Kernmantels, mechanisierte Ultraschallprüfungen von Stutzeninnenkanten und Stutzeneinschweißnähten am RDB, manuelle Phased-Array-Ultraschallprüfungen an RDB-Deckelrundnähten, mechanisierte Ultraschall- und Wirbelstromprüfungen an Rohrleitungsschweißnähten sowie mechanisierte Wanddickenmessungen an Rohrleitungen. Folgende Prüfungen sind hervorzuheben:

- Das KKM führte eine umfassende Ultraschallprüfung von Schweißnähten des Kernmantels mit einem qualifizierten Prüfsystem durch. Entsprechend dem vom ENSI akzeptierten Instandhaltungskonzept aus dem Jahre 2014 prüfte die Betreiberin vier Nähte auf Längsfehler und zwei Nähte auf vertikale Anrisse quer zur Schweißnaht, sogenannte Querfehler. Bei der Längsfehlerprüfung ergaben sich keine neuen relevanten Anzeigen. Die meisten bekannten Ultraschallanzeigen hatten sich im Rahmen der Messgenauigkeit nicht verändert. Bei drei Rissanzeigen an einer Schweißnaht kam es zu einem geringfügigen Längenwachstum im Rahmen der bisher gemessenen Wachstumsraten. Die Betreiberin stellte bei der Querfehlerprüfung keine neuen relevanten Anzeigen sowie im Rahmen der Messgenauigkeit auch keine Veränderungen der 12 bekannten kurzen Querrisse fest. Die Integrität und Funktionstüchtigkeit des Kernmantels sind weiterhin gewährleistet.
- Das KKM führte an einer Schweißnaht des RDB-Deckels erstmals eine qualifizierte manuelle Ultraschallprüfung auf Längsrisse und vertikale Anrisse quer zur Schweißnaht durch. Das ENSI begleitete die Prüfung und überwachte deren Auswertung. Es wurden keine bewertungspflichtigen Anzeigen festgestellt.

- Am RDB wurden die Einschweißnähte von zwei Umwälzdruckstutzen mit Ultraschall auf Längs- und Querrisse geprüft. Es wurden keine bewertungspflichtigen Anzeigen gefunden.
- Die Betreiberin führte an diversen Rohrleitungsschweißnähten der Umwälzschleifen und des Kernsprühsystems mechanisierte Ultraschallprüfungen und Wirbelstromprüfungen durch. Es wurden keine bewertungspflichtigen Anzeigen gefunden.
- An einer Rundnaht einer RCIC-Dampfleitung wurde bei der Oberflächenrissprüfung ein bewertungspflichtiger Befund festgestellt. Der betroffene Bereich wurde ausgeschliffen. Eine anschließende Magnetpulverprüfung zeigte keine Anzeige mehr. Die geringste gemessene Wanddicke lag über der erforderlichen Mindestwanddicke.
- Das KKM führte an diversen Systemen Wanddickenmessungen durch. Am Speisewassersystem wurden zwei bewertungspflichtige Befunde festgestellt. Die erforderliche Mindestwanddicke wurde nicht unterschritten. Eine Analyse der Entwicklung der seit 2001 gemessenen Wanddicken zeigt keinen Trend, der eine Unterschreitung der erforderlichen Mindestwanddicken bis Ende 2019 erwarten liesse.

#### System- und Komponentenbegehungen

- Das KKM führte während der Revisionsabstellung die geplanten System- und Komponentenbegehungen (SKB) an Systemen der Sicherheitsklassen SK1, SK2 sowie SK3 durch. Bei den Prüfungen an den Komponenten der SK1 und SK2 wurden keine bewertungspflichtigen Befunde festgestellt. Der SVTI überwachte die korrekte Durchführung der Begehungen entsprechend den Anforderungen der Richtlinie ENSI-B06. Die Betreiberin stellte eine nicht ordnungsmässige Befestigung des Supports eines Magnetventils der SK3 fest. Das Ventil gehört zum Rohrleitungssystem für die Probenahme nach Unfällen und die Messung von Wasserstoff und Sauerstoff in der Containment-Atmosphäre. Das KKM verstärkte die Befestigung mit zusätzlichen Schweißnähten. Zudem stellte das KKM bei der Einhaltung der Prüfintervalle für die System- und Komponentenbegehungen von SK3- und SK4-Systemen eine Abweichung von den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B06 fest. Das ENSI erhob zur Behebung der Mängel entsprechende Forderungen. Das ENSI ordnete im Rah-



Kern im offenen  
Reaktor.  
Foto: KKM

men der systematischen Sicherheitsbewertung die nicht ordnungsgemäße Befestigung des Supports des Magnetventils der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 4 und 5 sowie für die Schutzziele «Einschluss radioaktiver Stoffe» und «Begrenzung der Strahlenexposition». Das nicht eingehaltene Prüfintervall ordnete das ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 4 und 5 sowie für die Schutzziele «Einschluss radioaktiver Stoffe» und «Begrenzung der Strahlenexposition».

- Bei einer Kontrolle des Kühlwassersystems stellte das KKM fest, dass eine in den Plänen eingezeichnete Halterung nicht existiert. Das KKM bewertete das Fehlen der Halterung hinsichtlich Integrität und Funktionstüchtigkeit des Systems unter Auslegungsbedingungen. Dabei wurde der Nachweis erbracht, dass die Systemintegrität und Funktionstüchtigkeit des Kühlwassersystems auch ohne diese Halterung gewährleistet sind. Eine Nachrüstung ist nicht erforderlich.

Schwerpunkte des diesjährigen Wiederholungsprüfprogramms an elektrischen und leittechnischen Ausrüstungen waren die Prüfungen an den Block-, Eigenbedarfs- und Erregertransformatoren sowie am Anfahrtransformator und den 380-V-

und 6-kV-Schaltanlagen. Das KKM führte an den Umrichtern der Reaktorumwälz-, Speisewasser- und Hauptkühlwasserpumpen Kontroll- und Wartungsarbeiten durch. An einem Generator wurde die alle vier Jahre vorzunehmende Totalrevision durchgeführt. Dabei ergaben sich keine Befunde. Der im Jahr 2013 eingebaute neu gewickelte Rotor mit einem verbesserten Design ohne Lötstellen an Nut und Nutaustritt hat sich bewährt. Die Betreiberin nahm am Motor einer Speisewasserpumpe eine Totalrevision mit Ausbau des Rotors vor. Die vom Hersteller durchgeführten Diagnosemessungen belegten einen einwandfreien Zustand.

Im leittechnischen Bereich sind die wiederkehrenden Prüfungen der Nuklearinstrumentierung, der Sicherheitsleittechnik einer Division des Notabluftsystems sowie zweier Redundanzen des Reaktorschutzsystems und der Sicherheitsleittechnik eines Notstromdiesels zu nennen.

Im Rahmen des periodischen Erneuerungsprogramms wurde die 125-V-Batterie eines Strangs der Gleichstromversorgung ersetzt. Die Kapazitätsprüfungen an zwei 24-V-Batterien und je einer 110-V- und 125-V-Batterie verliefen erfolgreich.

### 2.3.2 Anlageänderungen

In der Jahresrevision wurden insbesondere folgende Anlageänderungen und Instandhaltungsarbeiten umgesetzt:

- Das KKM ertüchtigte einen SUSAN-Notstromdieselmotor hinsichtlich der Seismik. Die Betreiberin ersetzte das Konuslager unter dem Dieselmotor und unter dem Grundrahmen und verbesserte die Motorlagerung an der Kupplungsgegenseite. Die anschliessend durchgeführten Testläufe bestätigten, dass das Schwingungsverhalten der Notstromdieselanlage die Vorgaben erfüllt. Die Massnahme geht auf die Verfügung des ENSI vom 26. Mai 2016 zurück: Das ENSI forderte, dass die deterministische Störfallanalyse und die probabilistische Sicherheitsanalyse auf der Basis der Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 neu durchzuführen und die Auswirkung auf die Sicherheit der Anlage und insbesondere auf das Risiko neu zu bewerten sind. Die Ertüchtigung des zweiten SUSAN-Notstromdieselmotors ist für die Jahresrevision 2018 geplant.
- Das KKM ersetzte im Rahmen der präventiven Instandhaltung die Gleichrichter zur Versorgung der Gleichspannungsschienen einer SUSAN-Division. 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. In der anderen SUSAN-Division erfolgte ein analoger Austausch bereits im Jahr 2016.
- Die Auswertelektronik der Aerosolmonitore wurde dem Stand der Technik angepasst.
- Die Betreiberin tauschte im Rahmen der periodischen Wartungsarbeiten an einer Hauptkühlwasserpumpe und einer Hilfskühlwasserpumpe die Traglager aus. Die Inspektionen zeigten keine Befunde.
- Das KKM tauschte das Synchronisierungsgerät der Generatoren gegen ein Gerät der neusten Technik aus. Beim Wiederanfahren nach dem Revisionsstillstand wurde die Funktionstüchtigkeit nachgewiesen.

### 2.3.3 Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente

Die eingesetzten Brennelemente verhielten sich im 44. Betriebszyklus bestimmungsgemäss. Die kontinuierliche Überwachung der Kühlmittelaktivität ergab keine Hinweise auf Hüllrohrschäden. Während der diesjährigen Revisionsabstellung fanden gemäss dem langfristigen Plan keine Inspektionen der Brennelemente statt.

Das KKM setzte als Vorläufer weiterhin vier Brennelemente mit Kästen aus dem weiterentwickelten Material NSF ein. Die bisherigen Inspektionen bestätigten das auslegungsgemässe Verhalten der NSF-Kästen. Des Weiteren setzte die Betreiberin zwei Steuerelemente des Typs Marathon Ultra MD als Vorläufer ein. Dieses Jahr wurden planmässig keine Steuerstäbe inspiziert. Die im Zyklus gemessene niedrige Borkonzentration im Reaktorwasser deutet auf den guten Zustand der Steuerstäbe hin. Zwei Steuerstäbe wurden aufgrund der Einsatzoptimierung untereinander getauscht.

Für den 45. Betriebszyklus setzte das KKM insgesamt 32 frische Brennelemente des Typs GNF2 ein. Damit wird der Reaktorkern weiterhin ausschliesslich mit GNF2-Brennelementen betrieben. Das ENSI überzeugte sich davon, dass das KKM nur freigegebene und den Qualitätsanforderungen entsprechende Brennelemente geladen hatte und alle Sicherheitsmassnahmen während des Brennelementwechsels den Vorgaben entsprachen. Der vom ENSI geprüfte Beladeplan des Reaktorkerns erfüllte die Sicherheitsanforderungen.

Im Berichtszeitraum ist der Reaktorkern auslegungsgemäss und im bewilligten Rahmen betrieben worden. Die Ergebnisse der reaktorphysikalischen Messungen stimmten mit den Ergebnissen der Kernausslegungsberechnungen überein.

## 2.4 Strahlenschutz

Im Berichtsjahr betrug die akkumulierte Kollektivdosis für das KKM 661 Pers.-mSv. Die maximale Individualdosis lag mit 8,1 mSv unter dem für beruflich strahlenexponierte Personen geltenden Dosisgrenzwert von 20 mSv pro Jahr. Im Berichtszeitraum traten weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen auf.

Die mit den elektronischen Dosimetern gemessene Kollektivdosis im Revisionsstillstand lag bei 465 Pers.-mSv. Der vom KKM vor Beginn der Arbeiten geschätzte Wert lag bei 547 Pers.-mSv.

Die mittlere Dosisleistung an den beiden Umwälzschleifen zeigte im Berichtsjahr im Gegensatz zum Trend der Vorjahre mit 1,98 mSv pro Stunde einen Anstieg um 53 % (2016: 1,30 mSv pro Stunde). Der Höchststand war im Jahr 1994 erreicht worden und betrug 6,4 mSv pro Stunde.

Die angespannte Lage auf dem Markt für Strahlenschutz-Fremdpersonal führte dazu, dass nebst langjährigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern

vermehrt anlagenunerfahrenes Revisionspersonal eingesetzt wurde. Im Weiteren wurde das Revisionspersonal von zwei Mitarbeitern aus anderen KKW ergänzt. Durch geeignetes Personalmanagement konnte sichergestellt werden, dass alle Bereiche mit kompetentem Strahlenschutzpersonal bedient werden konnten. Die regelmässigen Kontaminationskontrollen an Oberflächen der kontrollierten Zone und der Raumluft bestätigten einen radiologisch sauberen Zustand der kontrollierten Zonen.

Die Edelmetalleinspeisung wurde fortgesetzt. Gemeinsam mit der kontinuierlichen Zugabe von Wasserstoff können dadurch die Einbauten im RDB vor Spannungsrisskorrosion geschützt und die Kontamination der Primärkühlmittelleitungen gesamt-haft reduziert werden. Die im Berichtsjahr durch das ENSI zum Thema Strahlenschutz durchgeführten Inspektionen bestätigten, dass das KKM einen konsequenten und gesetzeskonformen Strahlenschutz praktiziert.

Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen, Iod und Edelgasen lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Abgabelimiten. Dies gilt auch für die radioaktiven Abgaben mit dem Abwasser einschliesslich Tritium. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod und Aerosolfiltern durch. Sie stimmten mit den vom KKM gemeldeten Ergebnissen überein. Aus den tatsächlich über die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnete das ENSI die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKM unter konservativen, das heisst ungünstigen Annahmen. Die berechneten Dosen betragen rund 0,003 mSv für Erwachsene sowie 0,004 mSv für Zehnjährige und Kleinkinder und lagen somit deutlich unter dem quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0,3 mSv pro Jahr gemäss Richtlinie ENSI-G15. Die Dosisleistungsmesssonden des vom ENSI betriebenen Messnetzes in der Umgebung des Werkes (MADUK) zeigten keine durch den Betrieb der Anlage erhöhten Werte. Im Nahbereich eines Siedewasserreaktors ist die Ortsdosisleistung durch Direkt- und Streustrahlung aus dem Maschinenhaus erhöht. Die Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD), die an mehreren Stellen am Zaun des Kraftwerkareals die Dosis messen, zeigten mit einem Höchstwert von 1,5 mSv einschliesslich natürlicher Untergrundstrahlung einen gegenüber dem Vorjahr vergleichbaren Wert. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen am Zaun des Kraftwerkareals

durch, die ebenfalls keine signifikanten Veränderungen ergaben. 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 Kernanlage Mühleberg wird auf den Strahlenschutzbericht 2017 des ENSI verwiesen.

## 2.5 Radioaktive Abfälle

Radioaktive Rohabfälle fallen im KKM regelmässig aus den Wasserreinigungssystemen, der Abgas- und Fortluftreinigung und als verbrauchte Brennelementkästen an. Weitere Abfälle stammen aus dem Austausch von Komponenten bei Instandhaltungs-, Umbau- oder Nachrüstungsmassnahmen und den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien. Im Berichtsjahr fielen 23 m<sup>3</sup> radioaktive Rohabfälle an (vgl. Tabelle 6). Die Abfallmenge bewegte sich in der mehrjährigen Schwankungsbreite auf einem niedrigen Niveau.

Die radioaktiven Rohabfälle werden gesammelt, kampagnenweise konditioniert und anschliessend zwischengelagert. Die im KKM vorhandenen un-konditionierten Abfälle sind in dafür vorgesehenen



Im Kommandoraum.  
Foto: KKM

Räumlichkeiten der kontrollierten Zone aufbewahrt. Ihr Bestand lag mit 52 m<sup>3</sup> im Erfahrungsbereich der vergangenen Jahre. Brennbar und weitere Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in den Anlagen der Zwiilag bereitgestellt und dorthin transportiert.

Als Konditionierungsverfahren für die Betriebsabfälle kommt im KKM die Zementierung von Harzen zum Einsatz. Die erforderlichen behördlichen Typengenehmigungen liegen vor. Im Berichtsjahr wurden 29 Gebinde mit Harzen konditioniert.

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

Wichtig bei der Minimierung der radioaktiven Abfälle ist die Inaktiv-Freimessung von Materialien aus der kontrollierten Zone. Im KKM wurden im Berichtsjahr insgesamt 14,5 t Material freigemessen. Bestrahlte Brennelemente des KKM werden nach einigen Jahren Lagerung im Brennelementbecken in Behältern in das ZZL zur Trockenlagerung transportiert. Im Berichtsjahr fand erneut eine derartige Transportkampagne statt, in deren Verlauf 69 Brennelemente zunächst in das ZZL transportiert und dort für die Zwischenlagerung in einen Transport- und Lagerbehälter umgeladen wurden.

Weitere Information zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente sowie zu den Wiederaufarbeitungsabfällen findet sich im Kapitel 8.

## 2.6 Notfallbereitschaft

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

Im Rahmen der Gesamtnotfallübung RAROS diente das KKW Mühleberg am ersten Übungstag als Szenariogeber. Dabei wurde eine Abfolge von Systemausfällen, insbesondere bei der externen Stromversorgung und bei der Notstromversorgung postuliert, die auch den Einsatz von Ausrüstungen aus dem externen Lager in Reitnau erforderten. Nach-

dem diese Ausrüstungen mittels Armeehelikoptern auf dem Werksgelände eingetroffen und einsatzbereit waren, endete der als Werksnotfallübung für die Notfallorganisation des KKM dienende Teil der Gesamtnotfallübung. Anschliessend wurde mit Hilfe des markierten Notfallstabs des KKM ein auslegungsüberschreitendes Szenario für die Notfallschutzpartner inszeniert, bei dem das Versagen sämtlicher Gegenmassnahmen des Werks unterstellt wurde. In der Folge kam es zu einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umgebung, die Schutzmassnahmen erforderlich machte.

Das KKM stufte die Ereignisse anhand der im Jahr 2016 neu eingeführten Notfallklassierung korrekt ein und überprüfte diese periodisch. Die Betreiberin erkannte die Notwendigkeit des Einsatzes von Ausrüstungen aus dem externen Lager Reitnau frühzeitig und leitete die Abläufe zum Bezug dieser Ausrüstung vorschriftsgemäss ein. Beim Einsatzkonzept sowie der Dokumentation des Einsatzspektrums eines mobilen Notstromdiesels sah das ENSI noch Optimierungsmöglichkeiten.

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

Eine Inspektion im Oktober 2017 zeigte zudem, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit sind.

Ferner löste das ENSI im November 2017 ohne Voranmeldung einen Übungsalarm aus, bei dem die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabes gemäss Richtlinie ENSI-B11 bestätigt wurde.

## 2.7 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr verringerte sich der Personalbestand gegenüber dem Vorjahr leicht auf 331 Personen, die 322 Vollzeitstellen besetzten (Ende 2016: 335). Die BKW führte im Hinblick auf den Restbetrieb und den Rückbau des KKM die 2015 gestarteten Massnahmen zur Personalbindung wie Perspektiven im Unternehmen, Bindungsprämie, Weiterbildungsprogramme und Personalinformation weiter. Damit will die BKW die personellen Ressourcen für einen sicheren und wirtschaftlichen Betrieb erhalten und das bestehende Know-how längerfristig an das Unternehmen binden. Da die Nachrüstungen weitgehend abgeschlossen sind und die zeitintensive Revisionsplanung ab Ende 2018 ent-

fällt, richtet das KKM den Fokus der Arbeiten auf den laufenden Betrieb. In den Abteilungen Elektrotechnik, Maschinenteknik und Überwachung legte das KKM Ressorts zusammen, beispielsweise die Ressorts Physik und Kernbrennstoffe, da kein neuer Brennstoff mehr zu beschaffen ist. Ferner wurde ein neues Ressort zur Stärkung der Arbeitssicherheit und des Brandschutzes gebildet. Schwerpunktthema der Aufsicht im Bereich Mensch und Organisation ist weiterhin der Kompetenzerhalt für einen sicheren Betrieb bis zur endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebes Ende 2019.

Das Managementsystem des KKM besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2015. Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Thema Betriebserfahrung durch. Es überprüfte, ob das KKM die Auswertung der internen und externen Betriebserfahrung nach einem systematischen, im Managementsystem klar, kohärent, angemessen detailliert und verbindlich geregelten Verfahren durchführt. Die entsprechenden Anforderungen wurden erfüllt.

Im Berichtsjahr bestanden sieben 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 thermische Kraftwerkstechnik, Nuklearphysik, Reaktortechnik und Strahlenschutz. Fünf Reaktoroperateure sowie ein Pikettingenieur legten im Berichtsjahr ihre Zulassungsprüfung mit Erfolg ab. Die Zulassungsprüfungen bestehen aus einem theoretischen und einem praktischen Teil. Im theoretischen Teil weisen die Kandidaten ihre detaillierten Kenntnisse zum Aufbau und Verhalten der Anlage und zu den anzuwendenden Vorschriften nach. Der praktische Teil erfolgt am eigenen Anlagesimulator und besteht in einer Demonstration der Anwendung der Kenntnisse. Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in Tabelle 3 zusammengestellt.

Das ENSI führte eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2016 und der Planung des Ausbildungsprogramms 2017 der Abteilung Betrieb durch. Gegenstände der Inspektion waren die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator, die allgemeine Wiederholungsschulung sowie deren Änderungen und Neuerungen. Ferner wurden die Ausbildung des Personals der Abteilung Dienste auf Einhaltung

der Vorgaben der Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) und der Richtlinie ENSI-B10 überprüft. Die Ausbildungsprogramme in den inspeziierten Bereichen erfüllten die Anforderungen.

## 2.8 Vorbereitung der Stilllegung

Im Oktober 2013 entschied die BKW, den Leistungsbetrieb des KKM Ende 2019 einzustellen und das Kraftwerk endgültig ausser Betrieb zu nehmen, um es anschliessend rückzubauen. Dazu erarbeitete die BKW ein Stilllegungsprojekt und reichte es dem ENSI im Dezember 2015 ein.

Das Gutachten des ENSI zum Stilllegungsprojekt des KKM wurde dem UVEK Ende August 2017 eingereicht. Das ENSI vergewisserte sich, dass die BKW die relevanten Bestimmungen des Kernenergiegesetzes, der Kernenergieverordnung, des Strahlenschutzgesetzes und der Strahlenschutzverordnung sowie weitere massgebende Verordnungen und Richtlinien des ENSI berücksichtigt hatte. Zudem prüfte das ENSI, ob das Stilllegungsprojekt den Anforderungen der IAEA entspricht und den aktuellen Stand der Technik berücksichtigt. Das ENSI kommt zum Schluss, dass die BKW in den Unterlagen zur Stilllegung des KKM nachvollziehbar dargelegt hat, dass die Sicherheit bei der Stilllegung gewährleistet ist. Die Voraussetzungen für den Erlass der Stilllegungsverfügung durch das UVEK sind aus Sicht des ENSI erfüllt, wenn die vom ENSI vorgeschlagenen 35 Nebenbestimmungen berücksichtigt werden.

Die Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit (KNS) nahm zum Entwurf des Gutachtens des ENSI Stellung. Die vom ENSI vorgeschlagene Vorgehensweise gewährleistet in Verbindung mit den Nebenbestimmungen nach Ansicht der KNS die für die Durchführung der Stilllegungsarbeiten nötige Flexibilität. Die Überprüfungen in Verbindung mit den Freigaben des ENSI stellen nach Auffassung der KNS sicher, dass die Stilllegungsarbeiten sicherheitsgerichtet geplant und durchgeführt werden. Für die weitere Bearbeitung des Stilllegungsprojekts formulierte die KNS Vorschläge, die umfassend im Gutachten berücksichtigt wurden. Darüber hinaus nahm das ENSI gegenüber der verfahrensleitenden Behörde Stellung zu den eingereichten Einsprachen zum Stilllegungsprojekt sowie zu den Stellungnahmen der in das Verfahren involvierten Ämter und Kantone.

Das Gutachten ist eine Grundlage für den Erlass der Stilllegungsverfügung durch das UVEK.

## 2.9 Sicherheitsbewertung

Im Jahr 2017 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
<b>Ziele</b>				
<b>Ebene 1</b>	N	V	A	N
<b>Ebene 2</b>	N	V	A	N
<b>Ebene 3</b>	N	V	A	N
<b>Ebene 4</b>	N		A	A
<b>Ebene 5</b>			A	A
<b>Barrieren</b>				
Integrität der Brennelemente			N	
Integrität des Primärkreises			N	N
Integrität des Containments			N	N
<b>ebenen- oder barrieren-übergreifende Bedeutung</b>		N	V	V

Sicherheitsbewertung 2017 KKM: Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge

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

Sicherheitsbewertung 2017 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) und höher 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 Kapitel 2.2 beschriebenen Abweichungen im Bereich von Zustand und Verhalten der Anlage als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Weil Bewertungen der Kategorie A unterhalb der internationalen Ereignisskala INES liegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKM hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut.

### Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

Das ENSI beurteilt die in Kapitel 2.2 beschriebene Nichteinhaltung des Prüfintervalls für eine System- und Komponentenbegehung als Abweichung mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Weil Bewertungen der Kategorie A unterhalb der internationalen Ereignisskala INES liegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKM hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als gut.



Kernkraftwerk Gösgen.  
Foto: KKG

## 3 Kernkraftwerk Gösgen

### 3.1 Überblick

Das Berichtsjahr zeichnete sich im Kernkraftwerk Gösgen (KKG) durch einen ungestörten, nur durch den geplanten Revisionsstillstand unterbrochenen Volllastbetrieb aus. Das ENSI stellt fest, dass die bewilligten Betriebsbedingungen immer eingehalten wurden. Das ENSI beurteilt die Sicherheit des KKG hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als gut, hinsichtlich der Betriebsvorgaben als hoch, hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut und hinsichtlich des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation als gut.

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

Im Berichtsjahr waren im KKG sechs meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen, die das ENSI auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 0 zuordnete. Das ENSI führte im Rahmen seiner Aufsicht 115 Inspektionen durch. Wo erforderlich verlangte das ENSI Verbesserungen und überwachte deren Umsetzung. Der Revisionsstillstand dauerte vom 4. bis 29. Juni 2017. 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 Dosisgrenzwerte wurden eingehalten. Die Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung lagen unter den

behördlich festgelegten Grenzwerten. Die dadurch verursachten zusätzlichen Strahlendosen für die Bevölkerung waren verglichen mit der natürlichen Strahlenexposition unbedeutend.

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

Das KKG nahm im Berichtsjahr einzelne Organisationsänderungen innerhalb der bestehenden Abteilungen vor. Im Berichtsjahr legten drei Reaktoroperatoren ihre Zulassungsprüfung mit Erfolg ab. Vier Reaktoroperator-Anwärter absolvierten die kerntechnische Grundlagenausbildung an der Reaktorschule des PSI erfolgreich.

### 3.2 Betriebsgeschehen

Das KKG erreichte im Berichtsjahr eine Arbeitsausnutzung von 92,4% und eine Zeitverfügbarkeit von 93,0%. Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung der letzten zehn Jahre sind in Figur 1 dargestellt. Die Nichtverfügbarkeit der Anlage war fast ausschliesslich auf den Revisionsstillstand zurückzuführen.

Die ausgekoppelte Prozesswärme für die Versorgung der zwei nahe gelegenen Kartonfabriken belief sich auf 206 GWh.

Zur Durchführung geplanter Prüfungen erfolgten kurzzeitige Leistungsabsenkungen.

Montage eines  
Turbinenventils an  
der Hochdruckturbine.  
Foto: KKG



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

- Am 1. März 2017 fiel eine der beiden Messstellen zur Überwachung der radioaktiven Edelgase in der Kaminfortluft aus. Als Ursache wurde ein Ausfall der Stromversorgung der Messstelle festgestellt. Die Feinsicherung der betroffenen Baugruppe wurde kontrolliert und als in Ordnung befunden. Sie wurde wieder eingesetzt, worauf die Messstelle wieder normal funktionierte. Die Messstelle war während 84 Minuten 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 vom KKG nachträglich durchgeführte Überprüfung von 25 Baugruppen des betroffenen Typs zeigte normale Widerstandswerte der Sicherungshalter mit eingesetzter Feinsicherung. Der Ausfall vom 1. März 2017 wird demzufolge als einmaliges Kontaktproblem betrachtet. Es waren aber Spuren thermischer Alterung sichtbar. Sämtliche in den Strahlungsmessstellen eingesetzten Baugruppen des betroffenen Typs werden daher vorsorglich ersetzt. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Ausfall einer Messstelle zur Überwachung der radioaktiven Edelgase in der Kaminfortluft der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie für die Schutzziele «Einschluss radioaktiver Stoffe» und «Begrenzung der Strahlenexposition».

- Nachdem die Wicklungstemperatur des Motors eines Abgaskompressors wiederholt unzulässig hoch war, tauschte das KKG den betroffenen Kompressor aus. Die Ursachenabklärung zeigte am 24. April 2017 einen Wellenbruch. Der Bruch der Welle lag zwischen dem Verdichter und dem Lager am Ende der Welle, daher förderte der Kompressor trotz gebrochener Welle. Die mit dem Bruch verbundene erhöhte Reibung führte jedoch zu einer erhöhten Wicklungstemperatur des Motors. Eine vertiefte Analyse ergab, dass es sich um einen durch die Wellengeometrie begünstigten Schwingungsbruch handelte. Beim Ausfall des im Betrieb befindlichen Kompressors übernimmt der redundante Kompressor dessen

Funktion. Die Abgaskompressoren sind zur Störfallbeherrschung nicht erforderlich. Beim Bruch der sich vollständig innerhalb des gasdichten Kompressorgehäuses befindenden Welle wurden keine radioaktiven Gase freigesetzt. Das KKG ersetzte die gebrochene Welle durch eine Welle mit verbesserter Geometrie. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Bruch der Welle eines Abgaskompressors der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie für das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe». Die konstruktionsbedingten Mängel wurden ebenfalls der Kategorie A zugeordnet, als Aspekt der Auslegungsvorgaben, mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie für das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe».

- Am 1. Juni 2017 fiel der Messumformer der Temperaturmessung im Reaktorgebäudesumpf aus. Der Austausch erfolgte innerhalb der von der Technischen Spezifikation gesetzten Frist. Die Temperaturmessung unterstützt die Überwachung der Wärmeabfuhr über den Reaktorgebäudesumpf nach einem Kühlmittelverluststörfall. Sie ist aber für die Störfallbeherrschung nicht erforderlich. Messumformer des betroffenen Typs sind im KKG in grösserer Anzahl im Einsatz und weisen eine geringe Ausfallrate aus. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die temporäre Nichtverfügbarkeit der Temperaturmessung im Reaktorgebäudesumpf der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie für das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».
- Bei der Oberflächenrissprüfung der an der Aussenseite eines Dampferzeugers angeschweissten Halterung für einen Mannlochdeckel ergab sich am 20. Juni 2017 eine bewertungspflichtige Anzeige. Die Halterung dient ausschliesslich als Aufhängung für den Mannlochdeckel, wenn dieser vom drucklosen Dampferzeuger demontiert wird. Während des Betriebs der Anlage hat die Halterung keine Funktion. Die Anzeige lag an der Schweissnaht zwischen der Rundstange der Halterung und der Pufferung, die ihrerseits auf das Grundmaterial des Dampferzeugers aufgeschweisst ist. Pufferungen werden für die Verbindung von Materialien eingesetzt, die auf-



Lademaschine über dem Brennelement-Lagerbecken.  
Foto: KKG

grund ihrer werkstofftechnischen Eigenschaften nicht direkt miteinander verschweisst werden können. Das Beschleifen der Pufferung zeigte, dass ausschliesslich die Pufferung betroffen war. Die metallographischen Untersuchungen ergaben eine herstellungsbedingte Unregelmässigkeit in der betroffenen Schweissnaht und keinen Riss als Ursache für die bewertungspflichtige Anzeige. Das drucktragende Grundmaterial des Dampferzeugers war frei von Rissanzeigen. Die gemessenen Wanddicken entsprachen der Spezifikation. Die in der Folge durchgeführten Prüfungen der analogen Pufferungen an den anderen Dampferzeugern ergaben keine unzulässigen Befunde. Die Berechnungen nach dem Beschleifen der Pufferung zeigten eine nach wie vor ausreichende Tragfähigkeit der Halterung, womit auf eine Reparatur verzichtet werden konnte. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die bewertungspflichtige Anzeige an der Halterung des Mannlochdeckels der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die zweite Barriere sowie für die Schutzziele «Kühlung der Brennelemente» und «Einschluss radioaktiver Stoffe».

- Für den integralen Leckratentest (ILRT) war die Berstscheibe der gefilterten Druckentlastung des Containments plangemäss ausgebaut und

durch eine temporäre Absperrklappe ersetzt worden. Nach Abschluss des ILRT erfolgte der Wiedereinbau. Am 28. Juni 2017 hinterfragte ein Mitarbeiter die Einbaulage der Berstscheibe. Es zeigte sich, dass diese in Bezug auf die Strömungsrichtung um 180 Grad verdreht eingebaut worden war und ihre Funktion im Anforderungsfall nicht erfüllt hätte. Die falsche Lage wurde umgehend korrigiert. Wie eine rückblickende Analyse zeigte, war die Berstscheibe bereits nach dem ILRT 2013 falsch eingebaut worden und somit während vier Jahren nicht einsatzbereit. Die gefilterte Druckentlastung wäre im Anforderungsfall über den zweiten Pfad ohne Berstscheibe, dafür mit zwei in Serie geschalteten Absperrarmaturen möglich gewesen. Ursachen für den falschen Einbau der Berstscheibe waren nicht genügend präzise Arbeitsvorgaben und ergonomisch nicht optimale Kennzeichnungen in der Anlage. Entsprechende Korrekturen wurden vom KKG festgelegt. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die falsch eingebaute Berstscheibe der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 4, die dritte Barriere sowie für das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe».

- Im Rahmen der Erneuerung der Leittechnik ersetzte das KKG unter anderem die Notgefahrenmeldeanlage (NOGEMA). Bei der Fertigung der Leittechniksschränke für die neue NOGEMA dimensionierte der Lieferant die Luftaustrittsöffnungen geringer als in der Spezifikation vorgegeben. In der Folge erwärmten sich im Dauerbetrieb die Schränke stärker als erwartet. Bei der herrschenden, durch die Raumlüftung kontrollierten Raumtemperatur von rund 20 °C erreichte die Innentemperatur in keinem Schrank die für die elektronischen Baugruppen maximal zulässigen 60 °C. Bei der maximal zulässigen Raumtemperatur von 35 °C wäre die Innentemperatur der Schränke jedoch auf über 60 °C angestiegen. Aufgrund dieser Feststellung stufte das KKG das Vorkommnis am 5. Juli 2017 als meldepflichtig ein. Bei einem Störfall hätte die ungenügende Wärmeabfuhr aus den Leittechniksschränken bei einem gleichzeitigen Ausfall der Raumlüftung nach längerer Zeit zu einem Ausfall von Meldungen aus der NOGEMA führen können. Die automatischen, durch den Reaktorschutz ausgelösten Sicherheitsfunktionen

wären davon in keinem Fall betroffen gewesen, da die NOGEMA keine Auslösesignale für den Reaktorschutz generiert. Zur Sicherstellung einer ausreichenden Luftzirkulation wurden die Schranktüren mit zusätzlichen Öffnungen versehen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die unterdimensionierten Lüftungsöffnungen der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

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

### 3.3 Anlagentechnik

#### 3.3.1 Revisionsarbeiten

Während des Revisionsstillstands vom 4. bis 29. Juni 2017 erfolgten geplante Tätigkeiten wie Brennelementwechsel und Brennelementinspektionen, Inspektionen elektrischer und mechanischer Einrichtungen, zerstörungsfreie Prüfungen, wiederkehrende Funktionsprüfungen an Komponenten und Systemen sowie Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten.

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

- Das Primärcontainment wurde der alle vier Jahre stattfindenden integralen Leckratenprüfung unterzogen. Die gemessene Leckrate lag im zulässigen Bereich.
- Alle 139 geprüften Brandschutzklappen erfüllten die Vorgaben. Die Prüfungen fanden gemäss den nach dem Vorkommnis vom 15. Dezember 2016 (siehe Aufsichtsbericht 2016, Kapitel 3.2) erweiterten Anweisungen statt. Zur Verbesserung der Zugänglichkeit der Brandschutzklappen wurden diverse Serviceöffnungen in Lüftungskanälen nachgerüstet, dies ebenfalls als Massnahme im Nachgang zum erwähnten Vorkommnis.
- Alle Prüfungen von Rundnähten der Hauptkühlmittelleitungen verliefen ohne Befunde. Die visuellen Prüfungen mit einer U-Boot-Kamera ergaben keine bewertungspflichtigen Anzeigen im Innern der Hauptkühlmittelleitungen.

- Die Stützeinschweissnähte des Reaktordruckbehälters wurden mit Ultraschall geprüft. Die Prüfungen ergaben keine Befunde.
- Die Auffälligkeit an der Plattierung des Reaktordruckbehälters im Bereich eines Austrittsstutzens wurde visuell geprüft. Es zeigten sich keine Veränderungen gegenüber früheren Prüfungen. Das Grundmaterial des RDB ist auch im betroffenen Bereich durchgehend mit vor Korrosion schützendem Plattierungsmaterial bedeckt. Das Grundmaterial unter der Auffälligkeit an der Plattierung wurde ohne Befund mit Ultraschall geprüft.

Im Bereich der Starkstrom- und Leittechnik wurden die wiederkehrenden Prüfungen und Instandhaltungsarbeiten gemäss langfristiger Planung durchgeführt. Aus terminlichen Gründen wurden ausgewählte Arbeiten an Steuerungen, Messtechnik, Regelungen und nuklearer Instrumentierung bereits mehrere Wochen vor dem Revisionsstillstand begonnen. Im Rahmen diverser leittechnischer Funktionsprüfungen wurden auch die notwendigen Prüfungen, Kontrollen und Inspektionen bezüglich der Alterungsüberwachung durchgeführt. Im Bereich des elektrischen Eigenbedarfs fand die Grossrevision einer Redundanz statt. Dabei wurden die Stromwandler inklusive der kapazitiven Spannungsanzeigen in den letzten zwei 10-kV-Einspeisefeldern ersetzt.

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 bestätigten den guten Zustand sowohl der mechanischen als auch der elektrischen und leittechnischen Ausrüstungen.

### 3.3.2 Anlageänderungen

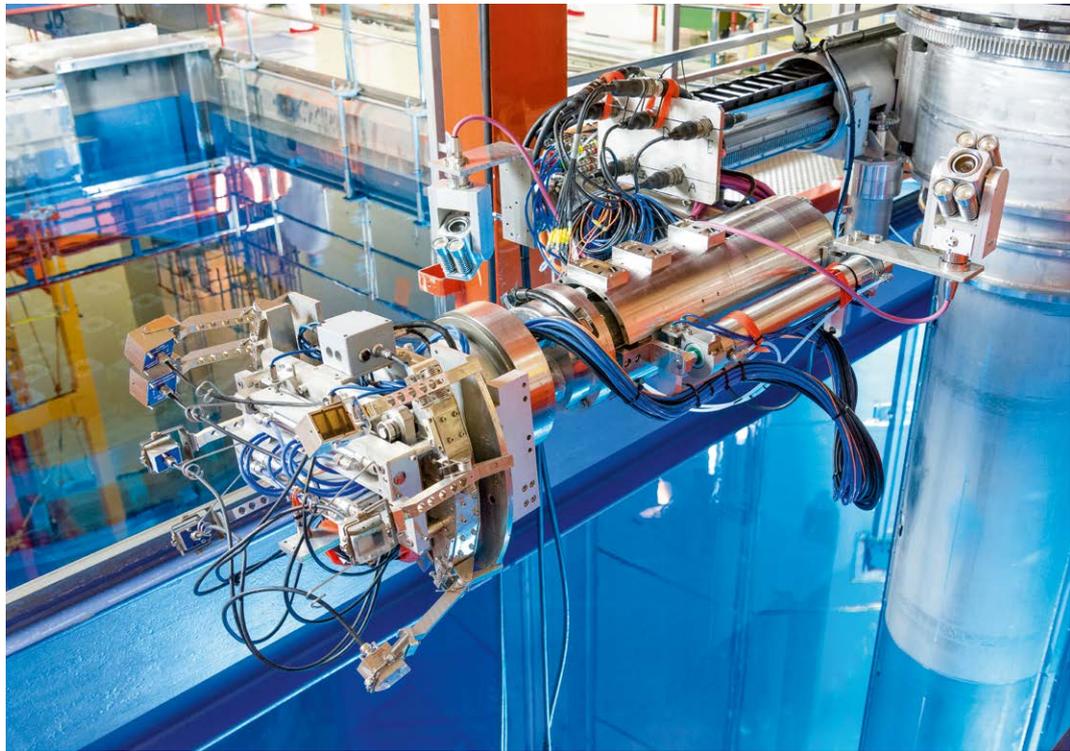
Folgende Anlageänderungen werden hier erwähnt:

- Die umfassend erneuerte Lademaschine für die Handhabung von Brenn- und Steuerelementen im Reaktordruckbehälter und dem danebenliegenden BE-Becken wurde erfolgreich in Betrieb genommen.
- Im Rahmen des Austauschs der Leittechnik wurde die Notfahrenmeldeanlage (NOGEMA) erneuert. Die Funktion der NOGEMA als reines Meldesystem, das keine sicherheitstechnischen Funktionen auslöst, blieb unverändert. Der abschliessende Funktionstest verlief erfolgreich. Im

Dauerbetrieb zeigten sich jedoch unerwartet hohe Temperaturen in den neuen Schränken für die Leittechnik der NOGEMA, die auf nicht spezifikationskonforme Öffnungen für die Luftzirkulation zurückzuführen waren (siehe Kapitel 3.2).

- Zur Verhinderung der Knallgasbildung bei Störfällen mit Wasserstofffreisetzung wurden 25 passive autokatalytische Rekombinatoren installiert. Die kontinuierliche katalytische Rekombination von Wasserstoff und Sauerstoff begrenzt den Anstieg der Wasserstoffkonzentration in der Gebäudeatmosphäre.
- Im Hinblick auf die Erweiterung der Notstandssysteme (ERNOS) wurden diverse Vorbereitungsarbeiten ausgeführt. Ziel des Projekts ist es, ein breiteres Spektrum auslegungsüberschreitender Anlagezustände ohne den Einsatz mobiler Einsatzmittel beherrschen zu können.
- Das KKG hatte Ende 2016 ein nicht vollständiges Schliessen von Brandschutzklappen im Rahmen von Anlageversuchen als Vorkommnis gemeldet (siehe Aufsichtsbericht 2016). Eine reaktive Inspektion am 6. April 2017 zeigte Mängel in den Bereichen Funktion und Unterhalt von Brandschutzklappen sowie im Vorgehen bei Modifikationen an Brandschutzklappen. Das ENSI ordnete die festgestellten Unzulänglichkeiten im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage sowie als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation, jeweils mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung. Wie vom ENSI gefordert, reichte das KKG Ende 2017 ein übergeordnetes Konzept «Ersatz Brandschutzklappen» mit diversen Sofortmassnahmen ein. Das Austauschprogramm des KKG erstreckt sich aufgrund des geplanten sequentiellen Austausches und der umfangreichen laufenden und vorgesehenen Vorabklärungen über einen sehr langen Zeitraum. Aus Sicht des ENSI könnte das KKG durch eine Überprüfung der geplanten Abwicklung des Projekts, geeignete organisatorische Massnahmen und eine klare Festlegung der Prioritäten die Planung und Umsetzung des Vorhabens beschleunigen. Das Thema wird für das ENSI im Jahr 2018 einen Aufsichtsschwerpunkt bilden.

Arm eines  
Zentralmast-  
manipulators.  
Bild: KKG



### 3.3.3 Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente

Geringe Aktivitätskonzentrationen im Primärkühlmittel liessen den Schluss zu, dass im 38. Betriebszyklus (2016/2017) keine Brennstab-Hüllrohrdefekte mit Aktivitätsfreisetzung auftraten. Das KKG lud während des Revisionsstillstands 36 frische WAU-Brennelemente aus wiederaufgearbeitetem Uran (WAU) in den Reaktorkern, der damit im 39. Betriebszyklus insgesamt 173 WAU- und 4 Uran-Brennelemente enthält.

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

Die Steuerstabfinger aller 48 Steuerelemente wurden während des Revisionsstillstands auf Wanddickenschwächungen und Beschädigungen untersucht. Bei drei der im Kern eingesetzten Steuerelemente 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 überzeugte sich davon, dass das KKG neue Brennelemente und Steuerelemente verwendet, die den Qualitätsanforderungen für einen sicheren Betrieb entsprechen, und nur bestrahlte Brennelemente und Steuerelemente mit defektfreien Hüllrohren in den Reaktor einsetzt.

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

## 3.4 Strahlenschutz

Im Berichtsjahr betrug die Kollektivdosis 285 Pers.-mSv. Die höchste Individualdosis lag bei 4,3 mSv. Der für beruflich strahlenexponierte Personen geltende Dosisgrenzwert von 20 mSv pro Jahr wurde eingehalten. Während des Revisionsstillstands wurden 206 Pers.-mSv akkumuliert, geplant waren 339 Pers.-mSv. Es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, 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 70 % tiefer als vor Beginn der Zinkdosierung im Jahr 2005. Im Vergleich zum Vorjahreswert wurde damit eine weitere Reduktion erreicht.

Die radiologische Situation aufgrund des nach wie vor erhöhten Anteils von Trampuran im Primärkreislauf als Folge der Brennelementdefekte in früheren Jahren erforderte auch in der Revision 2017 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 konnte sich während mehrerer Inspektionen davon überzeugen, dass das KKG einen konsequenten und gesetzeskonformen Strahlenschutz praktiziert. Der Personalbestand im Strahlenschutz war ausreichend.

Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen, Iod und Edelgasen lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Abgabelimiten. Dies gilt auch für die Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser ohne Tritium. Die für Druckwasserreaktoren typischen Tritium-Abgaben betragen rund 27 % der Jahresabgabelimite. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern durch. Sie stimmten mit den vom KKG gemeldeten Analyseergebnissen überein. Aus den tatsächlich über die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnet das ENSI die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKG unter konservativen, das heisst ungünstigen Annahmen. Die Dosen lagen für Erwachsene, Zehnjährige und für Kleinkinder unter 0,001 mSv. Sie lagen damit deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr gemäss der Richtlinie ENSI-G15. Die Dosisleistungsmesssonden des vom ENSI betriebenen Messnetzes (MADUK) in der Umgebung des Werks zeigten keine durch den Betrieb der Anlage erhöhten Werte. Die EDIS-Dosimeter (Environmental Direct Ion Storage Dosimeter) registrierten keine signifikante Erhöhung gegenüber der Untergrundstrahlung. Das ENSI führt quartalsweise Messungen an der Umzäunung des KKG durch, die ebenfalls keine signifikanten Erhöhungen gegenüber der Untergrundstrahlung zeigten. Die nach Artikel 102 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung vor-

gegebenen 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 Kernanlage Gösgen wird auf den Strahlenschutzbericht 2017 des ENSI verwiesen.

### 3.5 Radioaktive Abfälle

Radioaktive Rohabfälle fallen im KKG regelmässig aus den Wasserreinigungssystemen sowie der Abgas- und Fortluftreinigung an. Weitere Abfälle stammen aus dem Austausch von Komponenten bei Instandhaltungs-, Umbau- oder Nachrüstungs-massnahmen und den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien. Im Berichtsjahr fielen 13 m<sup>3</sup> radioaktive Rohabfälle an (vgl. Tabelle 6). Die Menge bewegte 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 lag mit 17 m<sup>3</sup> im Erfahrungsbereich der vergangenen Jahre. Brennbare und weitere Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in den Anlagen der Zwiilag dorthin transportiert.

Als Konditionierungsverfahren für die Betriebsabfälle kommen im KKG die Bituminierung von Harzen und Konzentraten sowie die Zementierung von nicht brenn- oder schmelzbaren Abfällen zum Einsatz. Für alle angewendeten Verfahren liegen die erforderlichen behördlichen Typengenehmigungen vor. Im Berichtsjahr wurden 55 Gebinde mit Konzentraten konditioniert.

Die konditionierten Abfallgebinde werden im werkseigenen Zwischenlager eingelagert. Das KKG nutzt zudem die Kapazitäten des zentralen Zwischenlagers der Zwiilag. Im Berichtsjahr wurden 77 konditionierte Abfallgebinde dorthin transferiert. 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, sodass die Information über Menge, Lagerort und radiologische Eigenschaften jederzeit verfügbar ist.

Wichtig bei der Minimierung der radioaktiven Abfälle ist die Inaktiv-Freimessung von Materialien aus der kontrollierten Zone. Im KKG wurden im Berichtsjahr 25,6 t Material freigemessen.

Im Jahr 2017 führte die Betreiberin drei innerbetriebliche Transporte mit insgesamt 36 abgebrannten Brennelementen aus dem Brennelementbecken des Reaktorgebäudes ins externe Nasslager des KKG durch.

Weitere Information zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente und zu den Wiederaufarbeitungsabfällen findet sich im Kapitel 8.

### 3.6 Notfallbereitschaft

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

Das ENSI beobachtete und beurteilte im November an der Stabsnotfallübung TORNADO die Notfallorganisation. Im Übungsszenario wurde unterstellt, dass aufgrund eines Unwetters das Höchstspannungsnetz stark beansprucht wurde und es zu Teilausfällen kam. Infolge starker Netzschwankungen kam es zur Trennung des KKG vom Netz und somit zum Inselbetrieb, bei dem Reaktor und Generator mit verminderter Leistung in Betrieb bleiben und den elektrischen Eigenbedarf des Werks sicherstellen. Angeschwemmtes Material im Bauwerk zur Kühlwasserentnahme führte zum Ausfall der Kühlsysteme, die vom Oberwasserkanal versorgt werden. In der Folge kam es zur Abschaltung der Hauptkühlwasserpumpen, die das zur Wärmeabfuhr benötigte Wasser in den Kondensator fördern. Angesichts des Verlustes der Hauptwärmesenke wurden Turbine und Reaktor abgeschaltet. Da die externe Stromversorgung bereits ausgefallen war, trat der Notstromfall ein, mit Versorgung der sicherheitsrelevanten Verbraucher durch die Notstromdiesel. Das Unwetter führte zum Einsturz des Kühlturms und des Maschinenhauses. Das durch ein Leck verursachte sekundärseitige Ausdampfen eines Dampferzeugers und ein Heizrohrbruch komplizierten die Lage.

Die Klassierung des Notfalls erfolgte zeitgerecht und anhand der gültigen KKG-Vorschriften. Die Schutzzielverletzungen, die aufgrund der simulier-

ten Notfallsituation entstanden waren, wurden rechtzeitig erkannt. Die Diagnose des Schadenszustands und die Identifizierung von Notfallmassnahmen erfolgten sachgerecht.

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 im November 2017 zeigte zudem, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit sind.

Ferner löste das ENSI im November 2017 ohne Voranmeldung einen Übungsalarm im KKG aus, der die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabes gemäss Richtlinie ENSI-B11 bestätigte.

### 3.7 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr erhöhte das KKG den Personalbestand weiter leicht auf 554 Personen, die 530 Vollzeitstellen besetzten (Ende 2016: 549). Dies war unter anderem auf den Personalbedarf für laufende und geplante Projekte sowie auf die notwendigen Einarbeitungszeiten neuer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie den Know-how-Transfer (Überlappungszeiten) zurückzuführen. Das KKG schuf im Berichtsjahr innerhalb der Abteilung Betrieb ein neues Ressort Projekte/HOF (HOF = Human and Organisational Factors). Diese Bündelung der HOF-Kompetenzen und -Ressourcen soll zu einer Stärkung der systematischen Berücksichtigung menschlicher und organisatorischer Aspekte beitragen, beispielsweise bei betrieblichen Fragestellungen, der Instandhaltung, Anlageänderungen und der Analyse von Betriebserfahrung aller Art inklusive Vorkommnisse. Ferner wurde innerhalb der Abteilung Informatik das Ressort Sicherungssysteme in das Ressort Prozessinformatik integriert.

Aufgrund von Vorkommnissen im Jahr 2015, zu welchen menschliche und organisatorische Aspekte wesentlich beigetragen hatten, verlangte das ENSI vom KKG vertiefte Abklärungen, die weiterhin einen der Aufsichtsschwerpunkte für das KKG bilden. Die Berücksichtigung der menschlichen und organisatorischen Faktoren ist ein zentrales Element einer ganzheitlichen, soziotechnischen Betrachtung der Kernanlage. Das KKG initialisierte nach den Vorkommnissen ein organisationsumspannendes Programm zur Stärkung der menschlichen und organisatorischen Aspekte, das vom ENSI beaufsichtigt

wird. Das ENSI erwartet, dass das KKG die Wirksamkeit der eingeleiteten Massnahmen evaluiert und über einen längeren Zeitraum verfolgt.

Das Managementsystem besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2015. Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Thema Betriebserfahrung durch. Es überprüfte, ob das KKG die Auswertung der internen und externen Betriebserfahrung nach einem systematischen, im Managementsystem klar, kohärent, angemessen detailliert und verbindlich geregelten Verfahren durchführt. Die entsprechenden Anforderungen wurden erfüllt.

Im Berichtsjahr bestanden vier 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 thermische Kraftwerkstechnik, Nuklearphysik, Reaktortechnik und Strahlenschutz. Drei Reaktoroperateure 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. Ein Reaktoroperateur schloss die Ausbildung zum Techniker HF Fachrichtung Grossanlagenbetrieb (früher: Kernkraftwerkstechniker HF) ab. Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in Tabelle 3 zusammengestellt.

Das ENSI führte eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2016 und der Planung des Ausbildungsprogramms 2017 der Abteilung Betrieb durch. 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 Personal und Dienste auf Einhaltung der Vorgaben der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) und der Richtlinie ENSI-B10 überprüft. Die Ausbildungsprogramme im inspizierten Bereich erfüllten die Anforderungen.

### 3.8 Sicherheitsbewertung

Im Jahr 2017 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
<b>Ziele</b>				
<b>Ebene 1</b>	A	N	A	N
<b>Ebene 2</b>			A	N
<b>Ebene 3</b>			A	N
<b>Ebene 4</b>		V	A	N
<b>Ebene 5</b>			N	N
<b>Integrität der Brennelemente</b>			N	N
<b>Integrität des Primärkreises</b>			A	N
<b>Integrität des Containments</b>		V	A	N
<b>ebenen- oder barrieren-übergreifende Bedeutung</b>	N		A	A

Sicherheitsbewertung 2017 KKG: Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge

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

Sicherheitsbewertung 2017 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) und höher 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 der in Kapitel 3.2 beschriebene konstruktionsbedingte Mangel der Welle eines Abgaskompressors als Abweichung mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit beurteilt wird, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKG hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als gut.

#### **Betriebsvorgaben**

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

#### **Zustand und Verhalten der Anlage**

Das ENSI beurteilt die in Kapitel 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 in Kapitel 3.2 beschriebenen Mängel im Vorgehen bei Modifikationen an Brandschutzklappen 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

Das Betriebsjahr war durch einen verkürzten 33. Betriebszyklus vom 20. Februar bis 18. September 2017 geprägt. Das Anfahren der Anlage verzögerte sich bis in den Februar 2017, weil infolge der Dry-out-Befunde an Hüllrohren aus der Jahreshauptrevision 2016 umfangreiche Untersuchungen und eine Neuauslegung der Kernbeladung erforderlich waren. Das ENSI erteilte die Freigabe für den Leistungsbetrieb mit Auflagen. Die thermische Leistung neuer Brennelemente und der Durchsatz der Kernumwälzung wurden begrenzt. Die Massnahmen basierten auf den Analysen der Dryout-Befunde an Brennelementen und dienten der Verhinderung einer Wiederholung. Eine direkte Folge der Auflagen war eine während des ganzen Zyklus unter der Nennleistung liegende thermische Reaktorleistung. Beim Wiederaufahren am 17. Februar 2017 musste die Schichtmannschaft infolge einer

Störung im Abgassystem eine Reaktorschnellabschaltung auslösen. Am 20. Februar konnte das Kernkraftwerk Leibstadt (KKL) den Leistungsbetrieb wieder aufnehmen. Er verlief störungsfrei bis zum Zyklusende.

Die in der Jahreshauptrevision vorgesehenen Instandhaltungsarbeiten konnten innerhalb der geplanten 50 Tage umgesetzt werden. Hierzu gehörten unter anderem der Austausch der beiden Wasserabscheider-Zwischenüberhitzer im Maschinenhaus und der integrale Leckratentest des Primärcontainments, der alle zehn Jahre durchgeführt wird.

Das Anfahren der Anlage zum 34. Betriebszyklus war ursprünglich auf den 7. November 2017 geplant. Kurz vor diesem Termin meldete ein Lieferant von im KKL eingesetzten Brennelementen einen Fehler bei der Qualitätssicherung der Hüllrohre. Das KKL ersetzte die betroffenen Brennelemente. Das ENSI erteilte die Freigabe für die geänderte Kernbe-

ladung. Die Ursachenabklärung zu den Dryout-Befunden an Brennelementen wurde im Berichtsjahr fortgesetzt und vertieft. Sie war Ende des Berichtsjahrs noch nicht abgeschlossen. Das ENSI erteilte die Freigabe für den Leistungsbetrieb im 34. Betriebszyklus daher mit vergleichbaren Auflagen wie für den 33. Zyklus. Das KKL nahm den Betrieb am 18. Dezember 2017 wieder auf. Eine fehlerhaft ausgeführte Umschaltung einer Speisewasserpumpe führte am 21. Dezember zu einer automatischen Reaktorschnellabschaltung. Am 22. Dezember erreichte das KKL die für den 34. Betriebszyklus zulässige Maximalleistung.

Basierend auf den Erkenntnissen aus dem Berichtsjahr beurteilt das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich der Auslegungsvorgaben und Betriebsvorgaben als hoch, bezüglich Zustand und Verhalten der Anlage sowie Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation 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, die das ENSI alle der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zuordnete. Zwei Vorkommnisse betrafen nicht-spezifikationsgerechte Hüllrohre von Brennelementen. Es besteht kein Zusammenhang zu den früheren Dryout-Befunden an Brennelementen. Im Berichtsjahr konnte die Anlage ohne Brennstoffschaden betrieben werden.

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

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

Das ENSI führte 124 Inspektionen durch. Wo erforderlich verlangte das ENSI Verbesserungsmaßnahmen und überwachte deren Umsetzung.

Drei Picketingenieure bestanden ihre Zulassungsprüfung. Zwei Reaktoroperator-Anwärter absolvierten die kerntechnische Grundlagenausbildung an der Reaktorschule des PSI erfolgreich.

## 4.2 Betriebsgeschehen

Das KKL verzeichnete in seinem 33. Betriebsjahr eine Arbeitsausnutzung von 53,3 % und eine Zeitverfügbarkeit von 61,7 %. Die Zeitverfügbarkeit und die Arbeitsausnutzung der letzten 10 Jahre sind im Anhang in Figur 1 dargestellt. Für Funktionsprüfungen erfolgten einzelne geplante Lastreduktionen.

Das KKL war ab dem 18. September zum Revisionsstillstand abgestellt und konnte am 18. Dezember 2017 wieder mit dem Netz synchronisiert werden. Die Nichtverfügbarkeit der Anlage wurde im Berichtsjahr weitgehend durch die bis Februar 2017 dauernde Verlängerung der Jahreshauptrevision 2016 und die gegenüber der Planung ebenfalls verlängerte Revision 2017 verursacht. Als Folge der reduzierten thermischen Reaktorleistung lag die Arbeitsausnutzung deutlich unter der Zeitverfügbarkeit.

Im Berichtsjahr waren neun meldepflichtige Vorkommnisse mit Bezug zur nuklearen Sicherheit zu verzeichnen. Alle wurden der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet.

■ Am 2. Februar 2017 wurde im aussen am Gebäudesockel liegenden Fundamentkontrollgang des Reaktorgebäudes eine geringe Menge Wasser gefunden. Der Kontrollgang ist nicht Teil der kontrollierten Zone. Die Analyse des Wassers zeigte einen über der Freigrenze liegenden Gehalt an Kobalt-60. Bis zum Abschluss der Dekontamination deklarierte das KKL den Kontrollgang temporär als kontrollierte Zone. Es gelangte kein kontaminiertes Wasser in die Umwelt. Zwei Ursachen hatten zum Vorkommnis beigetragen. Im Hinblick auf das Wiederanfahren der Anlage wurde eine Armatur in einer der Entwässerung der Frischdampfleitungen dienenden Rohrleitung geprüft. Da die beiden nacheinander angeordneten Handarmaturen einer Entleerungsleitung an dieser Rohrleitung fälschlicherweise geöffnet waren, gelangte Reaktorwasser in den Dampftunnel, durch den die Frischdampfleitungen in Richtung Maschinenhaus verlaufen. Infolge einer Undichtigkeit des Fugenbandes der Abdichtung zwischen Reaktorgebäude und Dampftunnel im Bereich der Entleerungsleitung gelangte ein Teil des Wassers in den darunter liegenden Kontrollgang. Die Undichtigkeit wurde behoben. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Übertritt von Reaktorwasser aus dem



Revisionsarbeiten  
an der Turbine.  
Foto: KKL

Dampftunnel in den Fundamentkontrollgang der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 2 sowie für die Schutzziele «Einschluss radioaktiver Stoffe» und «Begrenzung der Strahlenexposition». Die Undichtigkeit des Fugenbandes wurde ebenfalls der Kategorie A zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 2 und 3 sowie für das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe».

- Am 17. Februar 2017 wurde das KKL nach dem verlängerten Revisionsstillstand wieder in Betrieb genommen. Bei einer Reaktorleistung von 24 % der Nennleistung erfolgte die geplante Umschaltung von einem Strang der Abgasanlage des Kondensators auf den zweiten, um die Betriebsbereitschaft des zweiten Abgasstrangs zu prüfen. Nachdem die vorgesehene Umschaltung auf den zweiten Strang nicht funktioniert hatte, konnte auch die Rückschaltung auf den ersten Strang, der ursprünglich in Betrieb war, nicht erfolgreich durchgeführt werden. In der Folge schaltete sich die Abgasanlage automatisch ab. Vorschriftsgemäss löste die Schicht von Hand eine Reaktorschnellabschaltung aus. Die Anlage verhielt sich auslegungsgemäss. Die Abgasanlage führt die im Normalbetrieb anfallenden, nicht kondensierbaren Gase aus dem Kondensator ab. Je ein defektes Rückschlagventil in beiden Strängen führte dazu, dass die vorgese-

hene Umschaltung und die Rückschaltung nicht durchgeführt werden konnten. Dies hatte einen Ausfall der Abgasanlage zur Folge. Bei den verwendeten Ventilen handelte es sich um eine Neukonstruktion. Das KKL beschloss daraufhin, bis auf Weiteres revidierte Ventile des früher verwendeten Typs einzusetzen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die defekten Rückschlagventile der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie für das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Die mit dem Vorwissen verbundene Risikoerhöhung wurde der Kategorie A (Abweichung) zugeordnet – als Aspekt des Zustandes und Verhaltens der Anlage mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

- Am 7. Juni 2017 konnten bei einer Prüfung des Steuerstab-Steuer- und -Informationssystems die Steuerstäbe nicht bewegt werden. Ursache war eine ausgefallene Steuerkarte. Der Ausfall der Karte war durch das interne Test- und Prüfprogramm erkannt und das betriebliche Verfahren der Steuerstäbe automatisch blockiert worden. Die Schnellabschaltfunktion und das Einschliessen einzelner Steuerstäbe zur schnellen Verringerung der Reaktorleistung hätten im Anforderungsfall jederzeit zur Verfügung gestanden. Die Position der Steuerstäbe konnte jederzeit an einem redundanten System überprüft werden. Das KKL tauschte die betroffene Steu-

erkarte innerhalb der von der Technischen Spezifikation gesetzten Frist aus und wies die Funktionstüchtigkeit des Steuerstab-Steuer- und -Informationssystems nach. Ursache für den Ausfall waren zwei defekte integrierte Schaltkreise, die ersetzt wurden. Die Steuerkarte wurde wieder in das Steuerstab-Steuer- und -Informationssystem eingesetzt und ihre korrekte Funktion durch das Fahren von Steuerstäben geprüft. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den Ausfall der Steuerkarte der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie für das Schutzziel «Kontrolle der Reaktivität».

- Bei Instandhaltungsarbeiten an der Leittechnik wurde am 19. Oktober 2017 ein Schrank nicht korrekt geerdet. Infolge der fehlenden Verbindung zur Schutzterde kam es zu einem Fehlsignal, worauf eine der beiden Kolbenpumpen des Vergiftungssystems startete. Das Vergiftungssystem dient der Abschaltung des Reaktors im Falle eines Versagens der Abschaltung durch die Steuerstäbe. Dazu speisen zwei Kolbenpumpen borhaltiges Wasser in den Reaktor. Beim Fehlstart der Pumpe blieben die Ventile auf der Druck- und Saugseite der Pumpe geschlos-

sen. Die Pumpe blieb bis zum Abschluss der Arbeiten im Leittechnikschrank während rund 40 Minuten in Betrieb. Danach stand das Fehlsignal nicht mehr an und die Pumpe stoppte. Der Betrieb der Pumpe mit geschlossenen Ventilen führte auslegungsgemäss zum Ansprechen des Sicherheitsventils. Das austretende borhaltige Wasser wird dabei auf die Saugseite der Pumpe geführt. Der lang andauernde Betrieb der Pumpe unter den nicht vorgesehenen Bedingungen führte zur Beschädigung des Faltenbalgs des Sicherheitsventils. Teile des Balgs gelangten als Fremdkörper in das geförderte Wasser. Weiter führte eine beschädigte Kolben-dichtung zum Austritt von nicht radioaktivem Wasser in den Pumpenraum. Das KKL behob die Schäden und prüfte die Funktionstüchtigkeit des Vergiftungssystems erfolgreich. Da sich die Anlage während des massgeblichen Zeitintervalls in drucklosem Zustand bei geöffnetem RDB befand, musste das Vergiftungssystem gemäss Technischer Spezifikation nicht betriebsbereit sein. Massgeblich zum fehlerhaften Start der Vergiftungspumpe beigetragen hatte die nach analogen leittechnischen Instandhaltungsarbeiten im Jahr 2016 getroffene Entscheidung, bei den Arbeiten im Jahr 2017 auf die Absicherung des Vergiftungssystems zu verzichten. Der Ent-

Dieselrevision.  
Foto: KKL



scheid erfolgte nicht im Bewusstsein aller möglichen Konsequenzen für die Sicherheit der Anlage. Wäre die frühere Praxis beibehalten worden, hätte die fehlerhaft ausgeführte Erdung des Leittechnikschrankes nicht zum Start der Vergiftungspumpe geführt. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die Schäden an der Pumpe des Vergiftungssystems der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 4 sowie für das Schutzziel «Kontrolle der Reaktivität». Die fehlende Absicherung des Vergiftungssystems wurde der Kategorie A (Abweichung) zugeordnet – als Aspekt des Zustandes und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 4 sowie für das Schutzziel «Kontrolle der Reaktivität». Den nicht im Bewusstsein aller möglichen Konsequenzen für die Sicherheit der Anlage getroffenen Entscheidung ordnete das ENSI der Kategorie A (Abweichung) zu – als Aspekt des Zustandes und Verhaltens von Mensch und Organisation mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

- Am 26. Oktober 2017 wurde bei der Ultraschallprüfung an einer Schweißnaht einer Entleerungsleitung des Hochdruck-Kernsprühsystems eine unzulässige Rissanzeige festgestellt. Die betroffene Leitung wurde ersetzt. Die Schweißnaht wurde metallographisch untersucht. Ursache für die Beschädigung der Schweißnaht waren erhöhte Schwingungen während des Systemfunktionstests vom 20. Oktober 2017 infolge einer ungünstigen Fahrweise während dieses Tests. Die Testprozedur wurde angepasst. Der nächste Systemfunktionstest zeigte die Wirksamkeit dieser Massnahme zur Reduktion der Schwingungen. Bereits früher waren an Kleinleitungen des Hochdruck-Kernsprühsystems vergleichbare, schwingungsbedingte Befunde aufgetreten. Das Vorkommnis vom 26. Oktober 2017 zeigte, dass die früher getroffenen Massnahmen zur Überwachung und Reduktion der Schwingungen noch nicht ausreichend waren. Da sich die Gesamtanlage während des massgeblichen Zeitintervalls zwischen dem Test vom 20. Oktober 2017 und dem Ersatz des betroffenen Rohrleitungsabschnitts in drucklosem Zustand bei geöffnetem RDB befand, musste das Hochdruck-Kernsprühsystem gemäss Technischer Spezifikation nicht betriebs-

bereit sein. Eine Analyse zeigte, dass das System im Anforderungsfall ausgehend von einem Störfall im Leistungsbetrieb selbst bei einem Versagen einer Schweißnaht an einer Kleinleitung seine Funktion zur Kernkühlung auslegungsgemäss erfüllen würde. Angesichts der wiederholt aufgetretenen, schwingungsbedingten Schäden im Hochdruck-Kernsprühsystem forderte das ENSI das KKL auf, ein Konzept zur umfassenden Überwachung des Schwingungsverhaltens sowie zur Sicherstellung des auslegungskonformen Betriebs des Systems vorzulegen. Zudem hat das KKL dem ENSI darzulegen, welche generischen, abteilungsübergreifenden Lehren aus den Defiziten im Bereich der Entscheidungsfindung gezogen und welche Massnahmen daraus abgeleitet wurden. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die unzulässige Rissanzeige der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie für das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Die wiederholten, durch die nicht abdeckende Schwingungsüberwachung begünstigten Schäden im Hochdruck-Kernsprühsystem wurden ebenfalls der Kategorie A zugeordnet – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 sowie für das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Auch die Mängel im Bereich der Entscheidungsfindung nach früheren, vergleichbaren Vorkommnissen ordnete das ENSI der Kategorie A zu – als Aspekt des Zustandes und Verhaltens von Mensch und Organisation mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

- Der Hersteller eines Brennelementtyps informierte das KKL am 26. Oktober 2017 darüber, dass bei insgesamt 16 Brennelementen nicht spezifikationsgerechte Hüllrohre verbaut worden waren. Die Ursache war ein Fehler in der Software für die automatisierte Prüfung der Hüllrohre. Der Brennelementhersteller zog die Erlaubnis für den Einsatz der betroffenen Brennelemente im 34. Betriebszyklus zurück. Das KKL entlud die noch unbestrahlten Brennelemente aus dem Kern und ersetzte sie durch Brennelemente eines anderen Herstellers. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die nicht spezifikationsgerechten Hüllrohre der Kategorie A (Abweichung) der

ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die erste Barriere sowie für das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe».

- Der gleiche Hersteller informierte das KKL am 2. November 2017, dass bei 6 von insgesamt 8 der im KKL eingesetzten Brennelemente eines weiteren Typs ebenfalls nicht spezifikationsgerechte Hüllrohre verbaut worden waren. Diese Information ergänzte die oben erwähnte Meldung vom 26. Oktober 2017. Die Brennelemente des zweiten betroffenen Typs waren während drei beziehungsweise vier Betriebszyklen im Einsatz. Das KKL entschied, alle Brennelemente dieses Typs aus dem Kern zu entladen und durch Brennelemente eines anderen Herstellers zu ersetzen. Das ENSI prüfte die neue Kernbeladung ohne diese Brennelemente und erteilte die Freigabe. Die Neubeladung des Kerns führte zu einer Verlängerung der Jahreshauptrevision. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung die nicht spezifikationsgerechten Hüllrohre der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die erste Barriere sowie für das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe».
- Beim Wiederanfahren der Anlage kam es am 18. Dezember 2017 zu einer ungeplanten Leistungsreduktion. Bei 80 % der thermischen Nennleistung wurde der Neutronenflussregler wie geplant von Hand- auf Automatikbetrieb umgeschaltet, um den in dieser Phase des Anfahrens stattfindenden Aufbau des neutronenabsorbierenden Xenon-135 zu kompensieren. Infolge einer Störung im Neutronenflussregler begannen die Umwälzregelventile in beiden Kreisläufen unerwartet zu schliessen. Diese Ventile dienen zur Regelung der durch den Kern strömenden Wassermenge und bilden einen Teil der Leistungsregelung des Reaktors. Auslegungsgemäss schaltete die interne Signalüberwachung den Neutronenflussregler zurück auf Handbetrieb und stoppte den Schliessvorgang. Die Reaktorleistung stabilisierte sich bei 68 % der Nennleistung. Für die spätere Erhöhung der Leistung und den stationären Leistungsbetrieb verblieb der Neutronenflussregler in Übereinstimmung mit den massgeblichen Betriebsvorschriften im Handbetrieb. Eine vertiefte Abklärung der Ursache der Fehlfunktion des Neutronenflussreglers ist für die Jahreshauptrevision 2018 geplant. Der Neutronenflussregler

ist nicht Teil der Reaktorschutzsystems. Die Schnellabschaltung des Reaktors bei zu hohem Neutronenfluss erfolgt unabhängig von der Betriebsart des Neutronenflussreglers. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung das für die Leistungsreduktion ursächliche fehlerhafte Verhalten des Neutronenflussreglers der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu – als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie für das Schutzziel «Kontrolle der Reaktivität».

- Am 21. Dezember 2017 befand sich die Anlage im stationären Leistungsbetrieb. Die Speisewasserversorgung erfolgte normal durch die zwei Speisewasserpumpen RL21 und RL23. Die dritte Pumpe RL22 war als Reservepumpe betriebsbereit. Nachdem am Vortag eine Störung im Bereich der Drehzahlregelung der Pumpe RL21 angezeigt worden war, wollte das KKL diese am 21. Dezember zwecks Ursachenabklärung ausser Betrieb nehmen. Vorschriftsgemäss nahm die Schicht zuerst die Pumpe RL22 in Betrieb. Die Bedienungselemente für die Pumpe RL21 waren dabei korrekt abgedeckt, um deren vorzeitiges Abschalten durch das Betätigen falscher Bedienungselemente zu verhindern. Nach Ablauf der vorgeschriebenen zehnminütigen Beobachtung des Betriebsverhaltens der neu gestarteten Pumpe RL22 sollte die Pumpe RL21 abgeschaltet werden. Dabei wurde vergessen, die Abdeckung der Bedienungselemente für die Pumpe RL21 vorgängig zu entfernen und die Bedienungselemente der Pumpe RL22 abzudecken. In der Folge schaltete der Operateur irrtümlicherweise die Pumpe RL22 anstatt RL21 ab. Die Anlage reagierte wie erwartet mit einer Leistungsreduktion durch Schliessen der Umwälzmengenregelventile und einer Erhöhung der Drehzahl der noch in Betrieb befindlichen Speisewasserpumpe RL23. Infolge einer fehlerhaften Einstellung eines Grenzwerts bei früheren Wartungsarbeiten erreichte die Drehzahl der Pumpe RL23 den Sollwert nicht. Die geförderte Speisewassermenge reichte nicht, um das Niveau im RDB konstant zu halten. Auslegungsgemäss löste der Reaktorschutz beim Unterschreiten des massgeblichen Grenzwerts eine Reaktorschnellabschaltung aus, die normal verlief. Der fehlerhafte eingestellte Grenzwert an der Pumpe RL23 war nicht bemerkt worden, da die entsprechende Prüfung ausgehend von einer thermischen Reaktorleistung von mindes-

tens 98 % der Nennleistung erfolgt. Angesichts der seit Februar 2017 auf einen tieferen Wert begrenzten Leistung entfielen die Prüfungen. Das ENSI ordnete im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung den ungenügenden Transfer der geschulten Fehlervermeidungstechniken in die Praxis als wesentliche Ursache für die fälschliche Abschaltung der Pumpe RL22 der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zu als Aspekt des Zustandes und Verhaltens von Mensch und Organisation mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung. Die Mängel im Bereich der Speisewasserpumpe RL23 wurden der Kategorie A zugeordnet – als Aspekt des Zustandes und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 2 sowie für das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Die mit dem Vorkommnis verbundene Risikoerhöhung ordnete das ENSI der Kategorie A (Abweichung) zu – als Aspekt des Zustandes und Verhaltens der Anlage mit ebenen- oder barrierenübergreifender sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

Die Anzahl Vorkommnisse in den vergangenen zehn Jahren ist im Anhang in der 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 18. September 2017 zur Durchführung der geplanten Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten ausser Betrieb genommen. Nach Abschluss der geplanten Arbeiten aus der Jahreshauptrevision wurde die Anlage bis 17. Dezember infolge der Meldungen der Lieferanten zu nicht spezifikationsgerechten Hüllrohren nicht wieder angefahren. Die Anlage befand sich in dieser Zeit in einer verlängerten Revision. Das KKL hat in dieser Zeit zusätzlich Instandhaltungstätigkeiten ausgeführt, die nur bei einer abgeschalteten Anlage durchgeführt werden können.

Während des geplanten Revisionsstillstands wurden die geplanten Instandhaltungsarbeiten sowie Inspektionen an mechanischen und elektrischen Einrichtungen, zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen sowie wiederkehrende Funktionsprüfungen und Begehungen an Komponenten durchgeführt. Von besonderer Bedeutung waren die folgenden Prüfungen:

- An sechs Rund- und neun Längsnähten des RDB fanden qualifizierte Ultraschallprüfungen statt. Dabei ergaben sich aufgrund des optimierten Prüfsystems neue Erkenntnisse zur Geometrie



Das Maschinenhaus während der Revision.  
Foto: KKL

Transport eines Teils  
eines Wasserab-  
schneiders.  
Foto: KKL



einiger bereits bekannten Anzeigen. Es zeigten sich keine neuen bewertungspflichtigen Anzeigen. Alle bewertungspflichtigen Anzeigen sind zulässig.

- Ein Teil der Stützeinschweißnähte und Stützeninnenkanten am RDB wurden qualifizierten Ultraschallprüfungen unterzogen. Die bereits bekannten bewertungspflichtigen Anzeigen zeigten keine signifikanten Veränderungen. Eine bisher als nicht bewertungspflichtig betrachtete Anzeige wurde aufgrund der optimierten Durchführung der Prüfung neu als bewertungspflichtig erkannt. Sie ist zulässig. Fünf Mischnähte und vier ferritische Rohranschlussnähte an RDB-Stützen wurden ebenfalls geprüft. Dabei zeigten sich keine Veränderungen verglichen mit den vorhergehenden Prüfungen.
- Der Anlagenhersteller beurteilte zwei Befunde an Schweißnähten des Dampftrockners im RDB als zulässig. Der Dampftrockner entfernt von der Strömung mitgerissene Wassertropfen aus dem im Reaktorkern erzeugten Dampf. Damit wird die Belastung der Turbinenschaufeln durch Wassertropfen vermindert. Der Dampferzeuger hat keine direkte sicherheitstechnische Bedeutung. Bei einem Verlust der Integrität könnten jedoch Fremdkörper in die darunterliegenden Teile des RDB gelangen.

- Es erfolgte eine mechanisierte Sichtprüfung der Stützendurchführungen sowie der angrenzenden Oberflächen an der Bodenkalotte des Reaktordruckbehälters. Es zeigten sich keine Veränderungen im Vergleich zur Prüfung im Vorjahr.
- Es erfolgte eine Prüfung an neun austenitischen Schweißnähten des Umwälzsystems mittels qualifiziertem Ultraschallprüfsystem. Es wurden keine neuen Anzeigen festgestellt. Die bereits bekannten Anzeigen wiesen keine Veränderungen zur letzten Prüfung auf.
- Bei den Wanddickenmessungen an Rohrleitungen im Rahmen eines systematischen Wiederholungsprüfprogramms zeigten sich keine Unterschreitungen der rechnerischen Mindestwanddicken.
- Beim integralen Leckratentest, der alle zehn Jahre durchgeführt wird, erfüllte das Stahlcontainment die Anforderungen an die Dichtheit.

#### 4.3.2 Anlageänderungen

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

- seismische Ertüchtigung der bautechnischen Strukturen im Bereich der Behälter des gefilterten Druckentlastungssystems
- Fertigstellung von Ansaugstellen und Füllleitungen im Bereich der Notkühlturmbecken als feste Installation für allfällige Accident-Management-Massnahmen

Die Bauarbeiten an der neuen Aktivlagerhalle für kontaminierte Grosskomponenten wurden im Berichtsjahr abgeschlossen und die abschliessende Baudokumentation erstellt.

Die Erneuerung der Brand- und Blitzschutzanlage wurde fortgesetzt.

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

- Ersatz der beiden Wasserabscheider-Zwischenüberhitzer zur Modernisierung der Turbinenanlage
- Sanierung des Korrosionsschutzes einer Nebenkühlwasser-Schleife
- Ersatz der Leittechnik im Nebenkühlwassersystem
- Austausch eines Haupt- und eines Haupterreger-Transformators

#### 4.3.3 Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente

Das KKL betrieb den Reaktor ab dem Anfahren im Februar planmässig bis zur Abstellung für die Jahreshauptrevision im September.

Als Ursache für den Defekt eines Brennstabs an einem Brennelement im Zyklus 30 (2013/2014) und die lokalen Verfärbungen an Brennelementen in Folgezyklen war ein lokales Kühlungsdefizit (Dry-out) in hochbelasteten Brennelementen identifiziert worden. Das KKL betrieb den Reaktor im Berichtszeitraum mit Einschränkungen des Betriebskennfeldes, um ein erneutes Auftreten dieses Phänomens auszuschliessen. Diese Begrenzungen waren auf der Basis der Inspektionsergebnisse und deren sicherheitstechnischer Bewertung während der Jahreshauptrevision 2016 festgelegt worden. Während der Jahreshauptrevision wurden zusätzliche Inspektionen an Brennelementen des betroffenen Typs durchgeführt, um die Wirksamkeit der genannten Massnahmen für den abgelaufenen Betriebszeitraum zu überprüfen und die Ursachenabklärung weiter zu unterstützen. Es zeigte sich, dass die Begrenzung des Kerndurchsatzes und

der Bündelleistung bei frischen Brennelementen geeignete Massnahmen zur Vermeidung von derartigen Befunden sind. An frischen Brennelementen, die ab Februar 2017 im Einsatz waren, ergaben sich keine Dryout-Befunde. Neben visuellen Prüfungen wurden hierzu Messungen des sogenannten Lift-off und der Brennstabdurchmesser durchgeführt. Lift-off bezeichnet die Kombination aus Oxidschicht und abgelagerten Korrosionsprodukten. Das Erscheinungsbild aller Brennelemente war im erwarteten Bereich. Sie können weiter im Reaktor eingesetzt werden.

Aufgrund des verkürzten folgenden Betriebszyklus reduzierte die Betreiberin die Anzahl der nachzuladenden frischen Brennelemente auf 76. Es erfolgten wieder betriebliche Begrenzungen für den Kühlmitteldurchsatz und die Leistung von Brennelementen im ersten und zweiten Einsatzzyklus.

Während der Jahreshauptrevision hat ein Brennelementhersteller die Betreiberin über Defizite in der Qualitätssicherung bei der Hüllrohrfertigung informiert. Dies betraf sowohl frisch angelieferte als auch schon im Reaktor eingesetzte Brennelemente. Da damit der Qualitätssicherheitsnachweis für diese Brennelemente nicht mehr gegeben war, hat sich die Betreiberin für den Ersatz aller 24 Brennelemente der betroffenen Typen durch Brennelemente eines anderen Herstellers entschieden. Die Kernauslegung und die Sicherheitsnachweise wurden angepasst.

Die Betreiberin wies die Integrität der Steuerelemente anhand permanenter chemischer Analysen des Reaktorwassers nach. Sie ersetzte acht Steuerstäbe, die das Ende ihrer Betriebszeit bezüglich Borabbrand erreicht hatten, durch frische Steuerstäbe.

Des Weiteren wurden in der Jahreshauptrevision die standardmässigen Inspektionen an Hochabbrand- und Vorläufer-Brennelementen zweier Hersteller durchgeführt. Diese Inspektionen umfassten visuelle Prüfungen, Messungen der Brennstablängen sowie die Vermessung der Kastenverbiegung. Sie bestätigten das auslegungsgemässe Verhalten. Die Messergebnisse lagen im erwarteten Bereich. Bei den Inspektionen zeigten sich wiederum vereinzelte Brüche an Fingerfedern bestimmter, nicht von Dryout betroffenen Brennelementtypen, welche derselben Ursache wie die im Jahr 2016 festgestellten Brüche zuzuordnen sind. Lose Teile wurden entfernt. Die Ursache war wiederum Materialermüdung. Die aufgrund dieses Vorkommnisses geführten sicherheitstechnischen Nachweise sind weiterhin gültig, wobei im Ende 2017 begonnenen

Zyklus keine Brennelemente des betroffenen Typs im Einsatz sind.

Die durchgeführten Inspektionen sowie die Analyse der Untersuchungsergebnisse bestätigten, dass im Berichtszeitraum keine Brennelementschäden mit einem Integritätsverlust aufgetreten waren. Die Integrität der ersten Barriere zum Schutz gegen den Austritt radioaktiver Stoffe war daher im gesamten Berichtszeitraum gewährleistet.

#### 4.4 Strahlenschutz

Die im Berichtsjahr akkumulierte Kollektivdosis betrug 2128 Pers.-mSv. Die höchste registrierte Jahresindividualdosis betrug 12,6 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. Es war eine Inkorporation von radioaktiven Stoffen zu verzeichnen, die zu einer Folgedosis  $E_{50}$  von 0,17 mSv führte.

Im Berichtsjahr gab es keine Hinweise auf Brennelementschäden. Während des Abfahrens zur Jahreshauptrevision wurde kein Iod-Peak festgestellt. Die Betreiberin prognostizierte für die gesamte Jahreshauptrevision eine Dosis von 1700 Pers.-mSv. Tatsächlich wurde mit den elektronischen Dosimetern eine Kollektivdosis von 1871 Pers.-mSv gemessen, was innerhalb der Planungsungenauigkeit von  $\pm 20\%$  lag.

Der radiologische Zustand im Primärteil der Anlage veränderte sich im Vergleich zum Vorjahr nur unwesentlich.

Das ENSI stellte im Rahmen seiner Inspektionstätigkeit fest, dass das KKL einen konsequenten und gesetzkonformen Strahlenschutz praktiziert. Die Erfassung und Analyse von Personenkontaminationen beim Austritt aus der kontrollierten Zone und die darauf basierenden Optimierungsmassnahmen bewertete das ENSI als vorbildlich.

Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen, Iod und Edelgasen lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Abgabegrenzen. Die gleiche Aussage gilt auch für die radioaktiven Abgaben mit dem Abwasser ohne Tritium. Die Tritium-Abgaben des KKL betragen rund 2 % der Jahresabgabegrenze. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern durch. Sie stimmten mit den vom KKL gemeldeten Analyseergebnissen überein. Aus den tatsächlich über

die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnete das ENSI die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKL unter 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 1,3 mSv im Berichtsjahr einen mit dem Vorjahr vergleichbaren Wert (1,4 mSv). Das ENSI stellte bei den quartalsweise durchgeführten Messungen an der Umzäunung des KKL ebenfalls keine signifikanten Veränderungen fest. 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 des KKL wird auf den Strahlenschutzbericht 2017 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 von den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien. Im Berichtsjahr fielen 52 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 10 m<sup>3</sup> im Erfahrungs-

bereich der vergangenen Jahre. Brennbar und weitere Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in die Zwiilag transportiert.

Zur Konditionierung werden im KKL Harze und Konzentrate zementiert. Für alle angewendeten Verfahren liegen die behördlichen Typengenehmigungen vor. Im Berichtsjahr wurden 138 Gebinde mit Pulverharz und Konzentrate zementiert.

Die konditionierten Abfallgebände werden im werkseigenen Zwischenlager eingelagert. Das KKL nutzt zudem die Kapazitäten des zentralen Zwischenlagers der Zwiilag. Im Berichtsjahr wurden 32 Fässer mit konditionierten Abfallgebänden 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, sodass die Information über Menge, Lagerort und radiologische Eigenschaften jederzeit verfügbar ist.

Die Betreiberin lagerte im Berichtsjahr diverse ausgediente radioaktive Grosskomponenten in der Aktivlagerhalle ZL6 (ZENT) ein. Für jede einzelne Grosskomponente wurde ein Steckbrief erstellt. Die definitive Entsorgung der Komponenten wird mit dem Rückbau des KKL stattfinden.

Wichtig bei der Minimierung der radioaktiven Abfälle ist die Inaktiv-Freimessung von Materialien aus der kontrollierten Zone. Im KKL wurden im Berichtsjahr insgesamt 84,8 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 Berichtsjahr fanden drei Transporte mit je 69 Brennelementen statt.

Weitere Information zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente und zu den Wiederaufarbeitungsabfällen findet sich im Kapitel 8.

## 4.6 Notfallbereitschaft

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

Das ENSI beobachtete und beurteilte im Mai 2017 an der Werksnotfallübung SABEV die Notfallorga-

nisation. Im Übungsszenario wurde unterstellt, dass die Anlage nach einer Zwischenabstellung seit drei Tagen wieder auf Nennlast lief. Zu diesem Zeitpunkt fanden die jährlichen Instandhaltungsarbeiten an der Division 10/11 statt. Durch eine Überlastung im 380-kV-Netz und einen nicht erfolgreichen Lastabwurf wurde eine Reaktorschnellabschaltung ausgelöst. Rund 20 % der Steuerstäbe verblieben in der voll ausgefahrenen Position und die beiden Explosionsventile des Vergiftungssystems versagten. Nahezu parallel dazu kam es durch ein abstürzendes Brennelement zu einem Leck im Brennelementlagerbecken, das zum Sinken des Füllstands führte. Bei der Flucht der Mitarbeiter aus dem Brennelement-Lager erlitt eine Person einen Herzinfarkt und blieb zurück. Die Türe vom Brennelement-Lager ins Reaktorhilfsgebäude verblieb in offener Position. Die Notabluftsysteme standen nicht zur Verfügung.

Im Verlauf der Übung fanden vier Rapporte des Notfallstabs statt. Die Klassierung des Notfalls erfolgte zeitgerecht und anhand der gültigen Vorschriften.

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

Eine Inspektion im November 2017 zeigte zudem, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit sind.

Ferner löste das ENSI ohne Voranmeldung im November 2017 einen Übungsalarm aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabes gemäss Richtlinie ENSI-B11 bestätigt wurde.

## 4.7 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr reduzierte sich der Personalbestand von 526 (Ende 2016) auf 520 Personen, welche 509 Vollzeitstellen besetzten. Der Personalrückgang im Betrachtungszeitraum war weiterhin vor allem auf Abgänge infolge der Pensionierung von langjährigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und damit auf die Reduktion von Doppelbesetzungen zurückzuführen. Diese waren seit 2008 sukzessive aufgebaut worden, um den anstehenden Generationswechsel zu begleiten. Das System der Doppelbesetzungen zur Sicherstellung des Know-how-Transfers (Überlappungszeiten) an die jüngere Generation hat sich bewährt und wird auch in den folgenden Jahren zu einer leichten Personalreduk-

tion führen. Das KKL nahm im Rahmen der Umsetzung der IT-Strategie, welche die Schaffung einer einheitlichen, standardisierten IT-Infrastruktur vorsieht, organisatorische Anpassungen vor. Dadurch wurden die Zuständigkeit und Verantwortlichkeit für alle IT-Belange klar einer Organisationseinheit zugewiesen. Das ENSI wies mit Blick auf die nukleare Sicherheit darauf hin, dass die notwendigen IT-Systemfunktionen und deren Support insbesondere für die Stör- und Notfallsituationen vor Ort immer sichergestellt sein müssen.

Aufgrund der Häufung von Vorkommnissen, deren Ursprung auf den Bereich Mensch und Organisation zurückzuführen waren, definierte das ENSI im Jahr 2015 einen entsprechenden Aufsichtsschwerpunkt und begleitete die Umsetzung der durch das KKL identifizierten Massnahmen. Das KKL entwickelte ein Konzept zur Wirksamkeitskontrolle, dessen Erprobung sich aktuell in der Pilotphase befindet.

Im Rahmen einer im Berichtsjahr vom KKL durchgeführten, vertieften Vorkommnisanalyse wurden organisatorische Schwächen bei der Abwicklung von Aufgaben, welche das KKL der Axpo Power AG in Baden in Auftrag gab, festgestellt. Das ENSI wird im Rahmen seiner Aufsicht die Einleitung von Massnahmen zur Verbesserung der Abwicklung von sicherheitsrelevanten Aufgaben, welche durch die Axpo Power AG für das KKL wahrgenommen werden, eng begleiten.

Das Managementsystem des KKL besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2015. Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Thema Betriebserfahrung durch. Es überprüfte, ob die Organisation der Kernanlage die Auswertung der internen und externen Betriebserfahrung nach einem systematischen Verfahren durchführt und ob dieses Verfahren im Managementsystem klar, kohärent, angemessen detailliert und verbindlich geregelt ist. Innerhalb der Prozessbeschreibung wurde Verbesserungsbedarf in Bezug auf Wirksamkeitskontrollen von eingeleiteten Massnahmen festgestellt. Die entsprechenden Anforderungen wurden grundsätzlich erfüllt.

Im Berichtsjahr bestanden zwei 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 thermische Kraftwerkstechnik, Nuklearphysik, Reaktortechnik und Strahlenschutz.

Drei Pickettingenieure 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. Im Berichtsjahr schloss ein Reaktoroperateur die Ausbildung zum Techniker HF Fachrichtung Grossanlagenbetrieb (früher: Kernkraftwerkstechniker HF) erfolgreich ab. Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in der Tabelle 3 zusammengestellt.

Das ENSI führte eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2016 und der Planung des Ausbildungsprogramms 2017 der Abteilung Betrieb durch. Gegenstände der Inspektion waren die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator, die allgemeine Wiederholungsschulung sowie deren Änderungen und Neuerungen. Ferner wurden die Ausbildung des Personals der Abteilung «Administration und Materialwirtschaft» auf die Einhaltung der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen und der Richtlinie ENSI-B10 überprüft. Die Ausbildungsprogramme des KKL in den inspizierten Bereichen erfüllten die Anforderungen.

## 4.8 Periodische Sicherheitsüberprüfung

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

## 4.9 Sicherheitsbewertung

Im Jahr 2017 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>	V	V	A	V
<b>Ebene 2</b>	V	N	A	N
<b>Ebene 3</b>	V	N	A	N
<b>Ebene 4</b>			A	A
<b>Ebene 5</b>			N	N
<b>Barrieren</b>				
Integrität der Brennelemente		N	A	N
Integrität des Primärkreises			N	V
Integrität des Containments			N	N
<b>ebenen- oder barrierenübergreifende Bedeutung</b>		V	A	A

Sicherheitsbewertung 2017 KKL:  
Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge

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

Sicherheitsbewertung 2017 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 dargestellt.

Zusammenfassend kommt das ENSI zu folgenden Gesamtbewertungen:

### Auslegungsvorgaben

Bei der Beurteilung der Auslegungsvorgaben hat das ENSI Erkenntnisse aus der letzten Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) sowie aus dem EU-Stresstest herangezogen und dabei die Auslegung der Anlage bezüglich Redundanzgrad, Diversität, räumlicher Separation und Robustheit gegen auslösende Ereignisse bewertet. Da die Auslegungsvorgaben des KKL die Minimalanforderungen und

den Stand ausländischer Anlagen desselben Typs übertreffen und die 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 KKL hinsichtlich der Auslegungsvorgaben als hoch.

### 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 Kapitel 4.2 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 KKL hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage als gut.

### Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

Das ENSI beurteilt die in Kapitel 4.2 beschriebenen Abweichungen im Bereich von Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Weil Bewertungen der Kategorie A unterhalb der internationalen Ereignisskala INES liegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich des Zustands und Verhaltens der Anlage 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).

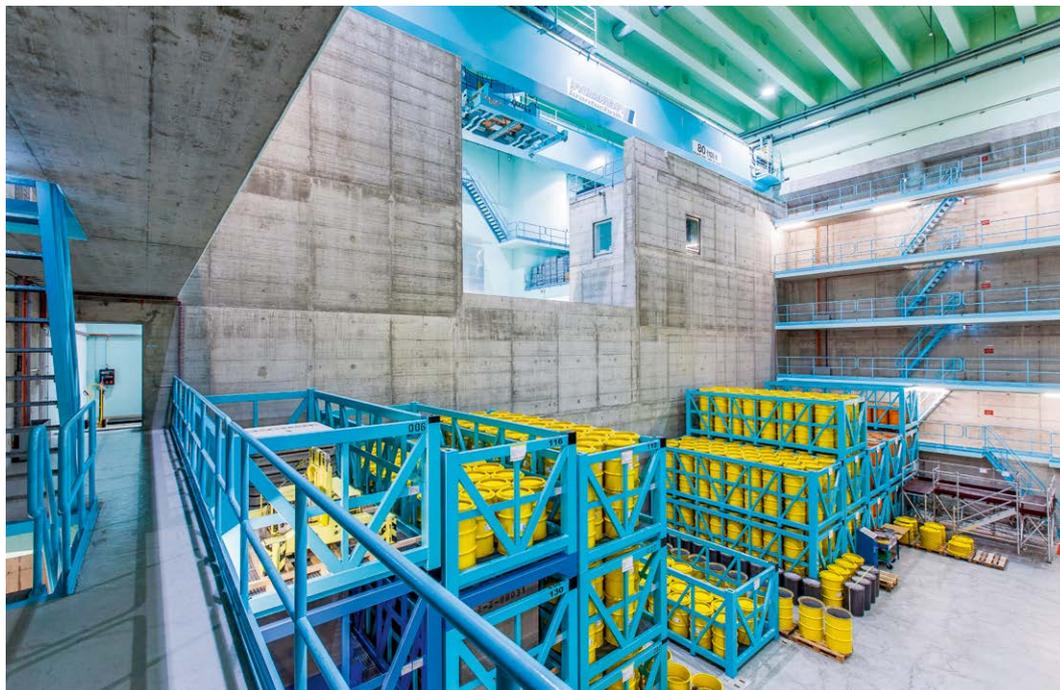
### 5.1 Zwischenlagergebäude

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 Zwi-

ischenlager 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 KKL eingelagert. Ferner wurden in insgesamt zehn Transporten 69 abgebrannte Brennelemente aus dem KKM ins ZZL angeliefert. Als Transportbehälter dienten wie bisher zwei Shuttlebehälter des Typs TN9/4. Die Shuttlebehälter wurden in der heißen Zelle fernbedient geöffnet und die Brennelemente in einen TL-Behälter des Typs TN24BH umgeladen. Das ENSI prüfte die entsprechenden Einlagerungsanträge und gab die Einlagerung frei. Ende 2017 betrug der Lagerbestand im HAA-Lager 61 TL-Behälter, davon 11 CASTOR®- und 12 TN-Behälter mit insgesamt 632 Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung von Brennelementen, 37 TN-Behälter mit insgesamt 2660 abgebrannten Brennelementen aus dem Betrieb der KKW sowie ein CASTOR®-

Halle M, Lagerhalle für  
mittelaktive Abfälle.  
Foto: Zwiilag



Behälter mit den Brennelementen aus dem stillgelegten Forschungsreaktor DIORIT des Paul Scherrer Instituts (PSI). Die Belegung des HAA-Lagers betrug per Ende 2017 rund 30 %. Neben den erwähnten TL-Behältern mit abgebrannten Brennelementen und Glaskokillen befinden sich in der Behälterlagerhalle seit September 2003 auch die sechs Grossbehälter mit Stilllegungsabfällen aus dem ehemaligen Versuchsatomkraftwerk Lucens.

Im MAA-Lager wurden im Berichtsjahr schwachaktive, endkonditionierte Gebinde eingelagert. Ende 2017 betrug die Ausnutzung des MAA-Lagers rund 39 %. Das SAA-Lager im Gebäude S wird bis etwa Mitte 2018 als konventionelles Lager für nicht-radioaktive Ausrüstungen und Materialien genutzt. Die Zwiilag plant ab 2020, das Gebäude S für die Lagerung von schwach- und mittelaktiven Abfällen in Betrieb zu nehmen.

## 5.2 Konditionierungsanlage

Die Konditionierungsanlage dient der Behandlung von schwachaktiven Abfällen aus dem Betrieb der schweizerischen KKW sowie von weiteren radioaktiven Abfällen, beispielsweise aus der Sammelstelle des Bundes (Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung), sofern diese keine Alphastrahler enthalten. Betriebsabfälle aus den KKW, die nicht als verbrennbarer oder schmelzbarer Abfall direkt in der Plasma-Anlage verarbeitet werden können, werden hier der Konditionierung beziehungsweise der

Dekontaminierung mit unterschiedlichen Behandlungsverfahren unterzogen. Das Ziel ist es, eine möglichst grosse Menge als inaktives Material freizumessen und die verbleibenden radioaktiven Reststoffe in eine konditionierte Form zu überführen, die den Anforderungen der Richtlinie HSK-B05 entspricht. Im ZZL wurden im Berichtsjahr insgesamt 104,8 t Material gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B04 als inaktiv freigemessen.

Das Hochregallager der Konditionierungsanlage wird auch als Eingangslager für die in der Plasmaanlage zu verbrennenden 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.

## 5.3 Plasma-Anlage

Aufgabe der Plasma-Anlage ist es, brenn- und schmelzbare schwachaktive Abfälle durch sehr hohe Temperaturen in eine inerte Schlackenmatrix ohne organische Stoffanteile zu überführen. Dieses Produkt stellt nach entsprechender Verpackung eine zwischen- und endlagerfähige Abfallform dar. Zur Verarbeitung gelangen Abfälle aus dem Betrieb der schweizerischen KKW sowie aus Medizin, Industrie und Forschung.

Im Jahr 2017 wurden zwei Kampagnen in der Plasma-Anlage durchgeführt. Die Arbeiten verliefen planmässig, was sich in der spezifikationsge-

rechten Verarbeitung von 1296 Abfallfässern und 600 Litern Flüssigabfällen zu 268 konditionierten Gebinden ausdrückt.

## 5.4 Strahlenschutz

Im Berichtsjahr akkumulierten im ZZL 202 beruflich strahlenexponierte Personen eine Kollektivdosis von 18,5 Pers.-mSv. Sie lag damit bei 80 % des für das Berichtsjahr geplanten Wertes von 23,1 Pers.-mSv. Ein Grund für die deutliche Unterschreitung der geplanten Dosis liegt in der Tatsache, dass die Dosen für einige Arbeiten schwer vorherzusagen waren. Werden dann noch nach KSR-Empfehlung kleine Dosen unterhalb 0,075 mSv abgerundet, so kann sich eine Diskrepanz zur Planungsdosis ergeben. Die höchste registrierte Einzeldosis betrug 1,9 mSv (2016: 1,0 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 Abgabegrenzen. Das ENSI führte quartalsweise Kontrollmessungen von Abwasserproben und Aerosolfiltern durch. Sie bestätigten die von der Zwiilag gemeldeten Analyseergebnisse. Die aufgrund der Abgaben unter ungünstigen Annahmen berechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des ZZL lag mit weniger als 0,001 mSv für Erwachsene, Zehnjährige und Kleinkinder deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,05 mSv. Das ZZL und das PSI teilen sich einen gemeinsamen Standort: Das PSI führt die Umgebungsüberwachung für den gesamten Standort mit Thermolumineszenz-Dosimetern (TLD) durch. Die TLD in der Umgebung und am Arealzaun des zentralen Zwischenlagers der Zwiilag zeigten keine dem Betrieb der beiden Anlagen zuzuschreibende Erhöhung gegenüber der Untergrundstrahlung. Die nach Artikel 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 eingehalten.

Die Tätigkeiten in den Anlagen des ZZL wurden unter Einhaltung der gesetzlichen und internen Strahlenschutzvorgaben durchgeführt. Die Ergebnisse der Inspektionen bestätigten, dass die Zwiilag einen konsequenten und gesetzeskonformen Strahlen-



Schwerlasttransport eines Transport- und Lagerbehälters (TLB) von der Bahnstation in die Zwiilag.  
Foto: Zwiilag

schutz anwandte. Für detailliertere Angaben zur radiologischen Situation innerhalb und ausserhalb des gemeinsamen Standortes des PSI und der Zwiilag wird auf den Strahlenschutzbericht 2017 des ENSI verwiesen.

## 5.5 Notfallbereitschaft

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

Das ENSI beobachtete und beurteilte im Juni an der Werksnotfallübung HEPHAISTOS die Notfallorganisation der Zwiilag. Der Übung wurde ein Szenario zu Grunde gelegt, in welchem angenommen wurde, dass ein Fahrzeug vor einem Tor des Nebengebäudes N explodierte. In unmittelbarer Nähe befand sich der Lastwagen, welcher Sauerstoff für die Plasma-Anlage anlieferte. Der Sauerstofftank des Lastwagens wurde durch die Explosion beschädigt, der austretende Sauerstoff wirkte dabei als Brandbeschleuniger. Aufgrund des auslösenden Ereignisses wurde davon ausgegangen, dass ein Container vor der Plasma-Anlage beschädigt und einige der geladenen Fässer mit schwach radioaktiven Abfällen zerstört wurden.

Die Verantwortlichen der Zwiilag stufte die Ereignisse anhand der im Jahr 2016 neu eingeführten Notfallklassierung korrekt ein. Aufgrund seiner Übungsbeobachtungen kam das ENSI zum Schluss, dass die Übungsziele gemäss der Richtlinie ENSI-B11 erreicht wurden. Die Zwiilag verfügt zwar über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation, es zeigte sich aber Verbesserungsbedarf bei der internen und externen Kommunikation.

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

## 5.6 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr nahm die Zwiilag keine grösseren organisatorischen Änderungen vor. Die Belegschaft erhöhte sich um zwei Personen auf 85 Personen, welche 80 Vollzeitstellen besetzen.

Das Managementsystem der Zwiilag besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2008. Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Thema Betriebserfahrung durch. Es überprüfte, ob die Organisation der Kernanlage die Auswertung der internen und externen Betriebserfahrung nach einem systematischen Verfahren durchführt und ob es im Managementsystem klar, kohärent, ange-

*Umladen eines Transport- und Lagerbehälters (TLB) von der Bahnmladestation auf den LKW.  
Foto: Zwiilag*





Empfangsbereich für die radioaktiven Abfälle.  
Foto: Zwilag

messen detailliert und verbindlich geregelt ist. Die Zwilag erfüllte die entsprechenden Anforderungen weitgehend.

## 5.7 Vorkommnisse

Die Zwilag meldete im Berichtsjahr ein Vorkommnis gemäss der Richtlinie ENSI-B03. Bei der Überprüfung von insgesamt 2907 Einzelgebinden sind bei einigen im Zeitraum von 2005 bis 2010 in der Plasma-Anlage hergestellten Gebinden Verletzungen der Spezifikation festgestellt worden. Das Vorkommnis wurde der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet. Die Zwilag setzte entsprechende Korrekturmassnahmen um.

## 5.8 Gesamtbeurteilung

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





Paul Scherrer Institut.  
Foto: PSI

## 6. Paul Scherrer Institut

Das Paul Scherrer Institut PSI ist das grösste Forschungsinstitut für Natur- und Ingenieurwissenschaften in der Schweiz. Es ist tätig in den Bereichen Materie und Material, Mensch und Gesundheit sowie Energie und Umwelt. Durch Grundlagenforschung und angewandte Forschung sucht das PSI Antworten auf zentrale Fragen aus Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft. Zudem betreibt das PSI das Bundeszwischenlager (BZL), welches der Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF) der gesamten Schweiz dient.

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

Im Berichtsjahr waren zwei meldepflichtige Vorkommnisse gemäss der Richtlinie ENSI-B03 zu verzeichnen. Es kam dabei weder zu unkontrollierten

Abgaben von radioaktiven Stoffen noch zu radiologischen Auswirkungen auf das Personal (siehe Kapitel 6.7). Die Sicherheit und somit der Schutz von Mensch und Umwelt waren stets gewährleistet.

### 6.1 Hotlabor

Im Hotlabor werden hochradioaktive Substanzen im Labormassstab gehandhabt. Die Abteilung Hotlabor und das Forschungslabor für nukleare Materialien untersuchen mit unterschiedlichen makro- und mikroskopischen Methoden unter anderem bestrahlte Werkstoffe und Kernbrennstoffe aus Reaktoren oder Beschleunigern. Die PSI-Labore für Radiochemie und Endlagersicherheit benutzen das Hotlabor für wissenschaftliche Untersuchungen seltener Radioisotope beziehungsweise des Transportverhaltens von Radionukliden in Gesteinen. Im Hotlabor erfolgt auch die Konditionierung der radioaktiven Abfälle aus dem Betrieb seiner 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 nahm das PSI im Jahr 2013 im Rahmen einer Typenprüfung die neue Fixbox-3-Anlage in Betrieb. Nach erfolgter Typenprüfung ist für den routinemässigen Betrieb dieser Anlage noch eine Typengenehmigung erforderlich. 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 ist abgeschlossen. Für die herzustellenden Abfallgebinde ist eine neue Typengenehmigung erforderlich.

Ausserdem erfolgt im Hotlabor die Behandlung der radioaktiven Abwässer des PSI-Ost. Mitte 2016 wurde eine neue Aktiv-Abwasseranlage in Betrieb genommen. Die neue Anlage funktionierte störungsfrei.

Im Berichtsjahr führte das PSI unter anderem folgende Arbeiten im Hotlabor durch:

- Das PSI mass rund 12 t Material aus dem Hotlabor gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B04 frei (im Vorjahr waren es 400 kg).
- Die neue Software IKB für die Kritikalitätskontrolle und Kernmaterialienbuchhaltung im Hotlabor wurde nach der Erteilung der Freigabe durch das ENSI in Betrieb genommen und löst das bisherige KBuch ab.
- Das PSI schloss die vom ENSI im Jahre 2015 geforderten Ertüchtigungen des Notfortluftsystems und der nicht tragenden Wände hinsichtlich Erdbebenstandfestigkeit ab.
- Zu Untersuchungszwecken wurden aus dem KKL 16,97 kg an bestrahlten Brennstäben angeliefert und parallel dazu 27,65 kg an gekapselten Brennstabsegmenten aus früheren Untersuchungen an das KKL zurückgeschickt.

- Schliesslich nahm das PSI Anpassungen an der Hard- und Software des Mess-, Steuer- und Regelsystems des Hotlabors (MSR) vor. Dabei kam es wiederholt zu Betriebsstörungen und letztlich zu einem Vorkommnis (siehe Kapitel 6.7).

## 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

Das PSI führte im Berichtsjahr weitere Rückbauarbeiten durch. Es demontierte die Poolwasserentleerungsleitung, die zum Abwassersystem Ost führt, und die Sanitärsysteme. Im Zuge dieser Arbeiten musste auch der Rest-Stahl liner im Poolbereich ausgebaut werden. Die Sickerwasserleitung wurde abgetrennt und der Pumpensumpf konnte trockengelegt und gereinigt werden.

Bei einem radiologischen Mapping der Anlage konnten keine Kontaminationen gefunden werden. Ausserhalb der kontrollierten Zone fanden Versuche zur Entfernung von PCB-Anstrichen mit verschiedenen Abtragverfahren statt.

Zudem startete das PSI die Konzeptarbeit zur Inaktiv-Freimessung des Gebäudes. Aufgrund der hohen natürlichen Radonkonzentration im Gebäude beurteilt das PSI eine Freimessung als schwierig. Durch Modifikation im Luftansaugbereich war die Konzentration zwar gesunken, sie war aber immer noch auf zu hohem Niveau.

Für die Freimessung von 55 t Rückbauschutt wurde dieser in einer Einhausung zerkleinert und homogenisiert. Dazu stellte das PSI die Freimessanlage in den SAPHIR-Anbau. Diverse andere Abfälle konnten ebenso freigemessen werden.

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

Name	Erste Kritikalität	Endgültige Ausserbetriebnahme	Stilllegungsverfügung ausgestellt
SAPHIR	30.04.1957	21.06.1994	30.11.2000
DIORIT	15.08.1960	08.07.1977	26.09.1994
PROTEUS	26.01.1968	19.04.2011	21.12.2017
VVA	21.10.1974 (erste Verbrennung)	19.11.2002	02.07.2014

## 6.2.2 DIORIT

Die Rückbauarbeiten des DIORIT-Reaktors sind abgeschlossen. Per Ende 2017 befanden sich im DIORIT-Gebäude noch knapp 2 t Aluminium-Stillegungsabfälle aus dem Rückbau der Forschungsreaktoren DIORIT und SAPHIR, welche noch mit der Aluminium-Schmelzanlage im DIORIT eingeschmolzen und anschliessend endkonditioniert werden müssen. Das PSI installierte einen Vortrocknungs-ofen und führte Vorbereitungsarbeiten aus, um die Schmelzanlage zu ertüchtigen. Die Aluminiumschmelzanlage steht bereit für die Schulung des Betriebspersonals.

In der Aktiv-Werkstatt begann das PSI im letzten Quartal des Berichtsjahrs mit der Dekontamination der im SAPHIR ausgebauten Poolwasserentleerungsleitung (siehe Kap. 6.2.1).

In der Reaktorhalle wurden mit In-Situ-Messungen rund 90 Betonsteine (rund 70 t Baryt-, Colemanitbeton und Stahl) aus dem Rückbau freigemessen; dieses Material war vorübergehend in den Lagerhallen der Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle.

Im Berichtsjahr fand eine Beprobung der unteren Reaktorkammer statt. Die Planung der Demontage von Rohrleitungen ist im Gange.

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

## 6.2.3 PROTEUS

Der Reaktor PROTEUS befand sich im Berichtsjahr in der Nachbetriebsphase.

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

Das PSI mass im Berichtsjahr kleinere Mengen an Material aus dem PROTEUS frei und führte es dem Wertstoffkreislauf zu. Die Infrastruktur der Anlage wurde regulär unterhalten.

Das UVEK erliess am 21. Dezember 2017 die Stilllegungsverfügung. Das PSI begann mit den Arbeiten zur Erstellung der Gesuchsunterlagen für die freigabepflichtigen Stilllegungsphasen.

## 6.2.4 Versuchsverbrennungsanlage

Da PSI schloss die Rückbauarbeiten zum Teilschritt 1 Mitte Juli 2017 ab. Die demontierten Teile mit einer Masse von etwa 20 t wurden dekontaminiert und freigemessen. Das ENSI prüfte den entsprechenden Abschlussbericht.

Das ENSI gab die Arbeiten für den Teilschritt 2 frei. Das PSI errichtete zur Schulung des Rückbaupersonals ein Mock-up des Verbrennungsofens und schulte das Personal. Über dem Verbrennungsofen wurde eine Einhausung errichtet. Mittels Bürsten wurde der Ofenschacht gereinigt.

## 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. Die Projekt- und Finanzierungsplanung wurden im Berichtsjahr vorangetrieben. Für die Durchführung des Gesamtprojekts veranschlagt das PSI fünf bis acht Jahre.

## 6.3 Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle

### 6.3.1 Behandlung radioaktiver Abfälle

Das PSI betreibt die Sammelstelle des Bundes für radioaktive Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF-Abfälle). Ebenfalls im Eigentum des Bundes sind die im PSI anfallenden radioaktiven Abfälle aus den Anwendungen radioaktiver Isotope in Forschungsprojekten, insbesondere bei Brennstoffuntersuchungen, aktivierten Materialien aus den Beschleunigeranlagen, aus dem Rückbau von Forschungsanlagen sowie aus dem Betrieb der nuklearen Infrastruktur. Dazu gehören LüftungsfILTER und Abfälle aus der Abwasserbehandlung. Alle genannten Abfälle sind sowohl chemisch als auch

physikalisch unterschiedlich, sodass vor ihrer Endkonditionierung oft eine Triage und Vorbehandlungen notwendig sind. Zudem sind unterschiedliche Konditionierungs- und Verpackungskonzepte erforderlich, was im Vergleich mit den KKW zu einem umfangreicheren und sich häufiger ändernden Spektrum an Abfallgebindetypen führt.

Zur Behandlung der radioaktiven MIF-Abfälle betreibt die Sektion RBE (Rückbau und Entsorgung) des PSI die Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (AERA), darunter befinden sich das Betriebsgebäude (siehe Kapitel 6.3.2) und insbesondere auch das Abfalllabor. Für diese zwei Anlagen überarbeitete das PSI die Sicherheitsberichte mit den zugehörigen Störfallanalysen und reichte diese dem ENSI zur Beurteilung ein.

Im Berichtsjahr wurden insgesamt rund 37,4 m<sup>3</sup> (Vorjahr 36,4 m<sup>3</sup>) Abfälle bei der Bundessammelstelle angeliefert, davon 33 m<sup>3</sup> (Vorjahr 30,9 m<sup>3</sup>) aus dem PSI und 4,4 m<sup>3</sup> (Vorjahr 1,29 m<sup>3</sup>) aus der jährlichen Sammelaktion des Bundesamts für Gesundheit (BAG). Ausserdem wurden 70 extern konditionierte Stahlzylinder mit Industrieabfällen angeliefert. Aus der Zwiilag wurden keine Abfälle zurückgeliefert.

Im Berichtsjahr wurden 75,74 m<sup>3</sup> (Vorjahr 8,24 m<sup>3</sup>) Material dekontaminiert und freigesessen; davon 59 m<sup>3</sup> abgeklungener Bauschutt aus dem Rückbau der Forschungsreaktoren DIORIT und SAPHIR sowie eine 7,6 t schwere Fundamentplatte (2,7 m<sup>3</sup>) vom alten Hotlabor-Sumpftank, die vorher in der Lagerhalle OAHD gelagert war.

Zur Behandlung in der Plasma-Anlage der Zwiilag wurden im Berichtsjahr 30 neue 200-Liter-Abfallgebilde mit sortierten und verpressten Abfällen (A-Fässer) hergestellt und zusammen mit vier bereits im Jahr 2016 hergestellten A-Fässern und 0,18 m<sup>3</sup> Altöl zur Behandlung in der Plasma-Anlage an die Zwiilag abgeliefert.

### 6.3.2 Lagerung radioaktiver Abfälle

Im BZL werden konditionierte Abfälle vorwiegend in 200-Liter-Fässern und Kleincontainern (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 4 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. Nach grundlegender Überarbeitung der BZL-Störfallanalyse erstellte das PSI im Berichtsjahr eine Spezifikation für ein Dosis-Programm, mit welchem die Einhaltung der Störfalldosen für den jeweils aktuellen Lagerzustand sowie prospektiv für den im Folgejahr vorgesehenen Zustand kontrolliert beziehungsweise nachgewiesen werden soll. Das PSI legte diese termingerecht dem ENSI zur Prüfung vor. In der Berichtsperiode wurden keine neuen endkonditionierten 200-Liter-Gebinde und KC-T12-Container in das BZL eingelagert. Somit war der mit 200-Liter-Fässern belegte Raum per Ende 2018 unverändert mit 4904 Gebinden gefüllt. Dies entspricht einem Belegungsgrad von rund 85 %. Das Inventar im BZL-Container-Teil belief sich unverändert auf 95 endkonditionierte KC-T12/30. Schliesslich waren per Ende des Berichtsjahres 2243 Stahlzylinder (Vorjahr 2219) in neun KC-T12-Containern im BZL gelagert. Weitere 156 Zylinder aus industrieller Fertigung mit tritiumhaltigen Abfällen stehen zur Dichtheitsüberwachung lose in 200-Liter-Fässern, die zu diesem Zweck mit Ventilen versehen sind.

In den Hallen des Betriebsgebäudes sowie in weiteren Hallen der AERA lagern entsprechend den betrieblichen Erfordernissen sowohl unkonditionierte als auch konditionierte Abfälle. Für die letztgenannten Lagerhallen, in denen im Wesentlichen radioaktive Stoffe aus diversen Rückbauprojekten und ausgediente Komponenten zum Abklingen eingestellt sind, hatte das PSI im Vorjahr eine Sicherheitsbetrachtung durchgeführt und dem ENSI zur Beurteilung vorgelegt. Das ENSI kam zum Schluss, dass die Sicherheit dieser Hallen vorbehaltlich der Erfüllung einer den Brandschutz betreffenden Forderung gewährleistet ist. Zu letztgenannter Forderung nahm das PSI im Dezember 2017 Stellung.

Das PSI setzt das gleiche elektronische Buchführungssystem wie die KKW ein, sodass die Informationen über Mengen, Lagerort und radiologische Eigenschaften der radioaktiven Abfälle jederzeit verfügbar sind. Das PSI berichtet dem ENSI vierteljährlich über die Inventare der radioaktiven Abfälle.

## 6.4 Strahlenschutz

Im Berichtsjahr akkumulierten die 1830 beruflich strahlenexponierten Personen des PSI eine Kollektivdosis von 42,2 Pers.-mSv (2016: 64,1 Pers.-mSv). Davon stammen 3,5 Pers.-mSv (2016: 10,7 Pers.-mSv) aus dem Aufsichtsbereich des ENSI mit 372 beruflich strahlenexponierten Personen bei einer höchsten Individualdosis von 0,7 mSv (2016: 1,4 mSv). Bei mehreren Inspektionen stellte das ENSI fest, dass der operationelle Strahlenschutz in den Kernanlagen des PSI die gesetzlichen und behördlichen Vorgaben erfüllte.

Das ENSI erhebt vierteljährlich Wasserproben aus den Abwassertanks des PSI. Bei der gammaspektrometrischen Auswertung stellte das ENSI fest, dass seine Ergebnisse mit denjenigen des PSI übereinstimmen. Aus den bilanzierten Abgaben radioaktiver Stoffe über die Fortluftanlagen und über das Abwassersystem wurde unter konservativen Annahmen für den ungünstigsten Aufenthaltsort ausserhalb des überwachten PSI-Areals eine Personendosis von weniger als 0,007 mSv pro Jahr berechnet. Diese Dosis liegt deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwertes von 0,15 mSv pro Jahr gemäss PSI-Abgabereglement. Detaillierte Angaben zu den Personendosen sind im Strahlenschutzbericht 2017 des ENSI zu finden.

## 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 beobachteten und beurteilten im November 2017 an der Institutsnotfallübung ALPHA die Notfallorganisation. Das Szenario sah vor, dass der Fahrer eines Kleinlastwagens auf dem Weg zum Abfalllabor einen Herzinfarkt erlitt. Im Abfalllabor wurden seit dem Morgen Schweissarbeiten an mehreren Stahlzylindern, die Tritium enthielten, durchgeführt. Das Fahrzeug durchbrach die Tore des Abfalllabors und kollidierte mit den Stahlzylindern. Durch ein Leck im Tank des Fahrzeugs, eine beschädigte Gasflasche und unfallbedingten Funkenschlag kam es zum Ausbruch eines Brandes, der schnell den gesamten Eingangsbereich der Halle erfasste.

Das vom PSI gewählte Szenario im Bereich der Abfallbehandlung führte nicht zu einer Freisetzung radioaktiver Stoffe in einem Umfang, der Massnahmen gemäss dem Dosismassnahmenkonzept erfordert hätte, was jedoch gemäss der Richtlinie ENSI-B11 gefordert war.

Aufgrund der Übungsbeobachtungen hielt das ENSI in seinem Inspektionsbericht fest, dass die Übungsziele gemäss der Richtlinie ENSI-B11 nicht vollständig erreicht wurden. Das PSI verfügt zwar über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation, konnte dies jedoch in Bezug auf das gewählte Szenario nicht in allen Bereichen unter Beweis stellen. Das ENSI erhob aufgrund der während der Übung gemachten Beobachtungen Forderungen, die das PSI im Jahr 2018 umzusetzen hat.

## 6.6 Personal und Organisation

Die Abteilungen Strahlenschutz und Sicherheit (ASI), die Sektion RBE sowie die Abteilung Hotlabor (AHL) beziehungsweise das Labor für nukleare Materialien (LNM) haben eigene Managementsysteme, welche gemäss ISO/IEC 17020 akkreditiert beziehungsweise der Norm DIN EN ISO 9001:2008 zertifiziert sind. Das ENSI führte im Berichtsjahr eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Thema Betriebserfahrung mit den Kernanlagen Hotlabor und Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (AERA) durch. Es überprüfte, ob die Auswertung der internen und externen Betriebserfahrung nach einem systematischen Verfahren erfolgt und ob dieses im Managementsystem klar, kohärent, angemessen detailliert und verbindlich geregelt ist. Die entsprechenden Anforderungen wurden erfüllt.

Die Anzahl des zulassungspflichtigen Personals für den endgültig ausser Betrieb genommenen Forschungsreaktor PROTEUS reduzierte sich zum Ende des Berichtsjahrs gegenüber 2016 um eine Person auf fünf Personen. Diese Personenzahl ist aus Sicht des ENSI im Hinblick auf den laufenden Nachbetrieb und die darauf folgende Stilllegung des Forschungsreaktors genügend. Aufgrund anstehender Pensionierungen und des für den vorgesehenen Rückbau weithin erforderlichen Know-hows wird das PSI dem ENSI noch im Jahr 2018 ein entsprechendes Personalkonzept vorstellen.

Bezüglich 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 keine nennenswerten Änderungen.

## 6.7 Vorkommnisse

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

- Während der periodischen Funktionsüberprüfung eines Überwachungssystems der Ortsdosisleistung im Labor 208 des Hotlabors wurde ein Aktivitätsalarm ausgelöst. Mit dem anschliessenden Quittieren des Alarms mit der Vor-Ort-Quittierungstaste wurde aufgrund einer fehlerhaften Programmierung im SPS-Programm ein Fehlsignal (Adressierfehler) erzeugt. Dadurch wurde die speicherprogrammierbare Steuereinrichtung (SPS) des Mess-, Steuerungs- und Regelsystems (MSR) in den Stopp-Modus gesetzt. Das hatte zur Folge, dass das Gebäudeleitsystem (GLS) sowie die gesamte Lüftung keine Signale mehr erhielten und die Lüftung komplett ausfiel. Infolgedessen wurde eine Evakuierung der kontrollierten Zone angeordnet. Die Notfortluft wurde manuell gestartet und die SPS zurückgestellt. Danach konnte die Lüftung stufenweise wieder in den Normalbetrieb hochgefahren werden. Die Sicherheit von Mensch und Umwelt war durch das Vorkommnis nicht tangiert. Es kam dabei weder zu unkontrollierten Abgaben von radioaktiven Stoffen noch zu radiologischen Auswirkungen auf das Personal. Das Vorkommnis war nach Kriterium 5.2.1.1c der Richtlinie ENSI-B03 meldepflichtig.
- Die Fortluftüberwachung des Hotlabor-Strangs war infolge zweier Ereignisse gestört. Im ersten Fall verursachte eine nicht korrekt eingesetzte Filterschublade Fehlalarme. Im zweiten Fall, vermutlich beim Schliessen der Filterschublade, wurde der Alpha-Beta-Detektor beschädigt. Beim ersten Ereignis lief die Aufzeichnung der Werte weiter; beim Zweiten waren die Bilanzierung und Onlinemessung vorübergehend gestört beziehungsweise unterbrochen. Nach Ortung und Behebung der Fehler beziehungsweise Schäden konnte die Hotlabor-Fortluftüberwachung zeitnah wieder in den Normalbetrieb überführt werden. Mit der redundanten Hochkamin-Fortluftüberwachung PSI-Ost war die Überwachung und Bilanzierung der Abgaben an

die Umwelt zu jedem Zeitpunkt gewährleistet. Der Sachverhalt war meldepflichtig gemäss Kapitel 5.2.1.2a der Richtlinie ENSI-B03.

## 6.8 Schule für Strahlenschutz

Im Berichtsjahr wurden die vom ENSI anerkannten Ausbildungskurse zum Strahlenschutz-Techniker sowie zum Strahlenschutz-Sachverständigen für Kernanlagen durchgeführt. Der Techniker-Kurs umfasst insgesamt zwölf Wochen Unterricht, Praktika, Prüfungsvorbereitung, schriftliche und mündliche Prüfungen sowie die Erstellung und Präsentation einer Projektarbeit. Im Berichtsjahr absolvierten sechs Teilnehmer diesen Kurs erfolgreich. Drei Teilnehmer am Technikerkurs stammten aus schweizerischen KKW sowie drei Personen aus dem PSI. Der Kurs für die Strahlenschutz-Sachverständigen umfasst fünf Wochen mit insgesamt rund 180 Einzelktionen, Übungen und einer schriftlichen Prüfung. 70 % der Lektionen werden in Kombination mit dem Technikerkurs erteilt. Den Sachverständigen-Kurs konnten zwei Teilnehmer aus dem PSI und jeweils ein Teilnehmer aus einem KKW und aus dem ENSI erfolgreich abschliessen. Aufgrund des Personalmangels an der Schule für Strahlenschutz mussten im Berichtsjahr vermehrt externe Dozenten für den Unterricht eingesetzt werden. Das ENSI beurteilte die Qualität des Unterrichts, beaufsichtigte die Prüfungen und attestierte der Schule ein gutes Niveau der Lehrveranstaltungen.

Zusätzlich führte die Schule für Strahlenschutz des PSI mehrere Weiterbildungs- und Zusatzkurse für Strahlenschutz-Techniker und Fachkräfte durch. An insgesamt zwei durchgeführten Kursmodulen nahmen 35 Techniker und Fachkräfte teil.

Insgesamt wurden an der Schule für Strahlenschutz 32 (419 Teilnehmerinnen und Teilnehmer) Aus- und Fortbildungskurse für verschiedene Personengruppen aus den schweizerischen Kernanlagen durchgeführt. An zehn Kursen mit Bezug zu Transporten radioaktiver Gefahrgüter nahmen insgesamt 79 Personen teil. Das ENSI überzeugte sich anhand von stichprobenhaften Besuchen der Kurse und von mehreren Fachgesprächen mit den Kursleitern von der guten Qualität des Unterrichts. Zudem führte das PSI an der Schule für Strahlenschutz zahlreiche Aus- und Fortbildungskurse in den Bereichen Notfallorganisation, Medizin, Industrie, Lehre und Forschung durch.

# 7. Weitere Kernanlagen

## 7.1 École Polytechnique Fédérale de Lausanne

Die Kernanlage der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (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.

Im Berichtsjahr stand der CROCUS-Reaktor insbesondere den Ingenieur- und Physikstudenten der EPFL, Kursteilnehmerinnen und Kursteilnehmern der Reaktorschule des PSI und Studentinnen und Studenten des Swiss-Nuclear-Engineering-Masterkurses der ETHZ/EPFL während 201,9 Stunden bei kleiner Leistung (unter 100 W) für Ausbildungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 364,05 Wh thermische Energie erzeugt. Das Experiment CARROUSEL wurde für Praktika verwendet. Die Neutronenquelle LOTUS ist seit mehreren Jahren ausser Betrieb. Die Anlage wird zurzeit für die Lagerung von radioaktiven Quellen und für Bestrahlungsexperimente verwendet.

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

In der EPFL wurde 2017 eine Kollektivdosis von 0,3 Pers.-mSv akkumuliert. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend.

Im November führte das ENSI seine Jahresinspektion durch. Es besprach dabei technische, organisatorische und personelle Änderungen und inspizierte verschiedene Anlagenräume. Das ENSI kam zum Schluss, dass die EPFL die Betriebsbedingungen im Berichtsjahr einhielt.

## 7.2 Universität Basel

Der Forschungsreaktor AGN-211-P der Universität Basel diente bis zu seiner endgültigen Ausserbetriebnahme im Jahr 2015 vorwiegend der Ausbildung von Studentinnen und Studenten sowie der Anwendung 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 hatte 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 und reichte dieses am 7. Februar 2017 beim BFE ein. Das ENSI begann daraufhin als zuständige Aufsichtsbehörde des Bundes mit der Erstellung des Gutachtens zum Stilllegungsprojekt.

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 Berichtsjahr eingehalten wurden.



# 8. Transporte und Behälter

## 8.1 Genehmigungen nach Gefahrgutgesetzgebung

Die schweizerischen Vorschriften für den Transport radioaktiver Stoffe auf Strasse und Schiene basieren unter anderem auf den internationalen Regelwerken über den Transport gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR<sup>1</sup>) beziehungsweise mit der Eisenbahn (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 nationalen Transportrecht für Gefahrgüter der Klasse 7 (radioaktive Stoffe) gelten unter anderem die SDR<sup>4</sup> und die RSD<sup>5</sup>.

Die nach diesen Rechtsvorschriften erforderlichen Genehmigungen betreffen je nach Anwendungsfall die Versandstücke, die zu befördernden Stoffe beziehungsweise den Beförderungsvorgang. Sie bilden eine Voraussetzung für die ebenfalls erforderlichen Bewilligungen nach Kernenergie- oder Strahlenschutzgesetz (vgl. folgende Kapitel). Das ENSI ist die zuständige schweizerische Behörde für die Ausstellung von Genehmigungszeugnissen und Bauart-Zulassungsscheinen beziehungsweise entsprechenden Anerkennungen gemäss Gefahrgutgesetzgebung. Die gilt unabhängig davon, ob es sich beim Transportgut um radioaktive Stoffe aus Kernanlagen oder aus anderen Betrieben handelt. Das ENSI stützt sich bei der Prüfung von Bauartzulassungen in der Regel auf die umfassenden Beurteilungen von Versandstückmustern durch die zuständige Behörde im jeweiligen Ursprungsland der Bauart. In diesen Fällen prüft das ENSI die Vollständigkeit des zugehörigen Sicherheitsberichts insbe-

sondere hinsichtlich des Nachweises, dass alle gemäss ADR/RID und SSR-6 vorgeschriebenen Anforderungen erfüllt sind. Geprüft werden auch die Kritikalitätssicherheit und bei Bedarf weitere Aspekte, die spezifisch für die Verwendung des Versandstückmusters in der Schweiz sind. Anderenfalls und insbesondere wenn keine vorgängigen Beurteilungen anderer Behörden vorliegen, erfolgt eine vollständige Prüfung der Bauart auf Erfüllung aller gefahrgutrechtlichen Anforderungen. Beförderungsgenehmigungen sind dann erforderlich, wenn die Erfüllung der gefahrgutrechtlichen Anforderungen nicht allein durch das Versandstückmuster, sondern auch durch die Einhaltung von Massnahmen während des Beförderungsvorgangs gewährleistet wird. Das ENSI prüft anhand der eingereichten Dokumente, ob Verpackung, Inhalt und beförderungsspezifische Massnahmen alle gefahrgutrechtlichen Anforderungen erfüllen.

Im Berichtsjahr beurteilte das ENSI acht Gesuche nach Gefahrgutgesetzgebung und stellte die entsprechenden Genehmigungen aus. Sechs Gesuche betrafen die Zulassung von Versandstückmustern für die Verwendung in der Schweiz auf der Basis einer vorliegenden ausländischen Zulassung. Ein Gesuch betraf die Anerkennung von Grenzwerten für Nuklide, die nicht in den Gefahrgutvorschriften genannt sind. Die Nuklidwerte wurden gleichzeitig bei der IAEA für die Aufnahme in das internationale Transportrecht beantragt. Ein Gesuch bezog sich auf eine Beförderungsgenehmigung nach Gefahrgutrecht unter einer Sondervereinbarung. Diese Genehmigung wurde infolge der Verwendung abweichender Inneneinbauten bereits vor Ablauf der Gültigkeit widerrufen.

<sup>1</sup> Europäisches Übereinkommen über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse

<sup>2</sup> Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter

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

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

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

## 8.2 Bewilligungen nach Strahlenschutzgesetzgebung

Gemäss Artikel 2 des Strahlenschutzgesetzes sind der Transport auf öffentlichen Verkehrswegen sowie die Ein- und Ausfuhr radioaktiver Stoffe bewilligungspflichtige Tätigkeiten. Die Voraussetzungen für die Erlangung solcher Bewilligungen sind im Strahlenschutzgesetz und in der Strahlenschutzverordnung festgehalten. Derartige Bewilligungen sind über einen längeren Zeitraum befristet und hinsichtlich der Anzahl Transporte üblicherweise nicht begrenzt. Im Bereich der Kernanlagen ist das ENSI die zuständige Behörde, ansonsten ist das BAG zuständig.

Im Berichtsjahr erteilte das ENSI einer ausländischen Spedition die Anerkennung einer bestehenden Bewilligung des BAG. Das ENSI bewilligte der EPFL, deren Bewilligung für den Umgang mit radioaktiven Stoffen im Bereich der Kernanlage erneuert werden musste, zusätzlich die Ein- und Ausfuhr radioaktiver Stoffe. Die EPFL benötigt diese Ein- und Ausfuhrbewilligung für den grenzüberschreitenden, bewilligungspflichtigen Transport von radioaktiven Stoffen sowie für die Ein- und Ausfuhr von freigestellten Versandstücken. Die EPFL führt selbst keine bewilligungspflichtigen Transporte radioaktiver Stoffe aus, sondern beauftragt Speditionen, die über eine entsprechende Transportbewilligung verfügen.

Insgesamt verfügen 16 in- und ausländische Speditionen und Logistik-Unternehmen, fünf Dienstleistungsunternehmen, die Kernanlagen KKM, KKL, KKB, KKG, PSI und Zwiilag über eine ENSI-Bewilligung für den Transport radioaktiver Stoffe von und zu Schweizer Kernanlagen.

## 8.3 Bewilligungen nach Kernenergiegesetzgebung

Nach den Artikeln 6 und 34 des Kernenergiegesetzes bedarf der Umgang mit Kernmaterialien und radioaktiven Abfällen aus Kernanlagen einer Bewilligung des Bundes. Artikel 3 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, dass die nukleare Sicherheit und Sicherung gewährleistet und die Vorschriften über die Beförderung gefährlicher Güter erfüllt

sind. Das BFE erteilt die Bewilligung erst, wenn eine positive Beurteilung durch das ENSI vorliegt. Die Bewilligungen werden in der Regel für die Dauer eines Jahres ausgestellt und können um maximal sechs Monate verlängert werden.

Im Berichtsjahr beurteilte das ENSI fünf kernenergierechtliche Transportgesuche beziehungsweise Verlängerungsgesuche für den Transport von radioaktiven Betriebsabfällen zur Zwiilag, drei Gesuche für die Einfuhr von frischen Brennelementen, je ein Gesuch für den Transport von bestrahlten Brennstäben zum PSI und von gekapselten Brennstabsegmenten zurück zum Werk und ein Gesuch für den Transport von abgebrannten Brennelementen zur Zwiilag. Auf der Basis dieser Beurteilungen stellte das BFE die entsprechenden Bewilligungen aus. Für den Transport der bestrahlten Brennstäbe vom KKL zum PSI und der gekapselten Brennstabsegmente zurück war es erforderlich, eine Sondervereinbarung nach ADR für die Verwendung des vorgesehenen Behälters auszustellen, um eine zeitnahe Untersuchung der Brennstäbe zu ermöglichen. Das ENSI erteilte als zuständige Behörde diese Sondervereinbarung.

## 8.4 Beschaffung von Transport- und Lagerbehältern

Das Konzept der Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und hochaktiver Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (Glaskokillen) besteht darin, diese Abfälle in störfallsicheren Transport- und Lagerbehältern (T/L-Behältern) einzuschliessen, deren Dichtheit im Zwischenlager kontinuierlich überwacht wird. Im Falle des KKG erfolgt vorgängig zu dieser Behälterlagerung eine verlängerte Lagerung unter Wasser im ebenfalls störfallsicheren externen Nasslager auf dem Betriebsgelände des KKG.

Die T/L-Behälter werden von den KKW beziehungsweise von den Wiederaufarbeitungsanlagen zum jeweiligen Zwischenlager transportiert, dort in der Behälterlagerhalle abgestellt und an ein Überwachungssystem angeschlossen, das die Dichtheit überwacht. Die Behälter müssen die Sicherheit für den gesamten Zeitraum der Zwischenlagerung gewährleisten, weshalb hierfür gegenüber einem reinen Transportbehälter nochmals erhöhte Anforderungen zu erfüllen sind. Details und Verfahren hierzu regelt die Richtlinie HSK-G05. Mit dieser Richtlinie sind nicht nur die Anforderungen an die Auslegung der T/L-Behälter spezifiziert, sondern auch die Anforderungen an die Behälterfertigung,

wie etwa Qualitätsanforderungen, begleitende Kontrollen oder Behälterdokumentation. Bei der Fertigung der T/L-Behälter sind festgelegte und vom ENSI freigegebene Abläufe einzuhalten. Diese werden im Auftrag des ENSI von unabhängigen Experten kontrolliert. Das ENSI bestätigte für jedes einzelne Behälterexemplar den qualitätsgerechten Abschluss der Fertigung durch seine Freigabe zur Verwendung (Kernenergierecht) und im Gefahrgutrecht durch die Registrierung als Versandstück für radioaktive Stoffe.

Ende 2017 befanden sich 33 Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente in den verschiedenen Fertigungsphasen, von der Fertigungsvorbereitung bis zur Freigabe zur Verwendung und der Registrierung durch das ENSI. Diese verteilten sich auf drei verschiedene zugelassene Bauarten. Soweit sich Abweichungen bei deren Fertigung ergaben, wurden diese in allen Fällen von den Herstellern korrigiert oder nach eingehender Prüfung als akzeptabel qualifiziert, nachdem die auslegungsgemässe Sicherheit des jeweiligen Behälters nachgewiesen werden konnte. Die Behälterhersteller und die schweizerischen KKW schenken der Vermeidung von Abweichungen beziehungsweise den Vorkehrungen gegen deren Wiederholung im Berichtszeitraum verstärkte Beachtung, sodass die Behälterfertigungsprozesse dadurch inzwischen deutlich weniger behindert werden. Dies drückte sich sowohl durch einen früheren Abschluss der Dokumentationsprüfung als auch generell in kürzeren Fertigungszeiten aus. Das ENSI nahm im Berichtsjahr drei Behälterexemplare gemäss der Richtlinie HSK-G05 ab und gab vier beladene Behälter zur Einlagerung im ZZL frei.

Das ENSI bediente sich zur Fertigungsüberwachung externer Sachverständiger, zum weitaus überwiegenden Teil aus der Schweiz, aber in Einzelfällen auch aus den Herstellungsländern.

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

Im Berichtsjahr befanden sich vier Behälterbauarten im Bauartfreigabeverfahren nach der Richtlinie HSK-G05. Auch bei dieser Begutachtung griff das ENSI punktuell auf die Kapazitäten externer Experten zurück. Das ENSI erteilte für eine Behälterbauart die Bauartfreigabe nach Richtlinie HSK-G05.

## 8.5 Inspektionen und Audits

Bei der Beförderung radioaktiver Stoffe müssen zur Sicherheit des Transportpersonals und der Bevölkerung die Strahlenschutz- und Transportvorschriften eingehalten werden. Die Qualitätssicherungsprogramme der Konstrukteure und Hersteller von Verpackungen sowie jene 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.

Das ENSI führte im Berichtsjahr in seinem Aufsichtsbereich zehn Inspektionen im Bereich Transporte und Behälter für radioaktive Stoffe durch. Die Inspektionen betrafen den Versand und Empfang von Brennelementen, Brennstäben, radioaktiven Abfällen, Proben, kontaminierten Werkzeugen, leeren Verpackungen sowie die Instandhaltung, das Vorhalten von Ersatzteilen und den Dichtungs-austausch betreffend Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente. Die gefahrgutrechtlichen Grenzwerte, insbesondere für Kontamination und Dosisleistung, wurden in allen Fällen eingehalten. In einem Fall wurde ein Verbesserungsbedarf beim Prozess zur Ersatzteilbewirtschaftung identifiziert. Dieser Prozess wurde inzwischen in Abstimmung unter allen Betroffenen etabliert. In einem anderen Fall wurden Schwierigkeiten bei der Handhabung eines Zentriergestells infolge einer Abweichung von der Spezifikation der Beförderungsgenehmigung festgestellt und als Verbesserungsbedarf bewertet. Dies führte zur Aufhebung der zugrunde liegenden Beförderungsgenehmigung unter Sondervereinbarung. Zusätzlich wurde eine Ursachenanalyse verbunden mit einer Anpassung der relevanten Arbeitsanweisungen gefordert. In einem Fall wurde aufgrund vorbildlicher Vorgabedokumente und Arbeitsausführung eine Bewertung «gute Praxis» vergeben.





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

## 9. Geologische Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle

### 9.1 Einleitung

In der Schweiz sind die Verursacher gesetzlich verpflichtet, ihre 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 sowie eines für hochaktive Abfälle. Ein Kombilager ist möglich, wenn ein Standort für beide Abfallarten geeignet ist und sich die beiden Lagertypen nicht gegenseitig negativ beeinflussen. Die durch die Nagra verfolgte wissenschaftliche und 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 (Kapitel 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 gegenwärtig am Ende der Etappe 2. Ende Januar 2015 reichte die Nagra den Vorschlag für die in der Etappe 3 weiter zu untersuchenden Standortgebiete mit umfangreichen Unterlagen ein. Das ENSI überprüfte diesen Vorschlag und veröffentlichte im April 2017 sein entsprechendes Gutachten. Externe Experten unter-

stützten das ENSI bei seiner Beurteilung, insbesondere swisstopo und die internationalen Experten der Expertengruppe geologische Tiefenlagerung (EGT) (Kapitel 9.7).

Im Hinblick auf das in der Etappe 3 des Sachplanverfahrens vorgesehene Rahmenbewilligungsgesuch sind erdwissenschaftliche Untersuchungen im Gegensatz zu den 3D-seismischen Messungen gemäss Kernenergiegesetzgebung bewilligungspflichtig. Verfahrensleitende Behörde ist das BFE. Die Nagra reichte für Tiefbohrungen und Quartärbohrungen Gesuche ein. Das ENSI beurteilte diese im Auftrag des BFE in bohrplatzspezifischen Gutachten (Kapitel 9.3).

Im Dezember 2016 reichte die Nagra turnusgemäss ihr Entsorgungsprogramm 2016 ein, erstmals zeitgleich dazu auch das Entwicklungs- und Forschungsprogramm sowie die Kostenstudie 2016 zu den Kosten der Entsorgung. Das ENSI beurteilte im Berichtsjahr alle drei Dokumente. Die Stellungnahme zur Kostenstudie wurde bereits veröffentlicht (Kapitel 9.4 und 9.5).

Im Hinblick auf die Etappe 3 des Sachplanverfahrens beschloss das ENSI im Berichtsjahr die Richtlinie ENSI-G03 zu überarbeiten. Das ENSI evaluierte den Änderungsbedarf, nahm einen Vergleich mit internationalen Regelwerken vor und erarbeitete zur Neuauflage der Richtlinie einen Projektplan (Kapitel 9.6).

Neben den Arbeiten zum Sachplan, zu den Sondiergesuchen für Bohrungen, zur Kostenstudie und zum Entsorgungsprogramm führten das ENSI und von ihm beauftragte Experten für die Tiefenlagerung relevante Untersuchungen und Forschungsarbeiten durch. Ein signifikanter Teil dieser Daten stammt aus dem Felslabor Mont Terri. Das ENSI war auch im Berichtsjahr an mehreren der dort laufenden Forschungsprojekte beteiligt (Kapitel 9.8). Ein detaillierter Überblick über die vom ENSI geleisteten 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 Gremien und Forschungsprogrammen (Kapitel 9.9).

## 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 (Südranden, Zürich Nordost, Nördlich Lägern, Jura Ost, Jura-Süd-

Besucherguppe im  
Felslabor Mont Terri.  
Bild: swisstopo



fuss und Wellenberg) sowie drei Standortgebiete für die Lagerung hochaktiver Abfälle (Zürich Nordost, Nördlich Lägern und Jura Ost) wurden in die Raumplanung der jeweiligen Region integriert und bildeten den Ausgangspunkt für die Etappe 2. In dieser wurden die Standortgebiete verglichen, um für die weiteren Untersuchungen in der Etappe 3 mindestens zwei geologische Standortgebiete pro Lagertyp auszuwählen.

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

Das ENSI stellte fest, dass die Nagra die vorgegebenen Kriterien zu Sicherheit und technischer Machbarkeit bei der Erarbeitung der Vorschläge adäquat und stufengerecht berücksichtigt hatte. Die Nagra legte ihren Vorschlag gemäss den Vorgaben des Sachplans transparent und grösstenteils nachvollziehbar dar. Die Nagra erläuterte die verfügbare relevante geologische Information und deren Berücksichtigung ausführlich. Das ENSI kam zum Schluss, dass diese geologische Information ausreichend für die Zwecke einer provisorischen Sicherheitsanalyse und den Standortvergleich in der Etappe 2 des SGT ist und dass die Nagra diese Information in ihrem Vorschlag berücksichtigt hatte. Damit wurden alle 41 sicherheitstechnischen Forderungen des ENSI an die Nagra zur Erreichung des notwendigen Kenntnisstands in der Etappe 2 des SGT erfüllt.

Aus Sicht des ENSI sind aufgrund der Resultate der Dosisberechnungen oder der qualitativen Bewertung keine Standortgebiete zurückzustellen. Damit bestätigte das ENSI die Aussage der Nagra, dass in allen Standortgebieten grundsätzlich sichere geologische Tiefenlager erstellt werden können.

Die Zurückstellung eines Standortgebiets in der Etappe 2 des SGT ist nur über eindeutige Nachteile basierend auf den Kriterien zur Sicherheit und technischen Machbarkeit möglich.

Das ENSI kam bezüglich der von der Nagra identifizierten eindeutigen Nachteile insbesondere bei der Beurteilung der maximalen Tiefenlage und des Platzangebots zu einer abweichenden Beurteilung. Deshalb konnte das ENSI dem Vorschlag der Nagra, das Standortgebiet Nördlich Lägern zurückzustellen, nicht zustimmen.

Das Vorgehen der Nagra unter Einbezug überwiegend konservativer geomechanischer Grundlagen und vereinfachter Berechnungsannahmen bestätigte aus der Sicht des ENSI grundsätzlich die bautechnische Machbarkeit in den Standortgebieten. Das ENSI beurteilte das Vorgehen im Sinn rein bautechnischer Machbarkeitsüberlegungen als ausreichend. Für die quantitative Beurteilung der Tiefen-

lage und den Nachweis eindeutiger Nachteile aus bautechnischer Sicht sind die geomechanischen Grundlagen, insbesondere die Annahmen zu den geomechanischen Parametern, jedoch nicht belastbar. Die wenigen aus der Bohrung Schlattingen-1 stammenden belastbaren Daten zeigen deutlich günstigere geomechanische Eigenschaften, als von der Nagra angenommen. Belastbare standortspezifische geomechanische Grundlagen lagen nicht vor. Aus Sicht des ENSI gibt es derzeit keine bautechnischen Gründe, die eine Einschränkung der Tiefenlage in der Etappe 2 des SGT stützen würden. Daher stimmte das ENSI der Begrenzung der Tiefenlage für SMA- und HAA-Lager auf 600 beziehungsweise 700 m u. T. durch die Nagra nicht zu und identifizierte für das Standortgebiet Nördlich Lägern keinen eindeutigen Nachteil.

Das Platzangebot im Standortgebiet Nördlich Lägern wird neben der maximalen Tiefenlage auch durch die von der Nagra im Norden des Standortgebiets angenommene zu meidende tektonische Zone beeinflusst. Die Existenz dieser Zone ist aus Sicht des ENSI möglich. Jedoch konnte aufgrund der vorliegenden Daten diese zu meidende tektonische Zone weder exakt abgegrenzt, noch der Grad der tektonischen Zergliederung (und somit die Bedeutung für die geologische Langzeitstabilität) belastbar belegt werden. Die Nagra nahm ausserdem aus geologischen Überlegungen eine standortspezifische Abschätzung des Platzbedarfs für Tiefenlager vor. Auch diese wurde aufgrund der zur Verfügung stehenden Daten nicht belastbar nachgewiesen. Damit geht das ENSI in der Etappe 2 des SGT von einem ausreichenden Platzangebot untertags im Standortgebiet Nördlich Lägern aus und identifizierte daher keinen eindeutigen Nachteil.

Gemäss den Vorgaben des Konzeptteils des SGT (BFE 2011b) darf als Ergebnis aus der Etappe 2 des SGT kein Standortgebiet vorgeschlagen werden, das aufgrund der provisorischen Sicherheitsanalyse und der weiteren sicherheitstechnischen Aspekte eindeutig als weniger geeignet bewertet ist als andere Standortgebiete.

Das ENSI identifizierte in Übereinstimmung mit der Nagra eindeutige Nachteile für die SMA-Standortgebiete Südranden, Jura-Südfuss und Wellenberg im Vergleich zu den anderen SMA-Standortgebieten. Für das SMA-Standortgebiet Zürich Nordost sieht sowohl das ENSI als auch die Nagra eindeutige Nachteile bezüglich des Wirtgesteins Brauner Dogger und keine eindeutigen Nachteile bezüglich des Wirtgesteins Opalinuston. Für das SMA-Stand-

ortgebiet Jura Ost identifizierten sowohl das ENSI als auch die Nagra keine eindeutigen Nachteile. Für das SMA-Standortgebiet Nördlich Lägern sehen sowohl das ENSI als auch die Nagra eindeutige Nachteile bezüglich des Wirtgesteins Brauner Dogger. Im Gegensatz zur Nagra sind aus Sicht des ENSI für das SMA-Standortgebiet Nördlich Lägern bezüglich des Wirtgesteins Opalinuston keine eindeutigen Nachteile feststellbar. Aus dem Vergleich zwischen den SMA-Standortgebieten bezüglich der eindeutigen Nachteile wurden die Standortgebiete Südanden, Jura-Südfuss und Wellenberg zurecht als eindeutig weniger geeignet bewertet und zurückgestellt. Aus Sicht des ENSI ist keines der drei SMA-Standortgebiete Zürich Nordost, Jura Ost und Nördlich Lägern ohne eindeutige Nachteile zurückzustellen. Die Zurückstellung des SMA-Standortgebiets Nördlich Lägern ist nach Ansicht des ENSI basierend auf den vorliegenden Daten und Kenntnissen nicht belastbar. Es ist davon auszugehen, dass insbesondere die fehlenden standortspezifischen Daten durch erdwissenschaftliche Untersuchungen in der Etappe 3 des SGT ergänzt werden können.

Für die HAA-Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost identifizierten 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. Aufgrund der vorliegenden Daten sowie der bestehenden Ungewissheiten, die in der Etappe 3 des SGT weiter reduziert werden können, konnte kein HAA-Standortgebiet als eindeutig weniger geeignet als die anderen Standortgebiete bewertet werden. Eine Zurückstellung des HAA-Standortgebiets Nördlich Lägern basierend auf den vorliegenden Daten und Kenntnissen beurteilte das ENSI als nicht belastbar. Daher ist keines der HAA-Standortgebiete zurückzustellen. Es ist davon auszugehen, dass insbesondere die fehlenden standortspezifischen Daten durch erdwissenschaftlichen Untersuchungen in der Etappe 3 des SGT ergänzt werden können.

Aus Sicht des ENSI sind die drei geologischen Standortgebiete Zürich Nordost, Jura Ost und Nördlich Lägern jeweils sowohl für ein SMA-Lager und als auch für ein HAA-Lager in der Etappe 3 des SGT vertieft weiter zu untersuchen.

Das ENSI nahm die Überlegungen der Nagra zu einem Kombilager zur Kenntnis, nahm jedoch im Rahmen seiner Beurteilung zur Etappe 2 des SGT dazu nicht explizit Stellung, da das Ziel der Etappe auf der Standorteinengung liegt. Die Vor- und

Nachteile eines Kombilagere im Vergleich zu zwei Lagern in separaten Standortgebieten sind von der Nagra in der Etappe 3 des SGT darzulegen.

Im Anschluss an die Veröffentlichung des Gutachtens organisierte das BFE in allen drei Regionen Informationsanlässe. Das ENSI stellte an diesen Anlässen seine Beurteilung der Öffentlichkeit vor.

Das BFE bereitete ausserdem die Unterlagen für die Vernehmlassung vor. Das ENSI erstellte dafür Teile des Ergebnisberichts und des Erläuterungsberichts.

### **Vorgaben für die Etappe 3 des SGT**

Das ENSI klärte im Berichtsjahr den Bedarf an sicherheitstechnischen Vorgaben für die Etappe 3 ab. Die Vorgaben präzisieren das Vorgehen der Entsorgungspflichtigen bei der Standortwahl und den Detaillierungsgrad an das Rahmenbewilligungsgesuch. Die Themen beinhalten die Schritte zur Standortwahl, den Umgang mit einem Kombilager, den Detaillierungsgrad der Sicherheitsanalysen für die Standortwahl und den gewählten Standort, die Anforderungen an die erdwissenschaftlichen Untersuchungen, an die qualitative Bewertung und an die Dokumentation. Die Vorgaben werden zu Beginn der Etappe 3 vorliegen.

### **Technisches Forum Sicherheit**

Das Technische Forum Sicherheit (TFS) dient im Rahmen des Sachplans als eine Informations- und Austauschplattform. In diesem Forum werden technische und wissenschaftliche Fragen zur Sicherheit und Geologie aus der Bevölkerung, von Gemeinden, Standortregionen, Organisationen, Kantonen und Gemeinwesen betroffener Nachbarstaaten diskutiert und beantwortet. Das TFS besteht aus Fachpersonen der verfahrensleitenden Behörde (BFE), der überprüfenden (ENSI) beziehungsweise unterstützenden Behörde (swisstopo), von 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 auf der Website [www.technischesforum.ch](http://www.technischesforum.ch) zur Verfügung gestellt. Im Berichtsjahr fanden vier Sitzungen des TFS statt. Von den bisher im TFS aufgenommenen 148 Fragen waren 137 bis Ende 2017 beantwortet. Neben der Beantwortung eingereicherter Fragen wurden im Berichtsjahr an den Sitzungen verschie-



Nivellierungsmessungen  
im Felslabor Mont Terri.  
Bild: swisstopo

dene Fachthemen vertieft diskutiert. Im März präsentierte die Fachgruppe Sicherheit der Regionalkonferenz Zürich Nordost ihren Bericht zur Prozesssicherheit und die Nagra informierte über mikrobielle Prozesse im geologischen Tiefenlager. An der Sitzung im Mai wurden die Stellungnahmen des ENSI, der EGT sowie einer Expertengruppe aus Deutschland zum Standorteinengungsvorschlag der Nagra in der Etappe 2 des SGT vorgestellt. Im September präsentierte ein Experte des Kantonalen Labors Schaffhausen seine Arbeit über die Rolle der Temperatur im Tiefenlager für hochaktive Abfälle. Im Zuge der letzten Sitzung im November informierte die EGT über die Datierung der Deckenschotter und die Ableitung von Erosionsraten und die Nagra erläuterte den technischen Ablauf einer Tiefbohrung.

#### Öffentlichkeitsarbeit

Das ENSI stellte im Frühling 2017 an Informationsveranstaltungen in den Standortgebieten die Resultate seiner Beurteilung der Öffentlichkeit vor. Nach Abschluss der Beurteilungsarbeiten nahm das ENSI auch regelmässig an den Vollversammlungen der Regionalkonferenzen (Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost) teil und informierte bei Bedarf die Fachgruppen Sicherheit der Regionalkonferenzen zu Fachthemen. In der zweiten Jahreshälfte 2017 beteiligte sich das ENSI an Führungen im Felslabor Mont Terri.

### 9.3 Prüfung der Sondiergesuche für die Etappe 3

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 unterzog diese vom ersten bis dritten Quartal 2017 einer detaillierten sicherheitstechnischen Beurteilung und stellte die entsprechenden Gutachten dem BFE Ende September termingerecht zu. Das ENSI nahm auch Stellung zu den eingegangenen Einsprachen seitens der betroffenen Kantone und Gemeinden sowie zu den zahlreichen Einsprachen Privater. Das ENSI informierte das BFE anfangs Oktober termingerecht mit einer Aktennotiz über seine entsprechenden Stellungnahmen.

Ende August reichte die Nagra sechs weitere Sondiergesuche (Tiefbohrungen) für das geologische Standortgebiet Nördlich Lägern ein. Das ENSI unterzog diese einer Vollständigkeits- und inhaltlichen Grobprüfung. Ende September teilte das ENSI dem BFE mit, dass alle Gesuche den Anforderungen des ENSI an die Detaillierung und fachliche Vollständigkeit genügen. Seit November befinden sich die Sondiergesuche für das Standortgebiet Nördlich Lägern in der detaillierten fachlichen Prüfung.

Die Nagra reichte neben den umfangreichen Sondiergesuchen für Tiefbohrungen im Berichtsjahr auch Sondiergesuche für untiefe Quartärbohrun-

gen ein. Das ENSI prüfte vom März bis Dezember fünf Sondiergesuche für Quartärbohrungen inhaltlich grob und anschliessend fachlich detailliert. Es reichte seine entsprechenden Gutachten termingerecht beim BFE ein.

Im Juni reichte die Nagra zudem ein Gesuch der Nagra betreffend die Verlängerung der Langzeitbeobachtung der bestehenden Sondierbohrung Benken ein. Das ENSI prüfte das Gesuch bis im Juli inhaltlich grob und retournierte es mit Ergänzungsanträgen dem zuständigen BFE. Seit Dezember befindet sich das Verlängerungsgesuch Benken in der detaillierten fachlichen Beurteilung.

Das ENSI führte mit der Nagra diverse Fachsitzungen zu den Sondiergesuchen (Tief- und Quartärbohrungen) zur Klärung von Verständnisfragen durch. Auch mit dem verfahrensleitenden BFE fanden im Berichtsjahr zahlreiche Fachgespräche im Hinblick auf die Entwicklung eines zweckmässigen Vollzugs der beantragten Bewilligungen für erdwissenschaftliche Untersuchungen statt. Die Nagra stellte ihre Arbeiten bezüglich der erdwissenschaftlichen Untersuchungen an zwei Sitzungen im Rahmen des 2015 eingesetzten Fachgremiums «Erdwissenschaftliche Untersuchungen» vor und diskutierte diese unter den Bundes- und kantonalen Behörden sowie Vertretern deutscher Fachbehörden breit. Im Zentrum standen vor allem die abgeschlossenen 3D-seismischen Untersuchungen in der Nordschweiz sowie die Sondiergesuche.

## 9.4 Kostenstudie

Die Eigentümer von Kernanlagen sind verpflichtet, die Kosten für die Stilllegung ihrer Anlage und die Entsorgung der Abfälle abzuschätzen und die Finanzierung sicherzustellen. Die Eigentümer zahlen deshalb neben den laufenden Stilllegungs- und Entsorgungskosten jährliche Beiträge in den Stilllegungsfonds und in den Entsorgungsfonds ein und tätigen während des Betriebs Rückstellungen für die Nachbetriebsphase. Das ENSI überprüfte im Berichtsjahr die entsprechende Kostenstudie 2016 in Bezug auf die für die Sicherheit relevanten Aspekte zuhanden der Fonds-Verwaltungskommission. Die Beurteilung des ENSI stützte sich dabei auf die Expertisen der TÜV NORD EnSys GmbH & Co KG und der Basler & Hofmann AG ab. Das ENSI kam zum Schluss, dass die technischen Grundlagen in der Kostenstudie 2016 zur Berechnung der voraussichtlichen Kosten für die Stilllegung der Kernanlagen in der Schweiz sowie für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle geeignet sind. Das ENSI veröffentlichte seine Stellungnahme auf seiner Website.

*Opalinuston im Fokus  
geologischer  
Messverfahren im  
Felslabor Mont Terri.  
Bild: swisstopo*



## 9.5 Entsorgungsprogramm

Die Kernenergieverordnung legt in Artikel 52 fest, dass die Entsorgungspflichtigen ein Entsorgungsprogramm vorlegen müssen, das alle fünf Jahre anzupassen ist. Zuständig für die Überwachung der Einhaltung des Programms sind das ENSI und das BFE. Das BFE prüft den Finanzplan für die Entsorgungsarbeiten bis zur Ausserbetriebnahme der Kernanlagen sowie das Informationskonzept der Nagra. Gemäss bundesrätlicher Auflage 6.1 aus der Verfügung des Bundesrates zum Entsorgungsprogramm 2008 vom 22. August 2013 veröffentlichte die Nagra im Dezember 2016 mit dem Entsorgungsprogramm (NTB 16–01) auch einen Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsplan (RD&D-Plan, NTB 16–02). Das ENSI prüfte, ob im Entsorgungsprogramm die in der Gesetzgebung aufgeführten Inhalte dargelegt und stufengerecht umgesetzt wurden. Einzelne Aspekte, die im Entsorgungsprogramm behandelt werden, beurteilte das ENSI bereits im Rahmen seines Gutachtens zur Etappe 2 des SGT. Das ENSI berücksichtigte zu einzelnen Teilaspekten, insbesondere bei der Überprüfung des RD&D-Plans der Nagra, die Einschätzungen der Experten der EGT.

## 9.6 Neuausgabe der Richtlinie ENSI-G03

Die Richtlinie ENSI-G03 umfasst die Anforderungen an die Auslegung, an den Betrieb und an die Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers, soweit sie nicht bereits übergeordnet durch die Gesetzgebung oder durch andere Richtlinien des ENSI abgedeckt sind. Sie regelt auch die Anforderungen an den Nachweis der Sicherheit für die Betriebs- und Nachverschlussphase. In der Richtlinie sind die Anforderungen an die Dokumentation und an deren langfristige Aufbewahrung eingeschlossen. Die Anforderungen an die Auslegung und die Sicherheit eines Tiefenlagers im Rahmen der Standort-suche legt der Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) fest. Sie werden deshalb in dieser Richtlinie nicht behandelt.

Zur Vorbereitung für die Neuausgabe der Richtlinie ENSI-G03 wurden relevante Dokumente mit den Anforderungen von internationalen Organisationen und Regelwerke von verschiedenen Ländern gesammelt. Ein Vergleich mit den Anforderungen des IAEA-Dokuments «Disposal of Radioactive Waste», No. SSR 5, zeigte, dass die aktuelle Version der Richtlinie ENSI-G03 alle Anforderungen des

IAEA-Dokuments berücksichtigt. Ein Vergleich mit den WENRA-Reference-Levels zeigte, dass die meisten Reference-Levels erfüllt und nur wenige Änderungen näher zu betrachten sind. Die aktuelle Version der Richtlinie bildet somit eine gute Basis für eine zukünftige Neuausgabe. Der allfällige Änderungsbedarf der Richtlinie ENSI-G03 von Dritten wurde zudem durch eine Umfrage bei EGT, KNS, BFE, AG SiKa/KES und der Nagra abgeklärt.

## 9.7 Expertengruppe geologische Tiefenlagerung

Gemäss dem SGT unterstützt die EGT das ENSI in seiner Arbeit der sicherheitstechnischen 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. Das ENSI führt das Sekretariat der EGT. Die Aktivitäten der EGT werden laufend auf deren Website [www.egt-schweiz.ch](http://www.egt-schweiz.ch) veröffentlicht. Im Berichtsjahr fanden sieben ganztägige Plenarsitzungen statt. Im Rahmen des SGT organisierte die EGT gemeinsam mit dem ENSI ein Mediengespräch, an dem die Stellungnahme der EGT zum Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit Fachreferaten zu wichtigen sicherheitstechnischen Themen vorgestellt wurde. Im Rahmen der Plenarsitzungen organisierte die EGT zwei Fachvorträge zur Methodik komplexer Beurteilungen und zur Rolle der Temperatur bei der Auslegung geologischer Tiefenlager. Vertreten war die EGT in zwei Sitzungen des Fachgremiums Erdwissenschaftliche Untersuchungen, das sich mit dem Explorationskonzept der Nagra und den bis in der Etappe 3 des Sachplanverfahrens vorgesehenen Untersuchungen (3D-Seismik, Sondierbohrungen) auseinandersetzt. Verschiedene Vertreter der EGT nahmen ausserdem an den vier Sitzungen des Technischen Forums Sicherheit teil, an dem unter anderem die EGT-Stellungnahme präsentiert und über die Ero-

sion in den vorgeschlagenen Standortgebieten diskutiert wurde. An einem Seminar zum Thema Gasentwicklung und -transport war die EGT mit zwei Teilnehmern vertreten. Schliesslich nahmen zwei Vertreter der EGT an einem Kolloquium zum Thema Bautechnik teil, an welchem mit mehreren Experten die Bedeutung der Bautechnik für die Standortauswahl und das Rahmenbewilligungsverfahren in der Etappe 3 des SGT erörtert wurde.

Die EGT veröffentlichte im April die schriftliche Stellungnahme zum Vorschlag weiter zu untersuchen der geologischer Standortgebiete in der Etappe 3 des SGT gemeinsam mit dem Gutachten des ENSI. Die EGT stimmte darin der Zurückstellung der Standortgebiete Wellenberg, Südranden und Jura-Südfuss zu, konnte jedoch der Zurückstellung des Standortgebiets Nördlich Lägern nicht folgen und empfahl, dieses Standortgebiet, ebenso wie die von der Nagra vorgeschlagenen Standortgebiete Jura Ost und Zürich Nordost, in der Etappe 3 des SGT weiter zu untersuchen. Zuhanden des ENSI nahm die EGT zum Entsorgungsprogramm 2016 inklusive des Forschungs- und Entwicklungsplans 2016 der Nagra Stellung.

## 9.8 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 Barriersystems zu erhalten. Das ENSI ist seit 2003 mit eigenen Experimenten an der Erforschung des Opalinustons und tiefenlagerrelevanter Prozesse im Felslabor Mont Terri beteiligt, um die behördeninterne Fachkompetenz aufzubauen und zu erhalten sowie um eigene

Datensätze und Modelle zu entwickeln. Es wird dabei unter anderem unterstützt durch die Ingenieurgeologie der ETH Zürich. Die vom ENSI durchgeführten Forschungsarbeiten umfassten im Berichtsjahr insgesamt sieben Experimente:

Mit dem **FS**-Experiment möchte das ENSI das Verständnis der Stabilität von tektonischen Störungszonen in Tongesteinen und die 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. Im Berichtsjahr konzentrierten sich die Arbeiten auf den Abschluss der Auswertung und auf die mathematische Simulation im Vorjahr durchgeführter Tests.

Das **HM-B**-Projekt dient der Evaluierung der mechanisch erzeugten kapillaren Saugwirkung in Bohrungen im Opalinuston. Die Ergebnisse dieses Experiments sind relevant für die Beurteilung des kurzfristigen Gebirgsverhaltens (Festigkeit) und der Tragfähigkeit von untertägigen Bauwerken im Opalinuston. Im Berichtsjahr erfolgte der Ausgleich des Porenwasserdrucks im Testabschnitt der Pilotbohrung. Es wurde ein Zustand der Sättigung und des Gleichgewichts mit den Umgebungsbedingungen erreicht. Danach wurde die mit einem Packer-System ausgerüstete Pilotbohrung von der Gegenseite her überbohrt und dabei die Entwicklung des Porenwasserdrucks und der kapillaren Saugspannung im Testabschnitt kontinuierlich gemessen. Das Forscherteam der Rheinisch-Westfälischen Hochschule RWTH Aachen wird die abschliessende wissenschaftliche Analyse der Versuchsdaten durchführen.

Im Rahmen des **FM-D**-Experiments in Zusammenarbeit mit dem Karlsruher Institut für Technologie und swisstopo wurden im Berichtsjahr die Entwicklung des Bohrlochinstrumentes abgeschlossen und erste Versuche in Bohrlöchern durchgeführt. Mit der Auswertung der Resultate und der entsprechenden Berichterstattung wurde begonnen.

Das **HM-C**-Experiment dient der Kalibrierung und Validierung eines neuen Stoffgesetzes für den Opalinuston. Dabei stehen Aspekte im Vordergrund, die bis heute international nicht oder nur unvollständig untersucht wurden. Zur Kalibrierung des Stoffgesetzes und zur Komplementierung einer belastbaren empirischen Datengrundlage sollen Laborversuche

an Proben aus dem Felslabor Mont Terri durchgeführt werden. Hierfür sind zwei Bohrkampagnen vorgesehen. Zur Validierung des Stoffgesetzes sollen jedoch zunächst die Laborversuche numerisch simuliert werden (cm-Skala). Für die Validierung des Stoffmodells und der Stoffparameter und insbesondere zur Skalierbarkeit der Laborresultate auf die Prototyp-Skala (Meter-Skala) ist in einer späteren Phase die numerische Simulation existierender und neuer Feldversuche vorgesehen. Im Berichtsjahr wurde die Planung des Experiments konkretisiert. Das **MO**-Experiment dient der Vorbereitung und dem Testen von Monitoring-Techniken. In einem versiegelten Bohrloch werden die Langzeitbeständigkeit von Glasfaser-Kabeln und Sensoren unter In-Situ-Bedingungen im Opalinuston untersucht. Im Berichtsjahr wurden die seit 2012 kontinuierlich laufenden Messungen gestoppt und das System zurückgebaut. Die Glasfaser-Kabel und Sensoren konnten erfolgreich zurückgewonnen werden. Sie werden nun eingehend analysiert werden. Mit den Resultaten der materialtechnischen Analyse und einem Vergleich mit Rückstellproben soll das Projekt abgeschlossen werden. An diesem Projekt sind das ENSI, swisstopo und ANDRA beteiligt.

Das **SE-P**-Experiment beschäftigt sich mit langfristigen Selbstabdichtungsprozessen in durch den Tunnelvortrieb geschädigten Gebirgsbereichen des Opalinustons. Dazu werden die in den letzten Jahrzehnten aufgetretenen Selbstabdichtungsprozesse in ausgewählten, durch den Tunnelvortrieb geschädigten Gebirgszonen (EDZ) des Opalinustons charakterisiert. Die Faktoren sollen identifiziert werden, die die Selbstabdichtung des Opalinustons über diese Zeitskalen beeinflusst haben. Die Forschungsarbeiten werden im Rahmen einer Dissertation an der Ingenieurgeologie der ETH Zürich (2017 bis 2020) durchgeführt. Die wichtigsten Fragen des Forschungsvorhabens lauten:

- Wie entwickelt sich die EDZ des Opalinustons über zehn bis zwanzig Jahre?
- Wie wirken sich Schwankungen der Gesteins- und Gebirgseigenschaften auf die Selbstabdichtungseigenschaften des Opalinustons aus?
- Was sind die wichtigsten Selbstabdichtungsprozesse für die langfristige Entwicklung der EDZ des Opalinustons?

Im Berichtsjahr wurden zwei geeignete Tunnelabschnitte für die geplanten Untersuchungen ausgewählt. Die zu diesen Tunnelabschnitten archivierten Daten können benutzt werden, um die im Laufe der Zeit veränderten Gesteins- und Gebirgseigenschaften des Opalinustons zu identifizieren. Aus einer

umfassenden Durchsicht der bestehenden Datensätze und technischen Berichte wurden im Rahmen der Promotionsarbeit Modelle der geschädigten Gebirgsbereiche erarbeitet und durch eine separate Zusammenstellung der Literatur zu Versiegelungsprozessen in Tongestein ergänzt. Im Berichtsjahr wurde zudem mit ersten Feldarbeiten begonnen.

Das **SW-B**-Experiment dient der Planung eines ersten, grossmassstäblichen Versuchs unter Einbezug des Wirtgesteins zum Nachweis der Funktion von speziellen Dichtelementen, die als «Sandwich-System» vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) entwickelt wurden. Ziel war im Berichtsjahr die Klärung vorbereitender, planerischer Aspekte und Fragestellungen. Diese umfassen unter anderem die Festlegung der Ziele des Experiments, die Dimensionierung, die Festlegung des Versuchsortes, die Instrumentierung, die Materialauswahl und Festlegung der Bautechnik, begleitet von Auslegungsrechnungen.

## 9.9 Internationaler Wissenstransfer

Basis der fachlichen Beurteilungsarbeit des ENSI ist die Festlegung des Standes von Wissenschaft und Technik. Das ENSI legt daher Wert auf seine Mitarbeit in diversen nationalen und internationalen Arbeitsgruppen, um Fragestellungen im Bereich der Entsorgung in geologischen Tiefenlagern vor allem im europäischen Rahmen zu verfolgen und sich bezüglich des Standes von Wissenschaft und Technik über die aktuellen Entwicklungen zu informieren. Neben der Beteiligung an der internationalen Forschung im Felslabor Mont Terri (Kapitel 9.8) engagiert sich das ENSI in internationalen Forschungsprojekten zur Entsorgung und arbeitet in verschiedenen internationalen Gremien:

Das Projekt DECOVALEX-2019 begann im Jahr 2016 und soll 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 zwölf Organisationen verschiedener Länder teil. Das ENSI hat gemeinsam mit dem Lawrence Berkeley National Laboratory die Leitung eines der insgesamt sieben Arbeitspakete bezüglich der Aktivierung von Störungszonen übernommen. Das Projekt zielt auf eine Verbesserung des Prozessverständnisses sowie auf die Überprüfung und Erweiterung der Fähigkeit zur Simulation solcher Prozesse.

BIOPROTA ist ein internationales Forum, das sich mit Prozessen zur Freisetzung von Radionukliden aus einem Lager für radioaktive Abfälle in die Biosphäre befasst. Die Arbeiten betreffen den Umgang mit Ungewissheiten bei der Modellierung der Umweltauswirkungen und der entsprechenden Strahlenexposition im Zusammenhang mit dem Sicherheitsnachweis für geologische Tiefenlager. Das Forum trifft sich jährlich, um die Ergebnisse 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 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern 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) in Braunschweig und 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. Im Erfahrungs- und Forschungsbericht 2017 wird über das Projekt berichtet, das im Mai 2017 startete.

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). Im Berichtsjahr fand in Paris das 19. Treffen der Arbeitsgruppe IGSC statt. In dieser Arbeitsgruppe wird jeweils über landesspezifische und internationale Aktivitäten und Projekte in Bezug auf die Tiefenlagerung berichtet wie beispielweise über 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).

Die Schwerpunktthemen der IGSC im Berichtsjahr waren die Aspekte der Kritikalität und deren Be-

rücksichtigung im Sicherheitsnachweis sowie Vorkehrungen zur Kontrolle von spaltbaren Materialien (Safeguards) für geologische Tiefenlager. 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.

Der Clay Club befasste sich im Berichtsjahr mit der Fertigstellung des Entwurfs des Berichts «Argillaceous Media Database Compilation». Der Berichtsentswurf wurde an die beteiligten Organisationen zur Prüfung geschickt. Das Projekt wird von der Nuclear Waste Management Organisation (NWMO, Kanada) koordiniert. Ausserdem begannen die Arbeiten am neuen Projekt «CLAYWAT – Binding state and mobility of WATER in CLAY-rich media», welches von der Universität Bern durchgeführt wird. In diesem Projekt geht es um die Verbesserung der Methoden zur Bestimmung des Porenwassergehaltes in Tonen und Schiefertönen, die Interpretation der Porenwasserzusammensetzung aus Extraktionsexperimenten, die advective Mobilität des Porenwassers und die Evaluation geeigneter Methoden zur Charakterisierung des Bindungszustands von Porenwasser. In einer ersten Phase wurden die derzeit verfügbaren Methoden zur Analyse des Porenwassergehalts und der Porengrössenverteilung analysiert und dem Clay Club präsentiert. Dazu gehören Methoden wie die Nuclear-Magnetic-Resonance (NMR), Wasserabsorptionsisothermen oder Thermogravimetrie.

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 beschäftigte sich die EGOS neben den laufenden Projekten zu den Themen Brandschutz und Ventilation sowie Transport und Einlagerung in geologischen Tiefenlagern mit der Identifizierung von Betriebsgefährdungsbildern und ihrer Erfassung in einer Datenbank. Als neues Projekt wurde die Analyse von internationalen Erfahrungen mit Brandanalyse- und Brandbekämpfungsmethoden in geologischen Tiefenlagern vorgeschlagen und ins EGOS-Arbeitsprogramm 2018 bis 2019 aufgenommen. Dieses Arbeitsprogramm wurde zusammen mit dem aktualisierten EGOS-Mandat für die nächsten zwei Jahre verabschiedet.

# 10. Anlagenübergreifende Themen

## 10.1 Probabilistische Sicherheitsanalysen

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

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

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

Im Berichtsjahr wurden im Wesentlichen folgende Arbeiten durchgeführt:

- Das KKB reichte die neue PSA für interne Brände ein. Es handelt sich um eine vollständige Überarbeitung der Brand-PSA. Ferner wurden die Verbesserungspunkte zu SAMG (Severe Accident Management Guidance), welche im Rahmen der ENSI-Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) 2012 identifiziert wurden, vom KKB behandelt.
- Das KKG bearbeitete Nachforderungen, welche sich aus der Überprüfung der im Vorjahr eingereichten PSA ergaben. Die Nachforderungen betrafen im Wesentlichen die Zuverlässigkeit von Komponenten und Operatorhandlungen sowie Aspekte der Brand-PSA.
- Das KKL reichte Unterlagen zu den Nachforderungen des ENSI ein, die sich aus der Grobprüfung der vom KKL im Jahr 2016 eingereichten PSA ergeben hatten. Ferner arbeitete das KKL am Projekt zur Ausrüstung des Containments mit passiven autokatalytischen Rekombinatoren in Kombination mit passiven Zündern, um die Gefährdung durch Wasserstoff zu reduzieren.
- Wie vom ENSI mit der Stellungnahme zur PSÜ 2010 gefordert, überarbeitete das KKM die Stufe-2-PSA für den Leistungsbetrieb und die Stufe-1-PSA für den Nichtleistungsbetrieb. Wichtige Modelländerungen betrafen insbesondere die Brand-PSA, die wie bereits für die Stufe-1-PSA für den Leistungsbetrieb nun auch für den Nichtleistungsbetrieb komplett überarbeitet wurde.

Darüber hinaus arbeitete das KKM an der geforderten Umsetzung des im Rahmen der Stellungnahme zur PSÜ identifizierten Verbesserungsbedarfs zur Stufe-2-PSA für den Nichtleistungsbetrieb. Die Aktualisierung der PSA-Modelle für die Etablierung des technischen Nachbetriebs und für die erste Stilllegungsphase bildete einen weiteren Arbeitsschwerpunkt für das PSA-Team des KKM.

Gemäss den per Ende 2017 vorliegenden Analysen der Schweizer KKW wird das von der IAEA für bestehende Anlagen empfohlene probabilistische Sicherheitsziel einer Kernschadenshäufigkeit von weniger als  $10^{-4}$  pro Jahr von allen Anlagen eingehalten.

## 10.2 Risikotechnische Beurteilung der Betriebserfahrung

Die probabilistische Bewertung der Betriebserfahrung der KKW der Schweiz erfolgt auf zwei Arten, einerseits durch eine zusammenfassende Bewertung des gesamten Vorjahres und andererseits laufend durch die risikotechnische Bewertung einzel-

ner Vorkommnisse. Im Folgenden wird auf die beiden Analysen eingegangen:

- Alle Kernkraftwerksbetreiber reichten eine probabilistische Bewertung der Betriebserfahrung des Vorjahres (2016) ein. Bei diesem Bewertungsverfahren wird anhand des PSA-Modells der Einfluss von unvorhergesehenen Kraftwerksabschaltungen sowie von Komponentenunverfügbarkeiten infolge Instandsetzungen, Wartung oder Funktionstests auf das Risiko eines Kernschmelzunfalls ermittelt.

Sowohl das wartungsbedingte, inkrementelle kumulative Risiko als auch die wartungsbedingten Risikospitzen für das Jahr 2016 erfüllten die Anforderungen gemäss der Richtlinie ENSI-A06. Unter latenten Fehlern werden Fehler verstanden, die unentdeckt bleiben, bis die betroffene Komponente angefordert oder geprüft wird. Für das kumulative Risiko können diese wichtig sein, weil hier neben der momentanen Risikoerhöhung durch eine Komponentenunverfügbarkeit auch die Dauer der Unverfügbarkeit eine Rolle spielt. Das KKL und das KKB (Block 2) identifizierten im Jahr 2016 latente Unverfügbarkeiten und berücksichtigen diese in der probabilistischen Bewertung der Betriebserfahrung. Deren Risikobeiträge waren jedoch unbedeutend.

- Meldepflichtige Vorkommnisse werden gemäss der Richtlinie ENSI-B03 in Ergänzung zur deterministischen Betrachtungsweise systematisch mit der PSA bewertet. Dazu wird die inkrementelle bedingte Kernschadenswahrscheinlichkeit eines Vorkommnisses ( $ICCDP_{Vorkommnis}$ ) gemäss der Richtlinie ENSI-A06 berechnet. Ein Vorkommnis wird anhand der  $ICCDP_{Vorkommnis}$  einer der Stufen 0 bis 3 der internationalen Bewertungsskala für nukleare Ereignisse (INES) zugeordnet.

Im Berichtsjahr waren alle von den Kernkraftwerksbetreibern mit der PSA bewerteten Vorkommnisse risikotechnisch unbedeutend. Sie wurden auf der INES-Skala aufgrund der Risikobewertung der Stufe 0 zugeordnet ( $ICCDP_{Vorkommnis}$  mindestens  $10^{-8}$ , jedoch kleiner als  $10^{-6}$ ) oder nicht eingestuft ( $ICCDP_{Vorkommnis}$  kleiner als  $10^{-8}$ ).

## 10.3 ADAM-System

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

- Das PI-Modul unterstützt den Pickettingenieur (PI) des ENSI im Einsatzfall. Es bereitet die ANPA-Werte grafisch so auf, dass sich der PI bei einem Störfall rasch über dessen Ablauf und Ausmass ins Bild setzen kann.
- Das Diagnosemodul interpretiert die ANPA-Werte und liefert Hinweise zu möglichen Ursachen eines Störfalles und zum Zustand wichtiger Anlagenteile.
- Mit dem Simulationsmodul kann eine Vielzahl von Unfallabläufen simuliert und untersucht werden. Mit dem Modul kann auch der Eintrittszeitpunkt bestimmter kritischer Ereignisse (Kernschaden, RDB-Versagen, gefilterte Druckentlastung usw.) abgeschätzt werden. Dieses Modul wurde leicht angepasst, um einige Aspekte bei Kühlmittelverluststörfällen besser abbilden zu können.
- Das STEP-Modul (Source Term Program) verwendet ANPA-Werte und Benutzereingaben, um Quellterme (Menge und Zeitverlauf der Freisetzung radioaktiver Stoffe) bei einem schweren Unfall abzuschätzen. Diese Quellterme wiederum können für Ausbreitungsrechnungen verwendet werden.

# Anhang

Sicherheitsbewertung		97
Abbildung 1	ENSI-Sicherheitsbewertungsskala	98
Abbildung 2	Definition der ENSI-Kategorien G, N, V und A	100
Tabelle 1	Hauptdaten der schweizerischen Kernkraftwerke 2017	101
Tabelle 2	Betriebsdaten der schweizerischen Kernkraftwerke 2017	101
Tabelle 3	Bestand an zulassungspflichtigem Personal und Gesamtbelegschaft in den Kernkraftwerken Ende 2017	101
Tabelle 4	Meldepflichtige Vorkommnisse im Bereich der nuklearen Sicherheit 2017	102
Tabelle 5	Kollektivdosen in den schweizerischen KKW im Berichtsjahr	103
Tabelle 6	Radioaktive Abfälle in den Kernkraftwerken und bei der Bundessammelstelle am PSI per 31.12.2017	103
Tabelle 7	Radioaktive Abfälle in den Anlagen der Zwiilag per 31.12.2017	103
Figur 1	Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung 2008–2017	104
Figur 2	Vorkommnisse 2008–2017	106
Figur 3	Ungeplante Reaktorschnellabschaltungen (Scrams) 2008–2017	107
Figur 4	Brennstabschäden (Anzahl Stäbe) 2007–2017	108
Figur 5a	Funktionsschema eines Kernkraftwerks mit Druckwasserreaktor	109
Figur 5b	Funktionsschema eines Kernkraftwerks mit Siedewasserreaktor	109
Verzeichnis der Abkürzungen		111



## 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 Sicherheitsbewertungsmatrix</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 2017

	KKB 1	KKB 2	KKM	KKG	KKL
Thermisch erzeugte Energie [GWh]	0	8710	8874	24400	17425
Abgegebene elektrische Nettoenergie [GWh]	-12,8	2814	2998	8084	5619
Abgegebene thermische Energie [GWh]	0	161,2	1,5	206	0
Zeitverfügbarkeit <sup>1</sup> [%]	0	88,3	92,9	93,0	61,0
Nichtverfügbarkeit durch Jahresrevision [%]	100	10,3	7,0	7,3	28,3
Arbeitsausnutzung <sup>2</sup> [%]	0	88,1	91,1	92,4	53,3
Anzahl ungeplanter Schnellabschaltungen (Scrams)	0	0	0	0	2
Unvorhergesehenes Abfahren der Anlage	0	1	0	0	0
Störungsbedingte Leistungsreduktionen <sup>3</sup> (>10% P <sub>N</sub> )	0	0	0	0	1

**Tabelle 2**  
Betriebsdaten der  
schweizerischen  
Kernkraftwerke 2017

<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 (37)	23 (18)	34 (32)	27 (29)
Schichtchef	28 (28)	10 (12)	16 (16)	18 (25)
Piketzingenieur	15 (15)	10 (9)	13 (13)	13 (10)
Strahlenschutzsachverständiger	6 (6)	6 (7)	4 (4)	7 (6)
Strahlenschutzfachkraft	7 (9)	12 (10)	6 (7)	8 (8)
Strahlenschutztechniker	6 (4)	8 (7)	5 (5)	7 (7)
Gesamtbelegschaft (Personen)	441* (483)	331 (335)	554 (549)	520 (526)

**Tabelle 3**  
Bestand an zulas-  
sungspflichtigem  
Personal und Gesamt-  
belegschaft in den  
Kernkraftwerken Ende  
2017 (in Klammern  
Werte von 2016)

\* Seit 2017 werden die Lernenden des KKB und des KKL, welche in der Aufstellung des Gesamtpersonalbestandes des KKB bis Ende 2016 enthalten waren, nicht mehr in die Zahl der Gesamtbelegschaft mit eingerechnet.

Das KKB und KKL beschäftigen gemeinsam jährlich ca. 30 Lernende in unterschiedlichen Ausbildungsberufen.

Tabelle 4  
Meldepflichtige  
Vorkommnisse im  
Bereich der nuklearen  
Sicherheit 2017

Datum	KKW	Vorkommnis	Einstufung INES
6.1.2017	KKB2	Störung in einer unterbrechungsfreien Stromversorgung	0
7.2.2017	KKL	Kontamination in einem Fundamentkontrollgang des Reaktorgebäudes	0
17.2.2017	KKL	Reaktorschnellabschaltung nach Störung im Abgassystem	0
1.3.2017	KKG	Ausfall einer Messstelle der Fortluftüberwachung im Kamin	0
6.3.2017	KKB1	Vertiefungen in der Plattierung des RDB	0
6.3.2017	KKB1	Unregelmässigkeiten in Schweißnähten der RDB-Tragpratzen	0
24.4.2017	KKG	Wellenbruch in einem Abgaskompressor	0
8.5.2017	KKM	Blockiertes Speisewasserregelventil	0
1.6.2017	KKG	Ausfall der Temperaturmessung im Reaktorgebäudesumpf	0
7.6.2017	KKL	Teilausfall des Steuerstab-Steuer- und Informationssystems	0
20.6.2017	KKG	Unregelmässigkeit in einer Schweißnaht an der Aussenseite eines Dampferzeugers	0
28.6.2017	KKG	Falsche Einbaulage einer Berstscheibe im Containment-Druckentlastungssystem	0
5.7.2017	KKG	Erhöhte Temperatur in Leittechnikschränken	0
8.7.2017	KKB2	Nichtverfügbarkeit einer Löschanlage	0
25.7.2017	KKB2	Ausfall eines Kanals der Niveaumessung eines Dampferzeugers	0
7.8.2017	KKB2	Automatische Absenkung der Reaktorleistung nach Fehlsignal	0
7.9.2017	KKM	Nichtverfügbarkeit einer Redundanz des Reaktorkernisolations-Kühlsystems	0
13.9.2017	KKB	Auslegungsabweichung in der Notstromversorgung	0
25.9.2017	KKM	Ausfall eines Kompressors der Fortluftüberwachung im Kamin	0
19.10.2017	KKL	Schäden an Komponenten des Vergiftungssystems	0
26.10.2017	KKL	Riss in einer Schweißnaht an einem Entleerungsventil	0
26.10.2017	KKL	Fehler bei der Qualitätssicherung neuer Brennelemente	0
2.11.2017	KKL	Fehler bei der Qualitätssicherung bestrahlter Brennelemente	0
14.12.2017	KKB1	Abweichung von der Spezifikation bei drei Abfallgebinden	0
18.12.2017	KKL	Reduktion der Reaktorleistung nach Fehler in der Neutronenflussregelung	0
21.12.2017	KKL	Reaktorschnellabschaltung nach fehlerhaftem Umschalten der Speisewasserpumpen	0

	KKB 1		KKB 2		KKG		KKL		KKM	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Aktionen										
BE-Wechsel			26							
Revisionsstillstand	441	79		247	350	206	915	1871	399	196
Zwischenabstellung										
Leistungsbetrieb	0	0	63	56	89	79	310	257	264	465
<b>Total</b>	<b>441</b>	<b>79</b>	<b>89</b>	<b>304</b>	<b>439</b>	<b>285</b>	<b>1225</b>	<b>2128</b>	<b>664</b>	<b>661</b>

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

	Anfall	unkonditioniert		Produktion	konditioniert	
		Auslagerung <sup>1</sup>	Bestand		Auslagerung <sup>2</sup>	Bestand
PSI	38	8	605	0	-	1562
KKB	27	145	35	4	-	1190
KKM	23	24	52	6	-	941
KKG	13	35	17	12	23	100
KKL	52	41	10	29	32	1389
<b>Total</b>	<b>153</b>	<b>253</b>	<b>719</b>	<b>51</b>	<b>55</b>	<b>5182</b>
Anzahl Behälter mit Brennelementen im KKB				-	-	8

**Tabelle 6**  
Radioaktive Abfälle in den Kernkraftwerken und bei der Bundes-sammelstelle am PSI per 31.12.2017 (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> ]	83 <sup>1</sup>	284	245 <sup>3</sup>	57
<b>Bestand (konditionierte Abfälle)</b>		<b>Einlagerung</b>	<b>Auslagerung</b>	<b>Bestand</b>
Bruttovolumen konditionierter Abfälle <sup>4</sup> [m <sup>3</sup> ]		112		2068
Anzahl Behälter mit Brennelementen		4		38
Anzahl Behälter mit Glaskokillen		0		23
Anzahl Behälter mit Lucens-Abfällen		-		6

**Tabelle 7**  
Radioaktive Abfälle in den Anlagen der Zwiilag per 31.12.2017

Hierin enthalten sind:

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

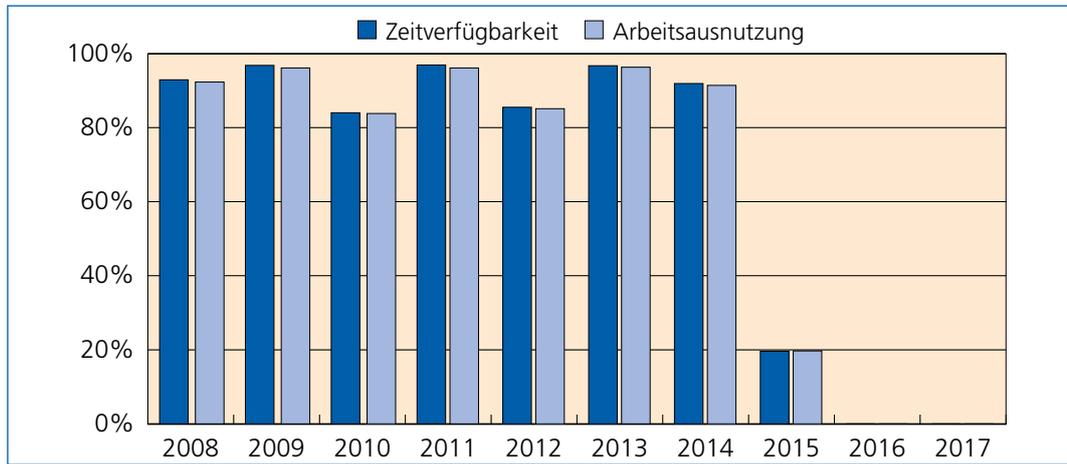
<sup>2</sup> Nur teilweise radioaktiver Abfall

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

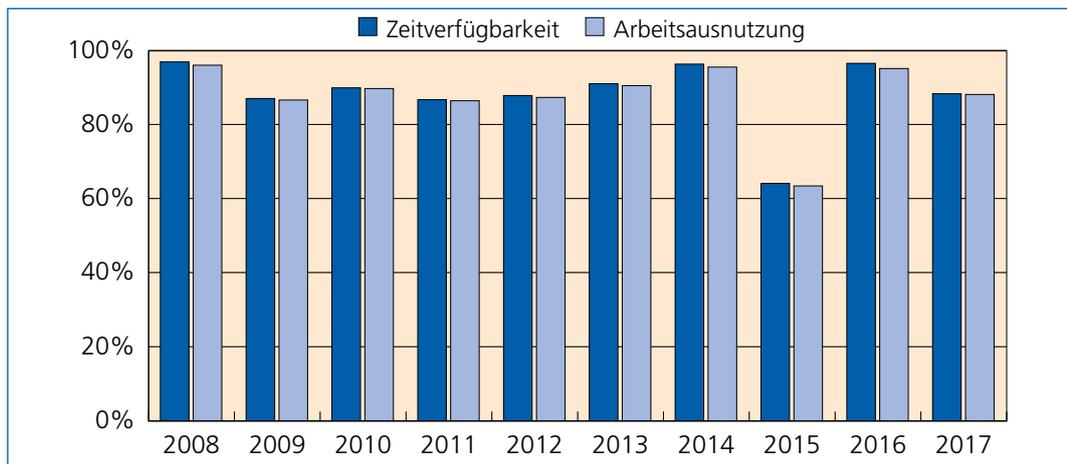
<sup>4</sup> Alle Lagerteile der Zwiilag ausgenommen separat aufgeführter Bestand des HAA-Lagers

**Figur 1**  
Zeitverfügbarkeit  
und Arbeitsausnutzung  
2008–2017

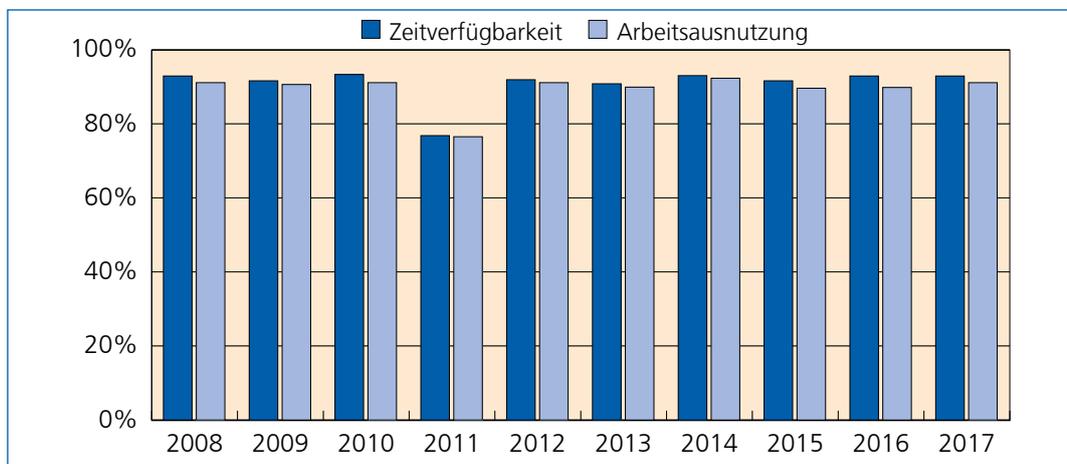
KKB 1

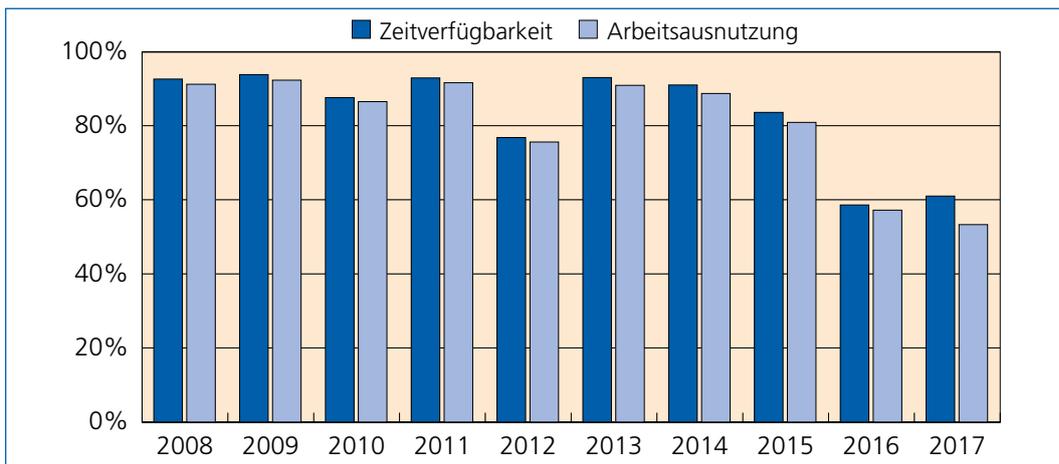
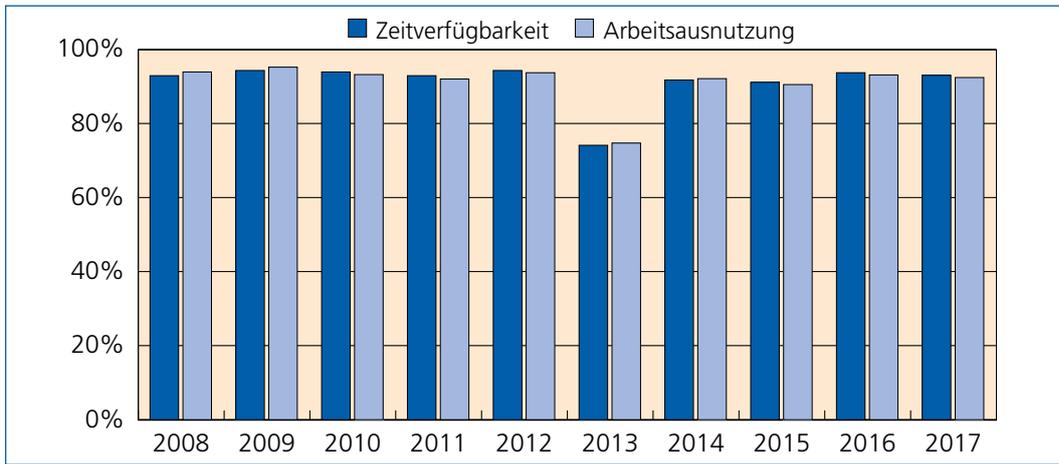


KKB 2



KKM

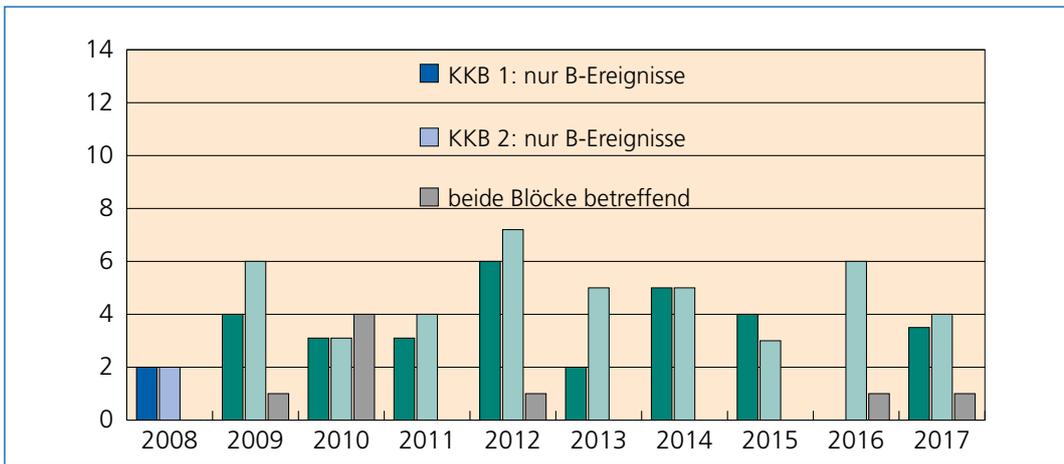




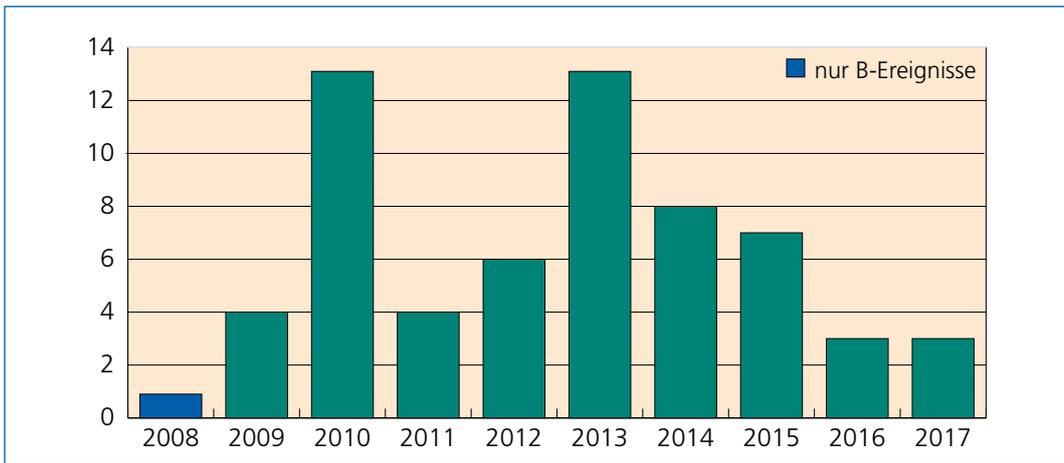
**Figur 2**

Meldepflichtige klassierte Vorkommnisse 2008 sowie meldepflichtige Vorkommnisse im Bereich der nuklearen Sicherheit 2009–2017. Aufgrund der geänderten Meldekriterien können die Zahlen von 2008 nicht mit denjenigen ab 2009 verglichen werden.

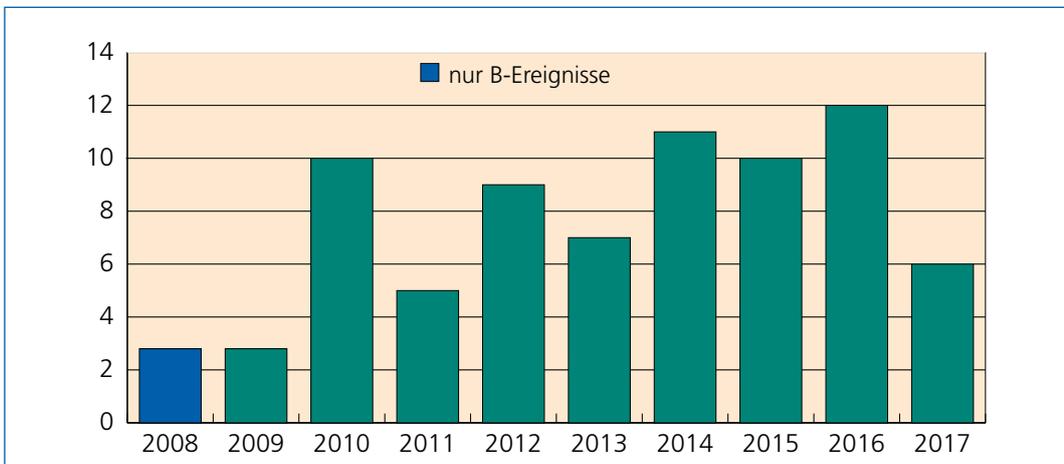
**KKB 1 + 2**



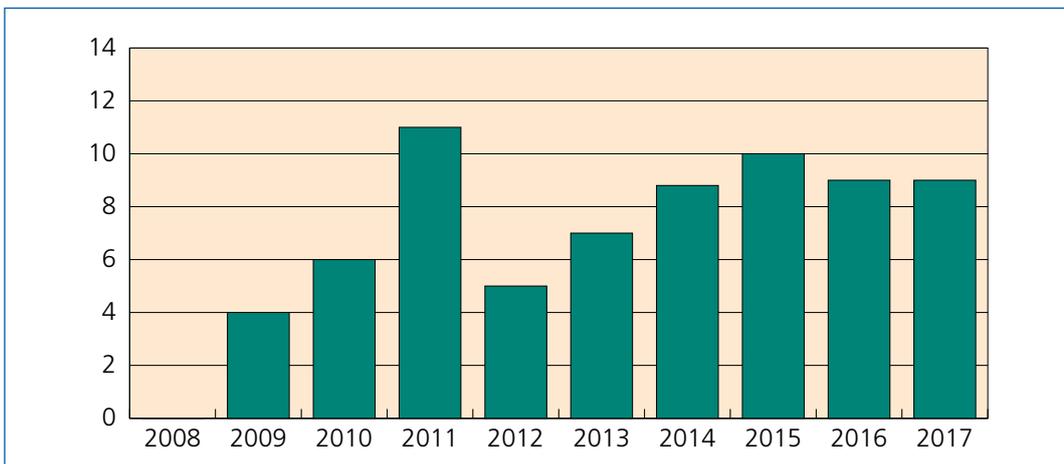
**KKM**



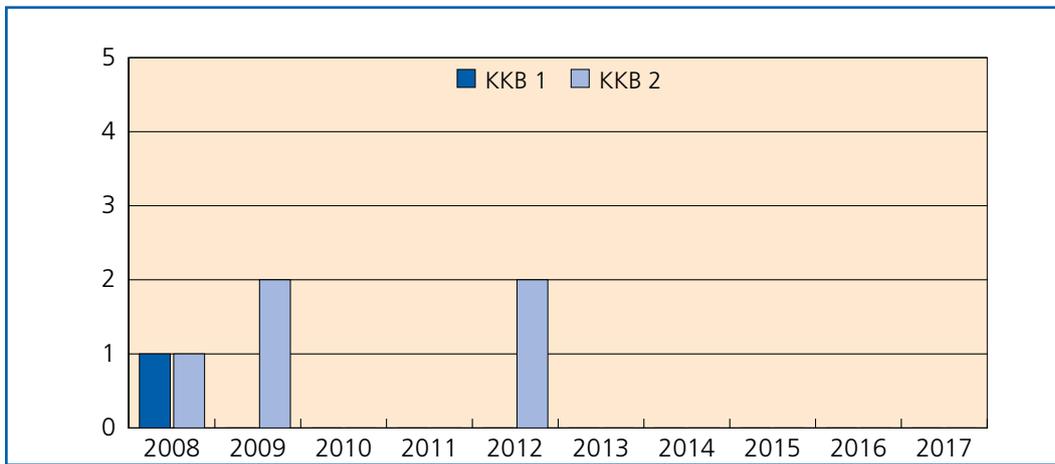
**KKG**



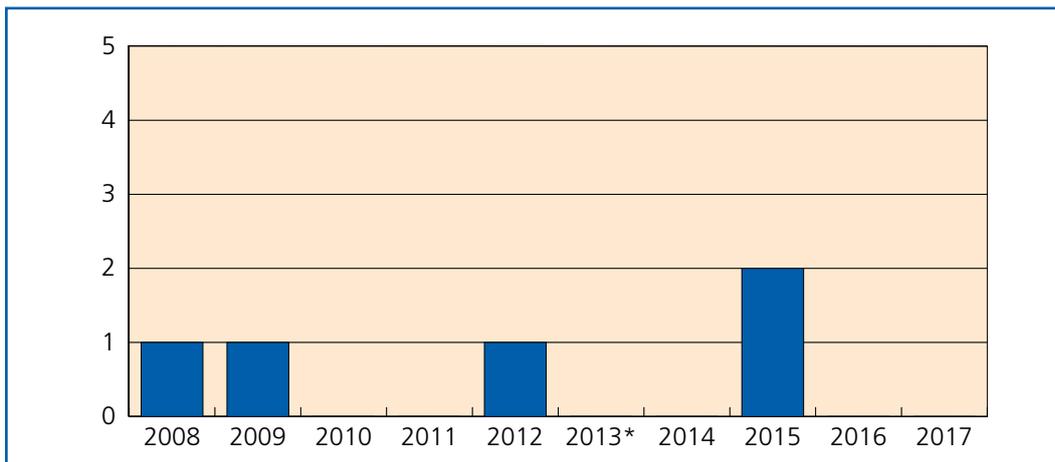
**KKL**



Figur 3  
 Ungeplante Reaktor-  
 schnellabschaltungen  
 (Scrams) 2008–2017

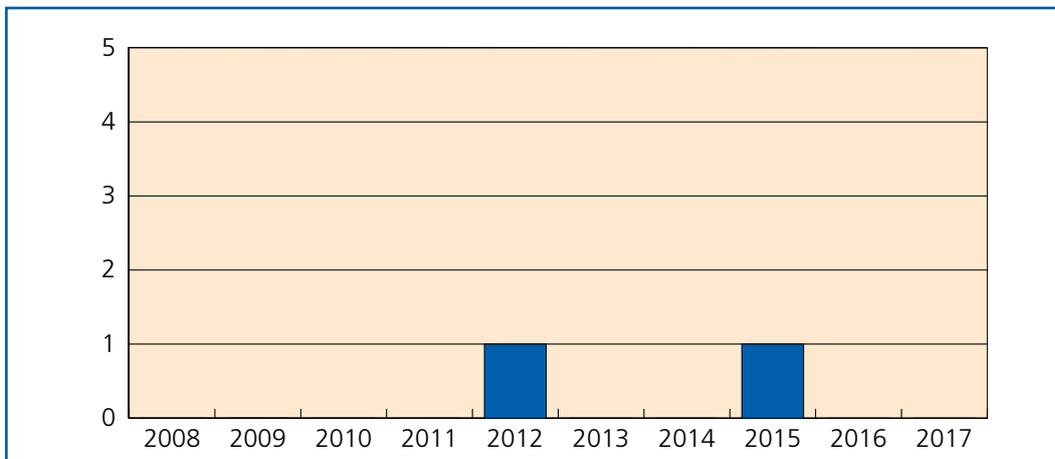


KKB 1 + 2

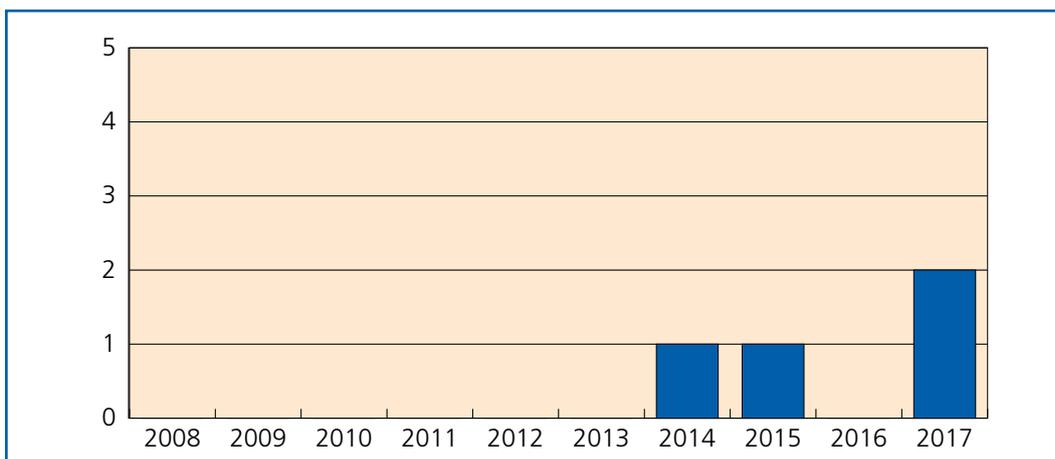


KKM

\* Scram bei  
 Kritikalitätstest  
 vor BE-Wechsel  
 bei Nullleistung



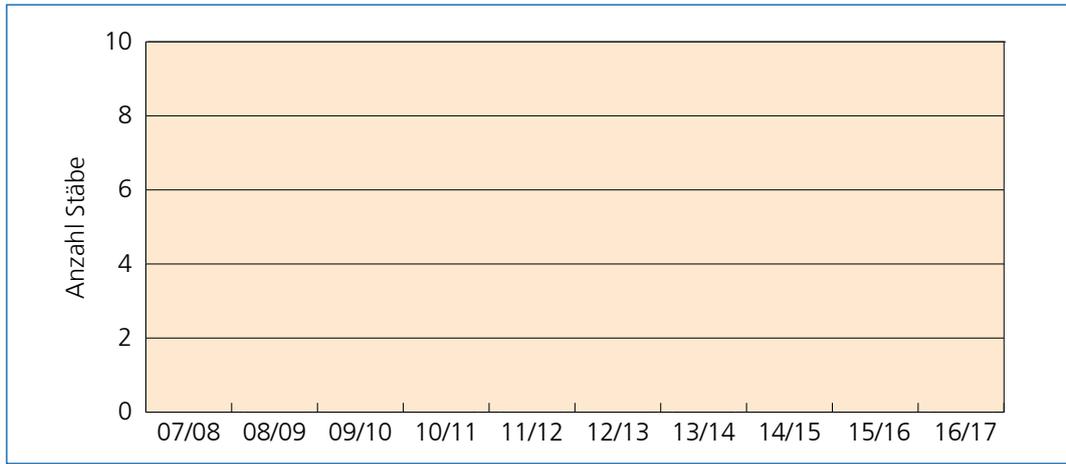
KKG



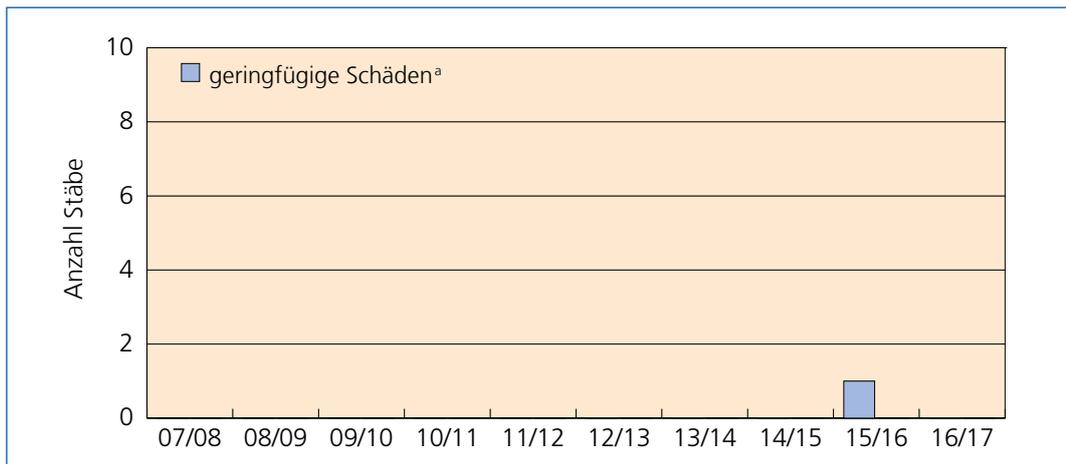
KKL

**Figur 4**  
 Brennstabsschäden  
 (Anzahl Stäbe)  
 2008–2017

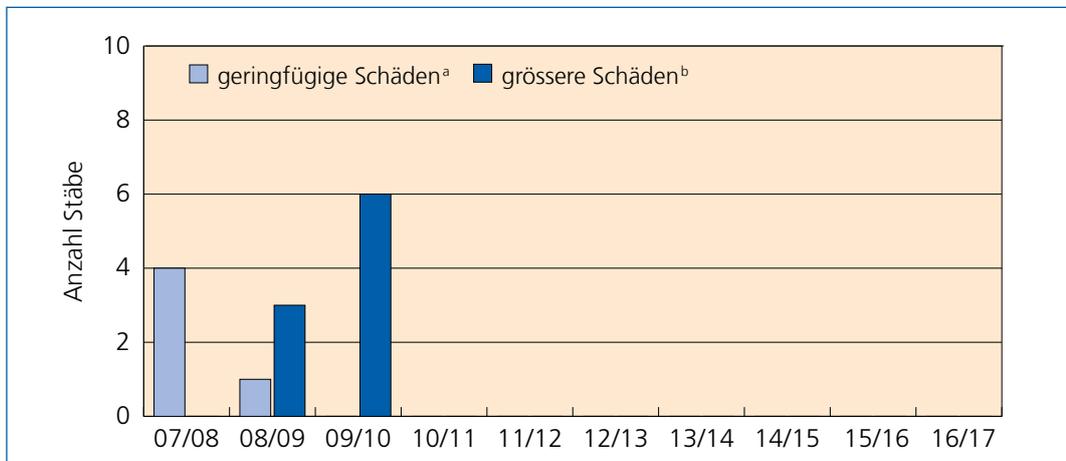
KKB 1 + 2



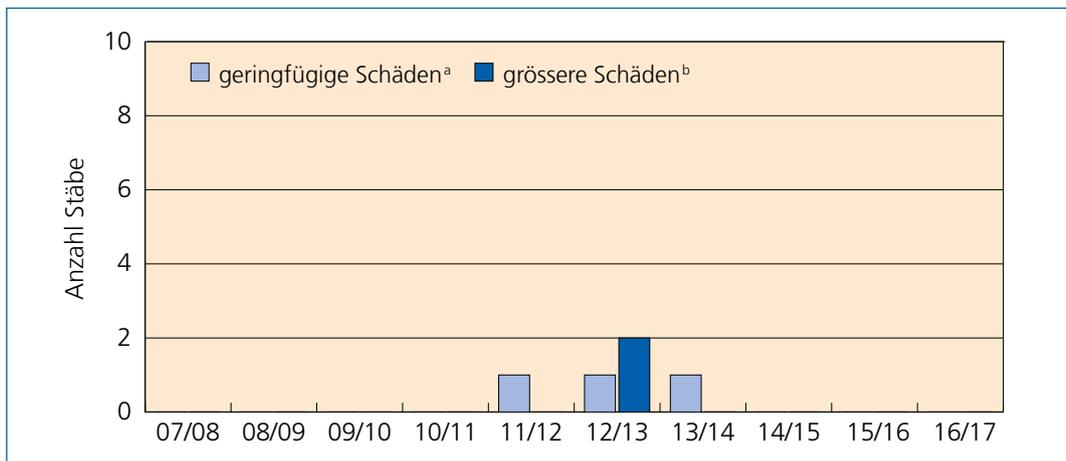
KKM



KKG

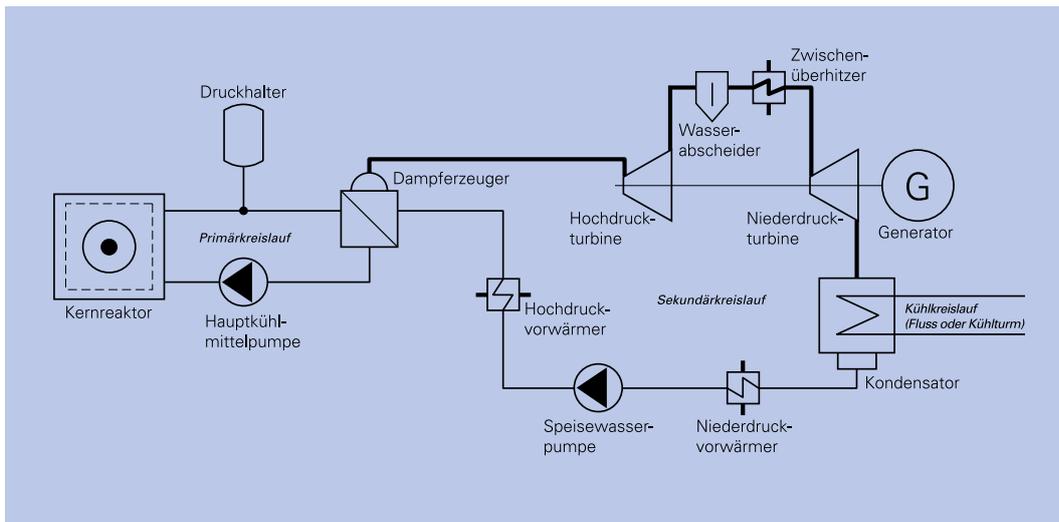


KKL

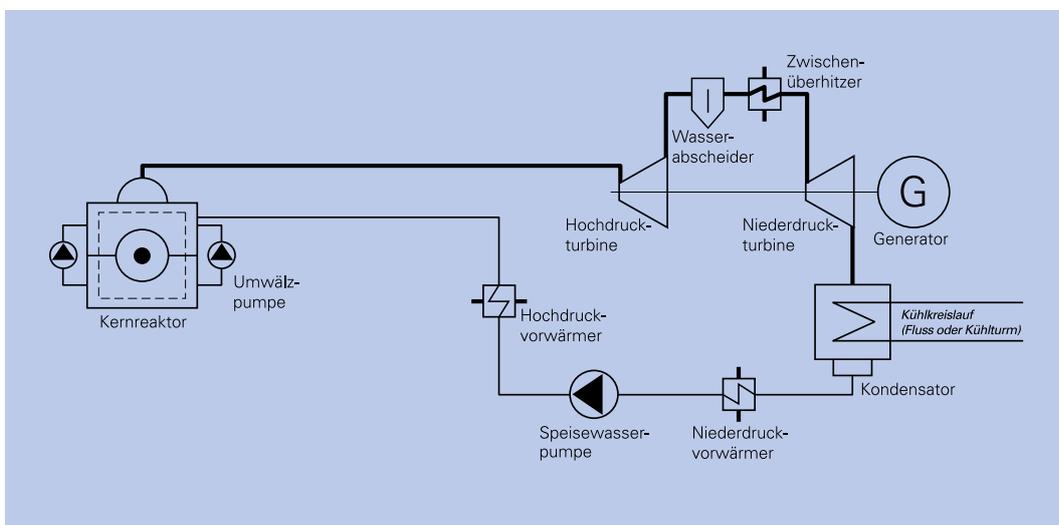


<sup>a</sup> z.B. Haarrisse  
 im Hüllrohr

<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
ANPA	System zur automatischen Übertragung der Anlageparameter der KKW zum ENSI
<hr/>	
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BFE	Bundesamt für Energie
BZL	Bundeszwischenlager
BE	Brennelement
<hr/>	
DWR	Druckwasserreaktor
<hr/>	
EGT	Expertengruppe für geologische Tiefenlager
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
EPFL	École Polytechnique Fédérale de Lausanne
ETHZ	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
<hr/>	
GWh	Gigawattstunde = $10^9$ Wattstunden
<hr/>	
HAA	Hochradioaktive Abfälle
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (seit 2009: ENSI)
HOF	Human and organisational Factors
<hr/>	
IAEA	International Atomic Energy Agency (Internationale Atomenergieagentur), Wien
INES	International Nuclear Event Scale (Internationale Ereignisskala)
<hr/>	
KKB	Kernkraftwerk Beznau
KKG	Kernkraftwerk Gösgen
KKL	Kernkraftwerk Leibstadt
KKM	Kernkraftwerk Mühleberg
KKW	Kernkraftwerk
KNS	Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit
KSR	Eidgenössische Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität
<hr/>	
LRS	Laboratoire de physique des réacteurs et de comportement des systèmes

MAA	Mittelradioaktive Abfälle
MADUK	Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernanlagen
MIF	Medizin, Industrie und Forschung
mSv	Millisievert = $10^{-3}$ Sievert
MW	Megawatt = $10^6$ Watt, Leistungseinheit
MVA	Megavoltampere
<hr/>	
Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
NEA	Nuclear Energy Agency, Kernenergieagentur der OECD, Paris
NTB	Nagra Technischer Bericht
<hr/>	
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
<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/>	
RCIC	Reaktorkernisolations-Kühlsystem
RDB	Reaktordruckbehälter
RID	Regulations concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail
RSD	Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter mit Eisenbahnen und Seilbahnen

SAA	Schwachradioaktive Abfälle
SAMG	Severe Accident Management Guidance
Scram	Reaktorschnellabschaltung
SDR	Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse
SGT	Sachplan geologische Tiefenlager
SMA	Schwach- und mittelradioaktive Abfälle
Sv	Sievert = Strahlendosisäquivalent
SVTI	Schweizerischer Verein für Technische Inspektionen
<hr/>	
TL-Behälter	Transport- und Lagerbehälter
TLD	Thermolumineszenz-Dosimeter
<hr/>	
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
<hr/>	
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-10295  
ISSN 1661-2876

© ENSI, Juni 2018

ENSI-AN-10295  
ISSN 1661-2876

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