



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 2015

zur nuklearen Sicherheit in den schweizerischen Kernanlagen

Aufsichtsbericht 2015

zur nuklearen Sicherheit in den schweizerischen Kernanlagen

Rapport de Surveillance 2015

sur la sécurité nucléaire dans les installations nucléaires en Suisse

Regulatory Oversight Report 2015

concerning nuclear safety in Swiss nuclear installations

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	6
Préface	8
Preface	10
Zusammenfassung und Übersicht	11
Résumé et aperçu	14
Summary and Overview	17
1. Kernkraftwerk Beznau	21
1.1 Überblick	21
1.2 Betriebsgeschehen	22
1.4 Strahlenschutz	31
1.5 Radioaktive Abfälle	32
1.6 Notfallbereitschaft	32
1.7 Personal und Organisation	33
1.8 Periodische Sicherheitsüberprüfung	34
1.9 Sicherheitsbewertung	34
2. Kernkraftwerk Mühleberg	37
2.1 Überblick	37
2.2 Betriebsgeschehen	38
2.3 Anlagetechnik	42
2.4 Strahlenschutz	45
2.5 Radioaktive Abfälle	46
2.6 Notfallbereitschaft	47
2.7 Personal und Organisation	47
2.8 Vorbereitung Stilllegung KKM	48
2.9 Sicherheitsbewertung	49

3. Kernkraftwerk Gösgen	51
3.1 Überblick	51
3.2 Betriebsgeschehen	52
3.3 Anlagetechnik	57
3.4 Strahlenschutz	59
3.5 Radioaktive Abfälle	60
3.6 Notfallbereitschaft	61
3.7 Personal und Organisation	61
3.8 Sicherheitsbewertung	63
4. Kernkraftwerk Leibstadt	65
4.1 Überblick	65
4.2 Betriebsgeschehen	66
4.3 Anlagetechnik 2015	72
4.4 Strahlenschutz	74
4.5 Radioaktive Abfälle	74
4.6 Notfallbereitschaft KKL	75
4.7 Personal und Organisation	76
4.8 Sicherheitsbewertung	77
5. Zentrales Zwischenlager Würenlingen	79
5.1 Zwischenlagergebäude	79
5.2 Konditionierungsanlage	80
5.3 Plasma-Anlage	81
5.4 Strahlenschutz	81
5.5 Notfallbereitschaft	81
5.6 Personal und Organisation	82
5.7 Vorkommnisse	82
5.8 Gesamtbeurteilung	82

6. Paul Scherrer Institut (PSI)	83
6.1 Hotlabor	83
6.2 Kernanlagen in Stilllegung	84
6.3 Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle	85
6.4 Strahlenschutz	87
6.5 Notfallbereitschaft	87
6.6 Personal und Organisation	88
6.7 Vorkommnisse	88
6.8 Schule für Strahlenschutz	89
7. Weitere Kernanlagen	91
7.1 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)	91
7.2 Universität Basel	91
8. Transporte und Behälter	93
8.1 Genehmigungen nach Gefahrgutgesetzgebung	93
8.2 Bewilligungen nach Strahlenschutzgesetzgebung	94
8.3 Bewilligungen nach Kernenergiegesetzgebung	94
8.4 Rücknahme von Wiederaufarbeitungsabfällen	94
8.5 Beschaffung von Transport- und Lagerbehältern	95
8.6 Inspektionen und Audits	96
9. Geologische Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle	97
9.1 Einleitung	97
9.2 Sachplan geologische Tiefenlager	98
9.3 Expertengruppe für geologische Tiefenlagerung	101
9.4 Felslaboratorien	102
9.5 Internationaler Wissenstransfer	104
10. Anlagenübergreifende Themen	107
10.1 Probabilistische Sicherheitsanalysen und Accident-Management	107
10.2 Erdbebengefährdungsanalyse	109
10.3 Fukushima-Massnahmen	110
Anhang	113
Verzeichnis der Abkürzungen	129

Vorwort



Auch dieses Jahr kann ich das Wichtigste einleitend festhalten: In den Schweizer Kernanlagen hat sich 2015 kein Vorkommnis ereignet, das die Sicherheit von Mensch und Umwelt gefährdet hat. Alle Anlagen haben im vergangenen Jahr die Sicherheitsanforderungen des Gesetzgebers erfüllt und sind sicher betrieben worden. Davon haben wir uns unter anderem im Rahmen unserer über 500 angemeldeten und unangemeldeten Inspektionen sowie verschiedenen Nachweisen, die wir von den Betreibern gefordert haben, überzeugt.

Ein Vorkommnis hat jedoch im vergangenen Jahr besonders herausgestochen und beschäftigt uns weiterhin: Im Stahl des Reaktordruckbehälters von Block 1 des Kernkraftwerks Beznau wurden im Rahmen von durch uns angeordneten Ultraschalluntersuchungen Unregelmässigkeiten festgestellt. Es ist an der Betreiberin Axpo, uns aufzuzeigen, um was es sich bei den Befunden handelt und welchen Einfluss diese auf die Sicherheit des Reaktordruckbehälters haben.

Beznau 1 wird von uns nur die Freigabe zum Wiederanfahren erhalten, wenn wir überzeugt sind, dass die Befunde keine Beeinträchtigung der Sicherheit darstellen und die Vorgaben des Gesetzgebers erfüllt sind. Ob dies der Fall ist, kann

erst nach Abschluss der Analysen gesagt werden, wenn alle Fakten auf dem Tisch liegen und wir diese zusammen mit einem internationalen Expertenteam geprüft haben. Das wird wohl kaum vor Ende 2016 sein.

Das Jahr 2015 hat einen Trend, der sich seit einigen Jahren abzeichnet, verstärkt und vermehrt ins Bewusstsein von Politik und Öffentlichkeit gerückt: Die Verschlechterung der wirtschaftlichen Situation der Schweizer Stromproduzenten kann sich auch auf die Restlaufzeit der Schweizer Kernkraftwerke auswirken.

Lange Jahre waren die Schweizer Kernkraftwerke sehr rentabel: Die Aktionäre der Betreibergesellschaften – grossmehrheitlich Kantone – haben jedes Jahr viel Geld aus dem Stromgeschäft erhalten. Sicherheit und Ökonomie waren kein Gegensatz. Im Gegenteil. Es lag im Interesse der Betreiber, vorausschauend in die Sicherheit zu investieren, um ihre Anlagen möglichst lange gewinnbringend betreiben zu können.

Dies erleichterte es dem ENSI, seinen Auftrag zu erfüllen. Die nötigen Verbesserungsmassnahmen wurden im Normalfall ohne grosse Diskussionen umgesetzt. So hat zum Beispiel die Axpo noch vor dem Reaktorunfall in Fukushima entschieden, rund 700 Millionen Franken in die Sicherheit des KKW Beznau zu investieren. Im Wissen der unbefristeten Betriebsbewilligung und verbunden mit der Erwartung, dadurch die Anlage 60 Jahre betreiben und so die teure Investition amortisieren zu können.

Doch die Situation hat sich in den letzten Jahren drastisch verändert. Heute können die Unternehmen kaum mehr Geld verdienen mit Strom. Deshalb ist nicht mehr auszuschliessen, dass die Betreiber der Kernkraftwerke zukünftig nur noch so viel in ihre Anlagen investieren, wie unbedingt nötig ist, um die gesetzlichen Minimalanforderungen zu erfüllen. Doch ein weiterer Betrieb der Kernkraftwerke, wie dies auch die Energiestrategie 2050 vorsieht, bedingt fortlaufende Investitionen in die Sicherheit auch über die Minimalstandards hinaus. Als Aufsichtsbehörde können wir nicht tolerieren, dass aus wirtschaftlichen Überlegungen Abstriche bei der Sicherheit gemacht werden.

2015 konnten wir auch ein über drei Jahre laufendes Projekt abschliessen, das mir sehr wichtig ist: Die Hinterfragung unserer Aufsichtskultur. Auch wenn die Verantwortung für die Sicherheit der Kernanlagen bei den Betreibern liegt, ist uns sehr wohl bewusst, dass die Art, wie wir unsere Aufgabe als Aufsichtsbehörde wahrnehmen, einen Einfluss auf die Sicherheitskultur der Betreiber und die Sicherheit der Anlagen hat.

Der Reaktorunfall in Fukushima hat diesen Zusammenhang deutlich gemacht. Dies war für uns der Anlass, auch unsere eigene Aufsichtskultur unter die Lupe zu nehmen. Aus dem jetzt abgeschlossenen Projekt resultierte eine ganze Reihe von Massnahmen, die es nun im Alltag umzusetzen gilt. Die Hinterfragung unserer Aufsichtskultur ist mit dem Projektende nicht abgeschlossen, sondern wird künftig ständig weitergeführt.

Sicherheit ist nicht nur eine Frage der Technik, sondern auch der Menschen, die damit zu tun haben. Aus diesem Grund danke ich abschliessend allen Mitarbeitenden des ENSI, die sich auch 2015 täglich mit Umsicht, grossem Engagement und Verantwortungsbewusstsein für den Erhalt und die Verbesserung der Sicherheit eingesetzt haben.

Dr. Hans Wanner
Direktor
Juni 2016

Préface

Cette année aussi, je peux mentionner le plus important en introduction: aucun évènement n'est survenu en 2015 dans les installations nucléaires suisses ayant mis en danger la sécurité de l'être humain et de l'environnement. Toutes les installations ont rempli l'année passée les exigences de sécurité du législateur et ont été exploitées de manière sûre. Nous nous en sommes assurés notamment lors de plus de 500 inspections annoncées et inopinées ainsi que lors de différentes démonstrations que nous avons exigées de la part des exploitants. Un évènement est cependant sorti du lot l'année dernière et nous occupe encore. Des irrégularités ont été constatées dans l'acier de la cuve de pression de la tranche 1 de la centrale nucléaire de Beznau lors des contrôles par ultrasons ordonnés par nos soins. L'exploitant, Axpo, doit nous montrer à quoi correspondent ces indications et quelle influence elles ont sur la sécurité de la cuve de pression du réacteur.

Beznau 1 ne recevra de notre part un permis pour le redémarrage que si nous sommes convaincus que les indications ne représentent pas une détérioration de la sécurité et que les prescriptions du législateur sont remplies. Il ne sera possible de dire si c'est le cas qu'au terme des analyses, lorsque tous les faits auront été mis sur la table et que nous les aurons contrôlés en collaboration avec un groupe international d'experts. Ce ne sera guère le cas avant la fin 2016.

L'année 2015 a renforcé une tendance qui se profile depuis quelques années et dont le politique et le public prennent toujours plus conscience : la dégradation de la situation économique des producteurs suisses d'électricité peut avoir des conséquences sur le reste de la durée d'exploitation des centrales nucléaires suisses.

Pendant de nombreuses années, les centrales nucléaires suisses étaient très rentables : les actionnaires des sociétés exploitantes – en grande partie des cantons – ont reçu chaque année beaucoup d'argent du secteur de l'électricité. La sécurité et l'économie n'étaient pas en contradiction. Au contraire. Investir de manière prévoyante dans la sécurité était dans l'intérêt des exploitants afin de pouvoir exploiter de manière lucrative leurs installations le plus longtemps.

Ceci facilitait l'accomplissement du mandat de l'IFSN. Normalement, les mesures d'amélioration nécessaires étaient mises en œuvre sans grandes discussions. Par exemple, Axpo avait décidé avant l'accident de réacteur de Fukushima d'investir environ 700 millions de francs dans la sécurité de la centrale nucléaire de Beznau ; sachant l'autorisation d'exploiter illimitée et en lien avec l'attente de pouvoir par-là exploiter l'installation pendant 60 ans et amortir ainsi des investissements aussi coûteux.

La situation a pourtant drastiquement changé ces dernières années. Aujourd'hui, les entreprises ne peuvent presque plus gagner d'argent grâce à l'électricité. Il ne peut donc plus être exclu que les exploitants des centrales nucléaires n'investissent à l'avenir dans leurs installations que ce qui est absolument nécessaire afin de remplir les exigences légales minimales. Pourtant, une exploitation prolongée des centrales nucléaires – comme prévu par la stratégie énergétique 2050 également – nécessite des investissements continus dans la sécurité, au-delà des normes minimales. En tant qu'autorité de surveillance, nous ne pouvons pas tolérer que des concessions soient faites au niveau de la sécurité en raison de considérations économiques.

En 2015, nous avons aussi pu terminer un projet d'une durée de trois ans qui m'est très important : le questionnement de notre culture de sécurité. Même si la responsabilité pour la sécurité des installations nucléaires réside chez les exploitants, nous sommes bien conscients que la façon dont nous percevons notre tâche en tant qu'autorité de surveillance a une influence sur la culture de sécurité des exploitants et sur la sécurité des installations.

L'accident de réacteur de Fukushima a mis en évidence cette relation. Il nous a donné l'occasion de nous pencher sur notre propre culture de surveillance. Une série complète de mesures résulte du projet désormais conclu. Il s'agit maintenant de les mettre en pratique au quotidien. Le questionnement de notre culture de surveillance ne s'est pas arrêté avec la fin du projet mais sera poursuivi en continu à l'avenir.

La sécurité n'est pas seulement une question de technique mais aussi une question liée aux humains qui y sont confrontés. Pour cette raison, je remercie en conclusion tous les collaborateurs de l'IFSN qui se sont engagés, en 2015 aussi, avec circonspection, un grand dévouement et sens des responsabilités pour le maintien et l'amélioration de la sécurité.

*Dr. Hans Wanner
Directeur
Juin 2016*

Preface

This year, I can once again introduce the report by confirming the most important fact: in 2015, there were no incidents at Swiss nuclear facilities that endangered the safety of either humans or the environment. Last year, all facilities satisfied the statutory safety requirements and were operated safely. Among other methods, we have verified this by conducting more than 500 pre-announced and unannounced inspections and by evaluating various pieces of evidence that we requested from the operators. However, one incident in particular stood out last year and is still of concern to us: ultrasound investigations ordered by us revealed irregularities in the steel of the reactor pressure vessel of Unit 1 of the Beznau nuclear power plant. It is for the operator Axpo to demonstrate to us what the findings mean and what impact they have on the safety of the reactor pressure vessel.

We will not approve a restart of Beznau 1 until we are satisfied that the findings do not represent a safety impairment and that the statutory requirements are met. It will not be possible to say whether this is the case until all of the analyses are complete, all of the facts are on the table, and we have reviewed these facts in cooperation with an international team of experts. This process is unlikely to be completed before the end of 2016. The year 2015 intensified a trend that emerged a few years ago, further raising its profile among politicians and the general public: the deteriorating financial situation of Swiss electricity producers might affect the remaining service life of Swiss nuclear power plants.

For many years, Switzerland's nuclear power plants were a highly profitable venture: every year, the operating companies' shareholders – largely cantons – derived large sums of money from the electricity sector. Safety and economics were not mutually exclusive. On the contrary, it was in the operators' interest to invest proactively in safety so that they could operate their facilities profitably for as long as possible.

This made our task as a supervisory authority a relatively easy one. The necessary improvement measures were normally implemented without a great deal of discussion. For example, even before

the reactor accident in Fukushima, Axpo decided to invest some CHF 700 million in safety at the Beznau nuclear power plant. It did so in the knowledge that the facility had an unlimited operating licence and in the expectation that it could therefore continue operating for 60 years, allowing it to amortize this costly investment.

In recent years, however, the situation has changed dramatically. Today, the companies can barely make money from electricity. It can no longer be ruled out, therefore, that in the future the operators will invest only as much in their nuclear power plants as is absolutely necessary to satisfy the minimum statutory requirements. However, continued operation of the nuclear power plants, as envisaged in the Energy Strategy 2050, presupposes ongoing investments in safety over and above the minimum standards. As a supervisory authority, we cannot tolerate cutbacks in safety for financial reasons.

In 2015, we completed a review of our supervisory culture, a project that had been under way for over three years and that is of great importance to me. Although responsibility for the safety of nuclear facilities lies with the operators, we are well aware that the way in which we perform our duties as a supervisory authority influences both the safety culture of operators and the safety of facilities.

The reactor accident in Fukushima offered a clear illustration of this connection. For us, it was also an opportunity to scrutinise our own supervisory culture. The project we have now completed yielded a whole host of measures that must now be implemented into everyday operations. The project's end does not mark the completion of the review of our supervisory culture; rather, this will continue on an ongoing basis in the future.

Safety is a question not only of engineering but also of the people involved in it. For that reason, I would like to conclude by thanking all ENSI staff, who throughout 2015 have shown prudence, commitment and a sense of responsibility in their efforts to maintain and improve safety.

*Dr. Hans Wanner
Director General
June 2016*

Zusammenfassung und Übersicht

Das ENSI

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI ist die Aufsichtsbehörde des Bundes. Es begutachtet und beaufsichtigt die Kernanlagen in der Schweiz. Dazu zählen die fünf Kernkraftwerke (Beznau Block 1 und 2, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt), die Zwischenlager bei den Kraftwerken, das Zentrale Zwischenlager der Zwiilag in Würenlingen sowie die Kernanlagen des Paul Scherrer Instituts (PSI), der Universität Basel und der ETH Lausanne. Mittels Inspektionen, Aufsichtsgesprächen, Prüfungen, Analysen und der Berichterstattung der Anlagebetreiber verschafft sich das ENSI den notwendigen Überblick über die nukleare Sicherheit der beaufsichtigten Kernanlagen. Es wacht darüber, dass die Vorschriften eingehalten werden und die Betriebsführung gesetzeskonform erfolgt. Zudem gehören die Transporte radioaktiver Stoffe von und zu den Kernanlagen sowie die Vorbereitungen zur geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle in seinen Aufsichtsbereich. Das ENSI unterhält eine eigene Notfallorganisation, die Bestandteil einer landesweiten Notfallorganisation ist. Im Falle eines schweren Störfalls in einer schweizerischen Kernanlage käme sie zum Einsatz.

Gesetzliche Basis

Das Kernenergiegesetz, die Kernenergieverordnung, das Strahlenschutzgesetz, die Strahlenschutzverordnung sowie weitere Verordnungen und Vorschriften zur nuklearen Sicherheit, 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 von Kernanlagen beurteilt. Die geltenden Richtlinien sind auf der Website des ENSI www.ensi.ch unter der Rubrik Dokumente/Richtlinien verfügbar.

Berichterstattung

Das ENSI berichtet periodisch über seine Aufsichtstätigkeit und die nukleare Sicherheit der schweizerischen Kernanlagen. Es informiert die Öffentlichkeit über besondere Ereignisse und Befunde in den Kernanlagen, zum Beispiel im Rahmen von öffentlichen Veranstaltungen und Fachvorträgen sowie auf seiner Website www.ensi.ch.

Der vorliegende Aufsichtsbericht des ENSI ist Teil seiner periodischen Berichterstattung. Daneben publiziert das ENSI jährlich einen Strahlenschutzbericht sowie einen Erfahrungs- und Forschungsbericht. Die Originalsprache der Berichte ist Deutsch. Die Zusammenfassungen werden auf Französisch und Englisch übersetzt. Das ENSI publiziert seine Berichte auch auf seiner Website.

Inhalt des vorliegenden Berichts

Das ENSI berichtet in den Kapiteln 1 bis 4 des vorliegenden Aufsichtsberichts über das Betriebsgeschehen, die Anlagentechnik, den Strahlenschutz und die Betriebsführung der Kernkraftwerke Beznau 1 und 2, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt. Zu jedem Kernkraftwerk nimmt das ENSI eine separate Sicherheitsbewertung für das Berichtsjahr vor. Im Kapitel 5 wird das Zentrale Zwischenlager der Zwiilag in Würenlingen behandelt. Die Kapitel 6 und 7 beziehen sich auf die Kernanlagen des Paul Scherrer Instituts, den Forschungsreaktor der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Lausanne (EPFL) und den 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 hat die geologische Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle inklusive der Arbeiten im Rahmen des Sachplans zum Thema. Im Kapitel 10 werden anlagenübergreifende Aspekte wie zum Beispiel probabilistische Sicherheitsanalysen angesprochen. 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 bewilligten Betriebsbedingungen eingehalten wurden. Die Betreiber haben ihre gesetzlich festgelegten Meldepflichten gegenüber der Aufsichtsbehörde wahrgenommen. Der sicherheitstechnische Zustand der betriebenen Kernanlagen war je nach Anlage gut oder ausreichend.

In den Kernkraftwerken kam es im Jahr 2015 zu 34 meldepflichtigen Vorkommnissen: Vier Vorkommnisse betrafen Block 1 und drei Block 2 des KKW Beznau, sieben das KKW Mühleberg und je zehn das KKW Gösgen und Leibstadt. Davon wurden auf der internationalen Ereignisskala INES 32 Vorkommnisse der Stufe 0 (Ereignis ohne oder mit geringer sicherheitstechnischer Bedeutung) und zwei der Stufe 1 (Anomalie) zugeordnet. Davon betroffen sind die Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt: Im KKW Gösgen führte eine Kombination menschlicher Fehler zu einer Reaktorschnellabschaltung. Unter Mitberücksichtigung der Tatsache, dass bereits mehrere frühere Vorkommnisse durch fehlerhafte Schalthandlungen verursacht worden waren, ordnete das ENSI das Vorkommnis auf der Stufe 1 der internationalen Ereignisskala INES ein. Beim KKW Leibstadt stufte das ENSI die gleichzeitige latente Nichtverfügbarkeit zweier Grundwasserpumpen im Jahr 2014 aufgrund der damit verbundenen inkrementellen bedingten Kernschadenswahrscheinlichkeit als Vorkommnis der INES-Stufe 1 ein. Ein Vorkommnis, die Befunde im Reaktordruckbehälter von Block 1 des KKW Beznau, liess sich Ende des Berichtsjahres noch nicht einstufen.

Das ENSI bewertet die Sicherheit eines jeden Kernkraftwerks im Rahmen einer systematischen Sicherheitsbewertung. Dabei werden neben meldepflichtigen Vorkommnissen weitere Erkenntnisse berücksichtigt, insbesondere die Ergebnisse aus den Inspektionen.

Zentrales Zwischenlager Würenlingen

Das Zentrale Zwischenlager der Zwiilag in Würenlingen umfasst mehrere Zwischenlagergebäude, die Konditionierungsanlage und die Plasma-Anlage (Verbrennungs- und Schmelzanlage). Ende 2015 befanden sich in der Behälterlagerhalle 47 Transport- und Lagerbehälter mit abgebrannten

Brennelementen und Glaskokillen sowie sechs Behälter mit Stilllegungsabfällen aus dem Versuchsatomkraftwerk Lucens.

Im Jahr 2015 wurde wie im Vorjahr nur eine Kampagne zur Verbrennung und Einschmelzung von radioaktiven Abfällen durchgeführt.

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

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

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

Die Kernanlagen des Paul Scherrer Instituts (PSI) unterstehen der Aufsicht des ENSI. Dabei handelt es sich um das Hotlabor, die in unterschiedlichen Phasen der Stilllegung stehenden drei Forschungsreaktoren DIORIT, SAPHIR und PROTEUS, die rückzubauende ehemalige Versuchsverbrennungsanlage sowie die Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle.

In den Kernanlagen des PSI waren im Jahr 2015 vier meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen, wovon eines nicht vom PSI, sondern durch einen ausländischen Absender eines Versandstücks verursacht wurde. In den Forschungsanlagen der ETH Lausanne (EPFL) kam es zu einem meldepflichtigen Vorkommnis. Der Forschungsreaktor der Universität Basel wurde im Berichtsjahr endgültig ausser Betrieb genommen.

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die bewilligten Betriebsbedingungen im Berichtsjahr sowohl bei den Kernanlagen des PSI als auch bei den Forschungsreaktoren von Lausanne und Basel eingehalten wurden.

Abgaben radioaktiver Stoffe

Die Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt via Abwasser und Abluft der Kernkraftwerke, des Zentralen Zwischenlagers Würenlingen, der beaufsichtigten Forschungsanlagen resp. Kernanlagen am PSI sowie in Basel und Lausanne lagen im vergangenen Jahr weit unterhalb der in den Bewilligungen festgelegten Limiten. Sie ergaben auch für Personen, welche in direkter Nachbarschaft einer Anlage leben, eine maximale berechnete Dosis von weniger als 1% der natürlichen jährlichen Strahlenexposition.

Transporte radioaktiver Stoffe

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

Im Berichtsjahr wurden kompaktierte, metallische, mittelaktive Abfälle sowie mittelaktive Glaskokillen aus La Hague zum zentralen Zwischenlager der Zwiilag in Würenlingen transportiert und dort eingelagert.

Die ersten drei von insgesamt sieben Transport- und Lagerbehältern mit hochaktiven Glaskokillen aus Sellafield wurden im Sommer 2015 bei der Zwiilag angeliefert.

Geologische Tiefenlagerung

Im Rahmen des 2008 gestarteten und gegenwärtig in der Etappe 2 befindlichen Standortauswahlverfahrens («Sachplan geologische Tiefenlager») hat die Nagra im Januar 2015 ihren Vorschlag für die in Etappe 3 weiter zu untersuchenden Standortgebiete eingereicht. Das ENSI hat die umfangreichen Unterlagen im Berichtsjahr geprüft und im November 2015 eine Nachforderung hinsichtlich der Begründung der maximal sicherheitstechnisch sinnvollen Tiefenlage gestellt. Für seine über das Berichtsjahr hinaus andauernde Prüfung hat das ENSI eine grosse Anzahl externer Experten beauftragt und stützt sich insbesondere auf die Expertise von swisstopo und der Expertengruppe geologische Tiefenlagerung (EGT).

Bei seiner Prüfung konnte das ENSI auch auf das gesammelte Wissen und die umfassenden Erfahrungen mit tonreichen Gesteinen aus dem Felslabor Mont Terri zurückgreifen. Zusammen mit weiteren 15 internationalen Partnern war das ENSI dort im Berichtsjahr an einer Reihe von Experimenten beteiligt, welche die Felsmechanik von Tongesteinen, die Wechselwirkung zwischen den Sicherheitsbarrieren und die Entwicklung geeigneter Messtechniken zum Thema hatten.

Daneben pflegte das ENSI auch 2015 den Austausch mit internationalen Arbeitsgruppen auf dem Gebiet der Endlagerung und Endlagerforschung und verfolgte andere nationale Entsorgungsprogramme mit geologischen Tiefenlagerprojekten. Dabei ergaben sich diverse Gelegenheiten, Erkenntnisse in die eigene Aufsichtstätigkeit einfließen zu lassen.

Résumé et aperçu

L'IFSN

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

Base légale

La loi sur l'énergie nucléaire, l'ordonnance sur l'énergie nucléaire, la loi sur la radioprotection, l'ordonnance sur la radioprotection ainsi que d'autres ordonnances et prescriptions sur la sécurité nucléaire, sur la formation du personnel, sur la protection en cas d'urgence, sur le transport de matières radioactives et sur le stockage en couches géologiques profondes constituent les bases légales de la surveillance de l'IFSN. L'IFSN élabore et met à jour ses propres directives en s'appuyant sur ces bases légales. Elle y formule les critères d'après lesquels elle évalue les activités et les projets des exploitants d'installations nucléaires. De plus, les directives en vigueur peuvent être consultées sur le

site de l'IFSN (www.ifs.n.ch) sous la rubrique « documents > directives » (la liste complète est disponible uniquement sur la version du site en allemand).

Information

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

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

Contenu du présent rapport

L'IFSN décrit dans les chapitres 1 à 4 du présent rapport de surveillance le déroulement de l'exploitation, la technique de l'installation, la radioprotection et la gestion des centrales nucléaires de Beznau 1 et 2, Mühleberg, Gösgen et Leibstadt. L'IFSN réalise une évaluation de la sécurité de chaque centrale nucléaire pour l'exercice.

Le chapitre 5 traite du dépôt de stockage intermédiaire Zwiilag à Würenlingen. Les chapitres 6 et 7 sont consacrés aux installations nucléaires de l'Institut Paul Scherrer ainsi qu'au réacteur de recherche de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) et au réacteur de recherche mis hors service à l'Université de Bâle. Le chapitre 8 traite des transports de matières radioactives en provenance et à destination des installations nucléaires suisses. Le chapitre 9 thématise le stockage en couches géologiques profondes des déchets radioactifs ainsi que les travaux relatifs au plan secto-

riel. Enfin, le chapitre 10 aborde d'autres aspects communs aux installations, notamment les études probabilistes de sécurité. Les tableaux et les graphiques en annexe complètent ce rapport.

Centrales nucléaires

L'exploitation des cinq centrales nucléaires en Suisse s'est déroulée de manière sûre l'année précédente. L'IFSN arrive à la conclusion que les conditions d'exploitation autorisées ont été respectées. Les exploitants ont respecté leurs devoirs de notification fixés par la loi à l'égard de l'autorité de surveillance. L'état de la sécurité des installations nucléaires exploitées était bon ou suffisant en fonction de l'installation.

Dans les centrales nucléaires suisses, 34 événements soumis au devoir de notification sont survenus en 2015 : quatre événements concernaient la tranche 1 de la centrale nucléaire de Beznau, trois la tranche 2, sept la centrale de Mühleberg, dix la centrale nucléaire de Gösgen et dix celle de Leibstadt. 32 événements ont été classés au niveau 0 (événement sans ou avec une faible importance pour la sécurité) et deux au niveau 1 (anomalie) de l'échelle internationale d'appréciation des événements INES. Les centrales nucléaires de Gösgen et de Leibstadt sont concernées. A Gösgen, une combinaison d'erreurs humaines a conduit à un arrêt automatique de réacteur. En tenant compte du fait que plusieurs événements précédents avaient déjà été provoqués par des manœuvres de couplage incorrectes, l'IFSN a classé l'évènement au niveau 1 de l'échelle internationale de classement des événements INES. Concernant la centrale nucléaire de Leibstadt, l'IFSN a classé l'indisponibilité simultanée latente de deux pompes d'eau souterraine en 2014 au niveau INES 1 en raison de la probabilité d'endommagement du cœur incrémentale conditionnelle. Un évènement – les indications dans la cuve du réacteur de la tranche 1 de la centrale nucléaire de Beznau – n'a pas encore pu être classé au terme de l'exercice.

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 Würenlingen

Le dépôt de stockage intermédiaire Zwiilag à Würenlingen comprend plusieurs bâtiments d'entreposage, l'installation de conditionnement et l'installation plasma (station d'incinération et de fusion). Fin 2015, la halle des conteneurs abritait 47 emballages de transport et d'entreposage avec assemblages combustibles usés et colis vitrifiés ainsi que six conteneurs de déchets de désaffectation provenant de la centrale nucléaire expérimentale de Lucens.

En 2015, comme l'année d'avant, une seule campagne d'incinération et de fusion des déchets radioactifs a eu lieu lors de l'exercice.

Lors de l'exercice, l'IFSN n'a recensé aucun événement soumis au devoir de notification à Zwiilag.

L'IFSN en conclut que Zwiilag a respecté en 2015 les conditions d'exploitation autorisées.

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

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 – à des phases différentes de la désaffectation –, de l'ancienne station expérimentale d'incinération à démanteler et des installations de gestion des déchets radioactifs.

Quatre événements soumis au devoir de notification ont été recensés en 2015 dans les installations nucléaires du PSI. Un de ces événements a été provoqué par un expéditeur étranger d'un colis, et non pas par le PSI. Un évènement soumis au devoir de notification est survenu dans les installations de recherche de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL). Le réacteur de recherche de l'Université de Bâle a été mis définitivement hors service en 2015.

L'IFSN en conclut que les conditions d'exploitation autorisées ont été respectées en 2015 tant dans les installations nucléaires du PSI que dans les réacteurs de recherche de Lausanne et de Bâle.

Rejets de substances radioactives

L'année passée, les rejets de substances radioactives dans l'environnement via les eaux usées et l'air rejeté des centrales nucléaires, du dépôt de stockage intermédiaire Zwiilag, des installations nucléaires surveillées du PSI, de Bâle et de Lausanne, ont enregistré des valeurs nettement inférieures aux limites fixées dans les autorisations. Il en a résulté, également pour les personnes vivant au voisinage immédiat d'une installation, une dose maximale calculée de moins de 1% de l'exposition annuelle naturelle aux radiations.

Transports de matières radioactives

Les déchets résultant du retraitement dans les installations de retraitement de La Hague (France) et de Sellafield (Royaume-Uni) doivent être rapatriés en Suisse conformément aux contrats.

Lors de l'exercice, des déchets moyennement radioactifs compactés et métalliques ainsi que des colis vitrifiés moyennement radioactifs de La Hague ont été transportés au dépôt intermédiaire Zwiilag à Würenlingen et y ont été emmagasinés.

Les trois premiers emballages de transport et d'entreposage comprenant des colis vitrifiés hautement radioactifs de Sellafield ont été transportés au dépôt Zwiilag en été 2015.

Stockage en couches géologiques profondes

La procédure de sélection de sites (plan sectoriel «dépôts en couches géologiques profondes») a débuté en 2008 et se trouve actuellement à l'étape 2. Dans ce cadre, la Nagra a remis en janvier 2015 sa proposition pour les domaines d'implantation à analyser plus en profondeur à l'étape 3. L'IFSN a contrôlé au cours de l'année en revue les documents volumineux et formulé une requête supplémentaire en novembre 2015 en vue de la justification de la profondeur maximale raisonnable du point de vue de la sécurité. L'IFSN a mandaté un grand nombre d'experts externes pour son examen s'étendant au-delà de l'année 2015. Elle s'appuie notamment sur l'expertise de swisstopo et du Groupe d'experts Stockage géologique en profondeur (GESGP).

L'IFSN peut s'appuyer pour son examen sur les connaissances recueillies et les expériences impor-

tantes en matière de roches argileuses issues du laboratoire souterrain du Mont Terri. En collaboration avec 15 autres partenaires internationaux, l'IFSN a participé en 2015 à une série d'expériences. Celles-ci ont pour objet la mécanique des roches dans des massifs argileux, les interactions entre les barrières de sécurité et le développement de techniques de mesure appropriées.

De plus, l'IFSN a également entretenu des échanges avec des groupes internationaux de travail en matière de stockage définitif et de recherche sur le stockage définitif. Elle a fait un suivi d'autres programmes nationaux de gestion des déchets comprenant des projets de dépôts en couches géologiques profondes. Il en a résulté différentes opportunités d'intégrer des enseignements dans sa propre activité de surveillance.

Summary and Overview

ENSI

ENSI, the Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate, acting as the regulatory body of the Swiss Federation, assesses and monitors nuclear facilities in Switzerland. These include the five nuclear power plants (Beznau Units 1 and 2, Mühleberg, Gösgen and Leibstadt), the interim storage facilities based at each plant, the Central Interim Storage Facility of Zwiilag at Würenlingen together with the nuclear facilities at the Paul Scherrer Institute (PSI), the University of Basel and the Federal Institute of Technology in Lausanne. Using a combination of inspections, regulatory meetings, examinations and analyses together with reports from the licensees of individual facilities, ENSI obtains the required overview of nuclear safety in these facilities. It ensures that they comply with the regulations and operate as required by law. The ENSI regulatory responsibilities also include the transport of radioactive materials from and to nuclear facilities and the preparations for a deep geological repository for nuclear 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.

Reporting

ENSI produces regular reports on its regulatory activities and nuclear safety in Swiss nuclear facilities. It provides the public with information on particular events and findings in nuclear facilities, e.g. as part of public events, specialist presentations and on its website www.ensi.ch.

This Surveillance Report is part of the regular reporting system of ENSI. In addition, ENSI publishes an annual Radiological Protection Report and a Research and Experience Report. The original language of all reports is German. The summaries are translated into French and English. ENSI also publishes its reports on its website.

Contents of this report

Chapters 1 to 4 of this Surveillance 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. Each chapter concludes with the ENSI safety rating for the plant in question for the year under review. 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. The subject of Chapter 9 is 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 a series of explanatory tables and diagrams.

Nuclear power plants

In 2015, all five nuclear power plants in Switzerland (Beznau Units 1 and 2, Mühleberg, Gösgen and Leibstadt) were operated safely and ENSI concluded that each had adhered to its approved operating conditions. Licensees complied with their statutory obligations to provide ENSI with reports and nuclear safety at all plants in operation was rated as good or satisfactory.

In 2015, there were 34 reportable events at the nuclear power plants: four events at Beznau Unit 1 and three events at Beznau Unit 2, seven at the Mühleberg Nuclear Power Plant and ten each at the Gösgen and Leibstadt Nuclear Power Plants respectively. Of these, 32 events were rated at Level 0 (event of no safety significance) on the International Nuclear and Radiological Event Scale (INES) and two were rated at Level 1 (anomaly). The power plants concerned were Gösgen and Leibstadt. In the for-

mer a combination of human errors lead to a scram. Taking into account the fact that a number of earlier events have already been caused by erroneous switching operations, ENSI rated the event at Level 1 on INES. At Leibstadt nuclear power plant, ENSI rated the simultaneous latent non-availability of two groundwater pumps in 2014 at Level 1 on INES because of the associated incrementally caused core damage probability. It was not possible to rate one event, findings in the reactor pressure vessel of Beznau Unit 1, 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 halls, a conditioning plant and a plasma plant (incineration/melting plant). At the end of 2015, the cask storage hall contained 47 transport/storage casks with spent fuel assemblies and vitrified residue packages as well as six casks with waste arising from the decommissioning of the experimental nuclear power plant at Lucens. During 2015, as during the previous year, Zwiilag conducted one campaign to incinerate and melt radioactive waste. ENSI recorded no reportable events at Zwiilag during the reporting year. ENSI concludes that Zwiilag complied with its approved operating conditions in the reporting year 2015.

Paul Scherrer Institute (PSI) and the research reactors at Basel and Lausanne

ENSI is also responsible for the surveillance of the nuclear facilities at the Paul Scherrer Institute (PSI), i.e. the hot laboratory, the three former research reactors SAPHIR, DIORIT and PROTEUS now in varying phases of decommissioning, the former experimental incineration plant whose site is to be restored for safe use and the facilities for the disposal of radioactive materials. During 2015, there were four reportable events at the PSI nuclear facilities, of which one was caused

not by the PSI but rather by a foreign shipper of a package. There was one reportable event at the research facilities of the Federal Institute of Technology in Lausanne (EPFL). The University of Basel research reactor was finally decommissioned during the reporting year.

ENSI concluded that the nuclear facilities at PSI and the research reactors at Lausanne and Basel had complied with their approved operating conditions in 2015.

Release of radioactive materials

Last year, the amount of radioactive material released into the environment via waste water and exhaust air from the nuclear power plants, the Central Interim Storage Facility and the nuclear facilities at PSI, Basel and Lausanne was significantly less than the limits specified in the operating licenses. Analyses showed that the maximum dose for persons in the immediate vicinity of a plant was less than 1 % of the annual exposure to natural radiation.

Transport of radioactive materials

The waste produced during reprocessing at the reprocessing facilities of La Hague (France) and Sellafield (United Kingdom) must, under the terms of the contracts, be subsequently returned to Switzerland.

During 2015, compacted, metallic, intermediate level waste and intermediate level vitrified residue packets were transported from La Hague to the Central Interim Storage Facility (Zwiilag) in Würenlingen for storage there.

The first three of a total of seven transport and storage containers with high level vitrified residue packets from Sellafield were delivered to Zwiilag in summer 2015.

Deep geological repository

Within the framework of the site selection procedure (Sectoral Plan for Deep Geological Repositories) that was started in 2008 and is currently in Stage 2, Nagra submitted its suggestion in January 2015 for the locations to be subject to further investigation in Stage 3. ENSI reviewed the extensive documentation during 2015 and in November

2015 submitted a further requirement in respect of the justification of the most suitable deep repository based on safety grounds. ENSI commissioned a large number of external experts to assist in its review which was ongoing at the end of the 2015 reporting year, relying in particular on the expertise of swisstopo and the Expert Group on Nuclear Waste Disposal (EGT).

As part of its review, ENSI was also able to call upon the collected wisdom and the extensive experience of the Mont Terri Rock Laboratory in respect of clay-rich rock. In cooperation with a further 15 international partners, during the 2015 reporting year ENSI participated in a series of experiments, the subject of which was the rock mechanics of clay rock, the interaction between safety barriers and the development of suitable measurement technologies.

In addition, ENSI again participated in 2015 in an information exchange with international working groups in the field of final storage and monitored other national disposal programmes involving the disposal of waste in deep geological repositories. The results of this work feed into the regulatory activities of ENSI and the ongoing development of its regulations.



Kernkraftwerk Beznau.
Foto: KKB

1. Kernkraftwerk Beznau

1.1 Überblick

Der Block 1 des Kernkraftwerks Beznau (KKB) befand sich bis zum 13. März 2015 im ungestörten Volllastbetrieb. Nach dem Abfahren zum Revisionsstillstand war die Anlage bis zum Ende des Berichtsjahres ausser Betrieb. Im Block 2 dauerte der Volllastbetrieb bis zum 14. August 2015. Anschließend war die Anlage bis am 23. Dezember 2015 für den Revisionsstillstand abgeschaltet. Das ENSI stellt fest, dass die bewilligten Betriebsbedingungen immer eingehalten wurden.

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

Das ENSI beurteilt die Sicherheit des KKB im Jahr 2015 im **Block 2** hinsichtlich Auslegungsvorgaben als gut, hinsichtlich Betriebsvorgaben als gut, hinsichtlich Zustand und Verhalten der Anlage als gut

sowie hinsichtlich Zustand und Verhalten 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 1971 den Betrieb aufnahmen. Die elektrische Nettoleistung beträgt in beiden Blöcken jeweils 365 MW. Weitere Daten sind in den Tabellen 1 und 2 im Anhang zusammengestellt. Figur 5a zeigt das Funktionsschema einer Druckwasserreaktor-Anlage.

Im Block 1 kam es zu vier meldepflichtigen Vorkommnissen. Drei davon wurden der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeteilt, die Einstufung der Befunde am RDB ist noch ausstehend (siehe Abschnitt BEFLAW, Kap. 1.3.1).

Im Block 1 begann der Revisionsstillstand am 13. März 2015. Er war am 31. Dezember 2015 noch nicht abgeschlossen. Seine geplante Dauer wurde durch die Einbindung und Inbetriebnahme der neuen Notstromversorgung, den Ersatz des

Anlageninformationssystem und der Umluftkühler im Containment sowie den Wechsel des RDB-Deckels bestimmt. Die Auswertung der Ultraschallprüfungen am RDB dauerte länger als ursprünglich geplant. Da eine abschliessende sicherheitstechnische Beurteilung noch nicht vorlag, befand sich die Anlage zum Jahresende immer noch im Stillstand. Im Block 2 kam es zu drei meldepflichtigen Vorkommnissen. Sie wurden alle der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeteilt.

Im Block 2 dauerte der Revisionsstillstand 131 Tage. Der Zeitbedarf wurde durch dieselben Projekte wie im Block 1 bestimmt.

Im Berichtsjahr 2015 sind in beiden Blöcken keine Brennelementschäden aufgetreten.

Der Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen wurde eingehalten. Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen, Iod und Edelgasen lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Grenzwerte. Die dadurch verursachten zusätzlichen Strahlendosen für die Bevölkerung sind verglichen mit der natürlichen Strahlenexposition unbedeutend.

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

Das ENSI hat im Rahmen seiner Aufsicht 180 Inspektionen durchgeführt. Die Anzahl liegt deutlich über dem langjährigen Mittel. Gründe dafür sind die Grossprojekte und die langen Revisionsstillstände. Wo erforderlich verlangte das ENSI Verbesserungsmaßnahmen und überwachte deren Umsetzung.

Fünf Reaktoroperateure und ein Schichtchef bestanden ihre Zulassungsprüfung. Zwei Reaktoroperator-Anwärter absolvierten die kerntechnische Grundlagenausbildung an der Reaktorschule des PSI erfolgreich.

1.2 Betriebsgeschehen

Die Blöcke KKB 1 und KKB 2 erreichten im Jahr 2015 eine Arbeitsausnutzung von 19,7 % bzw. 63,4 % und eine Zeitverfügbarkeit von 19,6 % bzw. 64,1 %. Die unproduktiven Anteile in beiden Blöcken waren durch die langen Revisionsstillstände bedingt.

Die Zeitverfügbarkeiten und die Arbeitsausnutzungen der letzten zehn Jahre sind in Figur 1 dargestellt. Die ausgekoppelte Wärme für das regionale Fernwärmenetz (REFUNA) belief sich im Jahr 2015 auf 117,6 GWh.

Zur Durchführung von Funktionsprüfungen und auf Anforderung des Lastverteilers erfolgten in beiden Blöcken kurzzeitige Leistungsreduktionen. Im Block 2 musste die Leistung infolge der aussergewöhnlich hohen Wassertemperaturen in der Aare im Sommer mehrfach geringfügig vermindert werden, um ein Überschreiten der maximal zulässigen Kühlwasseraustrittstemperatur zu vermeiden.

Im **Block 1** kam es 2015 zu vier meldepflichtigen Vorkommnissen. Drei davon wurden vom ENSI der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeteilt. Die Einstufung der Befunde am RDB ist noch ausstehend. Für die risikotechnische Beurteilung wird auf Kap. 10 verwiesen.

■ Während der Erneuerung des Anlageinformationssystem erfolgte die Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Edelgase über den Kamin temporär anhand der Aufzeichnungen eines Schreibers anstatt über das Anlageinformationssystem. Bei der Analyse der Daten wurde am 14. April 2015 festgestellt, dass die Daten des einen Messkanals seit dem 7. April und jene des anderen Messkanals seit dem 9. April 2015 fehlten, was dem ENSI am 15. April 2015 als Vorkommnis gemeldet wurde. Ursache für den Ausfall war ein Auslegungsfehler im neuen Anlageinformationssystem. Der Eingangswiderstand für die betroffenen Signale beträgt 250 Ohm, im Vergleich zu 50 Ohm im bisherigen Anlageinformationssystem. Damit waren die Transmitter für die Edelgasmesssignale nach dem Anschluss an das neue Anlageinformationssystem nicht mehr in der Lage, die in den Messkreisen benötigten Stromsignale zu erzeugen, wodurch es auch zum Ausfall der Schreiberaufzeichnungen kam. Nach der Trennung vom neuen Anlageinformationssystem standen die Messsignale wieder für die Aufzeichnungen zur Verfügung. Der Auslegungsfehler betraf nicht nur die Edelgasmessungen, sondern auch eine grosse Anzahl anderer Signale. Mit dem Einbau von Strom-Strom-Messwertumformern wurde die korrekte Signalverarbeitung erreicht. Im Block 2 wurden diese Umformer während der Erneuerung des Anlageinformationssystem in der zweiten Jahreshälfte ebenfalls eingebaut. Die sicherheitstechnische Bedeutung des Vorkommnisses war aus zwei Gründen gering. Erstens waren die Alarmierung und die Auslösung von Sicherheitsfunktionen durch die Edelgasmonitore im Fall von erhöhten Abgaben jederzeit gewährleistet. Der Ausfall betraf nur die Aufzeichnungen für die Bilanzierung. Da keine



Blick ins
Maschinenhaus.
Foto: KKB

Alarmer auftraten, kann eine unzulässige Edelgasabgabe ausgeschlossen werden. Zweitens befand sich die Anlage seit dem 13. März 2015 im Revisionsstillstand. Damit war das Inventar an radioaktiven Edelgasen verglichen mit dem Leistungsbetrieb signifikant vermindert.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde der Ausfall der Aufzeichnung der Daten der Messkanäle vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 2 und das Schutzziel «Begrenzung der Strahlenexposition». Der zu hohe Eingangswiderstand wurde ebenfalls der Kategorie A zugeordnet als Aspekt der Auslegungsvorgaben mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie schutzzielübergreifender Bedeutung.

- Am 29. April 2015 hielten sich zwei Mitarbeiter einer Fremdfirma ohne das vorgeschriebene Dosimeter im zur kontrollierten Zone gehörenden Ringraum auf. Der Zutritt war über den im Rahmen des Austauschs des RDB-Deckels eingerichteten temporären Zoneintritt erfolgt, ohne die signalisierte Dosimetertragepflicht zu beachten. Die Fehlbaren wurden umgehend aus der kontrollierten Zone gewiesen. Mit rund 60nSv pro Stunde war die Ortsdosis-

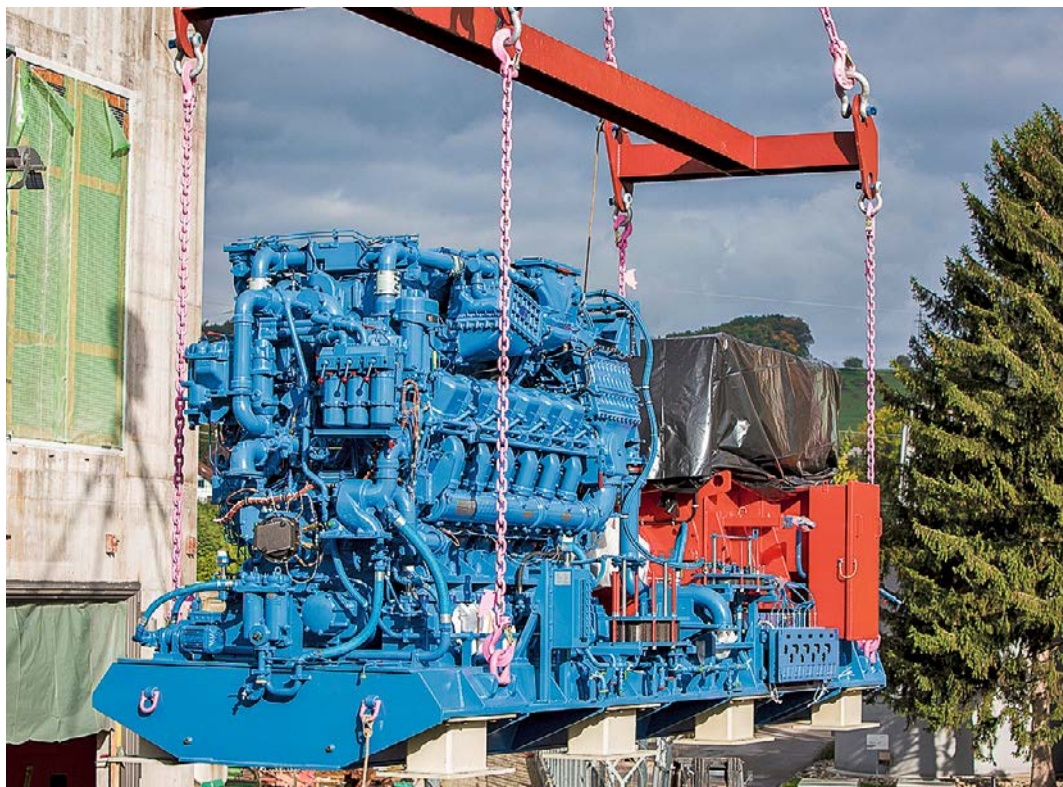
leistung derart gering, dass eine für die Dosimetrie relevante oder gar unzulässige Bestrahlung ausgeschlossen werden kann. Die Gründe für die Missachtung der Dosimetertragepflicht konnten infolge unterschiedlicher Aussagen nicht abschliessend geklärt werden. Zur ursachenunabhängigen Verhinderung vergleichbarer Vorkommnisse werden die Zugänge zur kontrollierten Zone so modifiziert, dass der Zutritt ohne Dosimeter technisch verunmöglicht wird. Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die Missachtung der Dosimetertragepflicht vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Begrenzung der Strahlenexposition».

- Am 11. Juni 2015 ergaben sich bei der aufgrund der Befunde im belgischen Kernkraftwerk Doel 3 durchgeführten Ultraschallprüfung am RDB registrierpflichtige Anzeigen. Einzelheiten dazu finden sich im Abschnitt zum Projekt BEFLAW in Kapitel 1.3.1.
- Am 14. Juli 2015 wurde im Rahmen der Inbetriebsetzung der neuen Notstromversorgung ein Probelauf durchgeführt. Nach Öffnen des Schalters für die Spannungsversorgung ab Transfor-

mator startete der Notstromdiesel auslegungsgemäss und die zu versorgenden Komponenten wurden entsprechend dem vordefinierten Zeitfolgeplan zugeschaltet. Mit der gestaffelten Zuschaltung wird eine Überlastung des Notstromdiesels durch gleichzeitige Anfahrstromspitzen vermieden. Planmässig 14 Sekunden nach dem Dieselstart erfolgte die Zuschaltung einer Pumpe des primären Nebenkühlwassersystems. Unmittelbar danach zeigte das ansteigende Niveau im Sumpftank einen Wasseraustritt im Nebengebäude an. Die Leckage wurde im Bereich zweier geschlossener Armaturen des primären Nebenkühlwassersystems lokalisiert und durch Isolation des betroffenen Systemabschnitts gestoppt. Diese Armaturen befinden sich in den Leitungen zur Versorgung der Umluftkühler im Containment vor der Durchdringung des Sicherheitsgebäudes und sind normalerweise geöffnet. Da die Umluftkühler zum Zeitpunkt des Probelaufs noch nicht für den Betrieb freigegeben waren, wurden diese Armaturen geschlossen. Dadurch wurden sie zum geodätisch höchstgelegenen Ort im vom Probelauf betroffenen Teil des primären Nebenkühlwassersystems, 13,5 Meter über der Pumpe. Mit dem Öffnen des Schalters der Spannungsversorgung fiel die Pumpe des primären Nebenkühlwassersystems auslegungsgemäss aus und der Druck im System sank ab. Der Unterdruck

führte zum Verdampfen von Wasser im geodätisch höchstgelegenen Teil im Bereich der geschlossenen Armaturen. Nach dem verzögerten Zuschalten der Pumpe gemäss Zeitfolgeplan kam es aufgrund des Dampfolumens, das während der Unterdruckphase entstanden war, zu einem verstärkten Druckstoss. Infolge der nicht optimalen Rohrhalterungen kam es zu einer auslegungsüberschreitenden Auslenkung eines der geschlossenen Armaturen vorgelagerten Kompensators mit bleibender Deformation. Der Kompensator dient im Falle eines Erdbebens dem Ausgleich der unterschiedlichen Bewegungen des Neben- und des Sicherheitsgebäudes. Weiter führten die nicht optimalen Rohrhalterungen zu einer Übertragung der Torsionsmomente auf die Flansche der geschlossenen Armaturen mit einer Überbelastung der Befestigungsschrauben. Die plastische Deformation der Schrauben bewirkte ein Versagen der Flanschdichtungen und führte zum Wasseraustritt. Die Flansche wurden repariert, der Kompensator ersetzt und die Rohrhalterungen optimiert. Die im betroffenen Systembereich durchgeführten visuellen Prüfungen und Farbeindringprüfungen ergaben keine Rissanzeigen an Rohrleitungen, Schweißnähten und Armaturen. Mit den verbesserten Rohrhalterungen können die bei Druckstössen bis zum Auslegungsdruck der Rohrleitungen auftreten-

Einer der vier neuen
Notstromdiesel.
Foto: KKB



den Kräfte und Momente abgefangen werden. Die sicherheitstechnische Bedeutung des Vorkommnisses war gering. Das primäre Nebenkühlwasser wird der Aare entnommen und ist nicht radioaktiv. Der Reaktorkern war ins Brennelementlagerbecken ausgeladen, aus dem die Wärme mit dem alternativen Kühlsystem ohne primäres Nebenkühlwasser abgeführt werden kann. Das ENSI hat eine Überprüfung der Auslegung des primären Nebenkühlwassersystems beider Blöcke des KKB gefordert, die Ende des Berichtsjahres noch im Gang war.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde der nicht auslegungskonforme Zustand von Rohrleitung und Kompensator vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 2 und 3 sowie das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Die nicht ausreichende Berücksichtigung der besonderen Systembedingungen wurde ebenfalls der Kategorie A zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 2 und 3 sowie das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

Im **Block 2** kam es 2015 zu drei meldepflichtigen Vorkommnissen, die vom ENSI alle der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet wurden.

- Am 8. Januar 2015 wurde festgestellt, dass die von der Technischen Spezifikation vorgeschriebene und für den 26. Dezember 2014 geplante Bestimmung der Dampferzeugerleckage nicht durchgeführt worden war. Bei dieser Messung werden repräsentative Isotope in Proben aus dem Primär- und aus dem Sekundärkreislauf analysiert und daraus die in den Dampferzeugern vom Primärkreislauf in den Sekundärkreislauf übertretende Wassermenge errechnet. Die nächste, am 2. Januar 2015 termingerecht durchgeführte Messung war ohne Befund. Zwei Faktoren haben wesentlich zur Unterlassung der für den 26. Dezember 2014 geplanten Messung beigetragen. Neben der ungenügenden Kontrolle der Arbeitsausführung mussten die durchgeführten Arbeiten auf dem speziellen Arbeitsprogramm für Weihnachten und Neujahr nicht visiert werden. Zur Verhinderung vergleichbarer Vorkommnisse sind die Tätigkeiten zukünftig im Schichtauftrag für Feiertage und Brückentage detailliert zu dokumentieren. Die sicherheitstechnische Bedeutung des Vorkommnisses war ge-

ring. Die diversitären Mittel zur Erkennung von Dampferzeugerleckagen durch Überwachung der Frischdampfaktivität, der Luftabsaugung aus dem Kondensator und der Dampferzeugerabschlammung standen jederzeit zur Verfügung und zeigten keine erhöhten Werte. Der Grenzwert der Technischen Spezifikation von einem Kubikmeter pro Tag wurde stets eingehalten.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die nicht durchgeführte Bestimmung der Dampferzeugerleckage vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 2, die zweite Barriere sowie das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe».

- Am 16. Dezember 2015 war der Reaktor in Hinblick auf das Wiederanfahren beladen und der RDB-Deckel geschlossen. Die Anlage befand sich im kalten, drucklosen Zustand. Die von den Brennelementen freigesetzte Wärme wurde dem Anlagezustand entsprechend über das Restwärmesystem abgeführt. Das Restwärmesystem kommt zum Einsatz, wenn Druck und Temperatur im Primärkreislauf so tief sind, dass die Wärme nicht über die Dampferzeuger abgeführt werden kann. Um ein Schliessen des motorbetriebenen Isolationsventils im Vorlauf des Restwärmesystems und damit einen Unterbruch der Wärmeabfuhr während der Reaktorschutzprüfung zu verhindern, war der Leistungsschalter des Motors abgesichert worden. Nach erfolgreichem Abschluss der Prüfung wurde der Schalter wieder in Betrieb genommen. Da das Isolationsventil noch einen Schliessbefehl gespeichert hatte, fuhr es zu und die Wärmeabfuhr über das Restwärmesystem wurde unterbrochen. Des Weiteren war die Notstand-Kaltfahrleitung nicht mehr betriebsbereit. Die Notstand-Kaltfahrleitung ermöglicht es, die Wärme aus dem zu kühlenden Wasser über einen alternativen Pfad abzuführen, falls die Kühler des Restwärmesystems dafür nicht zur Verfügung stehen. Der zuständige Operateur im Kommandoraum betätigte umgehend die Taste für das Öffnen des Ventils, welches jedoch geschlossen blieb. Die Ursache für den noch gespeicherten Schliessbefehl war die nicht ausreichend detaillierte und damit potenziell missverständliche Beschreibung der Abschlussarbeiten nach der Reaktorschutzprüfung in der Prüfvorschrift. Das ENSI hat eine Überprüfung und Anpassung dieser Vorschrift angeordnet. Nachdem das Ven-

til manuell vor Ort geöffnet worden war, stand die Wärmeabfuhr nach 18 Minuten wieder zur Verfügung, ebenso die Notstand-Kaltfahrleitung. Die Frist der Technischen Spezifikation wurde eingehalten. Grund für die fehlende Reaktion des Ventils auf die Fahrbefehle aus dem Kommandoraum war ein Überstromschutz, der angesprochen hatte. Die Ursache war Ende des Berichtsjahres noch in Abklärung. Der Überstromschutz und die Motorenschütze wurden ausgetauscht, worauf sich das Ventil wieder vom Kommandoraum aus betätigen liess. Die Stromaufnahme des Motors lag dabei im normalen Bereich. Die sicherheitstechnische Bedeutung des vorübergehenden Ausfalls der Wärmeabfuhr war im vorliegenden Fall nur gering. Alle Brennelemente im Reaktor hatten eine durch die Dauer der Revision bedingte Abklingzeit von mindestens vier Monaten hinter sich oder waren neu. Damit war die abzuführende Wärmeleistung geringer als beim Einsatz des Restwärmesystems üblich. Dementsprechend kam es nach dem Ausfall der Wärmeabfuhr nur zu einem langsamen Temperaturanstieg und es stand überdurchschnittlich viel Zeit zur Verfügung, um das Ventil manuell zu öffnen. Die verschiedenen Messstellen zeigten eine Erwärmung des Kühlmittels im Primärkreislauf um maximal 2,7°C.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die im Bereich der Abschlussarbeiten nicht ausreichend detaillierte Prüfvorschrift vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt der Betriebsvorgaben mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1, 2 und 3 sowie das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Die Nichtverfügbarkeit des Restwärmesystems und der Notstand-Kaltfahrleitung wurde ebenfalls der Kategorie A zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1, 2 und 3 sowie das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

- Am 23. Dezember 2015 wurde im Rahmen der Inbetriebsetzung der neuen Notstromversorgung der Notstromfall im Teillastbetrieb getestet. Nach Anlaufen der Dieselgeneratoren startete ein Zuluftventilator in einem Dieselgebäude nicht. Der redundante Ventilator ging automatisch in Betrieb, fiel aber nach neun Minuten aus. Der Schalter des ersten Ventilators wurde ausgetauscht. Die Ursache seines Ausfalls war ein Ausfall des Hauptschützes für die Motoransteuerung. Beim zweiten Schalter führte die im

Inselbetrieb leicht erhöhte Frequenz von 52 Hz in Kombination mit der kurz vorher erhöhten, aber noch im zulässigen Bereich liegenden Keilriemenspannung zu einer erhöhten Stromaufnahme des Motors, gefolgt von einer Schutzabschaltung. Die Keilriemenspannung wurde wieder auf den ursprünglichen Wert vermindert. Die Zuluftversorgung des Gebäudes war innert der durch die Technischen Spezifikationen gesetzten Frist wieder gewährleistet.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die zeitgleiche Nichtverfügbarkeit der Ventilatoren vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 und mit schutzzielübergreifender Bedeutung.

Eine Zusammenstellung der Vorkommnisse der vergangenen zehn Jahre 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

Die Revisionsarbeiten in beiden Blöcken standen im Zeichen der Projekte AUTANOVE, HERA und NEXIS, auf die in einem separaten Abschnitt eingegangen wird. Aufgrund der Befunde am RDB des belgischen Kernkraftwerks Doel 3 führte das KKB in beiden Blöcken umfassende Ultraschallprüfungen des RDB-Grundmaterials durch. Während die Prüfungen im Block 2 nur wenige, gemäss ASME-Code zulässige Befunde zeigten, ergab sich im Block 1 eine grosse Anzahl von Anzeigen (vgl. Kap. 1.3.4). Der **Block 1** wurde am 13. März 2015 für den Revisionsstillstand abgestellt.

Der Reaktor wurde entladen. Die Brennelemente befanden sich am Ende des Berichtsjahres noch im Brennelement-Lagerbecken. Der lange Revisionsstillstand wurde auch für umfangreiche Prüf- und Instandhaltungsarbeiten genutzt.

Am RDB wurden Rundnahtprüfungen mit Ultraschall durchgeführt. Anlässlich einer Inspektion stellte das ENSI fest, dass das KKB für die Durchführung der Prüfung eine nicht qualifizierte Prüftechnik eingesetzt hat. Die Qualifizierungsstelle Schweiz (QSt) hatte bis zum Zeitpunkt der Prüfungsdurchführung den fachlichen Abschluss der



Kommandoraum.
Foto: KKB

Qualifizierung noch nicht bestätigt. Betroffen war die Prüfung der Rundnähte von der äusseren Seite des RDB. Das ENSI hat vom KKB eine Nachqualifizierung der Ultraschallprüfung gefordert. Die QSt hat den fachlichen Abschluss der Qualifizierung im Dezember 2015 bestätigt. Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die Anwendung einer nicht qualifizierten Prüftechnik vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die zweite Barriere sowie die Schutzziele «Kühlung der Brennelemente» und «Einschluss radioaktiver Stoffe».

Von den weiteren zerstörungsfreien Prüfungen seien die folgenden speziell erwähnt:

- Bei der Wirbelstromprüfung der Kerninstrumentierungsrohre wurde an einem Rohr eine bewertungspflichtige Wanddickenschwächung festgestellt. Das weitere Vorgehen wurde in einer Abweichungsmeldung festgelegt.
- Die Gewindesacklöcher am RDB wurden einer qualifizierten Wirbelstromprüfung unterzogen. Dabei wurden die im Jahr 2004 registrierten Anzeigen nicht bestätigt. Die seinerzeitigen Anzeigen waren Artefakte des damaligen Prüfsystems. 2015 kam ein qualifiziertes Prüfsystem mit verbesserter Sensortechnik zum Einsatz.
- Die Prüfung der Zwischenkühler, welche die Wärme aus dem primären Zwischenkühlsystem an das primäre Nebenkühlwassersystem über-

tragen, ergab für fünf Rohre eine Wanddickenschwächung von mehr als 50 %. Die betroffenen Rohre werden verschlossen.

- An der Einschweissnaht der Druckhaltersprühleitung in die Hauptkühlmittelleitung ergab die Farbeindringprüfung zwei bewertungspflichtige Anzeigen. Ursache waren herstellungsbedingte Erstarrungsrisse. Die Anzeigen wurden ausgeschliffen. Auch nach dem Ausschleifen erfüllt der Stutzen die Anforderungen des ASME-Codes. Die übrigen Prüfungen an Stutzeneinschweissnähten in der Hauptkühlmittelleitung zeigten keine Befunde.
- Die Ultraschall- und Farbeindringprüfungen an Schweissnähten der Hauptkühlmittelleitung ergaben keine Befunde. An einer Anschlussnaht zu einem Dampferzeuger wurden zwei Anzeigen festgestellt, die bereits im Jahr 2004 registriert worden waren und keine Massnahmen erfordern.

Die Druckprüfung des Primärsystems mit dem neuen RDB-Deckel verlief erfolgreich, ebenso der Leckratentest des Sicherheitsgebäudes. Die umfangreichen Prüfungen im Bereich Elektro- und Leittechnik ergaben einige Befunde, die durch Austausch von Komponenten behoben werden konnten. Nach dem Kapazitätstest einer 120-V-Batterie musste eine Zelle ersetzt werden. Danach war die Batterie wieder uneingeschränkt einsatzbereit. Die bautechnische Kontrolle des Kühlwasserreinigungsgebäudes sowie des Zu- und Ablaufkanals bestätigten deren Funktionstüchtigkeit.

Nach Abschluss der geplanten Revisionsarbeiten zeichnete sich ab, dass die Anlage bis zum Abschluss der Auswertung der Ultraschallprüfungen am RDB-Grundmaterial noch während längerer Zeit nicht wieder angefahren werden kann. Zur Verhinderung von Korrosions- und Standschäden wurden umfangreiche Konservierungsmassnahmen getroffen. Grosse Teile des Sekundärkreislaufs sind entleert und die Luftfeuchtigkeit wird kontrolliert tief gehalten. Der gleichzeitige Stillstand beider Blöcke während der Revision im Block 2 erforderte den Betrieb des Hilfskessels für die Beheizung der Gebäude und des Reserveheizwerks für die Wärmelieferungen an die Refuna.

Der **Block 2** wurde vom 14. August bis zum 23. Dezember 2015 für den Revisionsstillstand abgestellt. Auch im Block 2 wurde der lange Revisionsstillstand für umfangreiche Prüf- und Instandhaltungsarbeiten genutzt.

Von den zerstörungsfreien Prüfungen seien die folgenden speziell erwähnt:

- Die Gewindefacklöcher am RDB wurden einer qualifizierten Wirbelstromprüfung unterzogen. Es ergaben sich keine Befunde.
- Mehrere Rundnähte, Stutzen und Tragpratzen des RDB wurden mit einem mechanisierten qualifizierten Ultraschall- und Wirbelstromprüfsystem geprüft. Die einzige bewertungspflichtige

Anzeige ergab sich an einer Rundnaht. Sie wurde als zulässig eingestuft. Die Anzeigen aus der Ultraschallprüfung im Jahr 2005 waren in Länge und Position unverändert. Das neue Prüfsystem ermöglichte zusätzlich die Bestimmung der Tiefenausdehnung.

- Die Farbeindringprüfungen an Schweißnähten der Hauptkühlmittelleitung ergaben keine Befunde.
- Die Hauptbolzen einer Reaktorhauptpumpe wurden mit Wirbelstrom geprüft. An drei Bolzen zeigten sich bewertungspflichtige Anzeigen. Diese Bolzen wurden ausgetauscht.
- Die Ventilsitze zweier Containment-Isolationsarmaturen wurden aufgrund der Ergebnisse der ersten Prüfung geläppt, worauf sie die Prüfanforderungen erfüllten. Die Gesamtleckagerate aller Containment-Durchdringungen erfüllt die Anforderungen der Technischen Spezifikation.

Projekt BEFLAW

Aufgrund der Befunde in den RDB der belgischen Anlagen Doel 3 und Tihange 2 hat das ENSI am 21. Januar 2013 eine Überprüfung der Herstellungsunterlagen auf Hinweise für wasserstoffinduzierte Fehler für die beiden RDB von Beznau angeordnet. In einer WENRA-Empfehlung vom 15. August 2013 werden zusätzlich zur Überprüfung der Herstellungsdocumentation auch Prüfungen an geschmiedetem RDB-Grundmaterial im Rahmen der Wiederholungsprüfung der Schweißnähte am RDB gefordert. Das ENSI hat daraufhin das KKB aufgefordert, die WENRA-Empfehlung vollständig umzusetzen. Hierzu wurde vom KKB ein speziell auf diese Prüfaufgabe abgestimmtes Prüfverfahren qualifiziert.

Im Block 2 des KKB wurde die Sonderprüfung am RDB-Grundmaterial während der Jahresrevision im November 2015 durchgeführt. Es wurden einige wenige bewertungspflichtige Einzelanzeigen in drei Schmiederingen festgestellt, die nach den Akzeptanzkriterien des ASME-Codes als zulässig bewertet werden konnten. Die Nachweise wurden vom ENSI geprüft und bestätigt.

Der RDB des Blocks 1 des KKB wurde während der Jahresrevision im Juni 2015 untersucht. Bei dieser Prüfung wurde eine grosse Anzahl von registrierpflichtigen Anzeigen im Grundmaterial von drei Schmiederingen festgestellt. Ein Schmiedering erwies sich als anzeigenfrei. Da am RDB des Blocks 1 auch Anzeigengruppen bewertet werden müssen, war eine einfache Bewertung nach den Akzeptanzkriterien für Einzelfehler nicht möglich.

Neuer RDB-Deckel mit Durchführungsrohren.
Foto: KKB



Das ENSI hat den Betreiber aufgefordert, die Anzeigen detailliert zu untersuchen, zu charakterisieren und zu bewerten. Die Anlage ist seitdem abgestellt. Der RDB ist entladen. Zur Beurteilung der sicherheitstechnischen Bewertung des RDB wurde beim ENSI das Projekt BEFLAW eröffnet. Das ENSI wird bei seiner Stellungnahme auch Empfehlungen eines internationalen Expertenteams berücksichtigen. Das Expertenteam wurde im November 2015 benannt und setzt sich aus erfahrenen und international anerkannten Experten zusammen. Es sind alle für die sicherheitstechnische Bewertung erforderlichen Fachgebiete im Expertenteam vertreten. Das KKB hat dem ENSI am 30. November 2015 ein Gesamtkonzept und einen Terminplan für die sicherheitstechnische Bewertung des RDB eingereicht. Das Gesamtkonzept wurde dem ENSI und dem Expertenteam im Rahmen eines Workshops erläutert. Das Expertenteam hat daraufhin eine Stellungnahme zum Gesamtkonzept erstellt. Das ENSI hat Prüfkommementare erarbeitet und dem KKB übermittelt.

Die Auswertung der Daten und die Ursachenanalyse durch das KKB sind noch nicht abgeschlossen. Bei der sicherheitstechnischen Bewertung werden im Wesentlichen mögliche Veränderungen der Werkstoffeigenschaften quantifiziert. Diese sind in Bezug auf die vorhandenen Sicherheitsmargen zu bewerten. Der zusammenfassende Abschlussbericht der sicherheitstechnischen Bewertung des RDB sowie die Stellungnahmen des Expertenteams und des ENSI werden nach Abschluss des Projekts veröffentlicht.

Aufgrund des aktuellen Wissensstands kann die sicherheitstechnische Bedeutung des Vorkommnisses bei Redaktionsschluss noch nicht beurteilt werden. Dementsprechend ist im vorliegenden Aufsichtsbericht eine Einstufung noch nicht möglich.

1.3.2 Anlageänderungen

Projekte AUTANOVE, HERA und NEXIS

Gegenstand des Projekts AUTANOVE war eine seismisch qualifizierte Notstromversorgung innerhalb des KKB-Areals, die unabhängig vom bisher eingesetzten, nicht ausreichend erdbebenfesten Wasserkraftwerk ist. In den zwei neu erstellten Gebäuden, von denen eines südlich und eines nördlich der beiden Reaktorblöcke liegt, befinden sich je zwei Dieselgeneratoren. Einer davon ist dem Block 1, der andere dem Block 2 zugeordnet. Damit verfügt jeder Block über eine neue, räumlich getrennte Notstromversorgung mit einer Kapazität von zweimal 100 %.

Die bereits bestehende Notstand-Notstromversorgung bleibt unverändert. Nach umfassenden Prüfungen wurden die neue Notstromversorgung beider Blöcke in die Anlage integriert und die bisherigen Verbindungen zum Wasserkraftwerk getrennt. Anschliessend fanden umfangreiche Probeläufe statt, bei denen die korrekte Funktion der Notstromversorgung für unterschiedliche auslösende Szenarien erfolgreich geprüft wurde. Das ENSI überwachte die Inbetriebsetzung anlässlich mehrerer Inspektionen. Die Technische Spezifikation jedes Blocks wurde vom KKB an die neue Notstromversorgung angepasst, vom ENSI geprüft und freigegeben. Das Personal wurde bereits vorgängig am Simulator geschult, ebenso wurden die Störfallvorschriften angepasst und Vorgabedokumente für die periodisch durchzuführenden Prüfungen erstellt.

Im Rahmen des Projekts HERA wurden in beiden Blöcken die RDB-Deckel vorbeugend ausgetauscht. Grund dafür war die rissanfällige Werkstoffkombination im Bereich der Steuerstabdurchführungen der bisherigen Deckel. Der Deckeltausch war terminlich an das Projekt AUTANOVE gekoppelt. Der Durchmesser der Deckel erforderte eine temporäre Öffnung im Reaktorgebäude und im Stahlcontainment. Die Schweißarbeiten beim Wiederverschliessen des Stahlcontainments und der Stahlauskleidung des Reaktorgebäudes fanden unter Überwachung durch den SVTI statt. Abschliessend wurde der ordnungsgemässe Zustand der Schweißnähte mittels zerstörungsfreier Prüfungen nachgewiesen. Die ausgebauten RDB-Deckel wurden zum Abklingen in das Lager für schwachaktive Abfälle des ZWIBEZ gebracht. Bevor die neuen Deckel auf die RDB aufgesetzt werden konnten, musste die Ausrichtung der Führungsrohre für die Thermoelemente zur Messung der Temperatur im Reaktorkern korrigiert werden. Dazu wurden sie im nicht drucktragenden Teil ausgedreht und beschliffen. Die Nachbearbeitung wurde vom SVTI überwacht. Die Korrekturen erfolgten innerhalb der Auslegungsspezifikation, insbesondere was die Wanddicke betrifft, womit sie nicht freigabepflichtig waren. Ursache der ausserhalb der Toleranz liegenden Ausrichtung war die nicht rotationssymmetrische Wärmeeinwirkung beim Einschweissen der Rohre. Die nicht rotationssymmetrische Wärmeeinwirkung war dadurch bedingt, dass die Rohre den RDB-Deckel nicht senkrecht durchdringen. Fehlende vorgängige Kontrollen führten dazu, dass der Fehler erst beim Versuch, den RDB-Deckel im Block 1 aufzusetzen, bemerkt wurde. Da der Mangel aber noch

vor der Inbetriebnahme der neuen RDB-Deckel bemerkt wurde, lag kein meldepflichtiges Vorkommnis vor.

Nachdem der Lieferant des bisherigen Anlageinformationssystems den Support eingeschränkt hatte, ergab sich die Notwendigkeit einer Nachrüstung auf den neuesten technischen Stand, verbunden mit der Einbindung des neuen Notstromsystems, die mit dem Projekt NEXIS umgesetzt wurde. Das Anlageinformationssystem informiert die Betriebsmannschaft sowohl im Normalbetrieb als auch während Störfällen über den Anlagezustand und den zeitlichen Verlauf von Zustands- und Prozessgrößen. Nach erfolgreicher Validierung und Schulung des neuen Systems am Simulator unter Einbezug aller zwölf Schichtgruppen wurde es im Berichtsjahr in beiden Blöcken implementiert. Dabei musste ein Auslegungsfehler durch den Einbau von zusätzlichen Strom-Strom-Messumformern korrigiert werden (vgl. Kap. 1.2).

Weitere Anlageänderungen

Von den in beiden Blöcken vorgenommenen Anlageänderungen seien die folgenden speziell erwähnt: Eine Wasserzufuhr aus dem Notstandbrunnen in den Notspeisewassertank wurde nachgerüstet. Damit wird die Sicherheit der Wärmeabfuhr aus dem Reaktor über die Dampferzeuger bei externen Einwirkungen, beispielsweise Erdbeben, verbessert. Beim Ausfall dieser Wasserzufuhr in einem Block besteht die Möglichkeit einer Versorgung durch den anderen Block.

Mit einem neuen Notsperrowassersystem wird die Zuverlässigkeit der Sperrwasserversorgung der Gleitringdichtungen der Reaktorhauptpumpen verbessert. Diese Dichtungen sind Teil des Primärkreislaufs (2. Barriere).

Nachdem sich die 2013 erfolgte Umrüstung einer Ladepumpe im Block 2 auf Frequenzumrichterantrieb im Betrieb bewährt hatte, wurden im Berichtsjahr die beiden anderen Pumpen im Block 2 und alle drei Pumpen im Block 1 umgerüstet.

Die Umluftkühler im Containment wurden ersetzt und ihre Befestigung verstärkt.

In den Brennelementlagern wurden Iodmonitore zur Luftüberwachung eingebaut. Die Repräsentativität der Probenahmesonden wurde durch einen simulierten Brennelement-Handhabungsunfall nachgewiesen.

Zur Verbesserung des Korrosionsschutzes der Stahldruckschale wurde im Block 2 ein kathodischer Korrosionsschutz installiert. Dabei verhindert ein Schutzstrom, dass an der Oberfläche des zu

schützenden Metallteils Ionen in Lösung gehen und das Material abgetragen wird. Im Block 1 erfolgte eine analoge Installation bereits früher.

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. Das ENSI überzeugte sich im Rahmen einer Inspektion während der Revisionsabstellungen vom auslegungsgemässen Verhalten der eingesetzten Brennelemente.

Aufgrund der umfangreichen Nachrüstmassnahmen wurden der Reaktorkern des Blocks 1 während des Revisionsstillstands vollständig entladen und die Brennelemente ins Brennelement-Lagerbecken verbracht. Da sich der Revisionsstillstand über den Jahreswechsel hinaus verlängerte, wurden im Berichtsjahr keine frischen Brennelemente in den Kern geladen.

Im Block 2 wurden 16 abgebrannte Brennelemente durch 16 neue Brennelemente ersetzt. Diese enthalten als Brennstoff wiederaufgearbeitetes Uran (WAU). Der Reaktorkern des Blocks 2 enthält aktuell im 42. Betriebszyklus vier Uran-Brennelemente und 113 WAU-Brennelemente vom Typ FOCUS sowie vier Vorläufer-Brennelemente vom Typ AGORA-4H mit WAU-Brennstoff, welche seit Beginn des 40. Zyklus eingesetzt werden. Alle zum Einsatz kommenden Brennelemente sind freigegeben und qualitätsgeprüft. Die neue, vom ENSI freigegebene Kernbeladung erfüllt entsprechend der Dokumentation alle Anforderungen.

Im Vorjahr wurden in beiden Blöcken jeweils alle 25 Steuerelemente durch neue Elemente gleicher Bauart ersetzt. Vor dem Einsatz wurden sie einer Wirbelstromprüfung unterzogen, welche die Einsatzbereitschaft bestätigte. Aufgrund der guten Betriebserfahrung mit Steuerelementen dieser Bauart sowie der permanenten Überwachung des Reaktorkühlkreislaufes, die keine Hinweise auf Steuerelementdefekte ergab, wurden gemäss der langfristigen Planung des KKB im Jahr 2015 keine Steuerelementinspektionen durchgeführt.

Im Berichtszeitraum sind die Reaktorkerne beider Blöcke auslegungsgemäss und im bewilligten Rahmen betrieben worden. Die Anfahrmessungen des Blocks 2, die vom ENSI vor Ort inspiziert wurden, verliefen plangemäss. Die Ergebnisse der

reaktorphysikalischen Messungen stimmten gut mit den Ergebnissen der Kernausslegungsberechnungen überein. Die Toleranzen wurden klar eingehalten.

1.4 Strahlenschutz

Im Berichtsjahr wurden sowohl im KKB 1 als auch im KKB 2 lange Revisionsstillstände durchgeführt und folgende Kollektivdosen ermittelt:

Kollektivdosis in Pers.-mSv	KKB 1	KKB 2	KKB 1 und 2
Brennelementwechsel	834	342	1176
Leistungsbetrieb	19	32	51
Gesamte Jahreskollektivdosis	853	374	1227

Im Kalenderjahr 2015 wurde in den beiden Blöcken des KKB eine Kollektivdosis von 1227 Pers.-mSv verzeichnet. Die höchste im KKB registrierte Individualdosis betrug 10,7 mSv und lag unterhalb des Dosisgrenzwerts der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Auf das interne Ziel der maximalen Individualdosis von 10 mSv im Kalenderjahr wurde aufgrund der langen Stillstände in 2015 verzichtet. Es wurden weder Personenkontaminationen, die nicht mit herkömmlichen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen über der Triageschwelle gemäss Dosimetrieverordnung festgestellt.

Der Block 1 wurde am 13. März 2015 zum Revisionsstillstand abgefahren. Das Abfahren der Anlage verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Das Wiederanfahren der Anlage war bis zum Ende des Berichtsjahres nicht erfolgt.

Aufgrund der vorhandenen Alpha-Kontaminationen in der Reaktorgrube wurde während der gesamten Dauer der Revisionsabstellung die Reaktorgrube als eine Zone Typ IV eingestuft. Aus dem gleichen Grund sind im Sicherheitsgebäude, im BE-Lager und im Nebengebäude zahlreiche Arbeiten unter Bedingungen der Zone IV durchgeführt worden.

Die akkumulierte Kollektivdosis für die Revision des Blocks 1 im Zeitraum vom 13. März bis 23. Oktober 2015 betrug 791 Pers.-mSv (EPD-Wert). Im Vergleich zur Plandosis von 984 Pers.-mSv liegt das Gesamtergebnis im Rahmen der Prognosegenauigkeit von 20 %.

Im Block 2 wurde zwischen dem 14. August und dem 23. Dezember 2015 ebenfalls eine Revision

durchgeführt. Das Abfahren verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden.

Die akkumulierte Kollektivdosis während der Revisionsabstellung betrug 341 Pers.-mSv (EPD-Wert). Im Vergleich zur Plandosis von 621 Pers.-mSv liegt das Gesamtergebnis bei 55 %. Die aussergewöhnliche Unterschreitung der Planungs-dosis wird mit Optimierungen auf Basis der Erfahrungen aus Block 1 sowie mit dem Verzicht auf geplante Arbeiten begründet.

Während der Revisionsabstellungen wurden in beiden Blöcken die RDB-Deckel getauscht. Zum Einschleusen der neuen Deckel und zum Ausschleusen der alten Deckel mussten Öffnungen in die Wände der Sicherheitsgebäude geschnitten werden. Durch temporäre Einhausungen und geeignet gestaffelte Unterdruckhaltung in den Sicherheitsgebäuden war das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe» auch während der RDB-Deckeltransfers immer erfüllt.

Das ENSI stellt fest, dass das Eigenpersonal des KKB-Strahlenschutzes mit Unterstützung durch Strahlenschutzfachkräfte von Fremdfirmen zielgerichtet und professionell arbeitet. Die Leitung des KKB-Strahlenschutzes wurde im Berichtsjahr nachhaltig verstärkt.

Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen, Iod und Edelgasen lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Grenzwerte. Dies gilt auch für die radioaktiven Abgaben mit dem Abwasser. Die für Druckwasserreaktoren typischen Tritium-Abgaben des KKB betragen rund 14 % des Jahresgrenzwerts. Die quartalsweise vom ENSI durchgeführten Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern zeigten Übereinstimmung mit den vom KKB gemeldeten Analyseergebnissen. Aus den tatsächlich über die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnete das ENSI die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKB unter ungünstigen Annahmen. Die Dosen betragen weniger als 0,001 mSv für Erwachsene sowie für Zehnjährige und rund 0,0012 mSv für Kleinkinder und lagen deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr gemäss der Richtlinie ENSI-G15. Die Dosisleistungs-Messsonden des vom ENSI betriebenen Messnetzes (MADUK) in der Umgebung des Werks zeigten keine durch den Betrieb der Anlage erhöhten Werte. Die Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD), die an ausgewählten Stellen am Zaun des Kraftwerkareals angebracht sind, liessen keine nen-

nenswerte Erhöhung gegenüber der Untergrundstrahlung erkennen. Bei den quartalsweise vom ENSI zur Kontrolle durchgeführten Messungen an der Umzäunung des KKB wurden ebenfalls keine signifikanten Erhöhungen gegenüber der Untergrundstrahlung festgestellt. Die nach Art. 102 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerksareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche wurden eingehalten. Für detailliertere Angaben zur radiologischen Situation innerhalb und ausserhalb der Anlage Beznau wird auf den Strahlenschutzbericht 2015 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 aufgrund der umfangreichen Revisionsarbeiten 71 m³ radioaktive Rohabfälle an (vgl. Tabelle 6). Die Menge radioaktiver Rohabfälle entsprach jedoch dem aufgrund der durchgeführten Arbeiten zu erwartenden Umfang.

Die radioaktiven Rohabfälle werden gesammelt, kampagnenweise konditioniert und anschliessend zwischengelagert. Die im KKB vorhandenen unkonditionierten Abfälle werden in dafür vorgesehenen Räumlichkeiten in den Nebenanlagengebäuden und im ZWIBEZ aufbewahrt. Ihr Bestand liegt mit 119 m³ im Erfahrungsbereich der vergangenen Jahre. Brennbar und weitere Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in der Plasma-Anlage 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 Berichtsjahr wurden sowohl Harze als auch Schlämme konditioniert.

Die konditionierten Abfallgebinde werden routinemässig in das Rückstandslager und in das SAA-Lager des ZWIBEZ eingelagert. Das KKB nutzt zudem die Kapazitäten des zentralen Zwischenlagers in

Würenlingen. Bei der jährlichen Inspektion des Lagergutes wurden keine meldepflichtigen Befunde festgestellt. Die radioaktiven Abfälle des KKB sind in einem von allen schweizerischen Kernanlagen eingesetzten elektronischen Buchführungssystem erfasst, so dass die Information über Menge, Lagerort und radiologische Eigenschaften jederzeit verfügbar ist.

Ein wichtiges Element bei der Minimierung der radioaktiven Abfälle ist die Inaktiv-Freimessung von Materialien aus der kontrollierten Zone. Im KKB wurden im Berichtsjahr insgesamt 294 t Material freigemessen.

Bestrahlte Brennelemente des KKB werden nach einigen Jahren Lagerung im Brennelementbecken in Transport- und Lagerbehältern in das ZWIBEZ zur Trockenlagerung überführt. Im Jahr 2015 fand ein derartiger Transport aus Block 2 statt.

Weitere Information zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente und zu Wiederaufarbeitungsabfällen findet sich gesamthaft für alle Werke im Kapitel 8.

1.6 Notfallbereitschaft

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

Das ENSI hat im Mai 2015 anlässlich der Werksnotfallübung VEXATOR die Notfallorganisation beobachtet und beurteilt. Die hauptsächliche Zielsetzung der Übung war die Überprüfung der Massnahmen, die aufgrund der Erkenntnisse aus der Besetzung im Jahr 2014 erarbeitet und eingeführt wurden. Weiter sollte die Zusammenarbeit von Notfallstab und Kantonspolizei geschult und überprüft sowie auch den Kommunikationsbeauftragten ein realitätsnahes Übungsfeld für die Krisenkommunikation geboten werden. Die Übung war geprägt durch die schnelle Abfolge von Ereignissen, herausfordernde Polizeiarbeit im ungewohnten, sensiblen Umfeld sowie anspruchsvolle Öffentlichkeitsarbeit.

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

Ferner löste das ENSI im KKB ohne Voranmeldung einen Übungsalarm aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Werks-Notfallstabs bestätigt wurde.

1.7 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr hat sich der Personalbestand des KKB auf 511 Personen, welche 502 Vollzeitstellen besetzen, reduziert (Ende 2014: 529). Der im Rahmen des Generationswechsels erforderliche Know-how-Transfer, verbunden mit temporären Doppelbesetzungen von Stellen, ist im KKB weitgehend abgeschlossen. Zur Stellenreduktion beigetragen hat auch das Auslaufen von Stellen, welche im Rahmen der 2015 abgeschlossenen Grossprojekte geschaffen wurden. Angesichts der laufenden Massnahmen der Axpo zur Reduktion der Produktionskosten des KKB wird das ENSI im Rahmen seiner Aufsicht darauf achten, dass die Vorgaben von Art. 30 KEV und Kap. 5 der Richtlinie ENSI-G07 durch den Bewilligungsinhaber weiterhin erfüllt werden. Im Berichtsjahr wurden der Kraftwerksleiter sowie die stellvertretende Kraftwerksleitung neu ernannt. Das Managementsystem des KKB ist gemäss der

Norm DIN EN ISO 9001:2008 zertifiziert. Das ENSI führte eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Kompetenzmanagement durch. Dabei wurde überprüft, ob das KKB über geeignete Abläufe und Vorgaben verfügt, um die erforderlichen sowie die vorhandenen Kompetenzen des Eigenpersonals zu ermitteln. Weiter überprüfte das ENSI, wie das KKB aus den Ergebnissen Massnahmen ableitet und deren Wirksamkeit bewertet. Die Anforderungen wurden erfüllt.

Im Laufe des Jahres 2015 hat das ENSI im KKB, wie in allen Schweizer Kernkraftwerken, ein Fachgespräch zum Thema «Verantwortung für die Sicherheit» durchgeführt. Dieses gehört zur Reihe der Fachgespräche zum Dialog über Sicherheitskultur, welche alle drei Jahre vom ENSI durchgeführt werden. Während die Verantwortung für den sicheren Betrieb formell im Kernenergiegesetz, der Kernenergieverordnung und der Richtlinie ENSI-G07 geregelt ist, ging es im Fachgespräch darum, den Dialog im KKB zu fördern, wie diese Verantwortung wahrgenommen wird.

Im Berichtsjahr bestanden zwei Reaktoroperateur-Anwärter des KKB 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



Neuer RDB-Deckel in Transportverpackung.
Foto: KKB

die erforderlichen theoretischen Kenntnisse auf den Gebieten der thermischen Kraftwerkstechnik, Nuklearphysik, Reaktortechnik und Strahlenschutz. Fünf Reaktoroperateure sowie ein Schichtchef des KKB legten im Berichtsjahr ihre Zulassungsprüfung mit Erfolg ab. Die Zulassungsprüfungen bestehen aus einem theoretischen und einem praktischen Teil. Im theoretischen Teil weisen die Kandidaten ihre detaillierten Kenntnisse zum Aufbau und Verhalten der Anlage und zu den anzuwendenden Vorschriften nach. Der praktische Teil erfolgt am eigenen Anlagesimulator und besteht aus einer Demonstration der Anwendung der Kenntnisse. Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in Tabelle 3 zusammengestellt. Das ENSI hat eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2014 und der Planung des Ausbildungsprogramms 2015 der Abteilung Betrieb durchgeführt. Gegenstand der Inspektion waren die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator und die allgemeine Wiederholungsschulung sowie deren Änderungen und Neuerungen. Ferner wurde die Ausbildung des Personals der Abteilung Überwachung auf Einhaltung der Vorgaben der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) und der Richtlinie ENSI-B10 überprüft. Die Ausbildungsprogramme des KKB in den inspierten Bereichen erfüllen die Anforderungen.

1.8 Periodische Sicherheitsüberprüfung

Ende 2013 hatte das KKB entsprechend der vom ENSI im Jahr 2011 auf Antrag gewährten Fristerstreckung den zweiten Teil der PSÜ-Dokumentation eingereicht. Die Fristerstreckung betraf Teile der PSA und Störfallanalysen. Die inhaltliche Prüfung der PSÜ-Unterlagen durch das ENSI wurde 2015 abgeschlossen. Ende Jahr befand sich die Stellungnahme des ENSI in der abschliessenden redaktionellen Bearbeitung.

1.9 Sicherheitsbewertung

1.9.1 Block 1

Im Jahr 2015 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 für beide Blöcke relevante 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 Sicherheitsbewertungs-Matrix zu folgenden zusammenfassenden Beurteilungen:

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

Sicherheitsbewertung 2015 KKB 1: 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 Bewertungs abhängige Zelle 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
Kühlung der Brennelemente		N		A
Einschluss radioaktiver Stoffe		N		A
Begrenzung der Strahlenexposition		V	A	A
schutzzielübergreifende Bedeutung	A	N	N	N

Sicherheitsbewertung 2015 KKB 1: 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 Bewertungs abhängige Zelle ist grau dargestellt.

Zellen ohne Bewertung bedeuten, dass weder Inspektionsergebnisse, Zulassungsprüfungen, Vorkommnisse noch Sicherheitsindikatoren eine Bedeutung für diese Zellen hatten. Die Zellenbewertungen richten sich nach der höchsten einer Zelle zugeordneten Bewertung eines Sachverhalts. Sämtliche der Kategorie A (Abweichung) zugeordneten Sachverhalte sind in den Unterkapiteln 1.2 und 1.3.1 dargestellt.

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

1.9.1 Block 2

Im Jahr 2015 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 für beide Blöcke relevante Beurteilungen). Dabei kam das ENSI für die einzelnen Zellen der Sicherheitsbewertungs-Matrix zu folgenden zusammenfassenden Beurteilungen:

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

Sicherheitsbewertung 2015 KKB 2: Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge

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

Sicherheitsbewertung 2015 KKB 2: 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 Sachver-

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

Zusammenfassend kommt das ENSI zu folgenden Gesamtbewertungen:

Auslegungsvorgaben

Bei der Beurteilung der Auslegungsvorgaben hat das ENSI Erkenntnisse aus der letzten Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) sowie aus dem EU-Stresstest herangezogen und dabei die Auslegung der Anlage bezüglich Redundanzgrad, Diversität, räumlicher Separation und Robustheit gegen auslösende Ereignisse bewertet. Da die Auslegungsvorgaben des KKB die Minimalanforderungen und den Stand ausländischer Anlagen desselben Typs übertreffen, bewertet das ENSI die Sicherheit des Blocks 2 des KKB hinsichtlich Auslegungsvorgaben als gut.

Betriebs-Vorgaben

Das ENSI beurteilt die in Kap. 1.2 beschriebene Abweichung im Bereich der Betriebsvorgaben als Abweichung mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Entsprechend bewertet das ENSI die Sicherheit des Blocks 2 des KKB hinsichtlich Betriebsvorgaben als gut.

Zustand und Verhalten der Anlage

Das ENSI beurteilt die in Kap. 1.2 beschriebenen Abweichungen im Bereich von Zustand und Verhalten der Anlage als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Entsprechend bewertet das ENSI die Sicherheit des Blocks 2 des KKB hinsichtlich Zustand und Verhalten der Anlage als gut.

Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

Das ENSI beurteilt die in Kap. 1.2 beschriebene Abweichung im Bereich von Zustand und Verhalten der Organisation als Abweichung mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Entsprechend bewertet das ENSI die Sicherheit des Blocks 2 des KKB hinsichtlich Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation als gut.



*Kernkraftwerk
Mühleberg.
Foto: KKM*

2. Kernkraftwerk Mühleberg

2.1 Überblick

Im Betriebsjahr 2015 waren im Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) neben dem geplanten Revisionsstillstand mit Brennelementwechsel zwei automatische Reaktorschneellabschaltungen sowie zwei ungeplante Leistungsreduktionen zu verzeichnen. Das ENSI stellt fest, dass die bewilligten Betriebsbedingungen im Betriebsjahr 2015 immer eingehalten wurden. Das ENSI beurteilt die Sicherheit des KKM im Jahr 2015 hinsichtlich Auslegungsvorgaben, Betriebsvorgaben, Zustand und Verhalten der Anlage sowie Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation als gut.

Das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) der BKW Energie AG, welches seinen kommerziellen Betrieb im Jahr 1972 aufnahm, ist eine Siedewasserreaktor-Anlage mit 373 MW elektrischer Nettoleistung. Weitere Daten der Anlage sind in den Tabellen 1 und 2 des Anhangs zu finden. Figur 5b zeigt das

Funktionsschema einer Siedewasserreaktor-Anlage. Im Berichtsjahr waren im KKM sieben meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen, welche das ENSI auf der internationalen Ereignisskala INES alle der Stufe 0 zuordnete.

Das ENSI hat im Rahmen seiner Aufsichtstätigkeit 99 Inspektionen durchgeführt. Wo erforderlich, verlangte das ENSI Verbesserungsmaßnahmen und überwachte deren Umsetzung. Während des Revisionsstillstands vom 3. August bis 2. September 2015 wurden neben dem Brennelementwechsel und den üblichen Revisionsarbeiten umfangreiche Wiederholungsprüfungen durchgeführt. Dabei wurden keine Befunde festgestellt, die einem sicheren Betrieb entgegenstanden.

Im Berichtsjahr sind keine Brennelementschäden aufgetreten. Bei einem Brennelement wurde allerdings ein leicht verbogener Transportbügel festgestellt. Dieses Brennelement wurde nicht mehr eingesetzt.

Die Dosisgrenzwerte der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen wurden eingehalten. Die radioaktiven Abgaben lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Grenzwerte.

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

Das KKM hat im Berichtsjahr keine grösseren Anpassungen seiner Organisation vorgenommen. Zwei Pickettingenieure legten ihre Zulassungsprüfung mit Erfolg ab.

Vom 8. bis 25. Oktober 2012 hatte ein Expertenteam der IAEA (OSART) das KKM besucht und die betriebliche Sicherheit in den verschiedenen Fachbereichen untersucht. Das Team hatte zehn Empfehlungen und elf Anregungen abgegeben, wie die betriebliche Sicherheit weiter verbessert werden könnte, und auch zehn beispielhafte Praktiken identifiziert. Vom 16. bis 20. Juni 2014 fand eine OSART-Follow-up-Mission zur Überprüfung der eingeleiteten Massnahmen statt. Dabei kam das Expertenteam der IAEA zum Schluss, dass von den 21 identifizierten Verbesserungsmöglichkeiten (issues) elf gelöst (resolved) und zehn auf gutem Weg zur Lösung (satisfactory progress) sind. Im Jahr 2015 wurden alle Massnahmen zur Lösung der noch offenen Issues umgesetzt. Das ENSI hat sich davon im Rahmen seiner Aufsichtstätigkeit überzeugt.

Mit dem Entscheid der BKW vom 29. Oktober 2013, auf einen unbefristeten Langzeitbetrieb des Kernkraftwerks Mühleberg zu verzichten und das KKM Ende 2019 endgültig ausser Betrieb zu nehmen, lag bezüglich der Planung von Nachrüstmassnahmen eine neue Situation vor. Das ursprüngliche Nachrüstprogramm, welches auf einen unbefristeten Langzeitbetrieb ausgerichtet war, wurde nicht umgesetzt. Das ENSI hat im Januar 2015 zum vom KKM unter Berücksichtigung der geänderten Situation neu geplanten weiteren Vorgehen Stellung genommen und zehn Forderungen (EABN2019-Forderungen 1 bis 10) erhoben. Die Aktennotiz ENSI 11/1999 vom 23. Januar 2015 «Forderungen des ENSI für den Weiterbetrieb des Kernkraftwerks Mühleberg bis zur endgültigen Ausserbetriebnahme (EABN) im Jahr 2019» wurde auf der ENSI-Website publiziert. Gegenstand der Aktennotiz sind die Angaben des KKM, deren Bewertung durch das ENSI und die Forderungen. Im Dezember 2015 hat das ENSI drei noch nicht oder noch nicht vollständig umgesetzte sowie zwei in jeder Jahresrevision neu zu erfüllende EABN-Forderungen

formell verfügt. Die Verfügung vom 3. Dezember 2015 wurde auf der ENSI-Website publiziert, ebenso die Aktennotiz ENSI 11/2099, welche insbesondere die Umsetzung der EABN-Forderungen vom Januar 2015 thematisiert.

Vor dem Hintergrund der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebes des Kernkraftwerks Mühleberg im Jahr 2019 verfügte das ENSI im November 2013 unter anderem, es sei darzulegen, dass für die Übergangsphase zwischen Betrieb und Nachbetrieb ein hohes Mass an betrieblicher Sicherheit gewährleistet ist und genügend motiviertes und qualifiziertes Personal zur Verfügung steht. Die BKW hat die verlangte Darlegung termingerecht eingereicht. Nach Angaben der BKW wurden die einzelnen Teile der vom ENSI verlangten Darlegung auf der Ebene eines Grobkonzeptes behandelt, da sich die Stilllegungsplanung zum Zeitpunkt der Erstellung der Unterlagen noch in einer frühen Phase befand. Das ENSI hat zu den Ausführungen der BKW eine Stellungnahme verfasst und zehn Forderungen verfügt. Ziel der Forderungen ist es, den Umfang und die zeitliche Staffelung der für die Etablierung und Aufrechterhaltung eines sicheren technischen Nachbetriebs erforderlichen technischen und organisatorischen Massnahmen festzulegen. Die Aktennotiz ENSI 11/2056 Rev. 1 «Stellungnahme des ENSI zum technischen Nachbetrieb des KKM» und die «Verfügung betreffend technischer Nachbetrieb des KKM» vom 10. Dezember 2015 wurden auf der ENSI-Website publiziert. Weitere Ausführungen zur Vorbereitung der Stilllegung des KKM finden sich in Kap. 2.9.

2.2 Betriebsgeschehen

Das Kernkraftwerk Mühleberg erreichte im Berichtsjahr eine Arbeitsausnutzung von 89,6 % und eine Zeitverfügbarkeit von 91,6 %. Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung der letzten zehn Jahre sind in Figur 1 dargestellt. Die Nichtverfügbarkeit der Anlage war hauptsächlich durch den Revisionsstillstand bedingt.

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

Zur Durchführung von Wiederholungsprüfungen und Instandhaltungsarbeiten erfolgten geplante Leistungsabsenkungen. Im Jahr 2015 kam es zu zwei automatischen Schnellabschaltungen und einer ungeplanten Leistungsreduktion. Weitere Leistungsreduktionen erfolgten auf Anforderung des



Stator eines Generators des KKM.
Foto: KKM

Lastverteilers sowie im Sommer infolge hoher Aarewassertemperaturen, um ein Überschreiten der maximal zulässigen Kühlwasseraustrittstemperatur zu vermeiden.

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

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

- Um die Wasseraustrittsmenge ins Reaktorgebäude bei einem postulierten Bruch der Saugleitung des Steuerstabantriebssystems (CRD) im Reaktorgebäude zu reduzieren, wurde eine Blende in diese Leitung eingebaut (EABN2019-Forderung 9). Mit einem Versuch wurde nachgewiesen, dass nach dem Einbau der Blende in die CRD-Saugleitung keine negativen Auswirkungen auf die Funktion des CRD-Systems zu erwarten sind und diesem weiterhin eine genügende Wassermenge für alle Betriebszustände mit den erforderlichen Betriebsdrücken zur Verfügung steht.
- Mit einem weiteren Versuch wurden die Durchflussmenge und die Druckwerte vor und nach dem Einbau einer Blende in die Saugleitung der Kernisoliationskühlung (RCIC) verifiziert. Mit dem Einbau der Blende wird die Wasseraustritts-

menge ins Reaktorgebäude (EABN2019-Forderung 9) bei einem postulierten Bruch der RCIC-Saugleitung im Reaktorgebäude reduziert.

- Mit der neuen von der Aare unabhängigen Notkühlwassereinspeisung kann unter Ausnutzung der Höhendifferenz Kühlwasser vom Hochreservoir Runtigenrain in das Kühlwassersystem (CWS) eingespeist werden. Im Rahmen der Inbetriebsetzung wurde die Funktionstüchtigkeit der Notkühlwasserversorgung erfolgreich nachgewiesen.

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

- Wegen einer Störung im Speisewasser-Regelsystem einer Turbinengruppe schloss im KKM am 6. Juli 2015 das Speisewasserregelventil. Damit wurde nicht mehr genügend Wasser in den Reaktor eingespeist. In der Folge sank das Reaktorniveau kontinuierlich. Auslegungsgemäss wurde die Reaktorleistung durch einen Runback der Umwälzpumpen auf Minimaldrehzahl automatisch reduziert. Beim späteren Ansprechen des Reaktorschutzsignals NIVEAU TIEF (kleiner als +28 cm) kam es zu einer automatischen Reaktorschneellabschaltung. Diese verlief auslegungsgemäss. Neben der auslösenden Störung im Speisewasser-Regelsystem gab es keine weiteren Störungen. Die Analyse zur Ermittlung der Grundursache zeigte, dass ein



Notstrom-
Diesellaggregat.
Foto: KKM

Kurzschluss zum Ausfall eines Transistors in einer Baugruppe der Speisewasserregelung geführt hatte. Damit ging das analoge Stellsignal für das betroffene Speisewasserregelventil verloren und das Ventil wurde innerhalb von drei Sekunden geschlossen. Die ausgefallene Baugruppe in der Turbinenregelung wurde durch eine baugleiche ersetzt. Anschliessend wurde die einwandfreie Funktion des Speisewasser-Regelsystems geprüft. Nach weiteren Tests zum Nachweis der Betriebsbereitschaft wurde die Anlage wieder angefahren. Die defekte Baugruppe wurde zum Hersteller zur weiteren Analyse geschickt.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die Störung im Speisewasser-Regelsystem vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

- Am 2. August 2015 wurde beim Abfahren zur Jahresrevision 2015 die erste Turbogruppe wie geplant abgeschaltet und vom Netz genommen. Danach wurden die Verstärkungsfaktoren der Neutronenflussmessung justiert. Dies muss bei einer Reaktorleistung von 50 % vorgenommen werden. Da diese aber nur 48 % betrug, sollte die Leistung durch Erhöhung der Umwälzpumpendrehzahl auf 50 % angehoben werden. Irrtümlicherweise betätigte der Operateur einen falschen Schalter, was zu einem Runback der Umwälzpumpen auf Minimaldrehzahl führte. Die Reaktorleistung reduzierte sich dadurch von 48 % auf 35 %. Nach der Ursachenabklärung

wurde das Abfahren zur Jahresrevision fortgesetzt. Die Anlage verhielt sich nach Auftreten der Störung auslegungsgemäss. Sie befand sich jederzeit in einem sicheren Zustand.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die Betätigung des falschen Schalters vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und die Schutzziele «Kontrolle der Reaktivität» und «Kühlung der Brennelemente».

- Beim Beladen des Reaktors am Ende der Jahresrevision 2015 wurde bei einem Brennelement (BE) am Transportbügel eine leichte Verbiegung festgestellt. Das BE wurde ausgetauscht. Das Ersatz-BE ist vom selben Typ und weist nahezu gleiche reaktorphysikalische Eigenschaften auf. Die geänderte Kernbeladung wurde vom ENSI geprüft und freigegeben.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde der Schaden am Transportbügel eines Brennelements vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe».

- Während des Anfahrens nach der Jahresrevision wurden Testläufe mit den beiden Strängen des Reaktorkernisolations-Kühlsystems (RCIC) durchgeführt. Bei einem der Testläufe wurde ein abweichendes Regelverhalten des Turbinenregelventils beobachtet. Die Störungssuche und -behebung verlängerten die Revisionsdauer um anderthalb Tage und erforderten die Absicherung des Systems. Die Ursache war ein fehlerhaft eingestelltes Nadelventil am hydraulischen Antrieb des Turbineneinlassventils. Die Einstellung des Nadelventils wurde korrigiert. Der anschliessend durchgeführte Testlauf verlief erfolgreich. Das Wiederanfahren der Anlage erfolgte schliesslich am 2. September 2015 nach Behebung dieser und einer weiteren Störung (siehe unten).

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die fehlerhafte Einstellung des Nadelventils vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

■ Im Rahmen des Testprogrammes zum Wiederanfahren nach der jährlichen Revision führte die Schichtmannschaft des KKW Mühleberg am 2. September 2015 einen manuell ausgelösten Turbinenschnellschluss an einer der beiden Turbinengruppen durch. Dabei wird die Dampfzufuhr zur Turbine unterbrochen. Um die Reaktorleistung an den verminderten Dampfbedarf anzupassen, erfolgte eine automatische Leistungsreduktion durch eine schnelle Reduktion der Umwälzpumpendrehzahl (Runback) und ein Einschliessen vorgewählter Steuerstäbe in den Reaktor (Teilsclam).

Aufgrund von unpräzisen Testvorschriften kam es beim Wiederhochfahren der getesteten Turbinengruppe nach rund 10 Minuten zu einem raschen Niveauanstieg im Scramablassbehälter. Das Signal «Niveau hoch» im Scramablassbehälter löste am 2. September 2015 um 20:41 Uhr eine automatische Reaktorschnellabschaltung aus.

Der Scramablassbehälter stellt ein genügendes Volumen für die Aufnahme der bei einer Reaktorschnellabschaltung (SCRAM) anfallenden Wassermenge aus den Steuerstabantrieben zur Verfügung. Sollte das frei bleibende Volumen nicht mehr ausreichend sein, wäre die Bewegung der Steuerstäbe im Falle eines erforderlichen SCRAMs behindert. Mit einer zum Reaktorschutzsystem gehörenden automatischen Überwachung wird sichergestellt, dass die An-

lage vorsorglich mit einer Reaktorschnellabschaltung reagiert, wenn mehr als 68 Liter im Scramablassbehälter sind.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurden die ungenauen Vorgaben im Fahrprogramm vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt der Betriebsvorgaben mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Die mit der Schnellabschaltung verbundene Risikoerhöhung wurde ebenfalls der Kategorie A (Abweichung) zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit ebenen- und schutzzielübergreifender Bedeutung.

■ Am 14. November 2015 stellte ein Anlagenoperator im Reaktorwasser-Reinigungssystem an einer Schweißnaht der Verbindungsleitung zwischen den zwei Kühlkammern eines Wärmetauschers einen geringfügigen Wasseraustritt fest. Es kam weder zu einem Anstieg der Aerosolkonzentration noch der Ortsdosisleistung. Der Wasseraustritt wurde bis zur Reparatur der Schweißnaht am 25. November 2015 überwacht. Für die Reparatur musste das Reaktorwasserreinigungssystem für rund 20 Stunden ausser Betrieb genommen werden. Der Reaktor kann während etwa 80 Stunden weiter betrieben werden, ohne dass es zu einer Überschreitung von Grenzwerten für Fremdstoffe im Wasser kommt.



Lüftungsanlage des Dieselraums.
Foto: KKM



Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die Leckage an der Verbindungsleitung vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und die Schutzziele «Kontrolle der Reaktivität» sowie «Kühlung der Brennelemente».

- Wegen einer Störung in der Ansteuerlogik kam es am 18. Dezember 2015 zu einem Ausfall einer Reaktorummwälzpumpe. Über das Signal «Speisewassermenge <1200 t/h» führte dies auslegungsgemäss an der anderen Reaktorummwälzpumpe zu einem automatischen Runback. Vorschriftsgemäss wurde daraufhin die Reaktorleistung durch Einschliessen vorgewählter Steuerstäbe auf 32 % reduziert. Nach Austausch der fehlerhaften elektronischen Teile wurde die ausgefallene Reaktorummwälzpumpe am 19. Dezember 2015 wieder in Betrieb genommen und die Anlage hochgefahren.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde der Ausfall der Reaktorummwälzpumpe vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt der Betriebsvorgaben mit Be-

deutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

Eine Zusammenstellung der Vorkommnisse der vergangenen zehn Jahre 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 Revisionsarbeiten begannen am 3. August 2015 und dauerten bis zum 2. September 2015. Während dieser Zeit wurden geplante Tätigkeiten wie Brennelementwechsel und Brennelementinspektionen, Inspektionen elektrischer und mechanischer Einrichtungen, zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen, wiederkehrende Funktionsprüfungen an Komponenten und Systemen sowie Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten durchgeführt.

Schwerpunkte bei den Wiederholungsprüfungen an mechanischen Komponenten waren visuelle Prüfungen der Kerneinbauten im RDB, Ultraschallprüfungen an den Schweißnähten des Kernmantels, ein integraler Leckratentest des Primärcontainments, Wanddickenmessungen am Frischdampfsystem und am Primärcontainment sowie visuelle Inspektionen der gesamten Innenoberfläche des Torus und dessen Einbauten. Folgende Prüfungen sind hervorzuheben:

- Auch in diesem Jahr wurden umfangreiche visuelle Prüfungen der Kerneinbauten nach einem qualifizierten Prüfverfahren durchgeführt. Es wurden keine Hinweise auf neue Schäden festgestellt. Ein besonderes Augenmerk galt dem Wasserabscheider. Die während der Jahresrevision 2013 detektierten Befunde wurden einer erneuten Prüfung unterzogen. Die Ergebnisse zeigten keine Veränderungen gegenüber denjenigen der Prüfungen aus den Jahren 2013 und 2014. Der 2013 erbrachte Nachweis behält daher weiterhin seine Gültigkeit.
- Am Umwälz- und am Kernsprühsystem wurden vier austenitische Schweißnähte und vier Mischverbindungen mittels einer qualifizierten mechanisierten Wirbelstrom- und Ultraschallprüftechnik auf Risse geprüft. Die durchgeführten Prüfungen ergaben keine Beanstandungen.
- Am Frischdampfsystem sowie am Primärcontainment wurden zahlreiche Wandstärkenmessungen durchgeführt. Sämtliche gemessenen

Wandstärken erfüllen die Anforderungen. Es wurde auch an Stellen gemessen, welche in früheren Jahren bereits geprüft wurden. Es ergaben sich keine Hinweise auf unzulässige Wandstärkenverminderungen.

- In der Jahresrevision 2015 wurden die Ultraschalluntersuchungen am Kernmantel auf die im vorigen Jahr neu detektierten vertikalen Anrisse quer zur horizontalen Schweißnaht ausgeweitet. Zwei Rundnähte wurden vollständig auf Längs- und Querfehler und sechs Vertikalnähte vollständig auf Längsfehler geprüft. An weiteren zwei Rundnähten wurde ein repräsentativer Prüfumfang von mehr als einem Drittel des Umfangs untersucht, wobei insbesondere die bekannten Rissanzeigen auf Veränderungen überprüft wurden. Dabei wurde zusätzlich ein auf Querfehler qualifiziertes Ultraschall-Prüfsystem eingesetzt. Dass die Qualifizierung des neuen Prüfsystems in nur neun Monaten erfolgreich durchgeführt wurde, hat das ENSI mit guter Praxis bewertet. Alle Befunde wurden bewertet und sind gemäss den bruchmechanischen Berechnungen zulässig. Die Kriterien für den sicheren Weiterbetrieb des Kernmantels, die im Rahmen der Verfügung zur Restlaufzeit des KKM vom ENSI aufgestellt wurden, sind erfüllt.
- Ein Schwerpunkt der diesjährigen Revisionsabstellung war die im Intervall von vier Jahren durchzuführende visuelle Inspektion der Torus-Innenoberfläche sowie der Torus-Einbauten. Dazu wurde der Torus vollständig entleert. Mittels einer optimierten Fahrweise, bei der zum Teil alle drei Filter der Kondensatreinigung parallel in Betrieb waren, konnte die Aktivitätsabgabe an die Aare im Vergleich zu früheren Torusentleerungen deutlich reduziert werden. Die Innenoberflächen sowie die Einbauten zeigten sich in einwandfreiem Zustand. In diesem Zusammenhang wurden auch Wartungsarbeiten an Erstabsperrarmaturen der Torus-Ringleitung vorgenommen.
- Die Dichtheit des Primärcontainments wurde im Rahmen des kurz vor dem Wiederanfahren der Anlage durchgeführten integralen Leckraten-tests nachgewiesen. Die Dichtheitsanforderungen des Primärcontainments sind mit grosser Sicherheitsmarge erfüllt.

Schwerpunkte des diesjährigen Wiederholungsprüfprogramms an elektrischen und leittechnischen Ausrüstungen waren die komponenten- und verfahrenstechnischen Prüfungen an den Block- und Eigenbedarfstransformatoren, des An-

fahrtransformators und der Leistungsschalter der 380-V- und 6-kV-Schaltanlagen. Im Bereich der Grosskomponenten erfolgten zudem Totalrevisionen eines Generators, einer Kondensatpumpe und eines Speisewasserpumpenmotors. Die hierbei durchgeführten Diagnosemessungen durch den Hersteller belegten den einwandfreien Zustand dieser Komponenten. Dasselbe gilt für die an den Umrichtern der Reaktorumwälz-, Speisewasser- und Hauptkühlwasserpumpen durchgeführten Kontroll- und Wartungsarbeiten. Im leittechnischen Bereich sind hierzu die wiederkehrenden Prüfungen aller Kanäle der Nuklearinstrumentierung, der Sicherheitsleittechnik einer Redundanz des Notabluftsystems und zweier Reaktorschutzredundanzen sowie die Durchführung der Sensortests zu nennen.

Im Rahmen des periodischen Erneuerungsprogramms wurden in einem Strang alle 24-V-Batterien ersetzt und mit den anschliessenden Kapazitätsprüfungen deren Verfügbarkeit nachgewiesen. Geprüft wurde auch die Funktionstüchtigkeit der USV-Installationen sämtlicher Gleich- und Wechselrichter in den 24-V- und 125-V-DC-Anlagen der Stränge I und II sowie der 24-V- und 110-V-DC-Anlagen der Stränge III und IV. Um die hohe Betriebssicherheit weiterhin zu gewährleisten, wurden zudem diverse Baugruppen der Procontrol- und Iskamatic-Steuerungen im Rahmen des Alterungsüberwachungsprogramms ertüchtigt.

2.3.2 Anlageänderungen

Das KKM hatte 2013 beschlossen, die Katze und die Steuerung des Krans im Reaktorgebäude zu erneuern. Die Ausführung inklusive der hierfür notwendigen geringfügigen Änderungen an den Kranbrückenträgern erfolgte bis April 2015. Die Ertüchtigungsarbeiten in den Bereichen Stahlbau und Bautechnik wurden gemäss den vom ENSI freigegebenen Dokumenten ausgeführt. Die Lastannahmen des seismischen Berechnungsberichts wurden vom ENSI freigegeben und nach der Montage der neuen Komponenten verifiziert. Die erforderlichen Tests für eine sichere Inbetriebnahme wurden vom ENSI beaufsichtigt und erfolgreich durchgeführt.

In der Jahresrevision 2015 wurden mehrere Nachrüstungen umgesetzt, welche auf Forderungen des ENSI zum Weiterbetrieb des KKM bis zur endgültigen Ausserbetriebnahme im Jahr 2019 (EABN2019) zurückgehen. Nennenswerte Anlageänderungen und Instandhaltungsarbeiten sind:

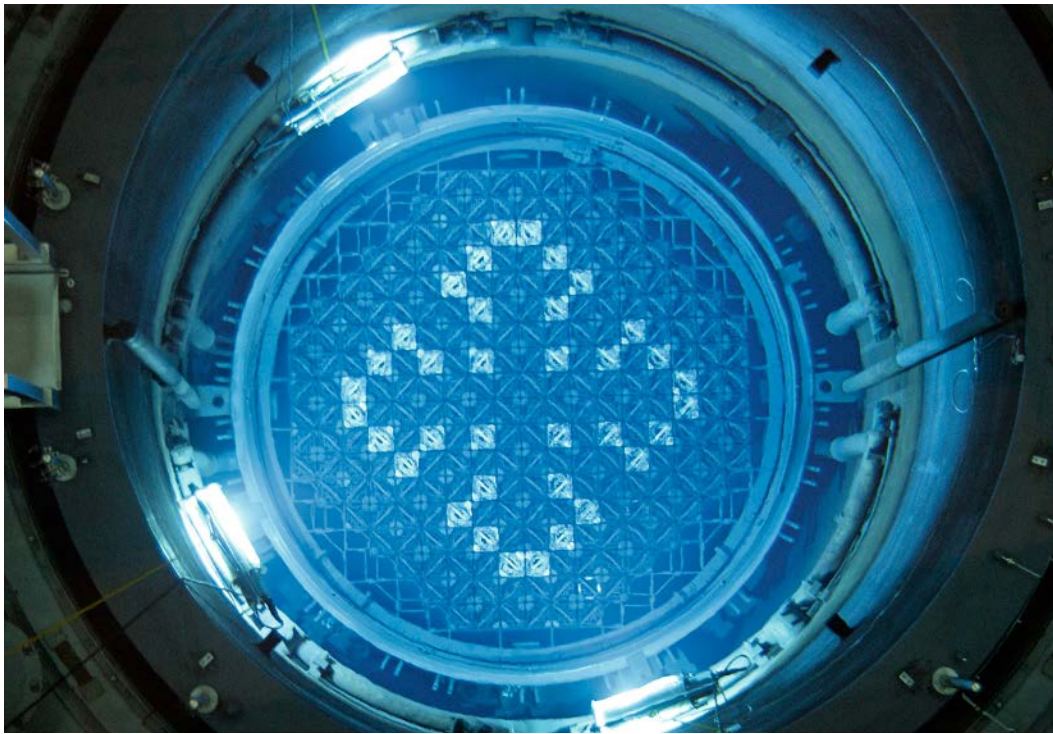
- Eine von der Aare unabhängige Kühlwasserversorgung wurde nachgerüstet. Die Sanierung der Trinkwasserversorgung REWAG konnte in der Jahresrevision 2015 abgeschlossen werden. Das neu über den Überflutungskoten für Hochwasser- und Dammbbruch liegende REWAG-Pumpwerk versorgt das Hochreservoir Runtigenrain durch eine neue Verbindungsleitung mit genügend Wasser, welches im Anforderungsfall zur Notkühlwassereinspeisung genutzt werden kann. Das Wasser wird vom Hochreservoir über einen neuen Armatureschacht in das Kühlwassersystem (CWS) geführt. Des Weiteren wurde ein erdbebenfester Anschluss für den Einsatz mobiler Pumpen zur Versorgung des CWS im SUSAN-Gebäude installiert. Mit diesen Massnahmen ist das KKM der ENSI-Forderung bezüglich Nachrüstung einer zusätzlichen, von der Aare unabhängigen Kühlwasserversorgung nachgekommen.
- Der oben erwähnte neue Armatureschacht wird künftig nebst der Notkühlwassereinspeisung noch weitere Komponenten aus geplanten Nachrüstungen enthalten. Bautechnisch ist der Armatureschacht so ausgeführt, dass bei Einwirkungen von aussen, sei dies durch Erdbeben oder herabfallende Trümmer, die Baustruktur sowie die darin befindlichen Leitungen und Armaturen nicht beschädigt werden und diese auch bei Überflutung des Geländes infolge eines Staudammbrechts funktionstüchtig bleiben.
- Während der Jahresrevision wurden drei Massnahmen zur Reduktion der Wassermenge bei postulierten Leitungsbrüchen im Reaktorgebäude umgesetzt. Durch den Einbau eines Rückschlagventils und zweier Blenden würde der Wasseraustritt bei einem postulierten Bruch der jeweiligen Leitungen deutlich reduziert. Mit der Umsetzung dieser drei Massnahmen zur Beherrschung einer internen Überflutung im Reaktorgebäude hat das KKM eine weitere Forderung des ENSI erfüllt.
- In den Jahresrevisionen 2013 und 2014 wurden bei beiden Reaktorumwälzpumpen die Gleitringdichtungen durch ein neues Fabrikat mit geänderter Materialzusammensetzung und geänderter Beschaffenheit der Dichtfläche ausgetauscht. Damit sollte eine Erhöhung der Einsatzdauer der Dichtungen erreicht werden. In der Jahresrevision 2015 wurde bei einer Reaktorumwälzpumpe die Dichtung zu Kontrollzwecken ausgetauscht. Die ausgebaute Dichtung befand sich in einem guten Zustand, was für die

Eignung des neuen Dichtungstyps spricht. Der Zustand der Gleitringdichtungen wird weiterhin laufend überwacht. Temperatur, Druck und Leckage der Dichtungen werden erfasst.

- Im Jahr 2014 wurden in den Abblaseleitungen der Sicherheits- und Entlastungsventile platinbeschichtete Spezialschrauben eingesetzt. Ihre autokatalytische Wirkung dient der Rekombination von wasserstoffhaltigen Radiolysegasen, die durch geringfügige Leckagen der Ventile in die Abblaseleitungen gelangen können. Die Herstellung und Montage der neuen Schrauben wurde vom SVTI überwacht. Damit wurde eine Forderung aus der Periodischen Sicherheitsüberprüfung 2010 erfüllt. Die in der Zwischenzeit gemachten Untersuchungen mit diesen katalytischen Sonderschrauben waren jedoch nicht befriedigend, weshalb die Schrauben 2015 durch Schrauben mit Palladium als Katalysator ersetzt wurden.
- Die Gleich- und Wechselrichter zweier sicherer Schienen wurden im Rahmen der präventiven Instandhaltung ersetzt. Die neuen Geräte sind für die heute gültigen Erdbebenspektren gebaut und entsprechen dem Stand der Technik.
- Die Speisewasser-Mengenmessungen wurden durch den Austausch der bisherigen Transmitter gegen temperaturkompensierte Drucktransmitter ertüchtigt.

2.3.3 Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente

Im August 2015 wurde der 42. Betriebszyklus des KKM planmässig abgeschlossen, wobei die eingesetzten Brennelemente ein bestimmungsgemässes Betriebsverhalten zeigten. Dies folgte aus der laufenden Überwachung der Kühlmittelaktivität sowie aus Inspektionen an insgesamt sieben ausgewählten Brennelementen vom Typ GNF2. Die Inspektionen bestätigten erneut, dass die Edelmetalleinspeisung in das Kühlmittel (vgl. Kap. 2.4) keinen negativen Einfluss auf die Brennstab-Hüllrohre oder die Strukturteile der Brennelemente hat. Als Vorläufer wurden weiterhin vier Brennelemente mit weiterentwickeltem Fremdkörperfilter, vier Brennelemente mit Kästen aus Zircaloy-4 und vier weitere Brennelemente mit Kästen aus dem weiterentwickelten Material NSF eingesetzt. Die Inspektionen bestätigten das auslegungsgemässe Verhalten der Zircaloy-4-Kästen und der NSF-Kästen. Des Weiteren sind zwei Steuerelemente vom Typ Marathon Ultra MD als Vorläufer eingesetzt.



Blick in den geöffneten Reaktor.
Foto: KKM

Zwei hoch abgebrannte Steuerelemente wurden inspiziert. Mit dieser Inspektion und den Kühlmittelanalysen wurde der auslegungsgemässe Zustand der Steuerelemente nachgewiesen.

Für den 43. Betriebszyklus setzte das KKM insgesamt 36 frische Brennelemente vom Typ GNF2 ein. Damit wird der Reaktorkern weiterhin ausschliesslich mit GNF2-Brennelementen betrieben. Das ENSI überzeugte sich davon, dass nur freigegebene und den Qualitätsanforderungen entsprechende Brennelemente geladen wurden und alle Sicherheitsmassnahmen während des Brennelementwechsels den Vorgaben entsprachen. Der vom ENSI geprüfte Beladeplan des Reaktorkerns erfüllte die Sicherheitsanforderungen.

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

2.4 Strahlenschutz

Im Jahr 2015 betrug die akkumulierte Kollektivdosis für das KKM 893 Pers.-mSv. Die maximale Individualdosis lag mit 8,2 mSv unter dem Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Im Berichtszeitraum traten weder Personenkonta-

minationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen auf. Dank der schadenfreien Brennelemente war die Ausgangslage für die Revisionsarbeiten radiologisch gesehen auch in diesem Jahr günstig.

Die Kollektivdosis aller Mitarbeiter im Revisionsstillstand 2015 lag bei 710,8 Pers.-mSv (EPD-Wert). Der vom KKM vor Beginn der Arbeiten geschätzte Wert lag bei 710 Pers.-mSv.

Die mittlere Dosisleistung an den beiden Umwälzschleifen zeigt im Vergleich zu den Vorjahren mit 1,44 mSv pro Stunde im Berichtsjahr eine weitere leichte Abnahme (2014: 1,66 mSv pro Stunde). Der Höchststand im Jahr 1994 betrug 6,4 mSv pro Stunde.

Der Personalbestand des Ressorts Strahlenschutz war im Betriebsjahr angemessen und ermöglichte es, die administrativen und technischen Schutz- und Überwachungsaufgaben sicherzustellen. Drei Fachkräfte haben die Weiterbildung zu Strahlenschutztechnikern erfolgreich absolviert. Zudem setzt das KKM erfahrenes und mit der Anlage vertrautes Strahlenschutzpersonal externer Firmen ein. Die wiederkehrenden und arbeitsbedingten Kontaminationskontrollen der Oberflächen und der Raumluft bestätigten einen radiologisch sauberen Zustand der kontrollierten Zonen im KKM.

Die Edelmetalleinspeisung wurde fortgesetzt. Gemeinsam mit der kontinuierlichen Zugabe von Wasserstoff sollen dadurch die Einbauten im Reaktordruckbehälter vor Spannungsrissskorrosion ge-

schützt und die Kontamination der Primärkühlmitteleitungen gesamthaft reduziert werden.

Die in der Berichtsperiode zum Thema Strahlenschutz durchgeführten Inspektionen bestätigten, dass im KKM ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz praktiziert wird.

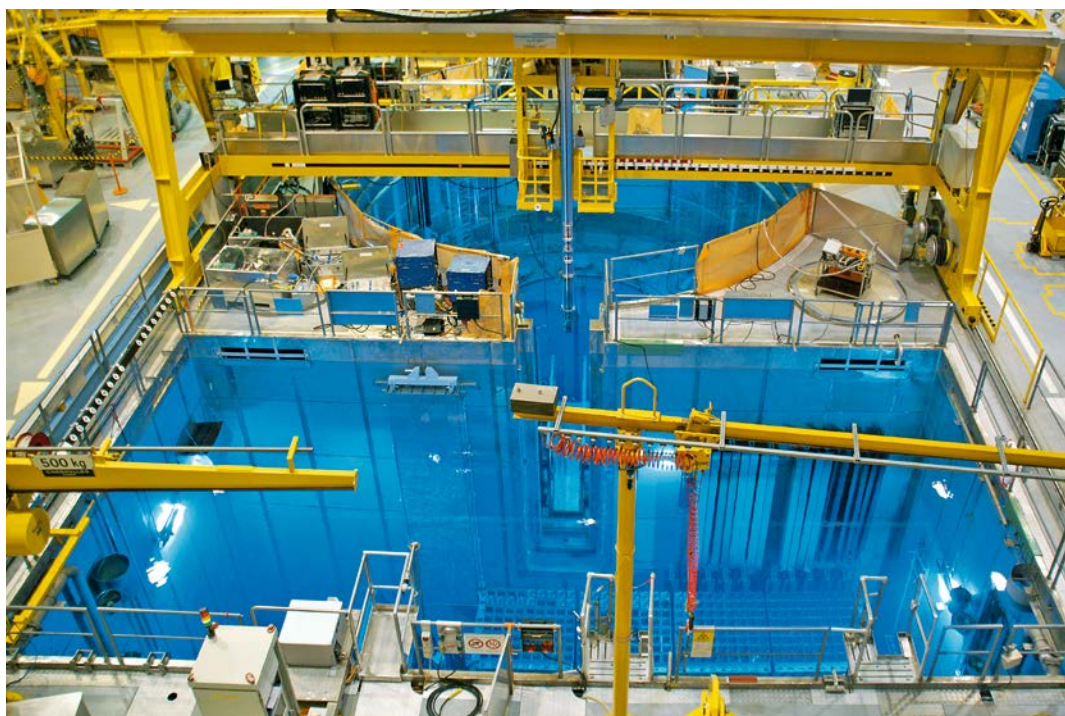
Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen, Iod und Edelgasen lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Grenzwerte. Dies gilt auch für die radioaktiven Abgaben mit dem Abwasser einschliesslich Tritium. Die quartalsweise vom ENSI durchgeführten Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern ergaben Übereinstimmung mit den vom KKM gemeldeten Ergebnissen. Aus den tatsächlich über die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnet das ENSI die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKM unter konservativen, das heisst ungünstigen Annahmen. Die berechneten Dosen betragen rund 0,003 mSv für Erwachsene und Zehnjährige sowie 0,004 mSv für Kleinkinder und liegen somit deutlich unter dem quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0,3 mSv pro Jahr gemäss Richtlinie ENSI-G15. Die Dosisleistungs-Messsonden 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), welche an mehreren Stellen am Zaun des Kraftwerkareals die Dosis messen, zeigten mit einem Jahreshöchstwert von 1,4 mSv einschliesslich natürlicher Untergrundstrahlung einen gegenüber dem Vorjahr leicht niedrigeren Wert. Bei den quartalsweise vom ENSI zur Kontrolle durchgeführten Messungen am Zaun des Kraftwerkareals wurden ebenfalls keine signifikanten Veränderungen festgestellt. Die in Artikel 102 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung vorgegebenen Immissionsgrenzwerte für Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerksareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche wurden eingehalten. Für detailliertere Angaben zur radiologischen Situation innerhalb und ausserhalb der Anlage Mühleberg wird auf den Strahlenschutzbericht 2015 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 Nachrüstmassnahmen und den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien. Im Berichtsjahr fielen 26 m³ radioaktive Rohabfälle an (vgl. Tabelle 6). Der Anfall bewegt sich in der mehrjährigen Schwankungsbreite auf einem niedrigen Niveau.

*Verschieben von Brennelementen zwischen RDB und Brennelementbecken.
Foto: KKM*



Die radioaktiven Rohabfälle werden gesammelt, kampagnenweise konditioniert und anschliessend zwischengelagert. Die im KKM vorhandenen unkonditionierten Abfälle sind in dafür vorgesehenen Räumlichkeiten der kontrollierten Zone aufbewahrt. Ihr Bestand liegt mit 55m³ im Erfahrungsbereich der vergangenen Jahre. Brennbar und weitere Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in der Plasma-Anlage der Zwiilag bereitgestellt und dorthin transportiert.

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

Die konditionierten Abfallgebinde werden routinemässig in das werkseigene Zwischenlager eingelagert. Das KKM nutzt zudem die Kapazitäten des zentralen Zwischenlagers in Würenlingen (ZZL). Bei der jährlichen Inspektion des Lagergutes wurden keine meldepflichtigen Befunde festgestellt. Die radioaktiven Abfälle des KKM sind in einem von allen schweizerischen Kernanlagen eingesetzten elektronischen Buchführungssystem erfasst, so dass die Information über Menge, Lagerort und radiologische Eigenschaften jederzeit verfügbar ist. Ein wichtiges Element bei der Minimierung der radioaktiven Abfälle ist die Inaktiv-Freimessung von Materialien aus der kontrollierten Zone. Im KKM wurden im Berichtsjahr insgesamt 43,2 t Material freigemessen.

Bestrahlte Brennelemente des KKM werden nach einigen Jahren Lagerung im Brennelementbecken in Behältern in das ZZL zur Trockenlagerung transportiert. Im Jahr 2015 fand erneut eine derartige Transportkampagne statt, in deren Verlauf 69 Brennelemente zunächst in das ZZL transportiert und dort für die Zwischenlagerung im HA-Lager in einen Transport- und Lagerbehälter umgeladen wurden.

Weitere Information zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente sowie zu Wiederaufarbeitungsabfällen findet sich gesamthaft für alle Werke im Kapitel 8.

2.6 Notfallbereitschaft

Die Notfallorganisation des KKM ist für die Bewältigung aller Notfälle innerhalb des Werksareals zuständig. Mit einer zweckmässigen Organisation, geeigneten Führungsprozessen und -einrichtungen zusammen mit einer entsprechenden Auslegung

der Anlage hat das KKM die Notfallbereitschaft auf hohem Niveau sicherzustellen.

Das ENSI hat im November 2015 an der Werksnotfallübung OCTOPUS mit Schwerpunkt Feuerwehreinsatz (WNU/F gemäss Richtlinie ENSI-B11) die Notfallorganisation beobachtet und beurteilt.

Für die Übung wurde ein Szenario angenommen, bei welchem eine Frischdampf-Leckage zu einer Frischdampf-Isolation und einer Reaktorschnellabschaltung führte. In der Folge fielen mehrere Systeme für die Abfuhr der Nachzerfallswärme aus, so dass die Wärmeabfuhr nur noch über die neue, von der Aare unabhängige Notkühlwasserversorgung möglich war. Die Betriebsfeuerwehr errichtete eine Wassertransportleitung von der Aare als Redundanz zum Notkühlwassersystem. Da ein durch Montagearbeiten am Hilfskessel des neuen konventionellen Heizsystems ausgelöster Brand von der Betriebsfeuerwehr nicht unter Kontrolle gebracht werden konnte, musste zur Unterstützung die Berufsfeuerwehr Bern alarmiert werden. Während der Löscharbeiten ereignete sich ein Personenunfall, daraus resultierte ein Rettungseinsatz mit anschliessender Versorgung des Verletzten durch die Betriebssanität.

An einer WNU/F werden die Tätigkeiten der Betriebsfeuerwehr durch das kantonale Feuerwehrospektorat umfassend beurteilt. Die Auswertung der kantonalen Aufsichtsbehörde ergab ein Defizit bei der Anzahl zur Verfügung stehender Handfunkgeräte der Betriebsfeuerwehr, welche im Ereignisfall zur Kommunikation mit der Berufsfeuerwehr Bern verwendet werden können. Es wurden zusätzliche Funkgeräte bestellt, welche ab dem 8. Februar 2016 zum Einsatz kommen.

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

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

Das ENSI löste ferner im KKM ohne Voranmeldung einen Übungsalarm aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Werk-Notfallstabs bestätigt wurde.

2.7 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr hat sich der Personalbestand im KKM im Rahmen des Generationenwechsels aufgrund des Auslaufens von Doppelbesetzungen auf

342 Personen verringert, welche 333 Vollzeitstellen besetzen (Ende 2014: 363). Die BKW hat im Hinblick auf den Restbetrieb der Anlage und des anstehenden Rückbaus Massnahmen zur Personalbindung initialisiert. Im Berichtszeitraum wechselten 15 Personen des KKM zur Geschäftseinheit Engineering im Geschäftsbereich Produktion der BKW. Sie erbringen derzeit im Wesentlichen Dienstleistungen für das KKM. Diese Massnahme führte zu organisatorischen Anpassungen.

Das Managementsystem des KKM ist gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2008 zertifiziert. Das ENSI führte eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Kompetenzmanagement durch. Dabei wurde überprüft, ob das KKM über geeignete Abläufe und Vorgaben verfügt, um die erforderlichen sowie die vorhandenen Kompetenzen des Eigenpersonals zu ermitteln. Weiter überprüfte das ENSI, wie das KKM aus den Ergebnissen Massnahmen ableitet und deren Wirksamkeit bewertet. Die Anforderungen wurden erfüllt.

Im Laufe des Jahres 2015 hat das ENSI im KKM, wie in allen Schweizer Kernkraftwerken, ein Fachgespräch zum Thema «Verantwortung für die Sicherheit» durchgeführt. Dieses gehört zur Reihe der Fachgespräche zum Dialog über Sicherheitskultur, welche alle drei Jahre vom ENSI durchgeführt werden. Während die Verantwortung für den sicheren Betrieb formell im Kernenergiegesetz, der Kernenergieverordnung und der Richtlinie ENSI-G07 geregelt ist, ging es im Fachgespräch darum, den Dialog im KKM darüber zu fördern, wie diese Verantwortung wahrgenommen wird.

Zwei Picketingenieure legten im Berichtsjahr ihre Zulassungsprüfung unter Aufsicht des ENSI mit Erfolg ab. 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 Anlagensimulator und besteht aus einer Demonstration der Anwendung der Kenntnisse. Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in Tabelle 3 zusammengestellt.

Das ENSI hat eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2014 und der Planung des Ausbildungsprogramms 2015 der Abteilung Betrieb durchgeführt. Gegenstände der Inspektion waren die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator, die allgemeine Wiederholungsschulung sowie deren Änderungen und Neuerungen. Ferner wurde die Aus-

bildung des Personals der Abteilung Überwachung auf Einhaltung der Vorgaben der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) und der Richtlinie ENSI-B10 überprüft. Die Ausbildungsprogramme des KKM in den inspierten Bereichen erfüllen die Anforderungen.

2.8 Vorbereitung Stilllegung KKM

Im Oktober 2013 gab die BKW bekannt, dass das KKM Ende 2019 endgültig vom Netz gehen soll. Seither laufen verschiedene Vorbereitungsarbeiten im Hinblick auf die Stilllegung des Kraftwerks. So erliess das ENSI nach der Bekanntgabe der geplanten Ausserbetriebnahme eine Verfügung, in der die BKW aufgefordert wurde, erste Angaben dazu zu liefern, welche sicherheitsrelevanten Systeme und Anlagenteile des Kraftwerks für den Nachbetrieb und die Stilllegung noch benötigt werden und wie logistische Fragen im Bereich der Abfälle und des Kernbrennstoffs angegangen werden.

Im Jahr 2014 wurde eine Begleitgruppe «Verfahren Stilllegung KKM» mit Vertretern von Bundesbehörden und kantonalen Behörden sowie BKW und KKM gebildet. Ziel der Gruppe war es, Organisation, Prozesse und Zeitpläne der beteiligten Akteure zu koordinieren. Die Begleitgruppe setzte drei Arbeitsgruppen zu den Themen Verfahren/Umweltverträglichkeitsbericht, technische Fragen und Kommunikation ein. Gleichzeitig begann die BKW mit der Erstellung der Unterlagen zur Erlangung der Stilllegungsverfügung des UVEK. Im Dezember 2015 hat die BKW diese Unterlagen dem BFE und dem ENSI zur Prüfung eingereicht. Daraufhin wurden die Begleitgruppe «Verfahren Stilllegung KKM» sowie die Arbeitsgruppen zu den Themen Verfahren/Umweltverträglichkeitsbericht und technische Fragen aufgelöst. Die Arbeitsgruppe Kommunikation bleibt vorerst bestehen, weil bei Öffentlichkeitsveranstaltungen weiterhin Koordinationsbedarf besteht.

Im März des Berichtsjahres wurden in Mühleberg, Detlingen und Uetligen öffentliche Informationsanlässe zur Stilllegung des KKM durchgeführt. Vertreter von BFE, ENSI und BKW erklärten das Stilllegungsverfahren und den geplanten Rückbau der Anlage. Insgesamt nahmen rund 800 Personen aus der Bevölkerung teil.

2.9 Sicherheitsbewertung

Im Jahr 2015 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 Sicherheitsbewertungs-Matrix zu folgenden zusammenfassenden Beurteilungen:

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

Sicherheitsbewertung 2015 KKM:
Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge

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

Sicherheitsbewertung 2015 KKM: Schutzziel-Perspektive
Anmerkung: alternative Darstellung derselben Sachverhalte wie in der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge, aber mit zusätzlicher Darstellung radiologischer Auswirkungen

Zellen ohne Bewertung bedeuten, dass weder Inspektionsergebnisse, Zulassungsprüfungen, Vorkommnisse noch Sicherheitsindikatoren eine Bedeutung für diese Zellen hatten. Die Zellenbewertungen richten sich nach der höchsten einer Zelle zugeordneten Bewertung eines Sachverhalts. Sämtliche den Kategorien A (Abweichung) zugeordneten Sachverhalte sind im Unterkapitel 2.2 dargestellt.

Zusammenfassend kommt das ENSI zu folgenden Gesamtbewertungen:

Auslegungsvorgaben

Bei der Beurteilung der Auslegungsvorgaben hat das ENSI Erkenntnisse aus der letzten Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) sowie aus dem EU-Stresstest herangezogen und dabei die Auslegung der Anlage bezüglich Redundanzgrad, Diversität, räumlicher Separation und Robustheit gegen auslösende Ereignisse bewertet. Da die Auslegungsvorgaben des KKM die Minimalanforderungen und den Stand ausländischer Anlagen desselben Typs übertreffen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKM hinsichtlich Auslegungsvorgaben als gut.

Betriebsvorgaben

Das ENSI beurteilt die in Kap. 2.2 beschriebene Abweichung im Bereich der Betriebsvorgaben als Abweichung mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Entsprechend bewertet das ENSI die Sicherheit des KKM hinsichtlich Betriebsvorgaben als gut..

Zustand und Verhalten der Anlage

Das ENSI beurteilt die in Kap. 2.2 beschriebenen Abweichungen im Bereich von Zustand und Verhalten der Anlage als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Entsprechend bewertet das ENSI die Sicherheit des KKM hinsichtlich Zustand und Verhalten der Anlage als gut.

Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

Das ENSI beurteilt die in Kap. 2.2 beschriebenen Abweichungen im Bereich von Zustand und Verhalten der Organisation als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Entsprechend bewertet das ENSI die Sicherheit des KKM hinsichtlich Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation als gut



Kernkraftwerk Gösgen.
Foto: KKG

3. Kernkraftwerk Gösgen

3.1 Überblick

Im Betriebsjahr 2015 wurde der Volllastbetrieb im Kernkraftwerk Gösgen (KKG) neben dem geplanten Revisionsstillstand zweimal störungsbedingt unterbrochen. Das ENSI stellt fest, dass die bewilligten Betriebsbedingungen immer eingehalten wurden. Das ENSI beurteilt die Sicherheit des KKG im Jahr 2015 hinsichtlich Auslegungsvorgaben und hinsichtlich Betriebsvorgaben als hoch, hinsichtlich Zustand und Verhalten der Anlage als gut und hinsichtlich Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation als ausreichend.

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

Im Berichtsjahr waren im KKG zehn meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen. Neun ordnete das ENSI auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 0 zu und eines, die Reaktorschnellabschaltung am 13. Juli 2015, der Stufe 1. Das ENSI hat im Rahmen seiner Aufsicht 112 Inspektionen durchgeführt. Wo erforderlich verlangte das ENSI Verbesserungen und überwachte deren Umsetzung. Der Revisionsstillstand dauerte vom 6. Juni bis 6. Juli 2015. Neben Brennelementwechsel sowie Prüfungen und Inspektionen an Komponenten und Systemen wurden umfangreiche 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 Dosisgrenzwerte der Strahlenschutzverordnung für be-

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

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

Das KKG hat im Berichtsjahr keine grösseren Anpassungen seiner Organisation vorgenommen. Im Berichtsjahr legten ein Schichtchef und sieben Reaktoroperateure ihre Zulassungsprüfung mit Erfolg ab. Sechs Reaktoroperateur-Anwärter absolvierten die kerntechnische Grundlagenausbildung an der Reaktorschule des PSI erfolgreich.

3.2 Betriebsgeschehen

Das Kernkraftwerk Gösgen erreichte im Berichtsjahr eine Arbeitsausnutzung von 90,5 % und eine Zeitverfügbarkeit von 91,1 %. Zeitverfügbarkeit

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

Die ausgekoppelte Prozesswärme für die Versorgung der zwei nahe gelegenen Kartonfabriken belief sich auf 188,6 GWh.

Zur Durchführung von geplanten Funktionsprüfungen oder auf Anforderung des Lastverteilers erfolgten kurzzeitige Leistungsabsenkungen.

Im Berichtsjahr waren zehn meldepflichtige sicherheitsrelevante Vorkommnisse zu verzeichnen. Neun ordnete das ENSI auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 0 zu und eines der Stufe 1. Für die risikotechnische Beurteilung wird auf Kapitel 10 verwiesen.

- Am 6. Januar 2015 waren im Rahmen der Funktionsprüfung der zweiten Wasserfassung nach einem einstündigen Warmlauf beide Kühlwasserdieselpumpen automatisch zu starten. Nach dem Abstellen aus dem Warmlaufbetrieb stand jedoch bei einer Pumpe das Signal an, dass deren Drehzahl mehr als 300 Umdrehungen pro Minute beträgt, obwohl sie im Stillstand war. Das anstehende Signal verhinderte einen Neustart, womit die Pumpe nicht mehr verfügbar war. Die Kühlwasserversorgung des Kraftwerks erfolgt im Leistungsbetrieb über die erste Wasserfassung und wurde daher nicht beeinträchtigt. Ursache für das Anstehen des Drehzahlsignals war ein defektes Relais zur Erfassung der Zünddrehzahl des Dieselmotors. Nach dessen Austausch stand die Pumpe innerhalb der von der Technischen Spezifikation gegebenen Frist wieder uneingeschränkt zur Verfügung. Die Analyse des defekten Relais zeigte als Versagensursache Alterung von Elektrolytkondensatoren, die in der Folge bei allen Relais des betroffenen Typs präventiv ausgetauscht wurden.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die Unverfügbarkeit einer Kühlwasserdieselpumpe vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

- Am 16. Februar 2015 begann die jährliche Revision im Strang 6 mit der Freischaltung des zugehörigen Notstanddiesels. Die Notstandschiene wurde dem Anlagezustand entsprechend von der zugeordneten Normalnetzchiene versorgt. Als erstes wurde das Startventil des Diesels frei-

Aufschalten der Kabel im neuen Schwingungserfassungsschrank
Foto: KKG





Verlegen neuer Kabel
für die neuen Leittech-
nikschränke im Schalt-
anlagengebäude
Foto: KKG

geschaltet, womit der Diesel nicht mehr verfügbar war. Bei der anschliessenden Freischaltung des Dieselgeneratorschalters erfolgte eine Fehlhandlung, wodurch der stillstehende Dieselgenerator auf die unter Spannung stehende Notstandschiene aufgeschaltet wurde. Zu dieser Fehlhandlung beigetragen haben die knappen Platzverhältnisse und die ungünstige ergonomische Gestaltung des auszufahrenden Schalters. Auslegungsgemäss erfolgte eine sofortige Schutzauslösung des Einspeiseschalters von der Normalnetzschiene auf die Notstandschiene. Der Dieselgeneratorschalter wurde umgehend korrekt abgesichert, die betroffenen Schalter sowie die Notstandschiene ohne Befund auf Schäden untersucht und die Spannungsversorgung der Notstandschiene ab Normalnetzschiene innerhalb der von der Technischen Spezifikation verlangten Zeit wieder normalisiert. Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde der Spannungsverlust einer Notstandschiene vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 und mit schutzzielübergreifender Bedeutung.

- Der Motor eines Notstanddieselgenerators war im Rahmen der jährlichen Strangrevision planmässig gegen ein durch den Hersteller gene-

ralüberholtes Aggregat ausgetauscht worden. Nach erfolgreichen Probeläufen war am 27. Februar 2015 die abschliessende Reaktorschutzprüfung durchzuführen. Der Notstanddiesel startete und wurde kurz darauf in Folge zu tiefen Öldrucks an der letzten Schmierstelle der Nockenwelle abgeschaltet. Die Abschaltung erfolgte durch den Komponentenschutz, der im Falle einer störfallbedingten Anforderung über das Kriterium tiefe Spannung an der Notstandschiene in Kombination mit tiefem Dampferzeuger- oder Druckhalterniveau von der Vorrangschaltung übersteuert würde. Nachdem der Hersteller des Motors die korrekte Schmierung auch beim vorliegenden, tieferen Druck bestätigt hatte, wurde der Grenzwert des Schmieröldruckgebers herabgesetzt. Der ursprüngliche Grenzwert war vom KKG konservativ höher angesetzt worden als nach den Vorgaben des Herstellers verlangt. Gut fünf Stunden nach der Abschaltung wurde die Reaktorschutzprüfung erfolgreich durchgeführt. Der Notstanddiesel war innerhalb der von der Technischen Spezifikation gesetzten Frist wieder uneingeschränkt verfügbar, insbesondere auch bei einer Anforderung in Folge tiefer Spannung an der Notstandschiene ohne zusätzliche Kriterien. Bis zum Austausch des Motors im Rahmen der nächsten Strangrevision wird der herabgesetzte Grenzwert des Druckgebers belassen,

der Schmieröldruck vor Ort überwacht und das Schmieröl nach jedem Betrieb des Motors analysiert. Die abschliessende Ursachenanalyse am ausgebauten Motor findet durch den Hersteller statt.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die temporäre Unverfügbarkeit eines Notstanddieselgenerators vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 und mit schutzzielübergreifender Bedeutung.

- Bei der Gängigkeitsprüfung am Ende des Revisionsstillstands wurden am 1. Juli 2015 an einem Steuerelement erhöhte Reibungskräfte gemessen. Die Steuerelemente im KKG bestehen aus 20 Steuerstäben, die an einer Halterung befestigt sind. Ursache der erhöhten Reibung war die nach aussen gebogene Befestigung eines Steuerstabes, welche beim Ein- und Ausfahren die Steuerstabführungsplatten berührte. Der Grund für die Verbiegung dürfte eine mechanische Wechselwirkung mit dem Zentrierbolzen des Greifers der Lademaschine gewesen sein. Die Untersuchungen dazu sind noch im Gang. Das betroffene Steuerelement wurde ersetzt. Bevor der Reaktor kritisch gefahren wurde, wurde die Verfügbarkeit aller Steuerelemente durch Fallzeitmessungen erfolgreich verifiziert. Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die Beschädigung eines Steuerelements vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1, 2 und 3 und das Schutzziel «Kontrolle der Reaktivität».
- Am 13. Juli 2015 führte ein Fehlverhalten des beim Revisionsstillstand 2015 neu eingebauten Netzspannungsreglers (siehe Kap. 3.3.2) dazu, dass der Generator stark untererregt betrieben wurde. Die Handeingriffe des Betriebspersonals führten dazu, dass sich der Erregerstrom noch weiter verringerte. Damit bestand die Gefahr, die Stabilitätsgrenze des Generators zu überschreiten. Folgerichtig wurde auf Anweisung des Schichtchefs von Hand eine Turbinenschnellabschaltung ausgelöst. Die Anlage verhielt sich auslegungsgemäss. Der Generator wurde vom Netz getrennt und die Reaktorleistung reduziert. Nach knapp zwei Stunden konnte die Anlage bei abgeschaltetem Netzspannungsregler

wieder mit dem Netz synchronisiert werden, was der früheren Betriebsweise entspricht.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die Fehlfunktion des Netzspannungsreglers vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und mit schutzzielübergreifender Bedeutung.

- Am 13. Juli 2015, bei der Wiederaufnahme des Leistungsbetriebs nach der oben beschriebenen Turbinenschnellabschaltung, wurde im Kommandoraum eine Störung in einem Leittechnikschrank angezeigt. Gleichzeitig wurden im Kommandoraum fehlende Rückmeldungen im Bereich der Frischdampfisolationsventile bemerkt, ohne den Zusammenhang mit der Störung im Leittechnikschrank zu erkennen. Stattdessen wurde eine Störung an der Notstandgleichstromschiene vermutet, welche die betroffenen Frischdampfisolationsventile versorgt. Zwei Mitarbeiter begaben sich zwecks Überprüfung der Spannung an der Notstandgleichstromschiene in das Notstandsgebäude. Eine methodisch nicht korrekt durchgeführte Spannungsmessung zeigte keine Spannung, obwohl die Schiene normal versorgt war. Die falsche Annahme, die Schiene sei spannungslos, wurde dadurch bestätigt. Die Kontrolle der Leitungsschutzschalter ergab keinen Befund. Anschliessend wurden die Schütze der Ansteuerung der Frischdampfisolationsventile kontrolliert und von einer der beteiligten Personen irrtümlicherweise als ausgelöste Schutzeinrichtungen (Wärmepakete) der Notstandgleichstromschiene interpretiert. Umgehend betätigte ein Mitarbeiter den mechanischen Knopf eines Schützes, worauf der Schütz anzog. In der Meinung, das Wärmepaket sei zurückgesetzt und der Fehler gefunden, betätigte der Mitarbeiter die weiteren fünf Schütze ebenfalls. Die dadurch bewirkte Stellung der Vorsteuerventile der Frischdampfisolationsventile führte zum Schliessen zweier Frischdampfisolationsventile. Die Anlage reagierte auslegungsgemäss mit einer Reaktorschnellabschaltung. Alle sicherheitstechnischen Einrichtungen funktionierten einwandfrei. Die Frischdampfisolationsventile sind Teil des nichtnuklearen Sekundärkreislaufs. Sie trennen bei Leitungsbrüchen im Frischdampfsystem und bei Heizrohrbrüchen die einzelnen Dampferzeuger vom Rest des Frischdampfsystems. Ursachen für die Fehlhandlung



Umbau der Hochdruck-
Förderpumpe
Foto: KKG

gen waren Defizite bei der Analyse der Situation und bei der Festlegung des Vorgehens zur Störungsbehebung. Zudem wurde vor Ort die massgebliche Dokumentation nicht benutzt und bei den fehlerhaften Schalthandlungen das Vier-Augen-Prinzip verletzt. Grund für das Fehlen von Stellungsrückmeldungen im Kommandoraum war eine defekte Überspannungsschutzdiode in der Spannungsversorgung eines Leittechnikschanks, die ersetzt wurde. Die Frischdampfisolationsventile wurden wieder geöffnet. Die Anlage wurde am 14. Juli 2015 mit Zustimmung des ENSI wieder angefahren. Nach der Synchronisierung des Generators wurde die elektrische Leistung kontinuierlich erhöht. Dabei war die Reaktorleistung im Verhältnis zur elektrischen Leistung zu hoch, was zum automatischen Einwurf von zwei Steuerelementen führte. Die thermische Leistung des Reaktors betrug im Moment des Stabeinwurfs 42 % der Nennleistung. Es lag somit keine unzulässige Leistungsexkursion vor. Die Bedingungen der Technischen Spezifikation wurden jederzeit eingehalten. Nach Verifikation des auslegungsgemässen Verhaltens der Anlage wurde die Leistung auf Vollast gefahren. Das Vorkommnis wurde vom ENSI aufgrund der Kombination mehrerer menschlicher Fehler und der Tatsache, dass es sich nicht um einen Einzelfall, sondern um eines von mehreren Vorkomm-

nissen mit fehlerhaften Schalthandlungen als Ursache handelte, auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 1 zugeordnet. Neben dem Vorkommnis vom 16. Februar 2015 sei auch das im Aufsichtsbericht 2013 beschriebene Vorkommnis vom 7. Juni 2013 erwähnt, als versehentlich ein Erdungsschalter betätigt wurde. Das ENSI hat vom KKG eine vertiefte, abteilungsübergreifende Analyse der menschlichen und organisatorischen Aspekte der Vorkommnisse mindestens der letzten drei Jahre verlangt.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurden die Fehlhandlungen, die zum Schliessen der Frischdampfisolationsventile führten, vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 2 und das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe». Die mit der Schnellabschaltung verbundene Risikohöherung wurde ebenfalls der Kategorie A (Abweichung) zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit ebenen- und schutzzielübergreifender Bedeutung. Die Diskrepanz zwischen Reaktorleistung und elektrischer Leistung beim Wiederaufahren der Anlage wurde ebenfalls der Kategorie A (Abweichung)

zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Kontrolle der Reaktivität».

- Im Revisionsstillstand 2015 war eine Ersatzlanze für die Kerninstrumentierung im Reaktor eingebaut worden. Dabei wurden Anschlüsse für die Kugelmessleitungen vertauscht. Das Kugelmesssystem dient zur Ermittlung der dreidimensionalen Leistungsdichteverteilung im Reaktorkern. Die durch die Kugelmessleitungen auf vorgegebene Positionen in den Reaktorkern eingeschossenen Kugeln werden durch Neutroneneinfang aktiviert. Durch Messung der Aktivität des gebildeten Vanadium-51, welches eine Halbwertszeit von 3,75 Minuten hat, kann die Neutronenflussdichte und damit die Leistungsdichte am Ort der Aktivierung berechnet werden. Die Auswertung der Daten am 6. Juli 2015, beim Wiederanfahren der Anlage nach der Revision, zeigte bezüglich der Leistungsverteilung physikalisch nicht plausible Resultate. Zusätzliche Messungen mit – durch Einfahren von Steuerstäben im Bereich der betroffenen Messpositionen – lokal reduzierter Neutronenflussdichte bestätigten die Vertauschung. Die betroffenen Kugelmesssonden wurden für nicht verfügbar erklärt. Die gemäss

Technischer Spezifikation durchzuführende Analyse ergab, dass die Kernüberwachung durch die verbleibenden 22 Sonden gewährleistet ist. Die Signale für den Reaktorschutz, die im Fall einer Leistungsexkursion die Reaktorschnehlabschaltung auslösen, stammen von anderen, vom Kugelmesssystem unabhängigen Detektoren. Ursache für das Vertauschen war, dass die Farbkennzeichnung der Ersatzlanze von der Kennzeichnung der Lanzen abwich, die sich bereits im Kern befanden. Das ENSI hat verlangt, den Sachverhalt in der aufgrund der Reaktorschnehlabschaltung vom 13. Juli 2015 verlangten umfassenden Analyse der menschlichen und organisatorischen Aspekte von Vorkommnissen mit zu berücksichtigen.

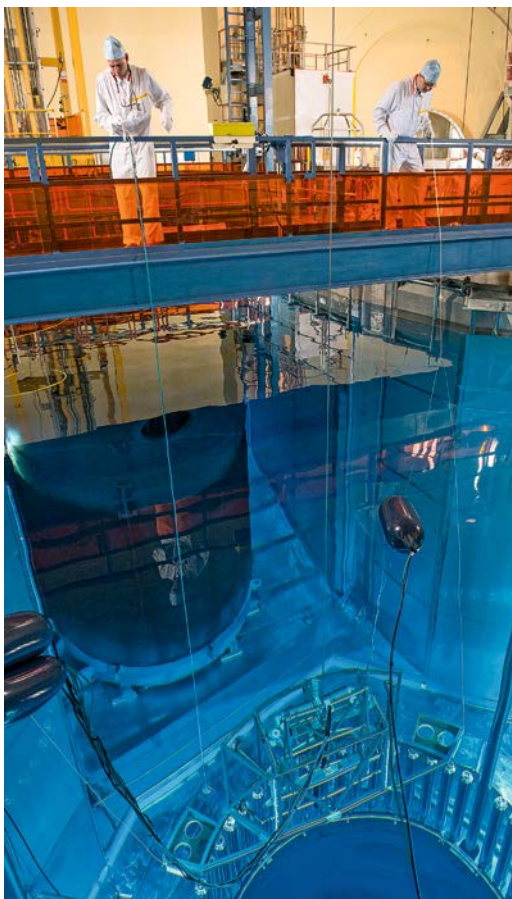
Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die falsche Farbkennzeichnung der Ersatzlanze vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Kontrolle der Reaktivität».

- Am 16. August 2015 wurde eine Leckage einer Messleitung an einer Hauptspeisewasserleitung innerhalb des Primärcontainments festgestellt. Begrenzungs- oder Sicherheitssysteme wurden keine angefordert. Die Anlage wurde abgefahren und das betroffene Stück der Messleitung ersetzt. Die Anlage wurde am 18. August 2015 wieder angefahren. Das Speisewassersystem versorgt die Dampferzeuger mit Speisewasser und gehört zum nichtnuklearen Teil der Anlage. An der Leckagestelle waren keinerlei Rissanzeigen ersichtlich. Das herausgetrennte Rohrstück der Messleitung wird deshalb weiter untersucht, die Ergebnisse werden dem ENSI eingereicht.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die Messleitungsleckage vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2 das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

- Am 18. September 2015 stellte die Schicht beim täglichen Rundgang eine Borsäureablagerung am Eintrittsventil eines der beiden Mischbettfilter des Kühlmittelreinigungssystems fest. Eine Leckage war nicht ersichtlich, jedoch war an der Stopfbuchspackung Feuchtigkeit vorhanden, und am Boden fand sich ebenfalls eine Borsäu-

*Der Manipulator für die Sonderprüfung am Grundwerkstoff des Reaktordruckbehälters wird in Position gebracht.
Foto: KKG*



reablagern. Die Mischbettfilter entfernen als Ionen gelöste radioaktive Stoffe aus dem Reaktorkühlkreislauf und dienen der Einhaltung der spezifizierten chemischen Bedingungen. Druck und Temperatur des Kühlmittels betragen beim Eintritt in die Mischbettfilter 2,5 bar und 50°C und liegen damit deutlich tiefer als im Reaktorkühlkreislauf. Mehrere in Serie geschaltete Absperrventile ermöglichen es jederzeit, die Mischbettfilter vom Reaktorkühlkreislauf zu trennen. Die Armatur und der Boden wurden dekontaminiert. Der Oberteil des Ventils wurde ausgetauscht. Die anschließende Untersuchung zeigte einen Riss in der Ventilmembran als Ursache der Leckage. Aufgrund der guten Betriebserfahrung mit dieser Ventilart kann von einem Einzelfehler ausgegangen werden.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die rissbedingte Leckage des Membranventils vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe».

- Die vom Reaktorkühlkreislauf an die Umgebungsluft und die Gebäudestrukturen abgegebene Wärme wird über eine zweisträngige Umluftanlage abgeführt. Jeder Strang verfügt über zwei Umluftventilatoren, von denen einer in Betrieb sein muss. Am 22. Oktober 2015 kam es bei einer geplanten Umschaltung in einem Strang zum Ausfall beider Ventilatoren. Nach 47 Minuten konnte einer der Ventilatoren wieder gestartet werden. Sowohl die zulässige Reparaturzeit von 24 Stunden als auch der für die Raumtemperatur geltende Grenzwert der Technischen Spezifikation wurden eingehalten. Die Untersuchung der betroffenen Schalter zeigte als Ursache im einen Fall nicht korrekt schliessende Kontakte des danach ersetzten Hauptschützes. Im zweiten Fall war der Fehler nicht reproduzierbar und es ergaben sich keine Befunde. Ein umfassender Freigabeantrag für den Ersatz von 380-V-Schaltern, der auch die betroffenen Umluftventilatoren abdeckt, wurde dem ENSI im November 2015 eingereicht.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde der gleichzeitige Ausfall der beiden Ventilatoren vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und

Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2 und schutzzielübergreifender Bedeutung.

Eine Zusammenstellung der Vorkommnisse der vergangenen zehn Jahre ist im Anhang in Figur 2 dargestellt. Eine Übersicht über die meldepflichtigen Vorkommnisse im Berichtsjahr findet sich in Tabelle 4.

3.3 Anlagetechnik

3.3.1 Revisionsarbeiten

Während des Revisionsstillstands in der Zeit vom 6. Juni bis zum 6. Juli 2015 wurden geplante Tätigkeiten wie Brennelementwechsel und Brennelementinspektionen, Inspektionen elektrischer und mechanischer Einrichtungen, zerstörungsfreie Prüfungen, wiederkehrende Funktionsprüfungen an Komponenten und Systemen sowie Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten durchgeführt.

Schwerpunkte bei den Wiederholungsprüfungen an mechanischen Komponenten waren Wirbelstrom- und Ultraschallprüfungen am Reaktordruckbehälter (RDB), an Hauptkühlmittelleitungen und am Druckhalter. Folgende Prüfungen sind hervorzuheben:

- Aufgrund von Befunden in den belgischen Kernkraftwerken Doel 3 und Tihange 2 wurden ausgewählte Bereiche des Grundmaterials des RDB mit einem qualifizierten Ultraschallprüfsystem auf laminare Herstellungsfehler geprüft. Es ergaben sich keine bewertungspflichtigen Anzeigen.
- Die Rundnähte, die Trag- und Führungspratzen des RDB sowie die Rohranschlussnähte und Innenkanten der RDB-Stützen wurden mit einem qualifizierten mechanisierten Ultraschallprüfsystem geprüft. Dabei ergab sich eine zulässige bewertungspflichtige Anzeige an einer Rundnaht. Die Anzeige ist aus früheren Prüfungen bekannt und hat sich zwischenzeitlich nicht verändert.
- An der Innenwand des RDB, an den Stützen der Hauptkühlmittelleitungen sowie am oberen und unteren Kerngerüst wurden visuelle Prüfungen durchgeführt. Am Kerngerüst wurden neue zulässige Befunde festgestellt.
- Der Reaktordruckbehälter einschliesslich Primärkreis wurde einer Druckprobe unterzogen. Bei den Begehungen an den drei Loops wurden keine Auffälligkeiten festgestellt.

- An den Hauptkühlmittelleitungen und am Druckhalter wurden Mischverbindungen mit einem mechanisierten Ultraschallprüfsystem geprüft. Die Prüfaufgabe bestand im Auffinden von allfälligen Fehlern aus Ermüdung und Spannungsrissskorrosion. Es wurden weder registrierpflichtige noch bewertungspflichtige Anzeigen festgestellt.
- Beim Abfahren der Anlage wurden Funktionsprüfungen an den Sicherheitsventilen der Frischdampfleitungen und des Druckhalters durchgeführt. Es wurden keine bewertungspflichtigen Auffälligkeiten festgestellt.
- Bei allen durchgeführten Funktionsprüfungen und Neueinstellungen an sicherheitstechnisch klassierten Sicherheitsventilen lagen die Ergebnisse innerhalb des Toleranzbandes.

Im Bereich der Starkstrom- und Leitechnik wurden die wiederkehrenden Prüfungen und Instandhaltungsarbeiten gemäss mehrjähriger bereichsspezifischer Prüfungs- und Instandhaltungsplanung durchgeführt. Aus terminlichen Gründen wurde in den Bereichen Steuerungen, Messtechnik, Regelungen und nuklearer Instrumentierung bereits mehrere Wochen vor dem Revisionsstillstand mit ausgewählten Arbeiten begonnen. Im Rahmen der leittechnischen Funktionsprüfungen wurden auch die notwendigen Prüfungen, Kontrollen und Inspektionen im Kontext der Alterungsüberwachung durchgeführt. Mehrere Niederspannungsleistungskabel und Leittechnikabel elektrischer Stellantriebe wurden mit der neuen Diagnosemethode «Line Resonance Analysis» ausgemessen. Es wurden keine wesentlichen Alterungseffekte festgestellt.

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

3.3.2 Anlagenänderungen

Im Berichtsjahr wurden insbesondere folgende Anlageänderungen durchgeführt:

- Am Containment wurden vier Druckglas-Kabeldurchführungen durch neue, störfallfeste ersetzt.
- An einer Hochdruck-Förderpumpe des Volumensregelsystems wurde der Pumpendeckel mit einer

zusätzlichen Dichtung versehen, um Leckagen von borsäurehaltigem Wasser zu verhindern.

- Im Rahmen des Austausches eines ersten Teils der Leittechnik (Teilprojekt LETA 1) war beim Revisionsstillstand 2014 die Reaktorleittechnik im KKG ersetzt worden. Aufgrund der Inbetriebsetzung, der durchgeführten Anlagenversuche und der bisherigen Betriebserfahrungen ergaben sich Anpassungen und Optimierungen.
- Im Reaktorschutzsystem wurde die Ansteuerungslogik für die Einspeiseschalter der beiden Notstanddieselgeneratoren angepasst.
- In der 10-kV-Anlage wurde der alterungsbedingte Ersatz der Stromwandler fortgesetzt.
- Im Hauptkommandoraum wurde der alterungsbedingte Ersatz der bisherigen Linienschreiber fortgesetzt.
- Im Hauptkommandoraum wurde ein neuer Netzspannungsregler eingebaut. Ein Fehlverhalten dieses Netzspannungsreglers führte am 13. Juli 2015 zu einem meldepflichtigen Vorkommnis (siehe Kap. 3.2.)
- In der 220-kV-Fremdnetzzeinspeisung wurden die Fernwirkanlage erneuert und die Schutzeinrichtungen erweitert. Das Kabel zum 220-kV-Unterwerk beim Wasserkraftwerk Niedergösgen wurde ausgetauscht. Einer der beiden 220-kV-Fremdnetztransformatoren wurde durch einen neuen ersetzt, welcher im Jahr 2014 vormontiert worden war.
- An der dritten Hauptspeisewasserpumpe wurde der Stator des Pumpenmotors ersetzt. Die Erneuerung der drei Hauptspeisewasserpumpen ist damit abgeschlossen.
- An der zweiten Hauptkühlwasserpumpe wurden der Motor sowie die Schutz- und Messtechnik erneuert. Die entsprechende Erneuerung der Hauptkühlwasserpumpen ist damit abgeschlossen.
- Zur Erhöhung der Erdbebensicherheit wurden die Befestigungen bestehender Schaltschränke im Notstandgebäude verstärkt.

3.3.3 Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente

Geringe Aktivitätskonzentrationen im Primärkühlmittel liessen den Schluss zu, dass im 36. Betriebszyklus (2014/2015) keine Brennstab-Hüllrohrdefekte mit Aktivitätsfreisetzung aufgetreten sind. Während des Revisionsstillstands wurden 32 frische WAU-Brennelemente in den Reaktorkern geladen, der damit im 37. Betriebszyklus insgesamt

173 WAU- und 4 Uran-Brennelemente enthält. Bei 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 sind gering und liegen im erwarteten Bereich. Die Steuerstabfinger aller 48 Steuerelemente wurden während des Revisionsstillstands mittels Wirbelstromprüfung auf Wanddickenschwächungen und Beschädigungen untersucht. Bei einem Steuerelement aus der Erstausrüstung und einem aus der ersten Nachlieferung sind Rissanzeigen festgestellt worden. Sie wurden vorsorglich ausgetauscht und kommen nicht mehr zum Einsatz. Alle anderen Steuerelemente befanden sich in einem auslegungsgemässen Zustand.

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

Im Berichtszeitraum 2015 wurde der Reaktorkern auslegungsgemäss und im bewilligten Rahmen betrieben. Die Ergebnisse der reaktorphysikalischen Messungen stimmten gut mit den Ergebnissen der Kernauslegungsberechnung überein. Die Betriebsgrenzen wurden eingehalten.

3.4 Strahlenschutz

Im Kalenderjahr 2015 betrug die Kollektivdosis im KKG 493 Pers.-mSv. Die höchste im KKG registrierte Individualdosis lag bei 8,4 mSv. Der Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr wurde unterschritten.

Bei den Arbeiten während des Revisionsstillstands wurden 389 Pers.-mSv akkumuliert, geplant waren 345 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 62 %



Montage Fremdeinspeisettransformator 220kV
Foto: KKG

unter dem Wert, der vor Beginn der Zinkdosierung im Jahr 2005 ermittelt worden war. Im Vergleich zum Vorjahrswert (der 56 % unter dem Wert von 2005 lag) wurde damit eine weitere Reduktion erreicht. Die radiologische Situation aufgrund des nach wie vor erhöhten Trampurananteils im Kreislauf als Folge der Brennelementdefekte in vergangenen Jahren erforderte auch in der Revision 2015 vorsorgliche Schutzmassnahmen, obwohl mit dem letzten defektfreien Zyklus die Spaltproduktkonzentrationen insgesamt gegenüber 2014 weiter abnahmen. Eine Zutrittsbegrenzung für das gesamte Containment wurde nur beim Abheben des RDB-Deckels angeordnet. Die Luftkontamination konnte mit Hilfe der verbesserten Spülluftanlage rasch gesenkt werden.

Das ENSI hat sich bei mehreren Inspektionen davon überzeugt, dass im KKG ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz praktiziert wird. Der Personalbestand im Strahlenschutz war ausreichend.

Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen, Iod und Edelgasen lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Grenzwerte. Dies gilt auch für die Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser ohne Tritium. Die für Druckwasserreaktoren typischen Tritium-Abgaben des KKG betragen rund 20 % des Jahresgrenzwerts. Die quartalsweise vom ENSI durchgeführten Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern ergaben eine gute Übereinstimmung mit den vom KKG gemeldeten Analyseergebnissen. Aus den tatsächlich über die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnet das ENSI die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKG unter konservativen, d. h. ungünstigen Annahmen. Die Dosen liegen für Erwachsene, Zehnjährige und für Kleinkinder unter 0,001 mSv. Sie liegen damit deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr gemäss Richtlinie ENSI-G15. Die Dosisleistungsmesssonden des vom ENSI betriebenen Messnetzes (MADUK) in der Umgebung des Werks zeigten keine durch den Betrieb der Anlage erhöhten Werte. Die EDIS-Dosimeter (Environmental Direct Ion Storage) registrierten keine signifikante Erhöhung gegenüber der Untergrundstrahlung. Bei den quartalsweise vom ENSI zur Kontrolle durchgeführten Messungen an der Umzäunung des KKG wurden ebenfalls keine signifi-

kanten Erhöhungen gegenüber der Untergrundstrahlung festgestellt. Die nach Artikel 102 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung vorgegebenen Immissionsgrenzwerte für Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerksareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche wurden eingehalten. Für detaillierte Angaben zur radiologischen Situation innerhalb und ausserhalb der Anlage Gösgen wird auf den Strahlenschutzbericht 2015 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 Nachrüstmassnahmen und den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien. Im Berichtsjahr fielen 15 m³ radioaktive Rohabfälle an (vgl. Tabelle 6). Der Anfall bewegt sich innerhalb der mehrjährigen Schwankungsbreite auf einem niedrigen Niveau.

Die radioaktiven Rohabfälle werden gesammelt, kampagnenweise konditioniert und anschliessend zwischengelagert. Die im KKG vorhandenen unkonditionierten Abfälle sind in dafür vorgesehenen Räumlichkeiten der kontrollierten Zone aufbe-

*Während der Druckprobe: Der Reaktordruckbehälter wird auf Leckagen untersucht.
Foto: KKG*



wahrt. Ihr Bestand liegt mit 36 m³ im Erfahrungsbereich der vergangenen Jahre.

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 hat keine Konditionierungskampagne stattgefunden.

Die konditionierten Abfallgebände werden routinemässig im werkseigenen Zwischenlager eingelagert. Das KKG nutzt zudem die Kapazitäten des zentralen Zwischenlagers in Würenlingen. Im Berichtsjahr wurden 635 Fässer und 2 Betoncontainer mit bituminierten Abfällen 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, so dass die Information über Menge, Lagerort und radiologische Eigenschaften jederzeit verfügbar ist.

Ein wichtiges Element bei der Minimierung der radioaktiven Abfälle ist die Inaktiv-Freimessung von Materialien aus der kontrollierten Zone. Im KKG wurden im Berichtsjahr 48,7 t Material freigemessen.

Im Frühjahr 2015 fanden vier innerbetriebliche Transporte mit insgesamt 48 abgebrannten Brennelementen aus dem Brennelementbecken des Reaktorgebäudes ins externe Nasslager des KKG statt.

Information zu Wiederaufarbeitungsabfällen und zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente findet sich gesamthaft für alle Werke im Kapitel 8.

3.6 Notfallbereitschaft

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

Das ENSI hat im September 2015 an der Gesamtnotfallübung 2015 PERIKLES die Notfallorganisation beobachtet und beurteilt. Für die Übung wurde ein Szenario angenommen, bei welchem tektonische Verschiebungen im kieshaltigen Un-

tergrund, ausgelöst durch ein Geothermie-Projekt, zu einer Veränderung des Grundwasserstroms führten. Die geänderten Wasserflüsse führten zu einem Absenken der Kraftwerksanlagen, insbesondere des Kühlturms. Betonelemente, die sich vom Kühlturm lösten, beschädigten das Maschinenhaus. Die Kühlwasserversorgung einschliesslich Grundwasser fiel aus. Mit Ersatzmaterial, welches durch die Luftwaffe aus dem externen Lager Reitnau eingeflogen wurde, erstellte die Betriebsfeuerwehr KKG eine über 5 km lange Leitung zur Notkühlwasserversorgung. Aufgrund des unterstellten Szenarios wurden diese Aktionen durch eine Übungsbestimmung als nicht erfolgreich deklariert, so dass es zu einer Kernschmelze mit Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umgebung kam. Zum Schutz der Bevölkerung in der Umgebung mussten die externen Notfallorgane ENSI, Nationale Alarmzentrale (NAZ), kantonaler Führungsstab und die regionalen Führungsorgane Schutzmassnahmen anordnen. Ohne die genannte Übungsbestimmung hätten die getroffenen Massnahmen auf der Sicherheitsebene 4 verhindert, dass Schutzmassnahmen für die Bevölkerung notwendig geworden wären.

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

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

Das ENSI löste ferner im KKG ohne Voranmeldung einen Übungsalarm aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Werk-Notfallstabes bestätigt wurde.

3.7 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr hat das KKG den Personalbestand auf 535 Personen, welche 511 Vollzeitstellen besetzen, erhöht (Ende 2014: 529). Dies ist unter anderem auf den Personalbedarf für laufende und geplante Projekte sowie auf die notwendigen Einarbeitungszeiten neuer Mitarbeiter und den Know-how-Transfer (Überlappungszeiten) zurückzuführen. Das KKG hat im Jahr 2015 keine grösseren organisatorischen Änderungen vorgenommen.

Aufgrund von Vorkommnissen im Jahr 2015, zu welchen menschliche und organisatorische Aspekte wesentlich beigetragen haben, hat das ENSI vertiefte Abklärungen des KKG verlangt.

Das Managementsystem des KKG ist gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2008 zertifiziert. Das ENSI führte eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Kompetenzmanagement durch. Dabei wurde überprüft, ob das KKG über geeignete Abläufe und Vorgaben verfügt, um die erforderlichen sowie die vorhandenen Kompetenzen des Eigenpersonals zu ermitteln. Weiter überprüfte das ENSI, wie das KKG aus den Ergebnissen Massnahmen ableitet und deren Wirksamkeit bewertet. Die Anforderungen wurden erfüllt.

Im Laufe des Jahres 2015 hat das ENSI im KKG, wie in allen Schweizer Kernkraftwerken, ein Fachgespräch zum Thema «Verantwortung für die Sicherheit» durchgeführt. Dieses gehört zur Reihe der Fachgespräche zum Dialog über Sicherheitskultur, welche alle drei Jahre vom ENSI durchgeführt werden. Während die Verantwortung für den sicheren Betrieb formell im Kernenergiegesetz, der Kernenergieverordnung und der Richtlinie ENSI-G07 geregelt ist, ging es im Fachgespräch darum, den Dialog im KKG darüber zu fördern, wie diese Verantwortung wahrgenommen wird.

Im Berichtsjahr bestanden sechs Reaktoroperateur-Anwärter des KKG die Abschlussprüfung der kerntechnischen Grundlagenausbildung an der Reaktorschule des PSI. Dies ist eine Voraussetzung für die weitere Ausbildung und spätere Zulassungsprüfung zum Reaktoroperateur. Die Ausbildung

vermittelt die erforderlichen theoretischen Kenntnisse auf den Gebieten der thermischen Kraftwerkstechnik, Nuklearphysik, Reaktortechnik und Strahlenschutz.

Sieben Reaktoroperateure und ein Schichtchef des KKG 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 Anlagensimulator und besteht in einer Demonstration der Anwendung der Kenntnisse. Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in Tabelle 3 zusammengestellt.

Das ENSI inspizierte die Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2014 und die Planung des Ausbildungsprogramms 2015 der Abteilung Betrieb. Gegenstand waren die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator, die allgemeine Wiederholungsschulung sowie deren Änderungen und Neuerungen. Ferner wurden die Ausbildung des Personals der Abteilung Überwachung auf Einhaltung der Vorgaben der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) und der Richtlinie ENSI-B10 überprüft. Die Ausbildungsprogramme des KKG erfüllen im inspizierten Bereich die Anforderungen.

*Aufbau des Zentralmastmanipulators für die Schweissnahtprüfung am Reaktordruckbehälter
Foto: KKG*



3.8 Sicherheitsbewertung

Im Jahr 2015 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 Sicherheitsbewertungs-Matrix zu folgenden zusammenfassenden Beurteilungen:

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

Sicherheitsbewertung 2015 KKG: Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge

* Diese Zellenbewertung berücksichtigt die Hochstufung der Reaktorschnellabschaltung am 13. Juli 2015 aufgrund von Sicherheitskultur-Aspekten.

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

Sicherheitsbewertung 2015 KKG: Schutzziel-Perspektive

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

* Diese Zellenbewertung berücksichtigt die Hochstufung der Reaktorschnellabschaltung am 13. Juli 2015 aufgrund von Sicherheitskultur-Aspekten.

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 Auslegungs-Vorgaben des KKG die Minimalanforderungen und den Stand ausländischer Anlagen desselben Typs übertreffen und die nach dem Unfall von Fukushima vorgenommenen Überprüfungen die grosse Robustheit der Auslegung zeigten und keine Bewertungen der Kategorien A und höher vorlagen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKG hinsichtlich Auslegungsvorgaben als hoch.

Betriebsvorgaben

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

Zustand und Verhalten der Anlage

Das ENSI beurteilt die im Unterkapitel 3.2 beschriebenen Abweichungen im Bereich von Zustand und Verhalten der Anlage als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Entsprechend bewertet das ENSI die Sicherheit des KKG hinsichtlich Zustand und Verhalten der Anlage als gut.

Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

Das ENSI beurteilt die im Unterkapitel 3.2 beschriebenen Abweichungen im Bereich von Zustand und Verhalten der Organisation einzeln betrachtet als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Das Vorkommnis vom 13. Juli 2015 wurde vom ENSI im Gesamtkontext, der auch andere Vorkommnisse mit vergleichbaren Ursachen im Bereich Mensch und Organisation umfasst, auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 1 zugeordnet. Entsprechend bewertet das ENSI die Sicherheit des KKG hinsichtlich Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation als ausreichend.



*Kernkraftwerk
Leibstadt.
Foto: KKL*

4. Kernkraftwerk Leibstadt

4.1 Überblick

Im Betriebsjahr 2015 waren im Kernkraftwerk Leibstadt (KKL) neben einer Reaktorschnellabschaltung am 21. Januar 2015 drei reparaturbedingte Abschaltungen zu verzeichnen. Das ENSI stellt fest, dass das KKL die bewilligten Betriebsbedingungen immer eingehalten hat. Das ENSI beurteilt die Sicherheit des KKL im Jahr 2015 hinsichtlich Auslegungsvorgaben als hoch und hinsichtlich Betriebsvorgaben als gut. Hinsichtlich Zustand und Verhalten der Anlage beurteilt das ENSI die Sicherheit des KKL als ausreichend und 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 zehn meldepflichtige Vorkommnisse mit Bezug zur nuklearen Sicherheit. Neun wurden der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet. Der Ausfall der Grundwasserpumpen im Notstandssystem des KKL wurde auf Grundlage der Richtlinie ENSI-B03 und ENSI-A06 als INES 1 auf der internationalen Ereignisskala bewertet. Nachdem im vorherigen Betriebszyklus noch ein Brennelementscha den aufgetreten war, konnte die Anlage seit dem Revisionsstillstand 2014 und im gesamten Betriebsjahr 2015 ohne Brennelementscha den betrieben werden. Der Revisionsstillstand 2015 dauerte 38 Tage. In dieser Zeit wurden verschiedene routinemässige Instandhaltungsarbeiten und Inspektionen an diversen Komponenten, Systemen und elektro- und leittechnischen Einrichtungen durchgeführt. Zu den Schwerpunkten der diesjährigen Revision gehörten unter anderem der Austausch von insgesamt 30 Steuerstäben sowie die Wartung und der Aus-

tausch von 15 Steuerstabantrieben, der Austausch von Druckluftbehältern zur Ansteuerung von Sicherheitsventilen und weiterhin der Ersatz der Leittechnik im Bereich der Lüftungsanlage sowie der Ersatz der Erregung und der Synchronisationseinrichtung des Hauptgenerators. Die Dauer des Revisionsstillstands hatte sich gegenüber der Planung um insgesamt vier Tage verlängert. Zum einen kam es durch einen Defekt in einer elektronischen Steuerkarte des Polarkrans zu einer Verzögerung beim Aufsetzen des Deckels des Reaktordruckbehälters. Zum anderen mussten die gemessenen Öffnungs- und Schliesszeiten des Generatorschalters nachträglich neu analysiert und bewertet 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 sind verglichen mit der natürlichen Strahlenexposition unbedeutend.

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

Das ENSI führte in allen Fachgebieten 91 Inspektionen durch. Wo erforderlich, verlangte das ENSI Verbesserungsmaßnahmen und überwachte deren Umsetzung.

Vier Reaktoroperatoren und sechs Schichtchefs bestanden ihre Zulassungsprüfung.

4.2 Betriebsgeschehen

Das KKL verzeichnete in seinem 31. Betriebsjahr eine Arbeitsausnutzung von 80,9 % und eine Zeitverfügbarkeit von 83,6 %. Die Zeitverfügbarkeit und die Arbeitsausnutzung der letzten 10 Jahre sind im Anhang in Figur 1 dargestellt. Das KKL war vom 10. August bis zum 17. September 2015 zum Revisionsstillstand abgestellt. Die gesamte Nichtverfügbarkeit der Anlage wurde im Betriebsjahr 2015 neben dem Anteil des Revisionsstillstandes auch durch drei Abschaltungen für ungeplante Reparaturarbeiten und durch eine Reaktorschnellabschaltung im Januar 2015 wegen Defekten an elektronischen Baugruppen in der Turbinenregelung verursacht. Zur Behebung einer Störung an der Dichtölanlage des Generators im April und zur Reparatur einer Ölleckage in der Turbinensteuerung im September musste die Anlage jeweils für zwei Tage vom Netz getrennt werden. Ein Defekt

im Stator-Kühlwassersystem des Generators führte dazu, dass die Anlage am 17. Oktober 2015 abgefahren werden musste. Nach erfolgreicher Reparatur einer defekten Zuleitung des Stator-Kühlwassersystems wurde die Anlage am 2. November 2015 wieder angefahren.

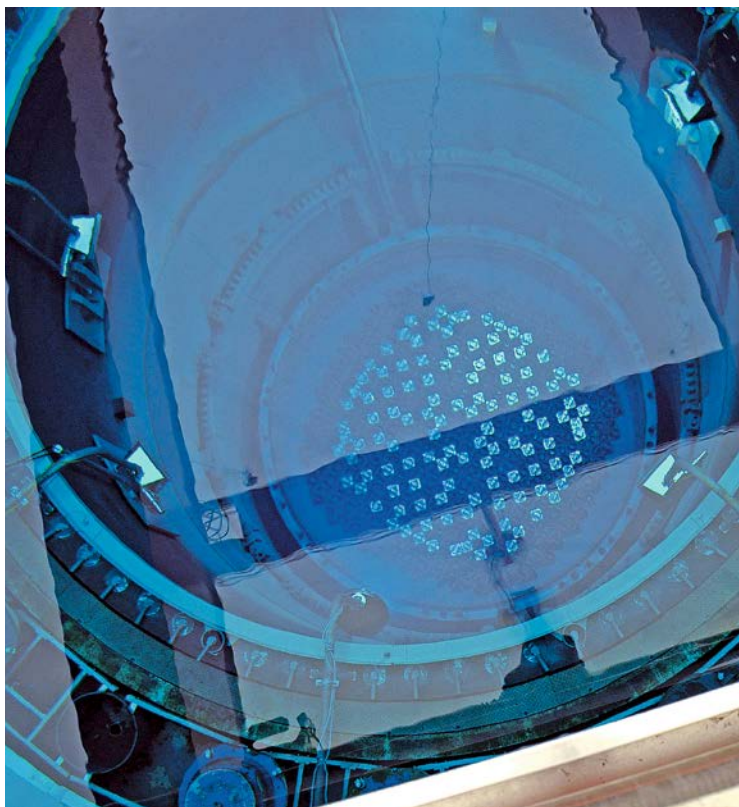
Es erfolgten geplante Lastreduktionen für Steuerstabmusteranpassungen und Funktionsprüfungen. Während der Sommermonate musste die Reaktorleistung infolge hoher Umgebungstemperaturen an einzelnen Tagen reduziert werden.

Im Berichtsjahr 2015 waren zehn meldepflichtige Vorkommnisse mit Bezug zur nuklearen Sicherheit zu verzeichnen. Neun wurden der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet und eines der Stufe 1. Für die risikotechnische Beurteilung wird auf Kapitel 10 verwiesen.

■ Im Rahmen der gemäss Kernenergieverordnung Anfang März 2015 eingereichten risikotechnischen Beurteilung für das Betriebsjahr 2014 weist das KKL infolge der zeitgleich vorliegenden latenten Unverfügbarkeit der Grundwasserpumpen in beiden Divisionen des Notstandssystems (Special Emergency Heat Removal, SEHR) eine inkrementell bedingte Kernschadenswahrscheinlichkeit (ICCDP) von $2,28 \cdot 10^{-6}$ aus. Die Ausfälle der Grundwasserpumpen traten bei Tests am 29. September 2014 in der einen und am 1. Oktober 2014 in der anderen Division des Notstandssystems auf. Dies bedeutete eine latente Nichtverfügbarkeit beider Grundwasserpumpen und damit des gesamten SEHR-Systems von 263 Stunden. Zur Berechnung der latenten Nichtverfügbarkeit ist gemäss Richtlinie ENSI-A06 die Hälfte des Zeitintervalls seit der letzten erfolgreichen Prüfung anzunehmen, jeweils ausgehend vom Zeitpunkt des Erkennens der Nichtverfügbarkeit. Im vorliegenden Fall bedeutete dies eine latente Nichtverfügbarkeit beider Grundwasserpumpen und damit des SEHR-Systems vom 18. bis zum 29. September 2014. Die Grundwasserpumpen sind notwendig, um eine ausreichende Kühlung der Komponenten des jeweiligen Notstandssystems zu gewährleisten und um die Nachwärmeabfuhr aus dem Reaktor im Anforderungsfall aufrechtzuerhalten, wenn die übrigen Kühlsysteme ausfallen. Die drei nicht zum SEHR gehörenden Divisionen der Kernnotkühlung standen im genannten Zeitraum uneingeschränkt zur Verfügung. Insgesamt kam es im Jahr 2014 zu vier Startversagen von SEHR-Grundwasserpumpen. Die Ausfälle vom 13. Januar 2014 und vom 30. Oktober 2014 hatten

aber keine gemeinsame latente Nichtverfügbarkeit beider Grundwasserpumpen zur Folge. Die Ursache aller Ausfälle lag im Bereich der elektrischen Leistungsschalter. Die Ausfälle wurden durch eine unzureichende Wartungsplanung in Kombination mit einer Überschreitung der Wartungsintervalle begünstigt. Dies hatte dazu geführt, dass die Zuverlässigkeit der betroffenen Schalter über einen längeren Zeitraum vermindert war. Die Ausfälle der Schalter hatten also eine gemeinsame Ursache, womit ein so genannter Common-Cause-Failure (CCF) vorlag. Das Vorkommnis wurde aus probabilistischer Perspektive auf Basis der Richtlinien ENSI-A06, Kap. 6.6.2 und ENSI-B03, Anhang 6 der Stufe 1 der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet. Bei allen Ausfällen von Grundwasserpumpen wurde die in der Technischen Spezifikation vorgegebene Frist zur Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit von 30 Tagen eingehalten. Da diese Frist länger ist als 14 Tage, waren die einzelnen Ausfälle nicht meldepflichtig gemäss Kriterium 5.1.1.1.a der Richtlinie ENSI-B03. Aus deterministischer Perspektive wird die INES-Einstufung bestätigt. Die Basiseinstufung 0 wird aufgrund des CCF um eine Stufe auf 1 erhöht. Dies insbesondere, weil durch die unzulängliche Umsetzung von Instandhaltungsmassnahmen die Funktion von zwei Sicherheitseinrichtungen gleichzeitig nur eingeschränkt verfügbar war. Das Vorkommnis führte zu einer geringfügigen Reduktion der nuklearen Sicherheit. Nach dem Ausfall der jeweiligen Grundwasserpumpe wurden nach einer Instandsetzung die Funktionstüchtigkeit der Grundwasserpumpen und die Verfügbarkeit der betroffenen Division des SEHR nachgewiesen. Das ENSI hat vom KKL eine Untersuchung verlangt, ob bei weiteren in der PSA berücksichtigten sicherheitsrelevanten Komponententypen eine Häufung von Ausfällen vorliegt. Weiter hat das KKL zu prüfen, ob Massnahmen zur Reduktion einer potenziellen Überlappung von latenten Nichtverfügbarkeiten der Grundwasserpumpen des SEHR möglich sind.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurden die mangelhafte Planung und Durchführung der Wartung der Leistungsschalter der SEHR-Grundwasserpumpen vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheits-



*Blick in geöffneten Reaktor.
Foto: KKL*

ebene 3 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Die mit der gleichzeitigen latenten Nichtverfügbarkeit beider SEHR-Grundwasserpumpen verbundene Risikoerhöhung wurde der Kategorie INES 1 (Anomalie) zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit ebenen- und schutzzielübergreifender Bedeutung.

- Am 21. Januar 2015 kam es aufgrund einer Störung im Turbinenregelsystem während des Volllastbetriebs zu einer automatischen Reaktorschnellabschaltung. Das Turbinenregelsystem, welches zweikanalig aufgebaut ist, war infolge einer Störung seit dem 17. November 2014 nur noch einkanalig in Betrieb. Ein einkanaliger Betrieb entspricht der Auslegung der Anlage und war somit zulässig. Eine fehlerhafte Rückmeldung eines elektro-hydraulischen Wandlers des noch verfügbaren Kanals führte auslegungsgemäss zu einem Öffnen der Turbinenbypass-Regelventile. Sie führen den Frischdampf aus dem Reaktor unter Umgehung der Turbine nach einem Druckabbau direkt in die Hauptwärmesenke, den Kondensator. Normalerweise sind sie im Volllastbetrieb geschlossen. Das störungsbedingte Öffnen der Turbinenbypass-Regelventile führte auslegungsgemäss umgehend zum Schliessen der Turbineneinlassventile und zu einer Reduktion der Reaktorleistung auf etwa 20 %, indem acht Steu-



erstärbe eingeschossen und die Umwälzmengenregelventile geschlossen wurden (Runback). Diese Massnahmen erfolgten automatisch, da der Kondensator die anfallende Dampfmenge bei einer Reaktorleistung von 100 % nur kurzfristig aufnehmen kann. Die verminderte Dampfproduktion in Kombination mit den offenen Turbinenbypass-Regelventilen führte zu einem Druckabfall. Bei 58,55 bar schlossen die Frischdampfisolationsventile automatisch die Dampfleitung innerhalb des Containments ab. Parallel dazu erfolgte die auslegungsgemässe Reaktorschnellabschaltung. Das Kühlmittelniveau im Reaktordruckbehälter wurde durch die Speisewasserpumpen gehalten. Die Wärmeabfuhr aus dem Reaktorkern und die Kontrolle des Reaktordrucks erfolgten über die Abblaseventile. Der abgeblasene Dampf kondensierte in der Druckabbaukammer, aus der die Wärme mittels der dafür vorgesehenen Kühlsysteme abgeführt wurde. Nach Austausch der fehlerhaften Komponenten in beiden Kanälen der Turbinenregelung und erfolgreichen Funktionsprüfungen beider Kanäle wurde die Anlage wieder auf Vollast gefahren.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die Fehlfunktion der Turbinenregelung vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Ver-

haltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebenen 1 und 2 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente». Die mit der Reaktorschnellabschaltung verbundene Risikoerhöhung wurde der Kategorie A (Abweichung) zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit ebenen- und schutzzielübergreifender Bedeutung.

- Mitarbeiter des Herstellers führten im KKL umfangreiche Untersuchungen jenes SVEA96-Optima2-Brennelements durch, an dem im Betriebszyklus 30 ein Brennstabschaden aufgetreten war. Zur Untersuchung der Schadensstelle wurden das betroffene Teilbündel dem Brennelement entnommen, in eine Inspektionsvorrichtung gestellt und Abstandshalter verschoben. Nach dem Abschluss dieser Arbeiten wurden am 27. Februar 2016 vier deformierte Strömungsfähnchen an zwei Abstandshaltern entdeckt. Offenbar war es beim Verschieben der Abstandshalter durch eine Fehlhandhabung zu deren Deformation gekommen. Die Strömungsfähnchen sorgen für eine optimale Strömung im Hinblick auf die Wärmeübertragung von den Brennstäben an das Kühlmittel. Das KKL hat zusammen mit dem Brennelementhersteller eine vertiefte Ursachenanalyse durchgeführt und die entsprechenden Handhabungsvorschriften ergänzt, um eine Wiederholung

des Fehlers zu vermeiden. Die beschädigten Abstandshalter wurden ausgetauscht. Das betroffene Brennelement befindet sich wieder im auslegungsgemässen Zustand und ist für einen erneuten Einsatz im Reaktorkern vorgesehen.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die Beschädigung der Abstandshalter vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

- Am 9. Mai 2015 kam es durch ein defektes Netzgerät zu einem Ausfall des Steuerstab-Interface-Systems (RIS). Infolge dieses Ausfalls waren die Anzeigen der Steuerstabpositionen im Hauptkommandoraum nicht mehr verfügbar. Auch konnten keine manuellen Steuerstabbewegungen aus dem Hauptkommandoraum mehr ausgeführt werden. Die hydraulischen Einheiten zum Einschliessen der Steuerstäbe waren vom Ausfall der Anzeigeeinheit nicht betroffen. Die Schnellabschaltfunktion und die Funktion des Einschliessens von einzelnen Steuerstäben zur schnellen Verringerung der Reaktorleistung standen uneingeschränkt zur Verfügung. Das defekte Netzteil wurde ersetzt und die Funktionstüchtigkeit des RIS nachgewiesen. Die Nichtverfügbarkeit hatte rund 4 Stunden gedauert. Die Vorgaben der Technischen Spezifikation wurden eingehalten.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde der Ausfall des Steuerstab-Interface-Systems vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Kontrolle der Reaktivität».

- Während einer Kampagne zur Konditionierung radioaktiver Abfälle im Jahr 2014 wurden insgesamt 111 endlagerfähige Fässer mit einem Gesamtinhalt von jeweils 200 Litern produziert. Wie sich wegen unzureichender Dokumentation der produzierten Abfallgebinde erst aufgrund nachträglicher Erkenntnisse herausstellte, waren zwei dieser Fässer aktivierte Teile aus dem RDB zugegeben worden, welche den Grenzwert von 50 mSv pro Stunde für die Kontaktdosisleistung überschritten. Der Befund wurde dem ENSI am 30. Juli 2015 als Vorkommnis gemeldet. Der Grenzwert für die Kon-

taktdosisleistung an der Fassoberfläche wurde in beiden Fällen eingehalten. Das Abfallprodukt in diesen Gebindetypen ist eine Mischung aus Zement und Trass, denen die im Betrieb der Anlage anfallenden radioaktiven Ionenaustauscherharze und Verdampferkonzentrate zugefügt werden. Die Zugabe von aktivierten Teilen aus dem RDB ist gemäss der Spezifikation des Abfallgebinde Typs in eingeschränktem Rahmen zulässig. Ursachen für das Vorhandensein von Teilen mit unzulässiger Kontaktdosisleistung waren veraltete Vorgabedokumente und Fehler bei der Dokumentation der Abfallgebinde in der zentralen Abfalldatenbank. Das Verfahren mit der Nagra zur Festlegung des weiteren Umgangs mit den betroffenen Abfallgebinden war Ende des Berichtsjahrs noch im Gang.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die Verletzung des Grenzwerts der Kontaktdosisleistung für aktivierte Teile aus dem RDB vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Begrenzung der Strahlenexposition». Die Mängel der Vorgabedokumente wurden der Kategorie A zugeordnet, als Aspekt der Betriebsvorgaben mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Begrenzung der Strahlenexposition». Die Fehler bei der Dokumentation der Abfallgebinde wurden der Kategorie A zugeordnet, als Aspekt des Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Begrenzung der Strahlenexposition».

- Während der Jahreshauptrevision wurde das Brennelement inspiziert, das sich im 31. Zyklus auf der gleichen Position befand wie das Brennelement, das im 30. Zyklus beschädigt und nicht wieder eingesetzt worden war (siehe Aufsichtsbericht 2014, Kap. 4.2 und 4.3.3). Dabei wurden an zwei Stellen im oberen Bereich eines Hüllrohrs durch Zirkonoxid verursachte Verfärbungen gefunden und nach weiteren Abklärungen am 17. August 2015 als meldepflichtiges Vorkommnis erkannt. Im Unterschied zum 30. Zyklus kam es im 31. Zyklus nicht zu einer Verletzung der Hüllrohrintegrität und damit auch zu keiner Freisetzung radioaktiver Stoffe ins Reaktorkühlmittel. Es ist davon auszugehen, dass die vermehrte Produktion von Zirkonoxid durch eine strömungsbedingt lokal eingeschränkte



Wärmeübertragung von der Hüllrohroberfläche an das Kühlmittel im Leistungsbetrieb hervorgerufen wurde. Eine verschlechterte Wärmeübertragung führt bei gegebener Kühlmitteltemperatur zu einer erhöhten Hüllrohrtemperatur und damit beschleunigter Oxidation. Die Ursachenabklärung war Ende 2015 noch im Gang. Angesichts der noch nicht abgeschlossenen Ursachenabklärung hat das ENSI die Freigabe für das Wiederanfahren zum 32. Zyklus mit der Auflage eines MCPR-Werts von über 1,45 verbunden. Diese verschärfte Sicherheitsgrenze bedeutet einen erhöhten Abstand zu kritischen Siedezuständen und damit eine Reduktion der Gefahr weiterer übermäßiger Hüllrohroxidation oder Hüllrohrschäden.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die lokal verstärkte Oxidation eines Hüllrohrs vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

- Bei Instandhaltungsarbeiten während der Jahreshauptrevision 2015 wurde am 14. August 2015 an einer Isolationsarmatur des Nach- und Notkühlsystems ein gebrochener Hebelarm der

Verdrehsicherung der Antriebsspindel gefunden. Die Verdrehsicherung erzeugt das Gegendrehmoment zum Drehmoment des Antriebsmotors. Im Leistungsbetrieb ist die Isolationsarmatur geschlossen. Die Armatur wird primär beim normalen Abfahren der Anlage verwendet, wenn der Reaktordruck unter 10 bar gesunken ist. Das Öffnen und Schliessen der Armatur war trotz des gebrochenen Hebelarms möglich. Das Gegendrehmoment wurde vom zweiten Hebelarm aufgebracht. Die Funktion der Armatur im Leistungsbetrieb der Anlage, zusammen mit einem in Serie geschalteten zweiten Ventil einen sicheren Abschluss der Speisewasserleitung gegen das Nach- und Notkühlsystem zu gewährleisten, war durch die Beschädigung nicht gefährdet. Zur Beherrschung von Auslegungsstörfällen im Leistungsbetrieb muss das Ventil nicht verfahren werden. Die betroffene Verdrehsicherung wurde umgehend repariert.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die beschädigte Verdrehsicherung vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

- Am 24. August 2015, während der Jahres-

hauptidevision, wurde an einer Entleerungsleitung im Bereich einer Verbindungsleitung zwischen dem Brennelementbecken-Kühl- und Reinigungssystem und dem Nachwärmeabfuhrsystem an einer Schweißnaht eine rissbedingte Tropfleckage festgestellt. Die Leitung, an welche die Entleerungsleitung anschliesst, dient der Kühlung der Brennelementlagerbecken bei Auslegungstörfällen, wenn das betriebliche Brennelementlagerbecken-Kühlsystem ausgefallen ist. Die betroffene Verbindungsleitung war dem Anlagenzustand entsprechend beidseitig abgesperrt. Der Befund führte zu keiner Beeinträchtigung des in Betrieb befindlichen Brennelementlagerbecken-Kühlsystems. Eine sicherheitstechnische Bewertung des Befundes durch das KKL hat gezeigt, dass selbst bei einem Abriss der Entleerungsleitung die Kühlung der Brennelementlagerbecken bei Auslegungstörfällen gewährleistet wäre. Der betroffene Abschnitt der Entleerungsleitung wurde ersetzt. Die vertiefte Untersuchung der Schweißnaht im ausgebauten Stück zeigte einen transkristallinen Schwingungsriss als Ursache für die Leckage. Ermöglicht wurde dieser Riss durch die ungünstige Ausführung der Schweißnaht beim Bau der Anlage, was lokale Spannungsspitzen zur Folge hatte.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die Leckage an der Schweißnaht vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 3 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

- In der Jahreshauptrevision 2015 untersuchte ein Serviceteam des Brennelementherstellers ausgewählte Brennelemente. Als Folge eines Brennelementschadens im Zyklus 30 und aufgrund eines Befundes an einem Brennelement desselben Typs im Zyklus 31 hatte man sich entschlossen, das Inspektionsprogramm in der Jahreshauptrevision 2015 wesentlich zu erweitern. Im Rahmen dieser zusätzlichen visuellen Prüfungen sollte am 31. August 2015 ein Teil der Brennstaboberflächen im Bereich zweier Abstandshalter eines Brennelements vorgängig gereinigt werden, um die an der Oberfläche befindlichen Ablagerungen zu entfernen. Das Serviceteam erhielt vom Fachverantwortlichen des Herstellers die telefonische Anweisung zur Durchführung dieser Tätigkeit. Dabei wurden

die beiden Abstandshalter nacheinander nach unten verschoben. Beim Verschieben des zweiten Abstandshalters bemerkte der Operateur an der Handhabungsmaschine einen Widerstand und stoppte den Vorgang umgehend. Das Serviceteam erkannte, dass der obere der verschobenen Abstandshalter auf dem Haltestift des darunter liegenden Abstandshalters aufstand. Der obere Abstandshalter war dadurch beschädigt worden und musste ersetzt werden. Es traten keine Schäden an Brennstab-Hüllrohren auf. Das betroffene Brennelement konnte für den 32. Betriebszyklus nicht wie vorgesehen in den Reaktor eingesetzt werden. Es wurde durch ein anderes, reaktorphysikalisch geeignetes Brennelement ersetzt. Ursache für das zu starke Verschieben des beschädigten Abstandshalters war eine Fehlinterpretation der nicht klar genug formulierten mündlichen Anweisung des Fachverantwortlichen des Herstellers durch die ausführende Person. Die Anweisung wurde vor der Ausführung auch nicht hinterfragt. Das ENSI hat das KKL aufgefordert, eine vertiefte Analyse durchzuführen, unter Einbezug aller Vorkommnisse der letzten fünf Jahre mit Beschädigung von Abstandshaltern. Dabei hat das KKL insbesondere die Aspekte aus dem Bereich Mensch und Organisation zu berücksichtigen und bei Bedarf Massnahmen abzuleiten, um das wiederholte Auftreten von Beschädigungen an Abstandshaltern bei der Handhabung von Brennelementen zu vermeiden.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die Beschädigung des Abstandshalters vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

- Bei den oben erwähnten Untersuchungen wurde an einem anderen Brennelement festgestellt, dass der unterste Abstandshalter nach unten verschoben und beschädigt war. Zeitpunkt und Ursache konnten nicht mehr eindeutig ermittelt werden. Das Brennelement kam seit dem Brennelementwechsel 2014 nicht mehr im Reaktorkern zum Einsatz und ist auch nicht für einen weiteren Einsatz vorgesehen. Bei der letzten dokumentierten visuellen Prüfung des Brennelements während des Revisionsstillstands 2014 war der Abstandshalter noch intakt. Das Brennelement befand sich somit zu

keinem Zeitpunkt mit einem beschädigten Abstandshalter im Reaktor. Bis zur Feststellung des Befundes am 15. September 2015 fanden verschiedene Handhabungen des Brennelements für weitere Untersuchungen und Messungen an einzelnen Brennstäben statt. Auch dieses Vorkommnis hat das KKL in seine vertiefende Analyse zu den anderen Vorkommnissen mit beschädigten Abstandhaltern aufzunehmen, da auch in diesem Fall Aspekte im Bereich von Mensch und Organisation relevant waren.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die Beschädigung des Abstandshalters vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und das Schutzziel «Kühlung der Brennelemente».

Eine Zusammenstellung von Vorkommnissen der vergangenen zehn Jahre ist im Anhang in Figur 2 dargestellt. Eine Übersicht über die meldepflichtigen Vorkommnisse im Berichtsjahr findet sich in Tabelle 4.

Legionellen

Im Hauptkühlwassersystem des KKL wurden im Herbst 2010 Bakterien der Art *Legionella pneumophila* festgestellt. Die Werte im Wasser der Kühlturmtasse lagen wiederholt bei rund 100000 koloniebildenden Einheiten pro Liter Wasser. Legionellen sind die Verursacher der Legionärskrankheit. Nachdem sich das im Jahr 2014 versuchsweise eingesetzte Chlordioxid nicht bewährt hatte, verwendet das KKL seither wieder Natriumhypochlorit zur Desinfektion. Der Zutritt in den Kühlturm ist weiterhin eingeschränkt und nur mit Schutzmassnahmen zulässig.

4.3 Anlagetechnik 2015

4.3.1 Revisionsarbeiten

Während des Revisionsstillstands vom 10. August bis zum 17. September 2015 wurden geplante Instandhaltungsarbeiten sowie Inspektionen an mechanischen und elektrischen Einrichtungen, zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen sowie wiederkehrende Funktionsprüfungen und Begehungen an Komponenten und Systemen durchgeführt. Von besonderer Bedeutung waren die folgenden Prüfungen:

- An einer ferritischen Rohrleitung des Nieder-

druck-Kernflutsystems wurden zwei Flanschverbindungen mit einem qualifizierten mechanisierten Ultraschallprüfsystem geprüft. Es wurden keine registrierpflichtigen Anzeigen festgestellt.

- Einzelne ausgewählte Mischverbindungen in RDB-Stutzenanschlussnähten sowie sieben austenitische Schweissnähte der Umwälzleitungen wurden mechanisierten Ultraschallprüfungen unterzogen. Die Prüfungen wurden gemäss den qualifizierten Prüfvorschriften vollständig und erfolgreich durchgeführt. Es ergaben sich keine bewertungspflichtigen Anzeigen. Die bereits bekannten Anzeigen aus vorangegangenen Prüfungen in den austenitischen Schweissnähten der beiden Umwälzleitungen wurden bestätigt. Es ergaben sich keine neuen betriebsinduzierten Fehleranzeigen im geprüften Bereich.
- Die an ferritischen Rohrleitungsschweissnähten durchgeführten manuellen Ultraschallprüfungen in einzelnen Bereichen des Nach- und Notkühlsystems, des Hochdruck-Kernsprühsystems und des nuklearen Dampferzeugungssystems ergaben keine neuen Anzeigen. Zwei aus der letzten Prüfung bereits bekannte registrierpflichtige Geometrieanzeigen zeigten keine Veränderungen.
- An der Druckabbaukammer im Bereich der Dichtungsfuge wurden umfangreiche Wanddickenmessungen durchgeführt. Der geprüfte Bereich der Druckabbaukammer bildet einen Teil des Primärcontainments. Die Prüfung ergab keine bewertungspflichtigen Befunde.
- Die Einbauten des Reaktordruckbehälters wurden mit einem Kamerasystem einer qualifizierten visuellen Prüfung unterzogen. Es wurden keine neuen Auffälligkeiten festgestellt. Ebenso erfolgte eine mechanisierte Sichtprüfung der äusseren Oberfläche der Stutzendurchführungen an der Bodenkalotte des Reaktordruckbehälters. Es wurden keine Veränderungen im Vergleich mit der Prüfung im Jahr 2014 festgestellt.
- An den Schweissnähten der Steuerstabantriebs- und Instrumentierungsstutzen am RDB wurden die noch ausstehenden Prüfungen aus dem Jahre 2014 mittels kombinierter Ultraschall- und Wirbelstromprüfungen durchgeführt..
- Die Durchführung von Wanddickenmessungen an klassierten und unklassierten Rohrleitungen im Rahmen eines systematischen Wiederholungsprüfprogramms ergab keine Befunde, bei denen eine Unterschreitung der rechnerischen Mindestwanddicke festgestellt wurde.

4.3.2 Anlageänderungen

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

- Abschluss der Arbeiten zum Austausch der letzten vier Druckluftspeicher zur Ansteuerung der Frischdampfisolationsventile im Drywell.
- Die vorhandene Entnahmestelle für ein Backup-Probeentnahmestelle an einer Umwälzschleife innerhalb des Drywells wurde durch eine feste Verrohrung ausgewechselt.
- Ersatz der Wechselrichteranlagen in den Notstromdivisionen 11 und 21.

Die Bauarbeiten an der neuen Aktivlagerhalle für kontaminierte Grosskomponenten wurden im Berichtsjahr fortgesetzt. Anlässlich einer Inspektion stellte das ENSI fest, dass eine Krananlage mit einer Tragfähigkeit von 10 t errichtet worden war. Vom ENSI freigegeben worden war eine Krananlage mit einer Tragfähigkeit von 6,3 t. Das KKL hatte es unterlassen, vor der Herstellung und Montage des Krans mit der erhöhten Tragfähigkeit die geänderten Gesuchsunterlagen gemäss Kapitel 5.4 der Richtlinie ENSI-A04 dem ENSI zur Freigabe einzureichen.

Im Rahmen der systematischen Sicherheitsbewertung wurde die Diskrepanz zwischen montiertem Kran und freigegebener Auslegungsspezifikation vom ENSI der Kategorie A (Abweichung) der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens der Anlage mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 und die Schutzziele «Einschluss radioaktiver Stoffe» und «Begrenzung der Strahlenexposition». Die unterlassene Einreichung der geänderten Gesuchsunterlagen an das ENSI wird ebenfalls der Kategorie A zugeordnet, als Aspekt des Zustands und Verhaltens von Mensch und Organisation mit Bedeutung für die Sicherheitsebene 1 sowie die Schutzziele «Einschluss radioaktiver Stoffe» und «Begrenzung der Strahlenexposition».

Das Gebäude für die Frequenzrichter der geplanten neuen Reaktorumwälzpumpen wurde fertiggestellt.

Im Revisionsstillstand 2015 wurden auch zahlreiche nicht freigabepflichtige Anlageänderungen vorgenommen, zwecks Verbesserung der Verfügbarkeit und Modernisierung der Anlage. Hierzu gehören unter anderem:

- Die Erregung und die Synchronisationseinrichtung des Hauptgenerators wurden ersetzt.

- Die Erneuerung der Leittechnik von Lüftungsanlagen wurde fortgesetzt. Neu können Lüftungsklappen auch über das Anlageinformationssystem bedient werden.
- Die Erneuerung der Brandschutzanlage wurde fortgesetzt.

4.3.3 Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente

Im Berichtszeitraum traten keine Brennelementeschäden auf, sodass die Integrität der ersten Barriere zum Schutz gegen den Austritt radioaktiver Stoffe gewährleistet war. Für den Zyklus 32 wurden insgesamt 116 frische Brennelemente des Typs SVEA-96 Optima2 eingesetzt. Ausserdem wurden 30 Steuerstäbe aus der Erstausrüstung durch solche des Typs GE Ultra ersetzt. Der Reaktorkern besteht aktuell aus 108 ATRIUM-10XM-, 526 SVEA-96-Optima2-, acht SVEA-96-Optima3- und sechs ATRIUM-11-Brennelementen. Das ENSI hat sich davon überzeugt, dass das KKL nur neue Brennelemente einsetzt, die den Qualitätsanforderungen für einen sicheren Betrieb entsprechen.

Die 2015 durchgeführten Inspektionen an Hochabbrand- und Vorläufer-Brennelementen der Lieferanten Westinghouse und AREVA umfassten visuelle Inspektionen, Abbrandmessungen, Messungen der Oxidschichtdicken und der Brennstablängen sowie die Entnahme von Einzelstäben für spezielle Untersuchungen im PSI. Diese Inspektionen bestätigten das auslegungsgemässe Verhalten der Brennstäbe. Auch in Bezug auf Crud- und Oxidabplatzungen wurden keine Besonderheiten festgestellt. Wie in den vergangenen Jahren wurden an mehreren Brennelementen die Kastenverbiegungen gemessen. Die Resultate liegen im erwarteten Bereich. Weitere Untersuchungen konzentrierten sich auf die Ursachenabklärung des im Zyklus 30 aufgetretenen Brennelementeschadens, da auch während der Revision 2015 lokal erhöhte Oxidschichtdicken am Nachfolgebrennelement auf derselben Kernposition festgestellt wurden (siehe auch Kap. 4.2). Nach derzeitigem Kenntnisstand wird davon ausgegangen, dass es sich um ein lokales Kühlungsdefizit in hochbelasteten Brennelementen handelt. Weitere Abklärungen sind im Gange.

Der Reaktorkern wurde im Berichtszeitraum stets im bewilligten Rahmen betrieben. Die Ergebnisse der reaktorphysikalischen Messungen kurz vor dem Wiederanfahren nach der Revisionsabstellung 2015 stimmten gut mit den Ergebnissen der Kernauslegungsberechnungen überein.

4.4 Strahlenschutz

Die während des Kalenderjahrs 2015 im KKL akkumulierte Kollektivdosis betrug 1575 Pers. mSv. Die höchste registrierte Jahresindividualdosis betrug 10 mSv. Alle Individualdosen lagen unter dem Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, die sich nicht mit einfachen Mitteln entfernen liessen. Inkorporationen von radioaktiven Stoffen oberhalb der Triageschwelle gab es ebenfalls keine.

Im Jahr 2015 gab es keine Hinweise auf Brennelementschäden. Die Wasserstoffeinspeisung wurde am 10. August um 08:15 Uhr abgestellt, um den Übertrag von Iod aus der Wasser- in die Dampfphase zu minimieren. Während dem Abfahren zur Jahreshauptrevision 2015 wurde kein Iod-Peak festgestellt.

Die Dosisprognose für die gesamte Revision mit einer Dauer von 38 Tagen hatte 1150 Pers.-mSv ergeben. Tatsächlich wurde eine Kollektivdosis von 1189 Pers.-mSv gemessen (EPD-Wert). Die Planung wurde trotz zusätzlicher Arbeiten im Drywell und am Polarkran im Reaktorgebäude nur leicht überschritten. Der radiologische Zustand im Primärteil der Anlage hat sich im Vergleich zum Vorjahr nicht wesentlich verändert. Die Anzahl der Hotspots in der Anlage ist gleich geblieben.

Das ENSI stellte bei mehreren angemeldeten und nicht angemeldeten Inspektionen fest, dass im KKL ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz praktiziert wird.

Die radioaktiven Abgaben über die Abluft in Form von Aerosolen, Iod und Edelgasen lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Grenzwerte. Die gleiche Aussage gilt auch für die radioaktiven Abgaben mit dem Abwasser ohne Tritium. Die Tritium-Abgaben des KKL betragen rund 4% des Jahresgrenzwertes. Die quartalsweise vom ENSI durchgeführten Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern ergaben Übereinstimmung mit den vom KKL gemeldeten Analyseergebnissen. Aus den tatsächlich über die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnet das ENSI die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKL unter konservativen, d. h. ungünstigen Annahmen. Die Dosen betragen rund 0,002 mSv für Erwachsene und für Zehnjährige sowie 0,004 mSv für Kleinkinder und liegen damit deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro

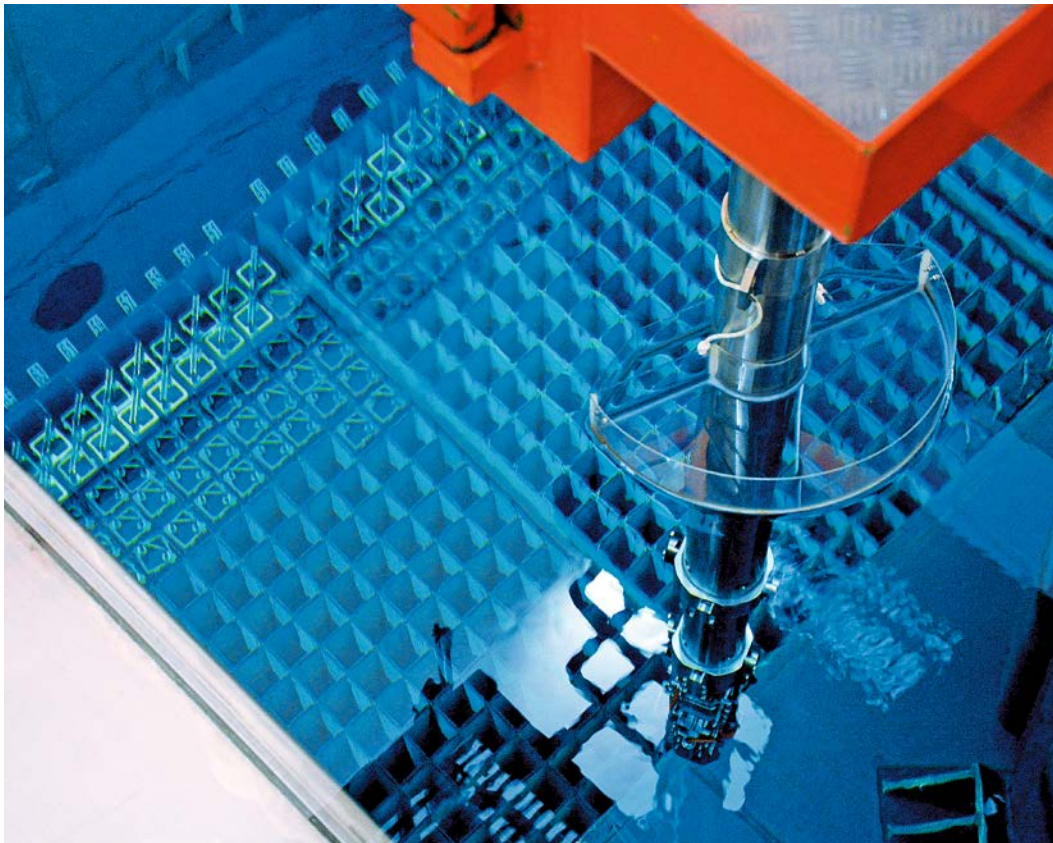
Jahr gemäss der Richtlinie ENSI-G15. Die Dosisleistungs-Messsonden des vom ENSI betriebenen Messnetzes (MADUK) in der Umgebung des Werkes zeigten keine durch den Betrieb der Anlage erhöhten Werte. Im Nahbereich eines Siedewasserreaktors ist die Ortsdosisleistung durch Direkt- und Streustrahlung aus dem Maschinenhaus erhöht. Die Thermolumineszenz-Dosimeter, die an mehreren Stellen am Zaun des Kraftwerksareals die Dosis messen, zeigten mit einem Jahreshöchstwert von 1,3 mSv einen vergleichbaren Wert wie im Vorjahr (1,4 mSv). Bei den quartalsweise vom ENSI zur Kontrolle durchgeführten Messungen an der Umzäunung des KKL wurden ebenfalls keine signifikanten Veränderungen festgestellt. Die in Artikel 102 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung vorgegebenen Immissionsgrenzwerte für 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 2015 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 Nachrüstmassnahmen und den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien. Im Berichtsjahr fielen 47 m³ radioaktive Rohabfälle an (vgl. Tabelle 6). Der Anfall bewegt sich 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 13 m³ im Erfahrungsbereich der vergangenen Jahre. Brennbar und weitere Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in der Plasma-Anlage der Zwiilag bereitgestellt und dorthin transportiert.

Als Konditionierungsverfahren kommt im KKL die Zementierung von Harzen und Konzentraten zum Einsatz. Für alle angewendeten Verfahren liegen die behördlichen Typengenehmigungen vor. Im



Brennstoffflager.
Foto: KKL

Berichtsjahr wurden verbrauchte Harze und Konzentrate zementiert.

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

Ein wichtiges Element bei der Minimierung der radioaktiven Abfälle ist die Inaktiv-Freimessung von Materialien aus der kontrollierten Zone. Im KKL wurden im Berichtsjahr insgesamt 16,7t Material freigemessen.

Bestrahlte Brennelemente des KKL werden nach einigen Jahren Lagerung im betrieblichen Brennelementbecken in Transport- und Lagerbehältern in das zentrale Zwischenlager (ZZL) zur Trockenlagerung überführt. Im Jahr 2015 fand ein derartiger Transport mit 69 bestrahlten Brennelementen statt. Weitere Information zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente und zu Wiederaufarbeitungsabfällen findet sich gesamthaft für alle Werke im Kapitel 8.

4.6 Notfallbereitschaft KKL

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

Das ENSI hat im Juni 2015 an der Stabsnotfallübung FLAB II die Notfallorganisation beobachtet und beurteilt. Für die Übung wurde ein Szenario angenommen, bei welchem ein Kleinflugzeug auf das KKL-Gelände abstürzte. Der Absturz verursachte mechanische Schäden an einigen Komponenten und einen Brand. Der Weiterbetrieb der Anlage war vorerst nicht direkt beeinträchtigt. Im Verlaufe des Szenarios traten mehrere technische Probleme auf, die ein Abschalten der Anlage erforderten. Angesichts der langen Übungsdauer musste ein Schichtbetrieb der Notfallorganisation mit Übergaberapporten eingerichtet werden. Aufgrund seiner Übungsbeobachtungen kam das ENSI zum Schluss, dass die Übungsziele gemäss der Richtlinie ENSI-B11 für eine langandauernde Notfallübung erreicht wurden. Das KKL verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.

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

Das ENSI löste im KKL ohne Voranmeldung einen Übungsalarm aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Werk-Notfallstabes gemäss Richtlinie ENSI-B11 bestätigt wurde.

4.7 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr hat sich der Personalbestand des KKL auf 533 Personen, welche 520 Vollzeitstellen besetzten, reduziert (Ende 2014: 551). Der Personalrückgang im Betrachtungszeitraum ist vor allem auf die Pensionierung von langjährigen Mitarbeitenden und die damit verbundene Reduktion von Doppelbesetzungen zurückzuführen. Diese waren im Rahmen des Generationenwechsels seit 2008 sukzessive aufgebaut worden. Das System der Überlappungszeiten zum Know-how-Transfer hat sich bewährt. Im Berichtsjahr wurde der Abteilungsleiter Überwachung neu ernannt. Das KKL hat im Jahr 2015 keine grösseren organisatorischen Änderungen vorgenommen.

Im Rahmen des Aufsichtsschwerpunktes 2015 hatte das ENSI vom KKL aufgrund einer Häufung von Vorkommnissen mit wesentlichen Grundursachen im Bereich Mensch und Organisation weitergehende Abklärungen verlangt. In diesem Zusammenhang stellte das KKL seine Überlegungen zur Entwicklung eines Konzeptes zur Wirksamkeitskontrolle von eingeleiteten oder umgesetzten Massnahmen vor. Dabei sind auch neuere Ansätze aus der Sicherheitsforschung wie Safety-II und Resilienz berücksichtigt worden. Das Konzept legt ein besonderes Augenmerk auf die Definition der Wirksamkeitsziele und schliesst vermehrte Beobachtungen des Arbeitsalltags mit ein.

Das Managementsystem des KKL ist gemäss der Norm DIN EN ISO 9001:2008 zertifiziert. Das ENSI führte eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Kompetenzmanagement durch. Dabei wurde überprüft, ob das KKL über geeignete Abläufe und Vorgaben verfügt, um die erforderlichen sowie die vorhandenen Kompetenzen des Eigenpersonals zu ermitteln. Weiter überprüfte das ENSI, wie das KKL aus den Ergebnissen Massnahmen ableitet und deren Wirksamkeit bewertet. Die Anforderungen wurden erfüllt.

Im Laufe des Jahres 2015 hat das ENSI im KKL, wie in allen Schweizer Kernkraftwerken, ein Fachgespräch zum Thema «Verantwortung für die Sicher-

heit» durchgeführt. Dieses gehört zur Reihe der Fachgespräche zum Dialog über Sicherheitskultur, welche alle drei Jahre vom ENSI durchgeführt werden. Während die Verantwortung für den sicheren Betrieb formell im Kernenergiegesetz, der Kernenergieverordnung und der Richtlinie ENSI-G07 geregelt ist, ging es im Fachgespräch darum, den Dialog im KKL darüber zu fördern, wie diese Verantwortung wahrgenommen wird.

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

Das ENSI hat eine Inspektion zur Umsetzung des Ausbildungsprogramms 2014 und der Planung des Ausbildungsprogramms 2015 der Abteilung Betrieb durchgeführt. Gegenstände der Inspektion waren die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator, die allgemeine Wiederholungsschulung sowie deren Änderungen und Neuerungen. Ferner wurde die Ausbildung des Personals der Abteilung Überwachung auf Einhaltung der Vorgaben der Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) und der Richtlinie ENSI-B10 überprüft. Die Ausbildungsprogramme des KKL in den inspezierten Bereichen erfüllen die Anforderungen.

4.8 Sicherheitsbewertung

Im Jahr 2014 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 Sicherheitsbewertungs-Matrix zu folgenden zusammenfassenden Beurteilungen:

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

Sicherheitsbewertung 2015 KKL:
Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge

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

Sicherheitsbewertung 2015 KKL: Schutzziel-Perspektive
Anmerkung: alternative Darstellung derselben Sachverhalte wie in der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge, aber mit zusätzlicher Darstellung radiologischer Auswirkungen

Zellen ohne Bewertung bedeuten, dass weder Inspektionsergebnisse, Zulassungsprüfungen, Vorkommnisse noch Sicherheitsindikatoren eine Bedeutung für diese Zellen hatten. Die Zellenbewertungen richten sich nach der höchsten einer Zelle zugeordneten Bewertung eines Sachverhalts. Sämtliche den Kategorien A (Abweichung) und höher zugeordneten Sachverhalte sind in den Unterkapiteln 4.2 und 4.3.2 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 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 A oder höher vorlagen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich Auslegungsvorgaben als hoch.

Betriebsvorgaben

Das ENSI beurteilt die im Unterkapitel 4.2 beschriebene Abweichung im Bereich der Betriebsvorgaben als Abweichung mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Entsprechend bewertet das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich Betriebsvorgaben als gut.

Zustand und Verhalten der Anlage

Das ENSI beurteilt die in den Unterkapiteln 4.2 und 4.3.2 beschriebenen Abweichungen im Bereich von Zustand und Verhalten der Anlage als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Die inkrementell bedingte Kernschadenswahrscheinlichkeit (ICCDP) von $2,28 \cdot 10^{-6}$ infolge der zeitgleichen latenten Unverfügbarkeit der SEHR-Grundwasserpumpen wird vom ENSI der Stufe 1 der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet. Entsprechend bewertet das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich Zustand und Verhalten der Anlage als ausreichend.

Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

Das ENSI beurteilt die in den Unterkapiteln 4.2 und 4.3.2 beschriebenen Abweichungen im Bereich von Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Entsprechend bewertet das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation als gut.



*Zentrales Zwischenlager der Zwiilag in Würenlingen.
Foto: ENSI*

5. Zentrales Zwischenlager Würenlingen

Das Zentrale Zwischenlager (ZZL) der Zwischenlager Würenlingen AG (Zwiilag) 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 Wiederaufar-

beitung, das Lagergebäude für mittelaktive Abfälle (MAA-Lager) und die Lagerhalle für schwach- und mittelaktive Abfälle (SAA-Lager). Zum Zwischenlager gehören auch das Empfangsgebäude und die heisse Zelle.

Im HAA-Lager wurde im ersten Quartal 2015 ein Transport- und Lagerbehälter (TL-Behälter) mit 69 abgebrannten Brennelementen aus dem Kernkraftwerk Leibstadt eingelagert. Ferner wurden im September 2015 drei TL-Behälter mit hochaktiven verglasten Abfällen aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen aus dem Kernkraftwerk Gösgen in Sellafield (UK) angeliefert. Im Oktober 2015 wurde zum wiederholten Male eine Brennelement-Shuttlekampagne vom Kernkraftwerk Mühleberg gestartet. Als Transportbehälter dienten wie bisher zwei TN9/4-Behälter. In insge-

samt zehn Strassentransporten wurden 69 Brennelemente aus dem Kernkraftwerk Mühleberg ins ZZL transportiert. Im ZZL wurden die TN9/4-Behälter in der heissen Zelle fernbedient geöffnet und die Brennelemente in einen TL-Behälter vom Typ TN24BH umgeladen. Das ENSI hat die entsprechenden Einlagerungsanträge geprüft und die Einlagerung freigegeben. Ende 2015 betrug der Lagerbestand im HAA-Lager 47 TL-Behälter, davon sieben CASTOR®- und neun TN-Behälter mit insgesamt 448 Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung von Brennelementen in La Hague (F) und Sellafield (UK), 30 TN-Behälter mit insgesamt 2177 abgebrannten Brennelementen aus dem Betrieb der KKW sowie ein CASTOR®-Behälter mit den Brennelementen aus dem stillgelegten Forschungsreaktor DIORIT des Paul Scherrer Instituts (PSI). Die Belegung des HAA-Lagers beträgt per Ende 2015 rund 23%. 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 Versuchatomkraftwerk Lucens.

Im MAA-Lager wurden im Berichtsjahr konditionierte Gebinde eingelagert. Ende 2015 betrug die Ausnutzung im MAA-Lager 36%. Das SAA-Lager wird entsprechend dem Nutzungskonzept der Zwi-

lag bis ca. Mitte 2018 als konventionelles Lager für nicht radioaktive Ausrüstungen und Materialien genutzt. Demzufolge ist der maschinentechnische Ausbau auf die für diese Nutzung erforderlichen Einrichtungen beschränkt. Zur Vorbereitung der aktiven Inbetriebnahme auch des letzten Anlagenteils, des SAA-Lagers, wurde seitens Zwiilag ein Projekt gestartet und erste Arbeiten lanciert.

5.2 Konditionierungsanlage

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

Betriebsabfälle aus den Kernkraftwerken, die nicht als verbrennbarer oder schmelzbarer Abfall direkt in der Plasma-Anlage verarbeitet werden können, werden hier der Konditionierung mit unterschiedlichen Behandlungsverfahren unterzogen. Das Ziel ist es, eine möglichst grosse Menge als inaktives Material freizumessen und den verbleibenden radioaktiven Abfall in eine konditionierte Form zu überführen, die den Anforderungen der Richtlinie

Arbeit an
der Handschuhbox.
Foto: Zwiilag



ENSI-B05 entspricht. Im ZZL wurden im Berichtsjahr insgesamt 83,5 t Material gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B04 als inaktiv freigemessen. Das Hochregallager der Konditionierungsanlage wird auch als Eingangslager für Rohabfälle benutzt. Zu einem späteren Zeitpunkt werden diese ins Hochregallager der Plasma-Anlage transferiert und von dort aus der Verarbeitung zugeführt.

5.3 Plasma-Anlage

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

Im Jahr 2015 wurde wie im Vorjahr nur eine Kampagne in der Plasma-Anlage durchgeführt. Die Arbeiten verliefen planmässig, was sich in der spezifikationsgerechten Verarbeitung von 631 Abfallfässern zu 144 konditionierten Gebinden ausdrückt.

5.4 Strahlenschutz

Im ZZL wurde 2015 eine Kollektivdosis von 28,8 Pers.-mSv akkumuliert. Sie lag damit bei 107 % des geplanten Wertes von 26,9 Pers.- mSv. Die höchste registrierte Einzeldosis betrug 3,2 mSv. Grund für die Überschreitung der geplanten Dosis waren umfassende Revisionsarbeiten an der Plasma-Anlage mit schwer vorherzusagender Jobdosis. 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 in den Anlagen noch in der Atemluft Hinweise auf unzulässige Kontaminationen.

Die radioaktiven Abgaben über die Abluft und das Abwasser lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Grenzwerte. Die quartalsweise vom ENSI durchgeführten Kontrollmessungen von Abwasserproben und Aerosolfiltern bestätigten die von der Zwiilag gemeldeten Analyseergebnisse. Die aufgrund der Abgaben unter ungünstigen Annahmen berech-

nete Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des ZZL lagen mit weniger als 0,001 mSv für Erwachsene, Zehnjährige und Kleinkinder deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,05 mSv. Das ZZL und das PSI teilen einen gemeinsamen Standort; die Umgebungsüberwachung für den gesamten Standort mittels Thermolumineszenz- Dosimetern (TLD) wird vom PSI durchgeführt. Die TLD in der Umgebung und am Arealzaun des zentralen Zwischenlagers der Zwiilag zeigten keine dem Betrieb der beiden Anlagen zuzuschreibende Erhöhung gegenüber der Untergrundstrahlung. Die nach Art. 102 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für Direktstrahlung ausserhalb des Betriebsareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche wurden somit in jedem Fall eingehalten.

Die Tätigkeiten in den Anlagen der Zwiilag wurden unter Einhaltung der gesetzlichen und internen Strahlenschutzvorgaben durchgeführt. Die Ergebnisse der ENSI-Inspektionen bestätigen, dass im ZZL ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz angewendet wird. Für detailliertere Angaben zur radiologischen Situation innerhalb und ausserhalb des gemeinsamen Standortes von PSI und Zwiilag wird auf den Strahlenschutzbericht 2015 des ENSI verwiesen.

5.5 Notfallbereitschaft

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

Das ENSI hat im Oktober 2015 anlässlich der Werknotfallübung PROMETHEUS die Notfallorganisation beobachtet und beurteilt. Das Übungsszenario sah vor, dass es in der heissen Zelle zu einem Brand kam. Eine Fehlmanipulation führte zur mechanischen Beschädigung eines Brennelementes und zu einer nachfolgenden Aktivitätsfreisetzung. Ein Nichtschliessen von Abluftklappen führte zu einer Abgabe von radioaktiven Stoffen an die Umgebung. Infolge des Brandalarms kam es bei der Räumung des Gebäudes zu einem Personenunfall. Das Notfallübungsszenario mit Brand in der heissen Zelle, Personenschäden und insbesondere der Akti-



vitätsfreisetzung an die Umwelt stellte eine besondere Herausforderung an die Arbeit des Notfallstabs dar. Zentral für eine erfolgreiche Arbeit des Notfallstabs war insbesondere auch die Zusammenarbeit mit den Einsatzgruppen vor Ort. Aufgrund seiner Übungsbeobachtungen kam das ENSI zum Schluss, dass die Übungsziele gemäss der Richtlinie ENSI-B11 erreicht wurden. Die Zwiilag verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.

Als weitere Übung löste das ENSI im ZZL ohne Voranmeldung einen Übungsalarm aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Werknotfallstabs bestätigt wurde.

5.6 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr hat die Zwiilag keine grösseren organisatorischen Änderungen vorgenommen. Die Belegschaft hat sich um eine Person auf 78 Personen, welche 74,25 Vollzeitstellen besetzen, erhöht. Das Managementsystem der Zwiilag besitzt eine gültige Zertifizierung gemäss der Norm DIN EN ISO 9001: 2008. Das ENSI führte eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Kompetenzmanagement durch. Es wurde dabei überprüft, ob die Organisation der Kernanlage über geeignete Abläufe und Vorgaben zur Ermittlung der erforderlichen Kompetenzen des Eigenpersonals und die Identifikation des Bedarfs zum Kompetenzerhalt und -aufbau inklusive der Überprüfung der Wirk-

samkeit dieser Abläufe verfügt. Die entsprechenden Anforderungen wurden erfüllt.

In der ersten Jahreshälfte 2015 hat das ENSI mit der Zwiilag erstmals ein Fachgespräch über Sicherheitskultur geführt. Dabei wurden die Grundlagen der Sicherheitskultur, die Aktivitäten und Programme zur Förderung der Sicherheitskultur und die Sicherheitskultur im Zwiilag-Alltag thematisiert. Ziel dieser Art von Gesprächen ist die Stärkung der Selbstreflexion der Zwiilag über die eigene Sicherheitskultur.

5.7 Vorkommnisse

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

5.8 Gesamtbeurteilung

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Zwiilag die verschiedenen Anlagen des zentralen Zwischenlagers im Jahr 2015 sicher betrieben und dabei jederzeit die bewilligten Betriebsbedingungen eingehalten hat. Die Sicherheit und somit der Schutz von Mensch und Umwelt war im Berichtsjahr gewährleistet. Das Managementsystem, die Qualifikation und die Kapazität des Personals sowie der Zustand der verschiedenen Anlagen stellen ein hohes Mass an Qualität und Zuverlässigkeit sicher.



*Paul Scherrer Institut
PSI (vorne links und
Mitte rechts) mit
Zwilag (Mitte rechts).
Foto: ENSI*

6. Paul Scherrer Institut (PSI)

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

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

In der Berichtsperiode waren vier meldepflichtige Vorkommnisse gemäss Richtlinie ENSI-B03 zu verzeichnen, wobei eines davon nicht dem PSI zugewiesen wurde; auf diese Vorkommnisse wird im

Folgenden anlagen- bzw. themenspezifisch eingegangen. Die durch den Betrieb der Kernanlagen des PSI verursachten radiologischen Auswirkungen auf die Umwelt und Bevölkerung blieben weit unter den gesetzlichen Grenzwerten. Die Sicherheit und somit der Schutz von Mensch und Umwelt war im Berichtsjahr gewährleistet.

6.1 Hotlabor

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

senschaftliche Untersuchungen des Transportverhaltens von Radionukliden in Gesteinen.

Im Jahr 2015 führte das PSI das Projekt zur Auflösung des Plutoniumlagers des Bundes aus. Die Aufbereitung und Verpackung des Materials erfolgte im Hotlabor. Das ENSI beaufsichtigte das Projekt. Es erteilte die erforderlichen Freigaben und Genehmigungen für die Durchführung der Arbeiten bzw. des Transportes und führte dazu mehrere Inspektionen durch. Das Kernmaterial wurde gemäss Medienmitteilung des Departements für Wirtschaft, Bildung und Forschung (WBF) vom 26. Februar 2016 im Rahmen der Global Threat Reduction Initiative (GTRI) Anfang 2016 in die USA überführt. Im Hotlabor erfolgt auch die Konditionierung der radioaktiven Abfälle aus dem Betrieb seiner heissen Zellen. Darunter fallen insbesondere flüssige Abfälle, die bei der Brennstoff-Analytik anfallen und Aktinide sowie Spalt- und Aktivierungsprodukte enthalten. Zur Verfestigung dieser flüssigen radioaktiven Abfälle hat das PSI im Jahr 2013 die neue Fixbox-3-Anlage im Rahmen einer Typenprüfung in Betrieb genommen; Ende 2015 hat das ENSI auf Gesuch des PSI einer Verlängerung der Typenprüfung zwecks weiterer Verfahrensoptimierung zugestimmt.

Zudem erfolgt im Hotlabor die Behandlung der radioaktiven Abwässer des PSI-Ost. Da die Sammel-tanks Alterungserscheinungen aufwiesen, musste diese Anlage erneuert werden. Im Berichtsjahr wurden die Installationsarbeiten abgeschlossen, und gegen Jahresende befand sich die neue Abwasserbehandlungsanlage im aktiven Testbetrieb.

In der Berichtsperiode wurde kein Material aus dem Hotlabor gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B04 freigemessen (Vorjahr 11,1 t).

Ende Mai 2015 reichte das PSI dem ENSI den gemäss ENSI-Gutachten zum Gesuch des PSI um Erneuerung der Betriebsbewilligung des Hotlabors zu revidierenden Sicherheitsbericht mitsamt zugehöriger Störfallanalysen fristgerecht ein. Damit ist eine wesentliche Voraussetzung zur Einleitung des Bewilligungsverfahrens erfüllt. Zudem hat das PSI in der Berichtsperiode die in diesem Zusammenhang vom ENSI formulierten weiteren Forderungen

weitgehend erfüllt. Schliesslich konnten die letzten offenen Punkte hinsichtlich der im Namen des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) vom Bundesamt für Energie (BFE) geleiteten öffentlichen Auflage bereinigt werden.

6.2 Kernanlagen in Stilllegung

In der Schweiz befinden sich derzeit vier Kernanlagen des PSI 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

Im ehemaligen Forschungsreaktor SAPHIR finden mit Ausnahme von Ausbildungstätigkeiten keine Arbeiten mehr statt. Der Rückbau des Reaktorbeckens und der biologischen Abschirmung ist seit längerer Zeit abgeschlossen. Im Berichtsjahr wurde sämtlicher Kernbrennstoff aus dem Gebäude entfernt, so dass ab 2016 die Rückbauarbeiten fortgesetzt werden können. Die stillgelegte Anlage unterliegt der betrieblichen Überwachung und Instandhaltung im Hinblick auf deren Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung.

6.2.2 DIORIT

Die Rückbauarbeiten des DIORIT sind weitgehend abgeschlossen; Reaktor und biologischer Schild sind vollständig zurückgebaut, auch der Schwarzbereich (speziell eingerichteter Bereich zum Umgang mit asbesthaltigen Materialien) in der Reaktorhalle ist aufgehoben. Im Berichtsjahr wurden die noch vorhandenen Stilllegungsabfälle konditioniert; Materialfreimessungen gab es keine mehr (im Vorjahr waren es noch 2,5 t).

Per Ende 2015 befanden sich im DIORIT-Gebäude neben dem gut 22 t schweren, gering aktivierten stählernen «Arbeitsboden» des Reaktors noch

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

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

knapp 2 t Aluminium-Stillegungsabfälle aus dem Rückbau von DIORIT und SAPHIR, welche noch mit der Aluminium-Schmelzanlage im DIORIT eingeschmolzen und anschliessend endkonditioniert werden müssen. Im Berichtsjahr hat das PSI Vorbereitungsarbeiten unternommen, um diese Schmelzanlage zu ertüchtigen. Weitere Abfälle aus dem Rückbau des DIORIT befinden sich im Hinblick auf eine künftige Freimessung zur Abklinglagerung in einer Halle der AERA (Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle, vgl. Kap. 6.3). Alle übrigen Abfälle aus diesem Rückbau wurden entweder dekontaminiert, freigemessen und konventionell entsorgt oder endkonditioniert und in das BZL eingelagert (Kap. 6.3).

Im Juni 2015 legte das PSI ein Rückbaukonzept vor, nach dem die Gebäulichkeiten des DIORIT vollständig zurückgebaut werden sollen. Ursprünglich war vorgesehen, die Gebäulichkeiten nach der Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung anderweitig zu nutzen.

6.2.3 PROTEUS

Per Ende 2014 hat das PSI die überarbeiteten Unterlagen für das Stilllegungsprojekt für den Forschungsreaktor PROTEUS eingereicht. Das ENSI hat diese Unterlagen überprüft und ein Gutachten zuhanden des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) erstellt. Das Gutachten zum Stilllegungsprojekt PROTEUS wurde im Dezember 2015 fertiggestellt und dem verfahrensleitenden Bundesamt für Energie (BFE) eingereicht. Im Hinblick auf die Stilllegung bzw. auf den Rückbau der Kernanlage muss das PSI noch die Beseitigung des Kernbrennstoffs vornehmen. Diese Aufgabe muss mit hoher Priorität weiterverfolgt werden.

6.2.4 Versuchsverbrennungsanlage

Das UVEK hat am 2. Juli 2014 die Stilllegungsverfügung für die Versuchsverbrennungsanlage (VVA) erlassen. Danach ist die Anlage – wie im Stilllegungsprojekt beschrieben und unter Beachtung der in der Stilllegungsverfügung formulierten Auflagen – vollständig zurückzubauen. Mit den eigentlichen Rückbauarbeiten wurde im Berichtsjahr noch nicht begonnen. Hingegen wurden vorbereitende Arbeiten ausgeführt, darunter die Installation einer neuen Lüftungsanlage und der Bau eines neuen Gebäudezugangs. Die Arbeiten mussten jeweils zuvor vom ENSI freigegeben werden. Im

Hinblick auf den bevorstehenden Rückbaubeginn gab es zudem organisatorische Anpassungen. So wurde die VVA organisatorisch aus den Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (AERA, vgl. Kap. 6.3) herausgelöst und dazu ein eigenes Betriebsreglement erstellt, welches dem ENSI Ende des Berichtsjahres zur Beurteilung vorgelegt wurde.

6.3 Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle

6.3.1 Behandlung radioaktiver Abfälle

Das PSI betreibt die Sammelstelle des Bundes für radioaktive Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF-Abfälle). Ebenfalls im Eigentum des Bundes sind die im PSI anfallenden radioaktiven Abfälle aus den Anwendungen radioaktiver Isotope in Forschungsprojekten, insbesondere bei Brennstoffuntersuchungen, aus 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, so dass vor ihrer Endkonditionierung oft eine Triage und Vorbehandlungen notwendig sind. Zudem sind unterschiedliche Konditionierungs- und Verpackungskonzepte erforderlich, was im Vergleich mit Kernkraftwerken zu einem umfangreicheren und sich häufiger ändernden Spektrum an Abfallgebindetypen führt.

Im Jahr 2015 wurden insgesamt rund 25,5 m³ (Vorjahr 31,2 m³) Abfälle bei der Bundessammelstelle angeliefert, davon 21,4 m³ (Vorjahr 29,4 m³) aus dem PSI und 4,1 m³ (Vorjahr 1,73 m³) aus der jährlichen Sammelaktion des Bundesamts für Gesundheit (BAG). Zusätzlich wurden 102 vorkonditionierte Stahlzylinder mit vorwiegend tritiumhaltigen MIF-Abfällen angeliefert, deren Übertritt in den Aufsichtsbereich des ENSI vorgängig auf Basis der Richtlinie ENSI-B05 genehmigt wurde. Derartige Zylinder mit flüchtigen Abfällen werden routinemässig in der Industrie hergestellt. Sie sind als dicht verschweisste, prüfpflichtige Versandstücke qualifiziert und werden regelmässig bei der Bundessammelstelle am PSI abgeliefert.

Im Berichtsjahr hat das PSI die Aufarbeitung zweier Vorkommnisse betreffend Stahlzylinder mit vorkonditionierten tritiumhaltigen Industrieabfällen (MIF), wovon sich eines bereits im Jahr 2011 und ein anderes im Berichtsjahr ereignete (siehe Kap. 6.7), mit

Hochdruck vorangetrieben und dabei über 1000 Zylinder untersucht. Das ENSI konnte sich im Rahmen einer im Dezember 2015 durchgeführten Schwerpunktsinspektion vom Fortschritt der Arbeiten überzeugen.

Erwähnenswert ist auch der Abschluss der aufwendigen Sanierung und Nachdokumentation von 25 nicht spezifikationskonformen Abfallgebinden (Altlasten). Nach erfolgter Sanierung wurden diese Gebinde mit Zustimmung des ENSI zur temporären Aufbewahrung in das Bundeszwischenlager (BZL) verbracht. Die definitive Einlagerungsfreigabe ist an die Genehmigung der zu revidierenden BZL-Störfallanalyse geknüpft (siehe weiter unten).

Daneben erfolgte bei den AERA die Behandlung radioaktiver Abfälle im üblichen Rahmen. Zu erwähnen ist u.a. die Endkonditionierung des voraussichtlich letzten Beton-Kleincontainers vom Typ KC-T12 mit Stilllegungsabfällen aus dem Forschungsreaktor DIORIT, die Endkonditionierung von insgesamt 13 200-Liter-Abfallgebinden sowie die noch andauernde Dekontamination der kürzlich ausgebauten Abwassertanks aus dem Hotlabor im Abfalllabor. Im Jahr 2015 konnten 7,1 m³ (Vorjahr 19,6 m³) Material dekontaminiert und freigesetzt werden.

Zur Behandlung in der Plasma-Anlage der ZWILAG wurden 2015 keine neuen Abfallgebinde hergestellt oder abgeliefert. Der Bestand betrug per Ende 2015 unverändert neun Sammelfässer zu 200 Liter.

6.3.2 Lagerung radioaktiver Abfälle

Im Bundeszwischenlager (BZL) werden konditionierte Abfälle vorwiegend in 200-Liter-Fässern und Kleincontainern (bis 4,5 m³) eingelagert. Fallweise werden mit spezifischer Zustimmung des ENSI unkonditionierte Komponenten in Kleincontainern temporär aufbewahrt, sofern dies dem Optimierungsgebot nach Artikel 6 der Strahlenschutzverordnung entspricht.

Grundlage für den Nachweis der Einhaltung der Schutzziele beim BZL-Betrieb bildet die Störfallanalyse gemäss Auflage 3.2 der bundesrätlichen Verfügung vom 3. Dezember 2004 betreffend die Änderung der Betriebsbewilligung für das Bundeszwischenlager. Diese Analyse ist periodisch zu aktualisieren, wobei insbesondere die Entwicklung des Lagerinventars sowie der jeweilige Stand von Wissenschaft und Technik zu berücksichtigen sind. Im Berichtsjahr hat das ENSI die Beurteilung der «neuen» BZL-Störfallanalyse von September 2013 abgeschlossen und kommt dabei zum Schluss, dass die Störfallanalyse unter Berücksichtigung zweier grundlegender Forderungen

betreffend Schadensbild und Ableitung der Freisetzungssanteile zu überarbeiten ist. Zur Sicherstellung einer zeitnahen und sachgerechten Umsetzung beschloss das ENSI, die Arbeiten eng zu begleiten und den Fortschritt im Rahmen periodischer Statusgespräche zu verfolgen.

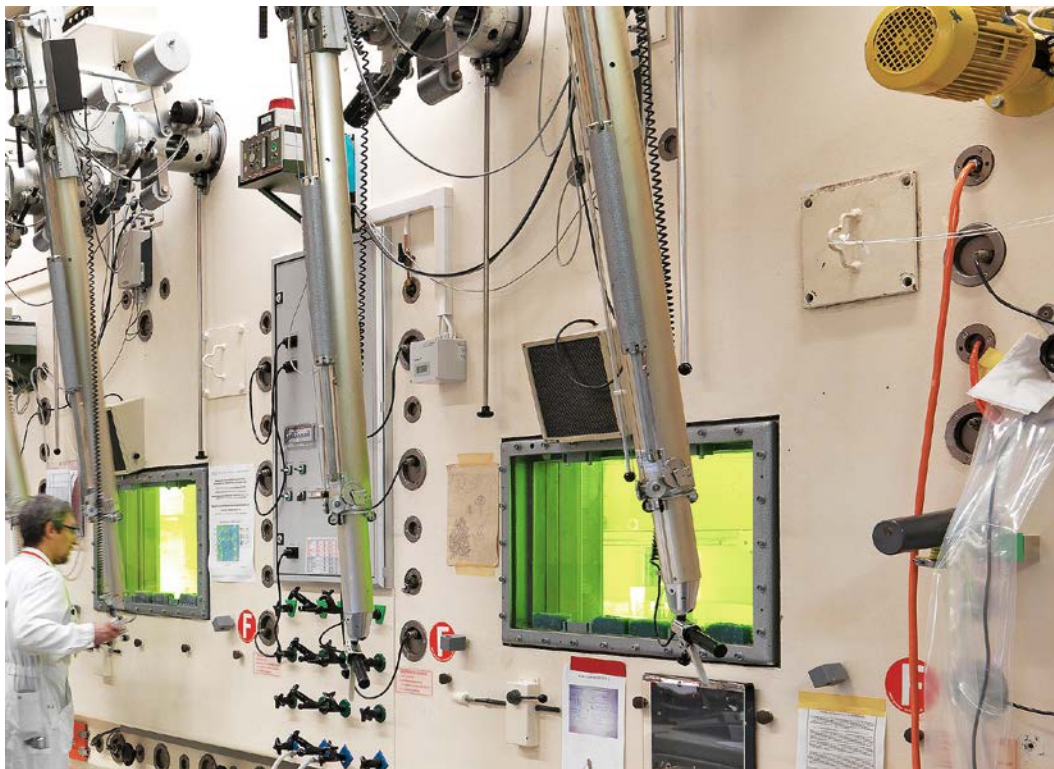
In der Berichtsperiode wurden acht endkonditionierte 200-Liter-Gebinde sowie zwei KC-T12-Container in das Bundeszwischenlager (BZL) eingelagert, wobei je ein 200-Liter-Fass und ein KC-T12-Container bereits in den Jahren 2013 bzw. 2012 endkonditioniert wurden. Somit war der mit 200-Liter-Fässern belegte Raum per Ende 2015 mit 4898 Gebinden gefüllt, was einem Belegungsgrad von rund 80 % entspricht. Das Inventar im BZL-Container-Teil belief sich auf 93 endkonditionierte KC-T12/30. Schliesslich waren per Ende 2015 2136 Stahlzylinder aus industrieller Fertigung in neun KC-T12-Containern im BZL gelagert, wobei im Vergleich zum Vorjahr im Rahmen der bereits erwähnten Zylinderinspektionen umfangreiche Umlagerungen vorgenommen wurden. Als potenziell undicht identifizierte Zylinder wurden teilweise zur Überwachung in das Abfalllabor oder vorübergehend in die Halle C des Betriebsgebäudes eingestellt.

In den Hallen des Betriebsgebäudes sowie in weiteren Hallen des Bereichs der Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (AERA) lagern entsprechend den betrieblichen Erfordernissen sowohl unkonditionierte als auch konditionierte Abfälle.

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

Die in Kap. 6.3.1 genannten, bei der Bundessammelstelle abgelieferten 102 Stahlzylinder wurden im Hinblick auf deren Einlagerung in das BZL temporär in den Lagerhallen auf dem Gelände AERA untergebracht.

Im Rahmen der Aufsichtsgespräche berichtete das PSI über den Fortschritt zu der im Berichtsjahr 2013 vom ENSI geforderten Aktualisierung der Sicherheitsberichte für das Betriebsgebäude OBGA und für das Abfalllabor OALA. Geänderte Randbedingungen für die Störfallanalysen sowie die Entwicklung neuer Instrumente zur Überwachung der Aktivitätsinventare bzw. zum Nachweis der Einhaltung der Schutzziele haben eine Verzögerung des Abschlusses der Arbeiten zur Folge. Statt per Ende 2015 sollten die neuen Berichte dem ENSI per Ende des 1. Quartals 2016 übergeben werden.



Hotlabor.
Foto: PSI

Auch die vom ENSI im Jahr 2014 geforderte Beurteilung der Situation in den Lagerhallen OAHA, OAHB, OAHC und OAHD ist zwar weit fortgeschritten, aber noch nicht abgeschlossen. Die diesbezüglichen Störfallbetrachtungen müssen nachbearbeitet und erneut zur Beurteilung eingereicht werden.

Schliesslich berichtete das PSI im Rahmen der Aufsichtsgespräche und weiterer Fachgespräche auch über den Fortschritt der vom ENSI anlässlich seiner Grobprüfung geforderten Überarbeitung der Gesuchsunterlagen für das Bau- und Betriebsbewilligungsgesuch für den als Erweiterung des BZL geplanten «Stapelplatz PSI OST, OSPÄ». Das PSI wird die per Ende 2015 planmässig fertiggestellten Unterlagen nach interner Qualitätsprüfung beim ENSI einreichen.

6.4 Strahlenschutz

Im Jahr 2015 akkumulierten die 1581 (Vorjahr 1509) beruflich strahlenexponierten Personen des PSI (Eigen- und Fremdpersonal) eine Kollektivdosis von 114,2 Pers.-mSv (2014: 81,5 Pers.-mSv). Davon stammen 41,9 Pers.-mSv aus dem Aufsichtsbereich des ENSI (2014: 19,4 Pers.-mSv) bei einer höchsten Individualdosis von 9,2 mSv (2014: 2,0 mSv).

Das ENSI hat vierteljährlich Wasserproben aus den Abwassertanks des PSI erhoben und bei der

gamma-spektrometrischen Auswertung festgestellt, dass die Ergebnisse des ENSI mit denen der PSI-eigenen Analysen übereinstimmen. Aus den bilanzierten Abgaben radioaktiver Stoffe über die Fortluftanlagen und über das Abwassersystem wurde unter konservativen Annahmen für den ungünstigsten Aufenthaltsort ausserhalb des überwachten PSI-Areals eine Personendosis von rund 0,007 mSv/Jahr berechnet. Diese Dosis liegt deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,15 mSv/Jahr gemäss PSI-Abgabereglement. Detaillierte Angaben zu den Personendosen sind im Strahlenschutzbericht 2015 des ENSI zu finden.

6.5 Notfallbereitschaft

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

Das ENSI und das Bundesamt für Gesundheit BAG haben im September 2015 an der Stabsnotfallübung KREBS die Notfallorganisation beobachtet und beurteilt. Das Szenario sah vor, dass sich in der Chemikaliensammelstelle auf einem Camion eine Explosion ereignete. Durch die Explosion zerbra-

chen Fensterscheiben eines angrenzenden Gebäudes. Der Brand breitete sich in Labors des Gebäudes aus. Da im betroffenen Gebäude mit radioaktiven Stoffen gearbeitet wurde, erfolgte eine Kontamination innerhalb und ausserhalb des Gebäudes. Der Brand breitete sich rasch aus und richtete diverse Schäden an, es kam zur Explosion von diversen Chemikalienflaschen im Gebäude und zu Stromausfall. Das Abklinglager wurde durch Eintritt von Löschwasser gefährdet. Gleichfalls waren die Reinräume gefährdet, da eine Scheibe bereits Risse aufwies. Das Gebäude war infolge Rauchausbreitung nach der Explosion im Labor teilweise kontaminiert. Das Löschwasser war ebenfalls kontaminiert, blieb jedoch innerhalb des Gebäudes. Aufgrund ihrer Übungsbeobachtungen kamen das ENSI und das BAG zum Schluss, dass die Übungsziele erreicht wurden. Das PSI verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.

6.6 Personal und Organisation

Die Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit (ASI), die Sektion Rückbau und Entsorgung (RBE) sowie die Abteilung Hotlabor (AHL) bzw. das Labor für nukleare Materialien (LNM) haben eigene Managementsysteme, welche gemäss ISO/IEC 17020 akkreditiert bzw. der Norm DIN EN ISO 9001: 2008 zertifiziert sind. Das ENSI führte 2015 eine Inspektion im Bereich des Managementsystems zum Kompetenzmanagement durch. Es wurde dabei überprüft, ob die Organisation der Kernanlagen über geeignete Abläufe und Vorgaben zur Ermittlung der erforderlichen Kompetenzen des Eigenpersonals und die Identifikation des Bedarfs zum Kompetenzerhalt und -aufbau inklusive der Überprüfung der Wirksamkeit verfügt. Die entsprechenden Anforderungen wurden erfüllt.

Die Betriebsreglemente der Kernanlagen des PSI haben sich, was den Teil «Personal und Organisation» anbelangt, in den letzten Jahren gut weiterentwickelt. Das PSI hat damit begonnen, seine übergeordneten Weisungen, die Betriebsreglemente und die darin enthaltenen generischen Themen der unterschiedlichen Anlagen miteinander zu harmonisieren. Generische Themen sollten in den Betriebsreglementen sämtlicher Kernanlagen des PSI vereinheitlicht werden. Hinsichtlich der vom ENSI geforderten Technischen Spezifikation sind aber noch weitere Anstrengungen erforderlich.

Das zulassungspflichtige Personal für den abgestellten Forschungsreaktor PROTEUS am PSI hat

sich im Jahr 2015 um eine Person auf sechs Personen reduziert. Diese Personenzahl ist aus Sicht des ENSI im Hinblick auf den laufenden Nachbetrieb und die darauf folgende Stilllegung des Forschungsreaktors genügend.

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

6.7 Vorkommnisse

In der Berichtsperiode waren am PSI vier meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen, wovon eines nicht dem PSI zugeordnet wurde:

Im Hotlabor musste am 6. März 2015, nachdem es zu einer Überhitzung eines Batteriepacks gekommen war, die Sicherheitsbeleuchtung für die Rettungszeichen (Fluchtwegmarkierung) ausser Betrieb genommen werden. Der Sachverhalt war meldepflichtig gemäss Ziffer 5.2.1.2 a der Richtlinie ENSI-B03. Da das Hotlabor aber zusätzlich über eine notstromgestützte Notbeleuchtung und batteriebetriebene Notlampen verfügt, welche vom Vorkommnis nicht betroffen waren, konnte der Betrieb nach entsprechender Unterrichtung der Mitarbeiter ohne Einschränkung und ohne Gefährdung der nuklearen Sicherheit fortgeführt werden. Fünf Tage später konnte die Sicherheitsbeleuchtung nach erfolgter Reparatur und Prüfung durch den Hersteller wieder zugeschaltet werden. Im Rahmen der Vorkommnisbeurteilung stellte das ENSI Abweichung bezüglich Zustand und Verhalten der Anlage und Verbesserungsbedarf bezüglich Auslegungsvorgaben sowie bezüglich Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation fest und formulierte zwei Forderungen, die im Berichtsjahr erledigt wurden.

Im Bundeszwischenlager (BZL) kam es am 6. März 2015 im Zusammenhang mit tritiumhaltigen Abfallgebinden (Stahlzylinder), die als vorkonditionierte MIF-Abfälle bei der Bundessammelstelle abgeliefert worden waren, zu einer erhöhten Tritium-Konzentration in der Raumluft, wobei die Voralarmschwelle überschritten wurde. In der Folge, zur Senkung der Tritium-Raumluftkonzentration, öffnete das PSI beidseitig der Umladehalle des BZL die Tore. Dabei kam es zu einer nicht bilanzierten Abgabe von Tritium über einen nicht überwachten Pfad in die Umwelt. Das Vorkommnis war

nach den Ziffern 5.2.1.4 b, 5.2.1.4 h und 5.2.1.5 b der Richtlinie ENSI-B03 meldepflichtig. Da dabei aber weder der quellenbezogene Dosisrichtwert noch die inhalationsbedingten Personendosislimiten überschritten wurden, war die nukleare Sicherheit durch dieses Vorkommnis zu keinem Zeitpunkt gefährdet. Im Rahmen der Vorkommnisbeurteilung stellte das ENSI Abweichung bezüglich Zustand und Verhalten der Anlage sowie bezüglich Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation fest und formulierte drei Forderungen.

Am 13. März 2015 wurde ein freigestelltes Versandstück der Klasse 7 im Hotlabor angeliefert. Anlässlich der Eingangskontrolle stellte der Betriebsstrahlenschutz des PSI fest, dass die Kontakt-Dosisleistung (ODL) an der Unterseite des Versandstücks über dem Grenzwert von 5 mikroSv pro Stunde lag. Der Sachverhalt war meldepflichtig gemäss Ziffer 5.2.1.5 d der Richtlinie ENSI-B03. Die festgestellte Abweichung hatte keine radiologischen Auswirkungen auf das beteiligte Personal, die Anlage und die Umgebung. Das Vorkommnis war durch den Absender des Versandstücks und nicht durch das PSI verursacht. Das ENSI hat die für die Gefahrguttransporte zuständigen ausländischen Stellen informiert.

Am 14. März 2015 ereignete sich ein Stromausfall infolge eines Kurzschlusses in der Trafostation WTSD am PSI-West. Das ganze PSI war während rund 5 Minuten stromlos. Der Sachverhalt war meldepflichtig gemäss Ziffer 5.2.1.2 a und 5.2.1.3 b der Richtlinie ENSI-B03. Die gesamte elektrische Versorgung des PSI konnte gleichentags wieder hergestellt werden. Da die Notstromdiesel sofort angelaufen sind, war die Stromversorgung der Strahlenschutz- sowie sicherungstechnischen Einrichtungen der Kernanlagen des PSI jederzeit gewährleistet. Es kamen weder Menschen noch Umwelt zu Schaden.

6.8 Schule für Strahlenschutz

An der Schule für Strahlenschutz fand im Berichtsjahr erstmals ein Ausbildungskurs für Strahlenschutz-Sachverständige für Kernanlagen in der Schweiz statt. Die Anforderungen an diesen Kurs entsprechen ungefähr dem Kompetenzniveau des Radiation Protection Expert gemäss der neuen Europäischen Strahlenschutz-Direktive (EU Basic Safety Standard). Der Kurs umfasst eine fünfwöchige Schulung inklusive einer Prüfung. Als Vorbildung der Teilnehmer wird ein Hochschulabschluss in naturwis-

senschaftlichen oder technischen Studiengängen verlangt. Vor dem Jahr 2015 gab es keinen schweizerischen Kurs für diese Personengruppe, da die Anzahl der Interessenten mit im Mittel weniger als zwei pro Jahr zu niedrig war, um den Aufwand für die Entwicklung und Durchführung eines solchen Kurses finanziell zu rechtfertigen. Für die Anerkennung von Strahlenschutz-Sachverständigen mussten bislang adäquate Ausbildungsnachweise aus dem Ausland vorgelegt werden. Der neue Kurs wurde aufgrund der vorliegenden Gesuchsunterlagen vom ENSI im Berichtsjahr anerkannt. Am Sachverständigen-Kurs nahmen insgesamt fünf Kandidatinnen und Kandidaten aus den schweizerischen Kernanlagen erfolgreich teil.

Parallel zum Sachverständigen-Ausbildungskurs wurde der Kurs für Strahlenschutz-Techniker im Berichtsjahr durchgeführt. Da für einige der Unterrichtslektionen die Lernziele für Techniker sowie Sachverständige identisch sind, konnten diese Lektionen von beiden Personengruppen gleichzeitig absolviert werden. Fünf Strahlenschutz-Techniker konnten den Kurs erfolgreich abschliessen. Das ENSI war mit mehreren Mitarbeitern in der Prüfungskommission vertreten.

Zusätzlich führte die Strahlenschutzschule des PSI mehrere Weiterbildungs- und Ergänzungskurse für Strahlenschutz-Techniker und Fachkräfte durch. An insgesamt drei durchgeführten Kursmodulen nahmen 34 Techniker und Fachkräfte teil. Insgesamt wurden an der Schule für Strahlenschutz 46 Aus- und Fortbildungskurse für verschiedene Personengruppen aus den schweizerischen Kernanlagen durchgeführt. An Kursen mit Bezug zu Transporten radioaktiver Gefahrgüter nahmen insgesamt 64 Personen teil. Das ENSI hat sich durch stichprobenhaften Besuch der Kurse und anlässlich mehrerer Fachgespräche mit den Kursleitern von der guten Qualität des Unterrichts überzeugt.

7. Weitere Kernanlagen

7.1 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

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

Im Jahr 2015 stand der CROCUS-Reaktor Ingenieur- und Physikstudenten der EPFL, Kursteilnehmern der Reaktorschule des PSI und Studenten des Swiss Nuclear Engineering Masterkurses der ETHZ/EPFL während 190,8 Stunden bei kleiner Leistung (unter 100 W) für Ausbildungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 264,5 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.

Alle zwei Jahre wird der CROCUS-Reaktorkern ausgebaut, und alle Brennstäbe werden aus den vorgegebenen Positionen herausgenommen und inspiziert. Die 2015 fällige Brennstoffinspektion fand im Juni statt. Das ENSI hat bei dieser Gelegenheit eine Inspektion durchgeführt.

Am 21. August 2015 meldete die EPFL den Austritt von nicht radioaktivem Wasser in zwei Räume gleichen Niveaus der Kernanlagen LOTUS und CROCUS. Die Ursache waren Fehlstellungen von Ventilen, welche im Zusammenhang mit Erneuerungsarbeiten an der Wasserinstallation zur Leckage führten. Das Vorkommnis wurde gemäss Richtlinie ENSI-B03 gemeldet und vom ENSI in Übereinstimmung mit der Einschätzung der EPFL auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 0 zugeordnet.

In der EPFL wurde 2015 eine Kollektivdosis von 0,5 Pers.-mSv akkumuliert. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend. Im Dezember 2015 hat das ENSI seine Jahresinspektion durchgeführt. Dabei wur-

den technische, organisatorische und personelle Änderungen besprochen und verschiedene Anlagenräume inspiziert.

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Betriebsbedingungen im Jahr 2015 eingehalten wurden.

7.2 Universität Basel

Der Forschungsreaktor AGN-211-P der Universität Basel diente bis zu seiner endgültigen Ausserbetriebnahme im Berichtsjahr vorwiegend der Ausbildung von Studenten und der Anwendung in der Neutronenaktivierungsanalytik. Der Reaktor wurde im Berichtsjahr nicht mehr betrieben.

Im Sommer 2013 hat das Rektorat der Universität Basel beschlossen, den Kernbrennstoff des Forschungsreaktors AGN-211-P in die USA zurückzuführen. Nach Abschluss der Vorbereitungen und Vorliegen aller Freigaben und Bewilligungen wurde dieses Vorhaben im Sommer 2015 umgesetzt. Das ENSI hat die entsprechenden Freigaben erteilt und Inspektionen anlässlich der Entladung des Reaktorkerns und des Versands des Kernbrennstoffs durchgeführt. Sowohl die Vorbereitungsarbeiten als auch der Abtransport konnten wie geplant durchgeführt werden. Während dieser Arbeiten wurde eine Kollektivdosis von 0,1 Pers.-mSv akkumuliert. Mit Brief vom 25. August 2015 hat die Universität Basel offiziell die endgültige Ausserbetriebnahme der Anlage gemeldet. Das ENSI hat daraufhin verfügt, dass die Universität Basel bis spätestens August 2017 das Stilllegungsprojekt für den Reaktor ausarbeiten und bei den Behörden einreichen muss. Im Dezember 2015 wurde das gesamte noch in der Anlage vorhandene Quelleninventar aus dem Aufsichtsbereich des ENSI in den Aufsichtsbericht des BAG transferiert.

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

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Betriebsbedingungen im Jahr 2015 eingehalten wurden.

8. Transporte und Behälter

8.1 Genehmigungen nach Gefahrgutgesetzgebung

Die schweizerischen Vorschriften für den Transport radioaktiver Stoffe auf Strasse und Schiene basieren u.a. auf den internationalen Regelwerken über den Transport gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR) bzw. mit der Eisenbahn (RID). Bei allen Verkehrsträgern kommen die IAEA-Empfehlungen für die sichere Beförderung radioaktiver Stoffe zur Anwendung. Basierend auf diesen Empfehlungen wird das internationale Transportrecht regelmässig angepasst. Diese wurden 2012 aufdatiert (SSR-6); 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 u.a. die SDR und die RSD.

Die nach diesen Rechtsvorschriften erforderlichen Genehmigungen betreffen je nach Anwendungsfall die Versandstücke und/oder den Beförderungsvorgang. Sie bilden eine Voraussetzung für die ebenfalls erforderlichen Bewilligungen nach Kernenergie- oder Strahlenschutzgesetz (vergl. folgende Kapitel). Das ENSI ist die zuständige schweizerische Behörde für die Ausstellung von Genehmigungszeugnissen und Bauart-Zulassungsscheinen bzw. entsprechenden Anerkennungen gemäss Gefahrgutgesetzgebung, und zwar

unabhängig davon, ob es sich beim Transportgut um radioaktive Stoffe aus Kernanlagen oder aus anderen Betrieben handelt.

Das ENSI stützt sich bei der Prüfung von Bauartzulassungen in der Regel auf die umfassenden Beurteilungen von Versandstückmustern durch die zuständige Behörde im jeweiligen Ursprungsland der Bauart. In diesen Fällen prüft das ENSI die Vollständigkeit des zugehörigen Sicherheitsberichts, insbesondere hinsichtlich des Nachweises, dass alle gemäss ADR/RID und SSR-6 vorgeschriebenen Anforderungen erfüllt sind, die Kritikalitätssicherheit und allfällige 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 2015 hat das ENSI sieben Gesuche nach Gefahrgutgesetzgebung beurteilt und die entsprechenden Genehmigungen ausgestellt. Sechs Gesuche betrafen die Zulassung von Versandstückmustern für die Verwendung in der Schweiz auf der Basis einer vorliegenden ausländischen Zulassung (Anerkennung). Für ein Versandstückmuster wurde erstmals eine Anerkennung für die Schweiz ausgestellt; die fünf anderen Gesuche betrafen Bauarten, welche bereits aus früheren Anerkennungen bekannt waren. Ein Gesuch bezog sich auf eine Beförderungsgenehmigung unter Sondervereinbarung nach Gefahrgutrecht.

¹ *Europäisches Übereinkommen über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse*

² *Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter*

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

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

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

8.2 Bewilligungen nach Strahlenschutzgesetzgebung

Gemäss Artikel 2 des Strahlenschutzgesetzes sind die Beförderung auf öffentlichen Verkehrswegen sowie die Ein- und Ausfuhr von radioaktiven Stoffen bewilligungspflichtige Tätigkeiten. Die Voraussetzungen für die Erlangung solcher Bewilligungen sind im Strahlenschutzgesetz (StSG) und in der Strahlenschutzverordnung (StSV) festgehalten. Derartige Bewilligungen sind über einen längeren Zeitraum befristet und hinsichtlich der Anzahl Transporte üblicherweise nicht begrenzt. Allerdings verlangt die Strahlenschutzverordnung jeweils eine separate Bewilligung, falls bei einem einzelnen Vorgang eine bestimmte Aktivitätsmenge überschritten wird. Im Bereich der Kernanlagen ist das ENSI die zuständige Behörde, für den sonstigen Bereich ist das Bundesamt für Gesundheit BAG zuständig.

Das BAG und das ENSI wenden seit kurzem ein vereinfachtes Bearbeitungsverfahren an, sofern ein Gesuchsteller bereits im Besitz einer entsprechenden Bewilligung aus dem jeweils anderen Zuständigkeitsbereich ist. Zur Zeit sind drei Firmen für zerstörungsfreie Materialprüfungen im Besitz einer solchen Anerkennung. Im Berichtsjahr 2015 hat das ENSI eine Bewilligung neu erteilt und eine Bewilligung bezüglich des Transports kleiner Mengen spaltbarer Stoffe (ADR 2015) angepasst. Damit verfügen neben den Schweizer Kernanlagen 15 in- und ausländische Beförderungsunternehmen und fünf in- und ausländische Anbieter sonstiger Dienstleistungen über eine Transportbewilligung des ENSI.

8.3 Bewilligungen nach Kernenergiegesetzgebung

Nach den Artikeln 6 und 34 des Kernenergiegesetzes (KEG) bedarf der Umgang mit Kernmaterialien und radioaktiven Abfällen aus Kernanlagen einer Bewilligung des Bundes. Artikel 3 des KEG präzisiert den Begriff «Umgang» als Forschung, Entwicklung, Herstellung, Transport, Einfuhr, Ausfuhr, Durchfuhr und Vermittlung. Zuständig für die Erteilung solcher Bewilligungen ist das Bundesamt für Energie BFE. Im Hinblick auf die kernenergierechtliche Bewilligung von Transporten prüft das ENSI als Fachbehörde, dass die nukleare Sicherheit und Sicherheit 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. Im Berichtsjahr 2015 hat das ENSI 15 Beurteilungen für kernenergierechtliche Transportbewilligungen abgegeben. Diese betrafen Bewilligungen für Transporte von Kernmaterialien, von radioaktiven Betriebsabfällen und von hochaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung. Bei den Kernmaterialien handelte es sich um die Versorgung der Werke mit frischen Brennelementen und Vorläuferbrennstäben, um Transporte von bestrahlten Brennelementen zum Zentralen Zwischenlager in Würenlingen und um Transportvorhaben von Forschungseinrichtungen. Bei den radioaktiven Abfällen ging es um Transporte von allen Schweizer KKW zur Zwiilag zur Verarbeitung und Zwischenlagerung sowie um Transporte von Wiederaufarbeitungsabfällen aus Frankreich und Grossbritannien ebenfalls zur Zwiilag.

8.4 Rücknahme von Wiederaufarbeitungsabfällen

In La Hague (Frankreich) und in Sellafield (Grossbritannien) sind in früheren Jahren abgebrannte Brennelemente aus schweizerischen Kernkraftwerken durch die Firmen AREVA NC und SL (Sellafield Ltd.) im Rahmen der abgeschlossenen Verträge wiederaufgearbeitet worden. Durch das Wiederaufarbeitungsmoratorium (Art. 106, Abs. 4 KEG) beschränkten sich diese Arbeiten allerdings auf die vor Juli 2006 dorthin transportierten Brennelemente und sind auch inzwischen abgeschlossen. Die bei der Wiederaufarbeitung entstandenen Abfälle werden vertragsgemäss in die Schweiz zurückgeführt. Zur Rücklieferung gelangen verglaste hochaktive Abfälle (Glaskokillen) aus der Wiederaufarbeitung bei AREVA NC und bei SL sowie mittelaktive Abfälle der AREVA NC in verglaster und kompakter Form.

Im Berichtsjahr wurden erneut kompaktierte, metallische, mittelaktive Abfälle aus La Hague in die Schweiz zurückgeführt und in 1000 Gebinden im MAA-Lager des ZZL in Würenlingen eingelagert. Ebenfalls aus La Hague kommend, sind 20 mittelaktive Glaskokillen im MAA-Lager eingelagert worden, was bereits der gesamten rückzuliefernden Anzahl dieses Abfallstroms entspricht. Die ersten drei von insgesamt sieben Transport- und Lagerbehältern mit jeweils 28 hochaktiven Glaskokillen aus Grossbritannien konnten im Sommer 2015 von der Zwiilag angenommen und im dortigen HAA-Lager eingelagert werden.

Es sind inzwischen nur noch wenige Transporte erforderlich, um endgültig alle Verpflichtungen der Abfallrücknahme aus den Wiederaufarbeitungsverträgen der schweizerischen Werke zu erfüllen.

8.5 Beschaffung von Transport- und Lagerbehältern

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

Die T/L-Behälter werden von den Kernkraftwerken bzw. von den Wiederaufarbeitungsanlagen zum 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 ENSI-G05. Mit dieser Richtlinie sind nicht nur die Anforderungen an die Auslegung der T/L-Behälter spezifiziert, sondern auch die Anforderungen an die Behälterfertigung wie etwa Qualitätsanforderungen, begleitende Kontrollen oder Behälterdokumentation. Bei der Fertigung der T/L-Behälter sind festgelegte und vom ENSI freigegebene Abläufe einzuhalten, was im Auftrag des ENSI von unabhängigen Experten kontrolliert wird. Im Berichtsjahr wurde damit angefangen, diese Aufsichtsprozesse bei der Fertigung zu überarbeiten und an die aktualisierten Begutachtungsgrundlagen (Lagerrecht und Verkehrsrecht) anzupassen. Für jedes einzelne Behälterexemplar bestätigt das ENSI schliesslich den qualitätsgerechten Abschluss der Fertigung durch seine Freigabe zur Verwendung.

Ende 2015 befanden sich 37 Transport- und Lagerbehälter in den verschiedenen Fertigungsphasen, von der Fertigungsvorbereitung bis zur Freigabe zur Verwendung durch das ENSI.



Umladen eines Transport- und Lagerbehälters.
Foto: Zwiilag

- Die 37 Behälter teilen sich auf in 7 Behälter aus zwei unterschiedlichen Bauarten für die hochaktiven Abfälle aus den Wiederaufarbeitungsanlagen La Hague und Sellafield und

- in 30 Behälter aus vier unterschiedlichen Bauarten für abgebrannte Brennelemente.

Soweit sich Abweichungen bei der Fertigung ergaben, wurden diese in allen Fällen von den Herstellern korrigiert oder nach eingehender Prüfung als akzeptabel qualifiziert, nachdem die auslegungsgemässe Sicherheit des jeweiligen Behälters nachgewiesen werden konnte. Der Vermeidung von Abweichungen bzw. den Vorkehrungen gegen deren Wiederholung wurde im Berichtszeitraum von den Herstellern und den Schweizerischen Werken verstärkte Beachtung geschenkt, sodass die Behälterfertigungsprozesse inzwischen deutlich weniger behindert werden. Dies drückt sich sowohl durch einen zeitnäheren Abschluss der

Dokumentationsprüfung als auch generell kürzerer Fertigungszeiten aus.

Das ENSI bedient 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 Vorab-Fertigung für eine neue, speziell für die Schweiz vorgesehene Behälterbauart für bestrahlte Brennelemente bearbeitet und überwacht. In diesem Zusammenhang findet auch ein regelmässiger Austausch mit der belgischen Aufsichtsbehörde FANC und der amerikanischen Aufsichtsbehörde US NRC statt.

Im Berichtsjahr 2015 wurden seitens des ENSI sieben Behälterexemplare gemäss der Richtlinie ENSI-G05 abgenommen und als beladene Behälter zur Einlagerung im ZWIBEZ bzw. im ZZL freigegeben.

Zurzeit befinden sich drei neue Behälterbauarten im Bauartfreigabeverfahren nach der Richtlinie ENSI-G05. Auf Grund des teilweise innovativen Charakters dieser Behälterbauarten wird die Begutachtung unter Beiziehen externer Experten abgewickelt. Das ENSI hat für eine bereits bekannte Behälterbauart die Bauartfreigabe nach Richtlinie ENSI-G05 erneuert. Eine schweizerische Zulassung für Transport- und Lagerbehälter wurde erteilt. Das KKG hat zudem ein Projekt zur Beschaffung eines weiteren neuen Behältertyps lanciert.

Verwendung von Verpackungen für radioaktive Stoffe erarbeitet und im Juli 2015 veröffentlicht. Damit wurde auch eine Empfehlung aus der Überprüfung der Schweizerischen Bewilligungs- und Aufsichtspraxis umgesetzt, die durch eine internationale Expertengruppe der IAEA in den Jahren 2011 und 2015 erfolgte (IRRS-Mission).

Das ENSI führte im Jahr 2015 in seinem Aufsichtsbereich zehn Inspektionen im Bereich Transporte und Behälter für radioaktive Stoffe durch. Die Inspektionen betrafen den Versand von Brennelementen, Proben, Abfällen und kontaminierten Werkzeugen sowie die Überwachung des Lagerbetriebs, die Beladung und Rückkühlung von abgebrannten Brennelementen. Die Grenzwerte wurden in allen Fällen eingehalten. Bei allen Inspektionen konnte die Einhaltung der Vorschriften bezüglich Sicherheit und Strahlenschutz des Personals, der Bevölkerung und der Umwelt nachgewiesen werden. Es ergaben sich vereinzelte Beanstandungen bei der Durchführung von Tätigkeiten und Überwachungsmassnahmen. Die vom ENSI geforderten Verbesserungsmassnahmen wurden von den betroffenen Kernanlagen jeweils kurzfristig umgesetzt.

8.6 Inspektionen und Audits

Bei der Beförderung radioaktiver Stoffe müssen zur Sicherheit des Transportpersonals und der Bevölkerung die Strahlenschutz- und Transportvorschriften eingehalten werden. Die Qualitätssicherungsprogramme der Konstrukteure und Hersteller von Verpackungen sowie 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. Zur Unterstützung der Anwender und zur Harmonisierung der Aufsichtstätigkeit haben BAG, Suva und ENSI mit Unterstützung des SVTI einen Leitfaden für das Qualitätsmanagement bei der Herstellung und



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

9. Geologische Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle

9.1 Einleitung

Die Abfallverursacher der Schweiz sind gesetzlich verpflichtet, die aus ihren Anlagen stammenden radioaktiven Abfälle sicher in geologischen Tiefenlagern zu entsorgen. Diese Pflicht wurde von den Entsorgungspflichtigen an die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) übertragen, die dafür ein Entsorgungskonzept mit zwei geologischen Tiefenlagern entwickelt hat, eines für schwach- und mittelaktive Abfälle und eines für hochaktive Abfälle. Als Möglichkeit besteht ausserdem die Alternative eines Kombilagerns, wenn sich ein Standort als für beide Abfallarten geeignet herausstellt und sich die beiden Lagertypen nicht gegenseitig negativ beeinflussen. Die durch die Nagra verfolgte wis-

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

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

untersuchenden Standortgebiete mit umfangreichen Unterlagen eingereicht. Das ENSI prüft seither im Rahmen der Detailprüfung den Vorschlag der Nagra (die Grobprüfung des Vorschlags erfolgte bereits im Jahr 2014) und hat zu den Unterlagen im September 2015 eine Nachforderung hinsichtlich Mängel in der Begründung des Indikators «Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit» gestellt. Die Beurteilungsarbeiten des ENSI werden durch eine grosse Anzahl externer Experten unterstützt, insbesondere durch die internationalen Experten der Expertengruppe geologische Tiefenlagerung EGT (Kap. 9.3) und swisstopo.

Neben den intensiven Beurteilungsarbeiten im Rahmen des Sachplans haben das ENSI und die von ihm beauftragten Experten weiter eigene, für die Tiefenlagerung relevante Untersuchungen und Forschungsarbeiten durchgeführt. Ein grösserer Teil dieser Daten stammt aus dem Felslabor Mont Terri, in welchem das ENSI auch im Berichtsjahr an mehreren Forschungsprojekten beteiligt gewesen ist (Kap. 9.4). Ein Gesamtüberblick über die vom ENSI geleisteten und unterstützten Forschungsarbeiten wird im Erfahrungs- und Forschungsbericht 2015 des ENSI gegeben.

Der Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich tiefenlagerrelevanter Prozesse wird vom ENSI

durch die vielfältige Mitarbeit in internationalen Programmen verfolgt (Kap. 9.5).

9.2 Sachplan geologische Tiefenlager

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

Am 30. Januar 2015 hat die Nagra ihren Vorschlag zur Einengung in Etappe 2 veröffentlicht. Sie

Vorbereitung des Stollens für den Wärmetest.
Foto: Comet



schlägt vor, dass in Etappe 3 sowohl für ein SMA-Lager als auch für ein HAA-Lager die Standortgebiete Jura Ost und Zürich Nordost weiter untersucht werden sollen. Alle anderen Standortgebiete würden gegenüber diesen beiden Standortgebieten eindeutige Nachteile aufweisen. Die Nagra hat dazu ca. 200 Berichte eingereicht, in denen ihr Vorschlag begründet wird. Die Nagra hat nicht alle Berichte und Daten zur Überprüfung des Vorschlags fristgerecht am 30. Januar 2015 eingereicht. Erst im 3. Quartal 2015 lagen dem ENSI alle Unterlagen und Daten vollständig zur Prüfung vor. Das ENSI ist seit dem 30. Januar 2015 mit der Überprüfung des Vorschlages im Rahmen der Detailprüfung beschäftigt. Für die Detailprüfung haben diverse Fachsitzungen zwischen ENSI, den Experten des ENSI sowie der Nagra zu bestimmten Themenbereichen stattgefunden, darunter beispielsweise zum Abfallinventar oder zu verschiedenen bautechnischen Aspekten der geologischen Tiefenlager. Im Rahmen der Detailprüfung hat das ENSI im Verlauf des Jahres 72 Fragen zu verschiedenen sicherheitstechnischen Aspekten an die Nagra gestellt. Diese Fragen und die Antworten der Nagra sollen mit der Veröffentlichung des ENSI-Gutachtens zur Etappe 2 SGT in Form eines Arbeitsberichts durch die Nagra veröffentlicht werden.

Nachforderung zur bautechnisch maximal machbaren Tiefenlage

Am 9. September 2015 haben BFE und ENSI angekündigt, dass die Unterlagen der Nagra bezüglich der Datengrundlage und Begründung für den Indikator «Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit» ergänzt werden müssen. Mit diesem Indikator beurteilt die Nagra in Etappe 2 SGT den Einfluss der Tiefenlage der Lagerebene unter Berücksichtigung der Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften im Hinblick auf die bautechnische Machbarkeit. Das ENSI und seine externen Experten waren in ihrer Überprüfung zum Schluss gekommen, dass die von der Nagra zur Begründung einer maximalen Lagerebene auf 600 Meter (SMA-Lager) bzw. 700 Meter (HAA-Lager) herangezogenen Daten nicht belastbar, aufgeführte Argumente nicht nachvollziehbar sind und wichtige Aussagen zu den Lagerausbaukonzepten fehlen. Demzufolge sind die Optimierungsanforderungen an die maximale Tiefe der Lagerebene für SMA- und HAA-Lager und die Herleitung der Bewertungsskala dieses Indikators nicht nachvollziehbar und nicht belastbar und somit ist die Bewertung des Indikators für die Standortgebiete



*Einbau des Testbehälters.
Foto: Comet*

nicht möglich. Der Nachweis eindeutiger Nachteile für Standortgebiete bezüglich dieses Indikators ist damit in Frage gestellt.

Die Frage, wie tief ein Lager sicher gebaut werden kann, hat auch Einfluss auf den sogenannten untertägigen Lagerperimeter. Dieser ist bestimmt durch die Lage und den Platz, der für das Tiefenlager im jeweiligen Standortgebiet zur Verfügung steht. Daher stellte das ENSI in seiner Nachforderung fest, dass auch weitere Indikatoren, deren Bewertungen sich durch Grösse und Lage des Lagerperimeters ergeben, aufgrund der eingereichten Unterlagen nicht oder nur mit Abstrichen bewertet werden können. Unter Vorlage von zwei finalisierten Berichten seiner externen Experten hat das ENSI am 9. November 2015 seine Nachforderung in einer Aktennotiz schriftlich festgehalten (ENSI 33/476). Die Nagra hat daraufhin am 16. Dezember 2015 angekündigt, dass sie auf Mitte 2016 ergänzende Unterlagen vorlegen wird. Durch die Nachforderung verschiebt sich der Zeitpunkt der Veröffentlichung des ENSI Gutachtens um mehrere Monate.

Vorbereitende Arbeiten zur Etappe 3

Im Oktober 2015 hat die Nagra damit begonnen, in den von ihr vorgeschlagenen zwei Standortgebieten Jura Ost und Zürich Nordost 3D-seismische Untersuchungen durchzuführen. Die für Etappe 3 geplanten erdwissenschaftlichen Untersuchungen sind von der Nagra in einem Explorationskonzept für Etappe 3 dargelegt worden (NAB 14-83) und umfassen neben den 3D-seismischen Messungen

vor allem Tiefbohrungen und un tiefe Quartärbohrungen. Neben der fortschreitenden Planung zur Etappe 3 des Sachplans wurden 2015 daher die Vorgaben an die Sondiergesuche für Tief- und Quartärbohrungen festgelegt. Zusätzlich wurde ein Fachgremium «Erdwissenschaftliche Untersuchungen» eingerichtet, um einen regelmässigen Austausch der Resultate aus diesen Untersuchungen der Nagra zu ermöglichen. Das Fachgremium besteht aus Vertretern des Beirats Entsorgung, dem BFE, Vertretern aus Deutschland, der Expertengruppe geologische Tiefenlagerung EGT, dem ENSI, den Kantonen, der Kantonalen Expertengruppe Sicherheit KES, der KNS, der Nagra und swisstopo. Das Gremium hat im November 2015 seine Arbeit aufgenommen. Es wurde ausserdem vereinbart, dass alle von der Nagra beantragten und seitens UVEK bewilligten Bohrplätze durch Begleitgruppen «Sondierbohrungen» unter Führung des ENSI begleitet werden.

Unter der Federführung des BFE wurden Planungsarbeiten zu Etappe 3 vorangetrieben. Dabei wurde neben der Etablierung der oben genannten Gremien festgehalten, dass das ENSI für Etappe 3 zusätzliche Anforderungen formulieren wird, die beispielsweise das Vorgehen für den sicherheitstechnischen Vergleich in der Etappe 3 oder den Umfang der Unterlagen für das Rahmenbewilligungsgesuch beinhalten. Die bereits früher von fünf auf zehn Jahre verlängerte Dauer der Etappe 3 wurde bestätigt.

Technisches Forum Sicherheit

Im Rahmen des Sachplans für geologische Tiefenlager hat das Bundesamt für Energie 2009 das Technische Forum Sicherheit (TFS) eingesetzt. Das ENSI leitet diese Informations- und Austauschplattform. Im Forum werden technische und wissenschaftliche Fragen zur Sicherheit und Geologie aus der Bevölkerung, von Gemeinden, Standortregionen, Organisationen, Kantonen und Gemeinwesen betroffener Nachbarstaaten diskutiert und beantwortet. Das TFS besteht aus Fachpersonen der verfahrensleitenden Behörde (BFE), der überprüfenden (ENSI) bzw. unterstützenden Behörde (swisstopo), von Kommissionen (KNS, EGT), Nichtregierungsorganisationen, der Entsorgungspflichtigen (Nagra) und delegierten Personen aus den Standortregionen, Standortkantonen, betroffenen Nachbarkantonen sowie Deutschland und Österreich. Das ENSI sammelt die Fragen, koordiniert die Beantwortung durch die Forumsmitglieder und leitet die TFS-Sitzungen. Die eingegangenen und beantworteten Fragen werden der Öffentlichkeit im Internet zur Verfügung gestellt. Im Jahr 2015 fanden vier Sitzungen des TFS statt. Von den bis Ende 2015 ins TFS aufgenommenen 132 Fragen waren deren 106 bis Ende 2015 beantwortet. Alle Fragen und Antworten sind unter www.technischesforum.ch einsehbar. Neben der Beantwortung eingereicherter Fragen wurden in diesem Jahr an zwei weiteren Sitzungen Fachthemen diskutiert. Im Juni

Vorbereitung
des Testbehälters für
den Einbau in
den Versuchsstollen.
Foto: Comet



wurde anlässlich einer Fachsitzung vertieft über den 2x2-Vorschlag der Nagra zu Etappe 2 des Sachplanverfahrens «Geologische Tiefenlager» orientiert und diskutiert. Anlässlich einer zweiten Fachsitzung wurden unter Einbezug internationaler Experten die Eigenschaften von verschiedenen Behältermaterialien wie zum Beispiel Keramik-, Kupfer-, Stahl- und Zementbehälter vorgestellt und diskutiert.

Um den Informationsfluss zwischen dem TFS und der Öffentlichkeit zu gewährleisten, werden die erarbeiteten Antworten über die Webplattform, deren Benutzerfreundlichkeit im Jahre 2015 optimiert wurde, einem breiten Kreis von interessierten Personen zugänglich gemacht. Sie bietet praktische Suchfunktionen, um gezielt unterschiedliche Themen zu recherchieren. Zudem kann sich der Besucher über die Arbeitsweise des TFS und den Stellenwert der TFS-Antworten informieren. Die Webplattform erlaubt es den Besuchern ebenfalls, sich mittels den Webartikeln zu den Sitzungen über die Aktivitäten des TFS auf dem Laufenden zu halten.

Öffentlichkeitsarbeit

Im Berichtsjahr waren die Ressourcen des ENSI auf die Beurteilungsarbeiten fokussiert. Dessen ungeachtet war das ENSI an ausgewählten Veranstaltungen präsent.

9.3 Expertengruppe für geologische Tiefenlagerung

Die Expertengruppe für geologische Tiefenlagerung EGT unterstützt das ENSI in seiner Arbeit zu den sicherheitstechnischen Beurteilungen, verfasst zuhanden des ENSI Stellungnahmen zur geologischen Beurteilung der Standortgebiete und Standorte sowie zur bautechnischen Machbarkeit der geologischen Tiefenlager, nimmt Stellung zu Gesuchen für erdwissenschaftliche Untersuchungen und arbeitet im Technischen Forum Sicherheit mit. Für das ENSI ist die EGT eine wichtige Wissensträgerin, da in der EGT 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 (s. u.). Zusätzlich wurde ein ehemaliges Mitglied für die Stellungnahme der EGT zum Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete einbezogen. Das Sekretariat der



Verfüllmaschine.
Foto: Comet

EGT wird vom ENSI geführt. Die Aktivitäten der EGT werden laufend auf einer Website präsentiert (www.egtschweiz.ch).

In der Berichtsperiode 2015 fanden sieben ganztägige, reguläre Plenarsitzungen statt. Die EGT war am Kick-Off-Meeting für Experten des ENSI vertreten, an dem anhand einer Wegleitung die Arbeit der verschiedenen Experten koordiniert und inhaltliche Schwerpunkte erörtert wurden. Mitglieder der EGT nahmen ausserdem an drei von sechs Sitzungen des Technischen Forums Sicherheit teil. Schliesslich war die EGT in der ersten Sitzung des neu gegründeten Fachgremiums «Erdwissenschaftliche Untersuchungen» vertreten.

Die EGT leistete wichtige Zuarbeit für die Nachforderungen des ENSI an die Nagra für eine bessere Beurteilungsgrundlage der Standortgebiete. Zu diesem Thema nahm die EGT an einer Podiumsdiskussion auf Einladung der Regionalkonferenz Jura-Ost und an einer Behördeninformation des ENSI teil.

Auf Einladung des OECD/NEA Radioactive Waste Management Committee nahm die EGT am 8. informellen Treffen der Chairs of Advisory Bodies to Governments ABG in London teil. Die teilnehmenden Expertengremien aus England, Deutschland, Frankreich, Schweden, den USA und der Schweiz befassen sich anlässlich dieser Meetings mit aktuellen und generellen Fragen der geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle, informieren sich gegenseitig über ihre Aufgaben und Themen von besonderem Interesse und tauschen Erfahrungen aus.

Die EGT und das ENSI legen jährlich gemeinsam die Schwerpunkte der Arbeiten der EGT fest. Im Berichtsjahr stand die Erarbeitung einer schriftli-

Vorne:
Wärmetestbehälter,
hinten: Verfüllmaschine.
Foto: Comet



chen Stellungnahme zum Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete in Etappe 3 SGT im Vordergrund, die gemeinsam mit dem Gutachten des ENSI veröffentlicht werden wird. Darin behandelte Themen umfassen

- Barriereigenschaften der Wirt- und Rahmengesteine für das SMA- und HAA-Lager
- Konzeptuelle Modelle und Parameter der SMA-Wirtgesteine für den Radionuklidtransport
- Migration und Verdünnung der Radionuklide in der Biosphäre
- Wirtgesteins- und standortspezifische Dosisrechnungen für das SMA-Lager
- Sicherheitsrelevante Auswirkungen geochemischer Prozesse für das SMA-Lager
- Langzeitbeständigkeit und Gastransport für das SMA-Lager
- Gastransport in den SMA- und HAA-Wirtgesteinen
- Felsmechanische Eigenschaften der Wirtgesteine für das SMA-Lager
- Homogenität und Explorierbarkeit von Heterogenitäten im Opalinuston und Braunen Dogger
- Abgrenzung der Lagerperimeter basierend auf Erosionskriterien
- Prozessierung und Belastbarkeit der 2D-Seismik im Tafeljura
- Neotektonik und geodynamische Entwicklung der Nordschweiz
- Seismizität der geologischen Standortgebiete

- Abgrenzung der Lagerperimeter basierend auf der tektonischen Überprägung
- Platzbedarf und -angebot der Tiefenlager in den verschiedenen Standortgebieten
- Annahmen zur Auslegung der SMA- und HAA-Lager und ihrer Zugänge, Annahmen zur Versiegelung der Stollen, Kavernen und Zugangsbauwerke
- Abgrenzung der Lagerperimeter basierend auf bautechnischen Kriterien, insbesondere der maximalen Tiefenlage
- Auswirkungen der Auflockerungszone auf die Langzeitsicherheit des SMA- und HAA-Lagers.

9.4 Felslaboratorien

Unter der Leitung der swisstopo einerseits und der Nagra andererseits werden in der Schweiz das Felslabor Mont Terri sowie das Felslabor 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 zur geologischen Barriere untersucht, um die für die Sicherheitsbeurteilung erforderlichen Datensätze zum Gesamtverhalten des Barrierensystems zu erhalten.

Das ENSI ist seit 2003 mit eigenen Projekten an der Forschung des Opalinustons im Felslabor Mont Terri beteiligt, um die behördeninterne Fachkompetenz aufzubauen und zu erhalten sowie um eigene Datensätze und Modelle zu entwickeln. Es wird dabei u.a. unterstützt durch die Ingenieurgeologie der ETH Zürich. Die vom ENSI durchgeführten Forschungsarbeiten umfassten 2015 insgesamt sechs Experimente:

1. **FM-D:** Evaporation Logging;
2. **HM:** Experimental Lab Investigation of Hydro-Mechanical Coupled Properties and Behavior of Opalinus Clay;
3. **HM-A:** 3-dimensional Hydro-Mechanical Model of the Mont Terri Rock Laboratory;
4. **HM-B:** Evaluation of Mechanically Induced Suction in Bore Cores;
5. **MO:** Preparation of Technology for Longterm Monitoring; und
6. **FS:** Insitu Clay Faults Slip Hydro-Mechanical Characterisation.

Der Schwerpunkt der Arbeiten lag dabei auf den beiden Experimenten **HM** und **FS**. Zielsetzungen des **HM**-Experiments sind einerseits die Erfassung der beim Ausbruch eines Stollens infolge von Spannungumlagerungen hervorgerufenen Deformation und Porenwasserdruckänderung im Opalinuston und die damit verbundenen gekoppelten hydraulischmechanischen Prozesse. Andererseits werden umfangreiche felsmechanische Labormessungen (Triaxialtests) an Bohrkernproben durchgeführt, um die Materialkennwerte des Opalinustons für ein konstitutives Stoffgesetz zu erarbeiten, welche dann in die felsmechanische Modellierung einfließen. Das HM-Experiment erfolgt im Rahmen einer Dissertationsarbeit der Ingenieurgeologie der ETH Zürich und steht kurz vor dem Abschluss. Mit dem **FS**-Experiment möchte das ENSI das Verständnis der Stabilität von tektonischen Störungszonen in Tongesteinen und der Bedingungen für deren Reaktivierung verbessern. Dabei sollen die Zusammenhänge zwischen der Bewegung einer Störung, dem Porenwasserdruck und der Mobilität der Fluide untersucht werden. Die Ergebnisse sind zum Beispiel für die Klärung der Mechanismen für natürliche und induzierte Erdbeben, deren Auslöser und das Risikomanagement, aber auch für den Verlust der Integrität natürlicher geringdurchlässiger Barrieren wichtig. Mit dem **FM-D**-Experiment evaluiert das ENSI zusammen mit swisstopo



Einbau des Testbehälters in den Versuchsstollen.
Foto: Comet

und dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) eine neue Methode der Durchlässigkeitsbestimmung, basierend auf elektrischen Messungen an verschiedenen wasserabsorbierenden Materialien. Labortests dazu zeigen, dass diese Methode vielversprechend ist und in einem nächsten Schritt im Bohrloch-Massstab eingesetzt werden kann. Mit dem **HM-A**-Experiment wird im Rahmen einer Dissertationsarbeit der EPF Lausanne ein grossskaliges numerisches 3D-Modell erarbeitet, welches das Deformationsverhalten des Opalinustons im Felslabor Mont Terri abbilden soll. Auch wenn das Modell mit Abschluss der Dissertationsarbeit Ende 2015 nicht bis zur vollen Einsatzreife gebracht werden konnte, wurden doch die modelltechnischen Schwierigkeiten gelöst und wichtige Meilensteine auf dem Weg zum 3D-Modell erreicht. Das **HM-B**-Experiment dient der Evaluierung der mechanisch erzeugten kapillaren Saugwirkung in Bohrungen im Opalinuston mittels insitu-Überbohrens einer Pilotbohrung. Die aus dem HM-B-Experiment zu erwartenden Ergebnisse sind relevant für die Beurteilung der kurzfristigen Gebirgsstabilität und der undrainierten Scherfestigkeit um einen Stollenquerschnitt herum, was für die Planung in den Bauphase wichtig ist. Das **MO**-Experiment schliesslich dient der Vorbereitung und dem Testen von Monitoring-Techniken, indem gegenwärtig in einem versiegelten Bohrloch die Langzeitbeständigkeit von Glasfaser-Kabeln und Sensoren unter insitu-Bedingungen im Opalinuston untersucht wird.

9.5 Internationaler Wissenstransfer

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

Das Projekt DECOVALEX-2015 begann im Jahr 2012 und endete im Jahr 2015. Es befasste sich mit

der Simulation gekoppelter thermisch-hydraulisch-mechanischer Prozesse, wie sie in der unmittelbaren Umgebung eines geologischen Tiefenlagers auftreten können. An dem Projekt nahmen Partner aus acht Ländern teil. Die Simulationsergebnisse der Projektpartner werden untereinander verglichen und anhand experimenteller Daten bewertet. Das Projekt zielt damit 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. Einmal im Jahr trifft sich das Forum, um Ergebnisse von aktuellen Forschungsarbeiten zu diskutieren und zukünftige Forschungsschwerpunkte festzulegen. Ausserdem finden Workshops zu spezifischen Themenschwerpunkten statt. Seit 2012 ist das ENSI Mitglied von BIOPROTA. Diese Mitgliedschaft dient der Kompetenzerweiterung des ENSI im Bereich der Biosphärenmodellierung.

Das ENSI hat 2013 eine Kooperationsvereinbarung mit Prof. K.H. Lux und seinen Mitarbeitenden am Lehrstuhl für Deponietechnik und Geomechanik der TU Clausthal getroffen, um Vergleichsrechnungen zu den Gastransportrechnungen des ENSI aus Etappe 1 des Sachplans durchzuführen und um einen Austausch von Erfahrungen in der hydromechanischen Modellierung zu ermöglichen. Im Rahmen dieser Kooperationsvereinbarung liefen 2015 Vorbereitungen für das von TU Clausthal lancierte Projekt «BenVaSim». Das Projekt wird im zweiten Quartal 2016 durchgeführt, und das Ziel ist ein internationales Benchmarking zur Verifizierung und Validierung von TH2M-Simulatoren insbesondere im Hinblick auf fluiddynamische Prozesse in Endlagersystemen. Das ENSI wird 2016 an diesem Benchmark mitwirken.

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) sowie der Untergruppe «Expert Group on Operational Safety» (EGOS). 2015 fand das 17. Treffen der Arbeitsgruppe IGSC in Paris statt. Das Schwerpunktthema der IGSC



Einlagerungsmodell.
Foto: CCV

im Berichtsjahr war die Rolle geologischer Argumente bei der Standortauswahl. In allen Ländern spielt die Geologie eine wichtige Rolle für Tiefenlager für hochaktive Abfälle. Der Detaillierungsgrad der verwendeten Kriterien hängt von den vorhandenen Daten, vom einzelnen Standortauswahlverfahren und den zur Verfügung stehenden Wirtgesteinen in den Ländern ab. Die Mitarbeit des ENSI in der EGOS, im Clay Club und in der IGSC ermöglicht den Zugang zu wichtigen internationalen Informationsplattformen. Im Zentrum steht dabei der Wissenstransfer bezüglich des Sicherheitsnachweises für ein geologisches Tiefenlager, der Tongesteinsforschung und der Betriebserfahrung.

Die Arbeiten des Clay Clubs konzentrierten sich im Berichtsjahr 2015 auf den weitgehenden Abschluss des Projekts «Argillaceous Media Database Compilation». Das Projekt beschäftigt sich mit den für die Sicherheitsbeurteilung von geologischen Tiefenlagern in Tongesteinen massgebenden geologischen, hydrogeologischen, mineralogischen, geophysikalischen, geochemischen und felsmechanischen Datensätzen. Diese werden in einem Bericht zusammengestellt und auf den neuesten Stand gebracht. Die Berichterstattung soll im Laufe des Jahres 2016 erfolgen. Das Projekt wird von der Nuclear Waste Management Organisation NWMO,

Kanada, koordiniert. Im Zuge der EUROCLAY-Konferenz 2015 in Edinburgh führte der Clay Club, organisiert durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), die Universität Durham und das Karlsruhe Institut für Technologie (KIT), den Workshop «From microscopic pore structures to transport properties in shales: Which gaps are filled?» durch, zu dem ausgewählte Experten Vorträge hielten. Die Themen waren Porenstrukturen, chemische Informationen, Gas-, Wasser- und Ionenmobilität, Hochskalierung und Geomechanik in Tongesteinen. Die Beiträge gaben einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung im Bereich der Tongesteine und verdeutlichten insbesondere die rasante Entwicklung der zur Verfügung stehenden Analysemethoden. Von der Universität Bern wurde das neue Projekt «CLAYWAT – Binding state and mobility of WATER in CLAY-rich media» vorgeschlagen. Darin soll es um die Verbesserung der Methoden zur Bestimmung des Porenwassergehaltes in Tonen und Schiefertönen, die Interpretation der Porenwasser-Zusammensetzung aus Extraktionsexperimenten, die advective Mobilität des Porenwassers und die Evaluation geeigneter Methoden zur Charakterisierung des Bindungszustands von Porenwasser gehen. Das Projekt wurde von den Teilnehmern positiv beurteilt.

Die EGOS wurde im Juni 2013 gegründet und seitens der IGSC mit einem zweijährigen Mandat ausgestattet, welches 2015 um zwei weitere Jahre verlängert wurde. Die Expertengruppe dient dem Austausch von technischen und regulatorisch/gesetzgeberischen Erfahrungen in Bezug auf die nukleare und radiologische Betriebssicherheit eines geologischen Tiefenlagers. Es werden hauptsächlich Erfahrungen aus dem konventionellen Bergbau, aus bestehenden Kern- und Entsorgungsanlagen, aber auch aus weiteren relevanten Ingenieurprojekten (z. B. Tunnelbauwerke) zusammengetragen und bezüglich Gefährdungspotenzial analysiert. Eine weitere Aufgabe besteht in der Entwicklung von Leitfäden und technischen Lösungen zur Störfallvorsorge.

10. Anlagenübergreifende Themen

10.1 Probabilistische Sicherheitsanalysen und Accident-Management

10.1.1 Probabilistische Sicherheitsanalysen

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

Eine PSA kann in drei Stufen unterteilt werden: Ausgehend von einem breiten Spektrum von auslösenden Ereignissen, werden in der Stufe-1-PSA alle möglichen Unfallsequenzen bis zum Kernschaden (Kernschmelze) betrachtet. Die auslösenden Ereignisse umfassen sowohl anlagen-interne Störfälle wie z. B. Brände, Brüche von kühlmittelführenden Leitungen oder Ausfälle der Wärmeabfuhr als auch Störfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage, etwa Erdbeben, unfallbedingter Flugzeugabsturz oder externe Überflutungen. Die auf den Ergebnissen der Stufe-1-PSA aufbauende Stufe-2-PSA umfasst die Analyse des weiteren Verlaufs eines Kernschadens bis zu einer eventuellen Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umwelt. Mit der Stufe-3-PSA wird schliesslich der Schaden in der Umgebung des Kraftwerks analysiert.

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

Im Jahr 2015 wurden im Wesentlichen folgende Arbeiten im Bereich PSA durchgeführt:

- Das ENSI ist daran, die im Rahmen der Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) des KKB Ende 2013 eingereichten PSA zu überprüfen. Diese PSA wurde aufgrund der Betriebserfahrung der letzten zehn Jahre erweitert und basiert auf einer Reihe von verfeinerten Analysen (wie z.B. Erdbebenfestigkeitsrechnungen und thermohydraulische Analysen). Ferner berücksichtigt sie bereits die neue Anlagenkonfiguration mit AUTANOVE (Autarke Notstromversorgung), für welche die Technische Spezifikation mit zulässigen Ausfallfristen u.a. auch nach probabilistischen Kriterien erneuert wurde. Nach dem Anschluss von AUTANOVE an beiden Blöcken während des Jahres 2015 entspricht das aktuelle PSA-Modell weitgehend der neuen Konfiguration der Anlage.
- Wie mit der Stellungnahme zur letzten PSÜ gefordert, hat das KKG die Stufe-1- und Stufe-2-PSA für den Leistungsbetrieb überarbeitet und diese Studien eingereicht. Wichtige Modelländerungen betreffen die Erdbebenmodellierung, bei der Abhängigkeiten von Komponentenversagen bei Erdbeben sowie die probabilistische Bewertung der Erdbebenfestigkeiten überarbeitet wurden, die Brand-PSA, welche komplett überarbeitet wurde, die Gefährdung durch Starkwinde und Tornados, welche neu in die PSA integriert wurde, und die verfeinerte Containmentnodalisierung des anlagenspezifischen Unfallsimulators.
- Das KKL hat im Jahr 2015 ein überarbeitetes Stufe-1-PSA-Modell und die zugehörige Dokumentation dem ENSI eingereicht. Zur Berücksichtigung von Kommentaren aus der im November 2014 erfolgten IAEA IPSART (International PSA Review Team) Peer Review, hat das KKL im Weiteren eine aktualisierte Version des Berichts zur Stufe-2-PSA geliefert. Aus Sicht des ENSI wurde das Stufe-1-PSA Modell wesentlich verfeinert. Das ENSI konnte aufgrund der vom KKL eingereichten Unterlagen alle Punkte der PSA-Aktionsliste zur letzten PSÜ schliessen. Es ergaben sich jedoch auch Nachfragen insbeson-

dere aus weitergehenden Änderungen der neu eingereichten PSA, die im Hinblick auf die nächste PSÜ weiterverfolgt werden.

- Im Mai 2015 reichte das KKM dem ENSI im Hinblick auf die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs ein Stufe-1-PSA-Modell für die verschiedenen Phasen des Nachbetriebs und der Stilllegung ein. Dieses Modell ist wichtig für die Bestimmung der risikotechnischen Bedeutung von Komponenten und damit für die Festlegung, welche Systeme bzw. Komponenten während der Etablierung des Nachbetriebs verfügbar sein sollten.

Darüber hinaus arbeitete das KKM im Berichtsjahr an der geforderten Umsetzung des im Rahmen der Stellungnahme zur PSÜ identifizierten Verbesserungsbedarfs zur PSA.

Gemäss den per Ende 2015 vorliegenden Analysen der Schweizer Kernkraftwerke wird das von der IAEA für bestehende Anlagen empfohlene probabilistische Sicherheitsziel einer Kernschadenshäufigkeit von weniger als 10^{-4} pro Jahr von allen Anlagen eingehalten..

10.1.2 Risikotechnische Beurteilung der Betriebserfahrung

Die probabilistische Bewertung der Betriebserfahrung eines Kernkraftwerks erfolgt auf zwei Arten: Einerseits durch eine zusammenfassende Bewertung des gesamten Vorjahres (also 2014) und andererseits laufend durch die risikotechnische Bewertung einzelner Vorkommnisse. Im Folgenden wird auf die beiden Analysen eingegangen.

- Alle Kernkraftwerksbetreiber reichten im Berichtsjahr eine probabilistische Bewertung der Betriebserfahrung des Vorjahres ein. Bei diesem Bewertungsverfahren wird anhand des PSA-Modells der Einfluss von unvorhergesehenen Kraftwerksabschaltungen sowie von Komponentenunverfügbarkeiten infolge Instandsetzungen, Wartung oder Funktionstests auf das Risiko eines Kernschmelzunfalls ermittelt. Mit Ausnahme des KKL setzten alle Kernkraftwerksbetreiber für die probabilistische Bewertung der Betriebserfahrung 2014 dasselbe PSA-Modell wie im Vorjahr ein. Entsprechend den Vorgaben der Richtlinie ENSI-A06 hat das KKL eine rückwirkende Auswertung der Jahre 2010 bis 2013 mit dem aktuellen PSA-Modell durchgeführt. Das wartungsbedingte inkrementelle kumulative Risiko wie auch die wartungsbedingten Risikospitzen für das Jahr 2014 waren bei allen

Werken kleiner als die Planungswerte gemäss Richtlinie ENSI-A06.

Unter latenten Fehlern werden Fehler verstanden, die unentdeckt bleiben, bis die betroffene Komponente angefordert oder geprüft wird. Für das kumulative Risiko können sie wichtig sein, weil hier nicht nur die momentane Risikohöhen durch eine Komponentenunverfügbarkeit, sondern auch die Dauer der Unverfügbarkeit eine Rolle spielen. Die probabilistische Bewertung der Betriebserfahrung 2014 für das KKL zeigte, dass die beiden Grundwasserpumpen der Divisionen 51 und 61 aufgrund von latenten Fehlern während elf Tagen beide un verfügbar waren. Aufgrund der sicherheitstechnischen Relevanz dieser Unverfügbarkeit hat das ENSI dieses Ereignis im Jahr 2015 als ein meldepflichtiges Vorkommnis eingestuft (siehe auch nachfolgende Ausführungen).

- 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 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. 2015 wurden die Unverfügbarkeit der beiden Grundwasserpumpen beim KKL im Jahr 2014 nachträglich als meldepflichtiges Vorkommnis bewertet, das gemäss Richtlinie ENSI-A06 mit INES 1 ($ICCDP_{Vorkommnis}$ im Bereich $10^{-4} - 10^{-6}$) eingestuft wurde. Alle weiteren von den Kernkraftwerksbetreibern im Jahr 2015 mit der PSA bewerteten Vorkommnisse waren risikotechnisch unbedeutend, das heisst als INES-Stufe 0 beurteilt ($ICCDP_{Vorkommnis}$ mindestens 10^{-8} , jedoch kleiner als 10^{-6}), oder es erfolgte keine Einstufung auf der INES-Skala ($ICCDP_{Vorkommnis}$ kleiner als 10^{-8}) aufgrund der Risikobewertung..

10.1.3 ADAM-System

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

- **PI-Modul:** Das PI-Modul unterstützt den Pikett-ingenieur (PI) des ENSI im Einsatzfall. Es bereitet die ANPA-Werte grafisch so auf, dass sich der PI bei einem Störfall rasch über dessen Ablauf und Ausmass ins Bild setzen kann.
- **Diagnosemodul:** Das Diagnosemodul interpretiert die ANPA-Werte und liefert Hinweise zu möglichen Ursachen eines Störfalls und zum Zustand wichtiger Anlagenteile.
- **Simulationsmodul:** Mit dem Simulationsmodul kann eine Vielzahl von Unfallabläufen simuliert und untersucht werden. Mit dem Modul kann auch der Eintrittszeitpunkt bestimmter kritischer Ereignisse (Kernschaden, RDB-Versagen, etc.) abgeschätzt werden. Dieses Modul wurde verfeinert: Wesentliche Änderungen sind die detailliertere Modellierung des Reaktorkerns, der Schmelze-Beton-Wechselwirkung und der Modellierung des Kriechversagens von Dampferzeugerheizrohren, Druckhalter-Anschlussleitung und heisser Kühlmittelleitung während der Phase der Kernzerstörung.
- **STEP-Modul:** Die Abkürzung STEP steht für «Source Term Program». Das Modul verwendet ANPA-Werte und Benutzereingaben, um Quellterme (Menge und Zeitverlauf der Freisetzung radioaktiver Stoffe) bei einem schweren Unfall abzuschätzen. Dieser Quellterm wiederum kann für Ausbreitungsrechnungen verwendet werden.

10.2 Erdbebengefährdungsanalyse

Für den sicheren Betrieb der Schweizer Kernkraftwerke sind fundierte Kenntnisse der Erdbebensicherheit wichtig. Bereits beim Bau der heute bestehenden Kernkraftwerke wurde der Erdbebensicherheit grosse Aufmerksamkeit geschenkt. Für Kernanlagen gelten weitaus strengere Bestimmungen als für Normalbauten. Der Stand von Wissenschaft und Technik wurde und wird vom ENSI laufend verfolgt. Neue Erkenntnisse führten in der Vergangenheit bereits zu Weiterentwicklungen der Erdbebenanalysen und zu Ertüchtigungen in den Kernanlagen.

Als weiteren Schritt dieser fortwährenden Entwicklung forderte das ENSI im Jahre 1999 die Kernkraftwerkbetreiber auf, die Erdbebengefährdung nach dem fortschrittlichsten Stand der methodischen Grundlagen neu zu bestimmen und dabei insbesondere die Unschärfe der Rechenergebnisse umfassend zu quantifizieren. Mit dem daraufhin von den Kernkraftwerkbetreibern initiierten Projekt

PEGASOS (Probabilistische Erdbebengefährdungsanalyse für die KKW-Standorte in der Schweiz) betrat die Schweiz Neuland. Das aufwändige, wissenschaftlich geprägte Projekt gründete auf der strengsten Anforderungsstufe einer damals in den USA neu entwickelten Methode. Über 20 renommierte Experten aus dem In- und Ausland hatten die Aufgabe, den Kenntnisstand der massgebenden Fachwelt im Projekt gesamthaft abzubilden. Bis heute wurde in keinem anderen europäischen Land eine Studie dieser Art durchgeführt.

Das Projekt wurde vom ENSI von Anfang an mit einem Expertenteam überprüft. Das ENSI kam zum Schluss, dass mit dem Projekt PEGASOS die methodischen Vorgaben erfüllt wurden und dass hinsichtlich verschiedener Aspekte (Qualitätssicherung, Erweiterung der Methode auf die Charakterisierung der Standorteinflüsse) sogar ein neuer Stand der Technik erzielt wurde. Doch stellte das ENSI auch fest, dass die in den PEGASOS-Ergebnissen ausgewiesene Bandbreite der Unsicherheiten recht gross ist und durch weitere Untersuchungen verkleinert werden könnte.

Mit dem Ziel, die Unschärfe der PEGASOS-Ergebnisse zu reduzieren, starteten die Kernkraftwerkbetreiber im Jahr 2008 das «PEGASOS Refinement Project» (PRP). Die Hauptthemenkreise des Projekts waren wie bereits bei PEGASOS die Charakterisierung der Erdbebenherde, der Erdbebenfortpflanzung und der lokalen Effekte an den Standorten der Kernkraftwerke. Neu berücksichtigte das PRP jüngste Erkenntnisse aus der Erdbebenforschung und die Resultate aus neuen, im Rahmen des PRP durchgeführten Messungen der seismologischen Bodenkennwerte an den Kernkraftwerkstandorten. Projektverzögerungen waren anfänglich durch die Erweiterung des PRP auf die damals neu vorgesehenen Kernkraftwerkstandorte und später durch im Projekt aufgegriffene Forschungsarbeiten, insbesondere im Zusammenhang mit der Übertragung von international gemessenen Starkbeben-daten auf die Schweiz, zu verzeichnen. Ende 2013 reichten die Kernkraftwerkbetreiber den Schlussbericht des PRP beim ENSI zur Prüfung ein.

Die abschliessenden Prüfarbeiten des ENSI zum PRP erwiesen sich als langwieriger als ursprünglich vorgesehen. Ende 2015 stellte das ENSI den Kernkraftwerkbetreibern das Prüfergebnis in Form von Verfügungen zum rechtlichen Gehör zu. Inhalt der Verfügungen ist die Festlegung der neu gültigen Erdbebengefährdungsannahmen und der damit neu zu erbringenden Erdbebensicherheitsnachweise.

10.3 Fukushima-Massnahmen

Das ENSI und die Betreiber der Schweizer Kernkraftwerke führten im Jahr 2015 die aufgrund des Reaktorunfalls in Fukushima begonnenen Arbeiten weiter. Der Grossteil der im Aktionsplan Fukushima 2015 beschriebenen Tätigkeiten wurde termingerecht abgeschlossen. Bei einigen Punkten wurde die Planung angepasst. Das ENSI geht davon aus, dass alle Analysen bis Mitte 2016 abgeschlossen und die daraus abzuleitenden Massnahmen angeordnet sein werden.

Die Schwerpunkte des Jahres 2015 betrafen folgende Themen:

1. Umsetzung der Lehren zur Sicherheits- und Aufsichtskultur
2. Containmentintegrität während des Stillstands
3. Extreme Wetterbedingungen
4. Erhöhung der Sicherheitsmargen
5. Auswirkungen von nichtnuklearen Gefahrestoffen
6. Severe Accident Management
7. Schadstoffausbreitung in Fließgewässern
8. Weitere Massnahmen aus dem EU-Stresstest.

10.3.1 Umsetzung der Lehren zur Sicherheits- und Aufsichtskultur

Der Unfall in Fukushima hat sowohl die Betreiber von Kernanlagen als auch die Aufsichtsbehörden aufgerufen, zu hinterfragen, ob sie alles Erforderliche unternehmen, um die Sicherheit der Anlagen zu gewährleisten und stetig weiter zu verbessern. Vor diesem Hintergrund definierte das ENSI in seinem 2011 publizierten Bericht zur Analyse des Unfalls von Fukushima verschiedene Massnahmen, welche die Aufsicht im Bereich der Sicherheitskultur, seine eigene Aufsichtskultur sowie die Weiterentwicklung der Sicherheitskultur von Kernanlagen auf der ganzen Welt betrafen.

Das ENSI konnte sich vergewissern, dass die Kernkraftwerksbetreiber in ihren Programmen zur Entwicklung der Sicherheitskultur die Lehren aus dem Unfall in Fukushima nicht nur technisch betrachten, sondern auch menschliche und organisatorische Aspekte berücksichtigen. Die vom ENSI eingesetzten Aufsichtsinstrumente im Bereich der Sicherheitskultur wurden weiterentwickelt.

Aufgrund der Lehren aus Fukushima hat das ENSI sein Regelwerk selbst überprüft sowie durch eine internationale IRRS-Mission überprüfen lassen. Wie die Überprüfung ergab, deckt dieses Regelwerk die Lehren aus dem Unfall von Fukushima

entweder bereits ausreichend ab oder das ENSI verfügt über ein geeignetes Verfahren, um diese Lehren ins Regelwerk zu integrieren. Zudem setzte sich das ENSI im Rahmen des Projektes «Aufsichtskultur» vertieft mit der eigenen Sicherheitskultur auseinander.

10.3.2 Containmentintegrität während des Stillstands

Während des Revisionsstillstands der Kernkraftwerke sind für den Materialtransport oder den Zugang von Personen zeitweise grössere Containmentöffnungen vorhanden. Die Betreiber untersuchten die vorbereiteten Massnahmen für die Wiederherstellung der Containmentintegrität bei einem Störfall mit langandauerndem Verlust der Stromversorgung und lieferten dem ENSI Angaben über die Bedingungen für das Wiederschliessen des Containments in einem solchen Fall sowie über bereits identifizierte Verbesserungsmöglichkeiten. Das ENSI überprüfte diese Angaben anhand klar definierter Kriterien wie etwa das Vorhandensein der benötigten Vorschriften, Werkzeuge und Hilfsmittel und die Voraussetzungen für die rechtzeitige Entscheidungsfindung und Durchführung. Das ENSI kam zum Schluss, dass das Schliessen der Schleusen und Tore des Containments im Fall eines langandauernden Verlusts der Stromversorgung bei allen Werken gewährleistet ist.

10.3.3 Extreme Wetterbedingungen

Die zu untersuchenden Gefährdungen durch extreme Wetterbedingungen umfassen schnell auftretende Gefährdungen wie Winde, Tornados, Starkregen, Hagel und vereisender Regen. Die dadurch innerhalb kurzer Zeit auftretenden Lasten müssen durch die entsprechend ausgelegte Anlage, hauptsächlich die Gebäude, beherrscht werden. Für die restlichen Gefährdungen bestehen in der Regel mehrere Stunden bis Tage Vorlaufzeit, so dass die Anlage rechtzeitig vorsorglich und geordnet abgefahren werden kann und weitere Massnahmen zur Beherrschung dieser Gefährdungen getroffen werden können.

Das ENSI hat die Prüfung der von den Betreibern eingereichten Gefährdungsstudien und Sicherheitsnachweise im Jahr 2015 nicht vollständig abschliessen können. Hauptergebnis der ENSI-Überprüfung war die Erkenntnis, dass alle Kernkraftwerke die 10000-jährlichen Ereignisse beherrschen.

10.3.4 Erhöhung der Sicherheitsmargen

Die Kernkraftwerke in der Schweiz sind so gebaut, dass sie Ereignisse beherrschen können, die sich noch seltener als einmal pro 10 000 Jahre ereignen. Die Anlagen sollen nicht nur die minimale Sicherheit gewährleisten, sondern darüber hinaus über eine Sicherheitsmarge verfügen. Im Einklang mit internationalen Empfehlungen hat das ENSI im Rahmen seines Aktionsplans Fukushima von den Betreibern verlangt, die Sicherheitsmargen zu überprüfen und Verbesserungsmöglichkeiten zu identifizieren. Im Jahr 2015 konnte das ENSI die Bewertung der Margenanalyse bezüglich Erdbeben und externe Überflutung für alle Werke abschliessen. Generell bestätigte sich, dass die Schweizer Kernkraftwerke die Grundanforderungen erfüllen und darüber hinaus über Sicherheitsmargen verfügen. Die Überprüfung des Kernkraftwerks Beznau hat gezeigt, dass durch eine Verbesserung der Dichtigkeit des Notstandsbrunnens die Marge bei externen Überflutungen deutlich verbessert werden kann. Das ENSI hat deshalb gefordert, dass das Kernkraftwerk Beznau bis Ende September 2015 die Entlüftungsleitungen und den Mannlochdeckel des Notstandsbrunnens verstärkt, was zwischenzeitlich bereits umgesetzt wurde. Dadurch steigt die Sicherheitsmarge auf 3,35 Meter, was einer Überflutung des Kraftwerkgeländes von 4,20 Metern entspricht. Weiter forderte das ENSI, dass das Kernkraftwerk Beznau prüft, wie die AUTANOVE-Gebäude, in denen sich die neue Notstromversorgung befindet, noch besser gegen eine externe Überflutung geschützt werden können. Die Prüfung der dazu eingereichten Unterlagen war Ende 2015 noch nicht abgeschlossen.

Wie sich bei der Begutachtung der Angaben zum Kernkraftwerk Gösgen zeigte, weisen die herkömmlichen Sicherheitssysteme für den Erdbebenfall kaum mehr Sicherheitsmargen auf. Im Hinblick auf einen eventuellen Langzeitbetrieb über 40 Jahre hinaus kam das ENSI zum Schluss, dass die Sicherheitsmarge mindestens bei den Notstandssystemen verbessert werden muss. Das ENSI begrüsst die Nachrüstmassnahmen, die das Kernkraftwerk Gösgen bereits geplant hat, und forderte deren Umsetzung.

Die Überprüfung des Kernkraftwerks Mühleberg hat gezeigt, dass insbesondere mit einer seismischen Verstärkung der Notstand-Dieselgeneratoren die Sicherheitsmargen erhöht werden können. Das ENSI forderte dazu bis Ende 2015 zusätzliche Untersuchungen.

Nach Prüfung der Unterlagen kam das ENSI im Fall des Kernkraftwerks Leibstadt zum Schluss, dass die Sicherheitsmargen im Kernkraftwerk Leibstadt bereits ausreichend hoch sind.

10.3.5 Auswirkungen von nichtnuklearen Gefahrenstoffen

Bei auslegungsüberschreitenden kerntechnischen Unfällen sind in den Einsatzstrategien der Kernkraftwerke häufig Handeingriffe durch das Eigenpersonal vorgesehen. Da auf dem Betriebsareal jedes Werks entzündliche oder explosive Flüssigkeiten und Gase sowie ätzende oder gesundheitsgefährdende Chemikalien vorhanden sind, mussten die Kernkraftwerksbetreiber dem ENSI darlegen, inwieweit konventionelle Gefahrstoffe die Beherrschung auslegungsüberschreitender nuklearer Unfälle beeinträchtigen könnten und welche Gegenmassnahmen vorhanden sind. Nach Prüfung der Betreiberangaben konnte das ENSI bestätigen, dass die bei auslegungsüberschreitenden Ereignissen erforderlichen Notfallmassnahmen auch im Fall von Freisetzungen oder Bränden der in den Werken gelagerten nichtnuklearen Gefahrstoffe durchgeführt werden können. Die von den Werken vorgeschlagenen Verbesserungsmassnahmen sind punktueller Natur, zum Beispiel die Beschaffung zusätzlicher Chemikalienschutzanzüge, und sind bereits umgesetzt.

10.3.6 Severe Accident Management

Gemäss Notfallschutzverordnung müssen die in einem Notfall involvierten Stellen sicherstellen, dass das für Notfälle erforderliche Personal und Material verfügbar ist. Das gilt insbesondere für qualifiziertes Strahlenschutzpersonal am Anlagenstandort. Alle Kernkraftwerksbetreiber haben detailliert dargelegt, wieviel Strahlenschutzpersonal mit anerkannter Ausbildung in welchem Betriebszustand benötigt wird, um die notwendigen Strahlenschutzaufgaben zum Schutz des Personals sowie der Anlage und damit auch der Bevölkerung erfüllen zu können. Jeder Betreiber hat für seine Anlagen den notwendigen Mindestbestand an Strahlenschutzsachverständigen, Strahlenschutztechnikern und Strahlenschutzfachkräften festgelegt. Das ENSI konnte die Analysen der Werke nachvollziehen und bestätigte deren Schlussfolgerungen in Bezug auf den Mindestbestand an qualifiziertem Strahlenschutzpersonal.

10.3.7 Schadstoffausbreitung in Fließgewässern

Im Rahmen des Aktionsplans Fukushima überprüfte das ENSI die bestehenden Abläufe und Massnahmen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zum Schutz des Trinkwassers. Das ENSI hat zu diesem Thema im Jahr 2013 zusammen mit den im Notfallschutz beteiligten Amtsstellen NAZ, BAG und BAFU sowie den betroffenen Kantonen eine Situationsanalyse vorgenommen. Wie diese zeigte, sind die gesetzlichen Regelungen sowie die bestehenden Abläufe und Massnahmen des Notfallschutzes grundsätzlich geeignet, um die Menschen und die Umwelt zu schützen. In ein paar Punkten, die in vier Arbeitspaketen zusammengefasst wurden, bestand jedoch ein Überprüfungsbedarf.

Beim Arbeitspaket 1 handelt es sich um die Überprüfung der Störfälle hinsichtlich Abgaben über den Wasserpfad und die Erstellung eines Konzepts für den Umgang mit grossen Mengen kontaminierten Wassers. Auf Ende 2013 haben alle vier Kernkraftwerkbetreiber dargelegt, mit welchen radioaktiven Abgaben in den Wasserpfad bei Betriebsstörungen und Auslegungsstörfällen zu rechnen ist. Die Ende November 2015 eingereichten Untersuchungen der Werke in Bezug auf auslegungsüberschreitende Störfälle waren am Ende des Berichtsjahres noch nicht abschliessend überprüft.

Beim Arbeitspaket 2 handelt es sich um die Überprüfung der Meldewege. Die Meldewege zwischen den Kernkraftwerken, dem ENSI, der NAZ und den Kantonen sind auch bei einem Ereignis mit einer Abgabe von kontaminiertem Wasser an die Umwelt etabliert. Dennoch überprüften die Kantone im Jahr 2015 ihre internen Meldewege bis zu den Wasserwerken. Die identifizierten Verbesserungen befanden sich Ende 2015 in der Umsetzungsphase. Beim Arbeitspaket 3 handelt es sich um die Überprüfung der radiologischen Kriterien für die Alarmierung und Einleitung von Sofortmassnahmen. Das ENSI hat zusammen mit dem BAG und der NAZ die radiologischen Kriterien für die Alarmierung und die Sofortmassnahmen bei einem Eintrag von radioaktiven Stoffen in Aare und Rhein erarbeitet. Als Ergebnis dieser Überprüfung wird das ENSI in der Richtlinie ENSI-B03 die Meldepflicht für nicht routinemässige Abgaben an die Umwelt präzisieren. Zusätzlich hat das ENSI Faustregeln erarbeitet, um die Aktivitätskonzentrationen und Fließzeiten nach einem KKW-Unfall mit einer Abgabe von radioaktiven Stoffen in Aare und Rhein abzuschätzen. Zur Abschätzung des Aktivitätseintrags in die

Fließgewässer über den Luftpfad hat das ENSI auf Wunsch des Kantons Basel-Stadt, die Aktivitätskonzentration im Regenwasser im Rahmen einer Modellstudie abgeschätzt.

Beim Arbeitspaket 4 handelt es sich um die Überprüfung und Ergänzung des Umgebungsüberwachungsprogramms. Das BAG hat das bestehende System zur Umgebungsüberwachung erweitert, indem fünf kontinuierlich messende Stationen zur Überwachung der Gamma-Aktivität des Flusswassers unterhalb der Kernkraftwerke und in Basel installiert wurden.

10.3.8 Weitere Massnahmen aus dem EU-Stresstest

Alle 17 europäischen Länder, die am EU-Stresstest im Jahr 2011 und bei der nachfolgenden Peer-Review im Jahr 2012 beteiligt waren, hatten sich zu einer Nachfolge-Überprüfung unter der Federführung der ENSREG (EU-Stresstest Follow-up) entschlossen. Für Ende Dezember 2014 hat die ENSREG die Länder aufgefordert, ihre sogenannten «National Action Plans» im Hinblick auf eine zweite Wiederholung der Peer-Review aufzudatieren. Entsprechend hat das ENSI den Schweizer «National Action Plan» über die Umsetzung in der Schweiz der von ENSREG formulierten und von verschiedenen internationalen Gremien verabschiedeten Empfehlungen mit Stand Ende 2014 verfasst. Im Jahr 2015 fand die Peer-Review der «National Action Plans» statt. Für die Schweiz wurde anerkannt, dass die im Jahr 2013 identifizierte Herausforderung der Priorisierung der Analysen zur Wiederherstellung der Containmentintegrität im Fall eines langandauernden Verlusts der Stromversorgung adressiert wurde. Es wurden die Good Practices in Zusammenhang mit der Alarmübung mit dem externen Lager Reitnau, dem Behördenprojekt zur Aufsichtskultur und der von der BKW AG durchgeführten seismischen Verstärkung des Wohlensee-Stauwehrs bei Mühleberg hervorgehoben. Im Rahmen der Peer-Review 2015 wurden keine weiteren Herausforderungen für die Schweiz identifiziert.

Anhang

Sicherheitsbewertung		115
Abbildung 1	ENSI-Sicherheitsbewertungs-Skala	116
Abbildung 2	Definition der ENSI-Kategorien G, N, V und A	118
Tabelle 1	Hauptdaten der schweizerischen Kernkraftwerke 2015	119
Tabelle 2	Betriebsdaten der schweizerischen Kernkraftwerke 2015	119
Tabelle 3	Bestand an zulassungspflichtigem Personal und Gesamtbelegschaft in den Kernkraftwerken Ende 2015	119
Tabelle 4	Meldepflichtige Vorkommnisse im Bereich der nuklearen Sicherheit 2015	120
Tabelle 5	Kollektivdosen in den schweizerischen KKW im Berichtsjahr	121
Tabelle 6	Radioaktive Abfälle in den Kernkraftwerken und im PSI per 31.12.2015	121
Tabelle 7	Radioaktive Abfälle in den Anlagen der ZWILAG per 31.12.2015	121
Figur 1	Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung 2006–2015	122
Figur 2	Vorkommnisse 2006–2015	124
Figur 3	Ungeplante Reaktorschnellabschaltungen (Scrams) 2006–2015	125
Figur 4	Brennstabschäden (Anzahl Stäbe) 2006–2015	126
Figur 5a	Funktionsschema eines Kernkraftwerks mit Druckwasser-Reaktor	127
Figur 5b	Funktionsschema eines Kernkraftwerks mit Siedewasser-Reaktor	127
Verzeichnis der Abkürzungen		129

Sicherheitsbewertung

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

Das ENSI hat die Ergebnisse von Inspektionen, Zulassungsprüfungen, Vorkommnisanalysen, die Sicherheitsindikatoren sowie die im Aufsichtsjahr publizierten Erkenntnisse aus der PSÜ-Begutachtung – so weit sie zu Forderungen bezüglich der Erfüllung bisheriger Anforderungen geführt haben – 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-Sicherheitsbewertungs-Skala, basierend auf der Internationalen Ereignisskala INES

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

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

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

**Vorkommnisklassierungen:
Radioaktive Abgaben
an die Umwelt**

Teilskala 1

**Vorkommnisklassierungen:
Strahlenexposition
des Personals**

Teilskala 2

**Vorkommnisklassierungen:
Gestaffelte Sicherheitsvorsorge**

Teilskala 3

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

0 ICCDP_{Vork.} < 1E-6

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

Teilskala 4

7
6
5
4
3
2
1
A
V
N
G

unterhalb der Skala

INES

ENSI

7	Schwerwiegender Unfall
6	Ernsthafter Unfall
5	Unfall mit Gefährdung der Umgebung
4	Unfall ohne signifikante Gefährdung der Umgebung
3	Ernsthafter Zwischenfall
2	Zwischenfall
1	Anomalie

A	Abweichung
V	Verbesserungsbedarf
N	Normalität
G	Gute Praxis

**Zellen-Bewertungen in
Sicherheitsbewertungs-Matrix**

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

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

	KKB 1	KKB 2	KKM	KKG	KKL
Thermische Leistung [MW]	1130	1130	1097	3002	3600
Elektrische Bruttoleistung [MW]	380	380	390	1060	1275
Elektrische Nettoleistung [MW]	365	365	373	1010	1220
Reaktortyp	Druckwasser	Druckwasser	Siedewasser	Druckwasser	Siedewasser
Reaktorlieferant	Westinghouse	Westinghouse	GE	KWU	GE
Turbinenlieferant	BBC	BBC	BBC	KWU	BBC
Generatordaten [MVA]	2-228	2-228	2-214	1250	1360
Kühlung	Flusswasser	Flusswasser	Flusswasser	Kühlturm	Kühlturm
Kommerzielle Inbetriebnahme	1969	1971	1972	1979	1984

Tabelle 1
Hauptdaten
der schweizerischen
Kernkraftwerke 2015

	KKB 1	KKB 2	KKM	KKG	KKL
Thermisch erzeugte Energie [GWh]	1935	6317	8666	23888	25947
Abgegebene elektrische Nettoenergie [GWh]	621	2022	2940	7907	8599
Abgegebene thermische Energie [GWh]	66,9	50,7	1,6	188,6	0
Zeitverfügbarkeit ¹ [%]	19,6	64,1	91,6	91,1	83,6
Nichtverfügbarkeit durch Jahresrevision [%]	80,5 ⁴	36,1	7,8	8,7	10,8
Arbeitsausnutzung ² [%]	19,7	63,4	89,6	90,5	80,9
Anzahl ungeplanter Schnellabschaltungen (Scrams)	0	0	2	1	1
Unvorhergesehenes Abfahren der Anlage	0	0	0	1	3
Störungsbedingte Leistungsreduktionen ³ (>10% P _N)	0	0	1	1	0

Tabelle 2
Betriebsdaten
der schweizerischen
Kernkraftwerke 2015

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

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

³ >10% P_N an der Tagesleistung gemessen

⁴ Gerechnet vom Beginn der Jahresrevision bis Ende Jahr

	KKB 1 + 2	KKM	KKG	KKL
Reaktoroperateur	39 (35)	19 (14)	30 (25)	28 (33)
Schichtchef	31 (30)	12 (14)	15 (16)	23 (18)
Piketzingenieur	14 (14)	11 (9)	13 (13)	9 (10)
Strahlenschutzsachverständiger	8 (3)	7 (4)	4 (3)	6 (5)
Strahlenschutzfachkraft	9 (9)	9 (11)	6 (7)	8 (8)
Strahlenschutztechniker	4 (5)	7 (5)	5 (5)	7 (6)
Gesamtbelegschaft (Personen)	511 (529)	342 (363)	535 (529)	533 (551)

Tabelle 3
Bestand an zulas-
sungspflichtigem
Personal und Gesamt-
belegschaft in
den Kernkraftwerken
Ende 2015 (in Klam-
mern Werte von 2014)

Tabelle 4
Meldepflichtige
Vorkommnisse im
Bereich der nuklearen
Sicherheit 2015

Datum	KKW	Vorkommnis	Einstufung INES
29.9.2014*	KKL	Nichtverfügbarkeit der SEHR-Grundwasserpumpen	1
6.1.2015	KKG	Nichtverfügbarkeit einer Dieselpumpe der zweiten Wasserfassung	0
8.1.2015	KKB2	Überschreitung des Prüfintervals der Dampferzeuereckagerate	0
21.1.2015	KKL	Reaktorschnellabschaltung nach Störung im Turbinenregelsystem	0
16.2.2015	KKG	Spannungslose Notstromschiene infolge Fehlhandlung	0
27.2.2015	KKL	Beschädigte Abstandhalter an einem Brennelement	0
27.2.2015	KKG	Störung an einem Notstanddiesel	0
14.4.2015	KKB1	Fehlende Daten für die Bilanzierung der Edelgasabgaben	0
29.4.2015	KKB1	Missachtung der Dosimetertraspflicht	0
9.5.2015	KKL	Teilausfall des Steuerstab-Steuer- und Informationssystems	0
1.7.2015	KKG	Beschädigtes Stueerelement	0
6.7.2015	KKM	Reaktorschnellabschaltung nach einer Störung im Speisewasser-Regelsystem	0
6.7.2015	KKG	Vertauschung zweier Sonden zur Leistungsdichtemessung im Reaktor	0
13.7.2015	KKG	Leistungsreduktion nach Turbinenschnellabschaltung	0
13.7.2015	KKG	Reaktorschnellabschaltung nach Schliessen von Frischdampf-Isolationsventilen aufgrund von Fehlhandlungen	1
14.7.2015	KKB1	Deformation eines Kompensators im Primären Nebenkühlwassersystem	0
11.6.2015	KKB1	Registrierpflichtige Anzeigen am Reaktordruckbehälter	offen
30.7.2015	KKL	Erhöhte Dosisleistung an Abfallgebinden	0
2.8.2015	KKM	Automatische Leistungsreduktion infolge Fehlhandlung	0
14.8.2015	KKL	Beschädigtes Isolationsventil im Nachwärmeabfuhrsystem	0
16.8.2015	KKG	Leckage an einer Messleitung im Speisewassersystem	0
17.8.2015	KKL	Lokal erhöhte Oxidation eines Brennstabhüllrohrs	0
21.8.2015	KKM	Beschädigter Transportbügel an einem Brennelement	0
24.8.2015	KKL	Riss im Bereich einer Verbindung zwischen dem Brennelementbecken-Kühl- und Reinigungssystem und dem Nachwärmeabfuhrsystem	0
31.8.2015	KKM	Störung im Reaktorkernisolations-Kühlsystem	0
31.8.2015	KKL	Beschädigter Abstandhalter an einem Brennelement	0
2.9.2015	KKM	Reaktorschnellabschaltung aufgrund des Vorgehens beim Wiederanfahren	0
15.9.2015	KKL	Beschädigter Abstandhalter an einem Brennelement	0
18.9.2015	KKG	Riss an einem Membranventil des Kühlmittelreinigungssystems	0
22.10.2015	KKG	Ausfall zweier Umluftventilatoren im Containment	0
14.11.2015	KKM	Leckage im Bereich eines Wärmetauschers des Reaktorwasser-Reinigungssystems	0
16.12.2015	KKB2	Fehlerhaft geschlossenes Ventil im Restwärmesystem	0
18.12.2015	KKM	Ausfall einer Reaktorummwälzpumpe	0
23.12.2015	KKB2	Ausfall der Zuluftventilatoren in einem Dieselgebäude	0

*Das Vorkommnis wurde vom ENSI mit Brief vom 20. März 2015 als meldepflichtig erklärt, obwohl es keine Meldepflichtkriterien gemäss Richtlinie ENSI-B03 erfüllt. Die Bedeutung der zeitlichen Überlagerung zweier für sich genommen nicht meldepflichtiger Nichtverfügbarkeiten wurde im Rahmen der dem ENSI am 3. März 2015 eingereichten risikotechnischen Beurteilung der Betriebserfahrung 2014 erkannt.

	KKB 1		KKB 2		KKG		KKL		KKM	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Aktionen										
BE-Wechsel	113		45							
Revisionsstillstand		834		342	393	389	1080	1207	515	597
Zwischenabstellung	54									
Leistungsbetrieb	39	19	40	32	89	104	398	366	284	296
Total	206	853	85	374	482	493	1478	1573	799	893

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

	unkonditioniert			konditioniert		
	Anfall	Auslagerung ¹	Bestand	Produktion	Auslagerung ²	Bestand
PSI	226	–	686	7	–	1553
KKB	71	11	119	4	–	1182
KKM	26	17	55	14	–	917
KKG	15	–	36	–	136	109
KKL	47	45	13	21	–	1379
Total	385	73	909	46	136	5140
Anzahl Behälter mit Brennelementen im KKB				1	–	6

Tabelle 6
Radioaktive Abfälle in den Kernkraftwerken und bei der Bundessammelstelle am PSI per 31.12.2015 (inklusive Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung), Bruttovolumina gerundet in m³

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

² Transfer konditionierter Abfälle zur Zwischenlagerung bei der Zwiilag

	unkonditioniert			konditioniert
	Anfall	Annahme zur Konditionierung bzw. Triage ²	Bestand	Produktion
Verarbeitung [m ³]	38 ¹	600	559 ³	31
Bestand (konditionierte Abfälle)		Einlagerung	Auslagerung	Bestand
Bruttovolumen konditionierter Abfälle ⁴ [m ³]		188		1910
Anzahl Behälter mit Brennelementen		2		31
Anzahl Behälter mit Glaskokillen		3		16
Anzahl Behälter mit Lucens-Abfällen		–		6

Tabelle 7
Radioaktive Abfälle in den Anlagen der Zwiilag per 31.12.2015

Hierin enthalten sind:

¹ – Sekundärabfälle aus allen Betriebsbereichen der Zwiilag
– Im Werksauftrag entstandene, zu verarbeitende Abfälle

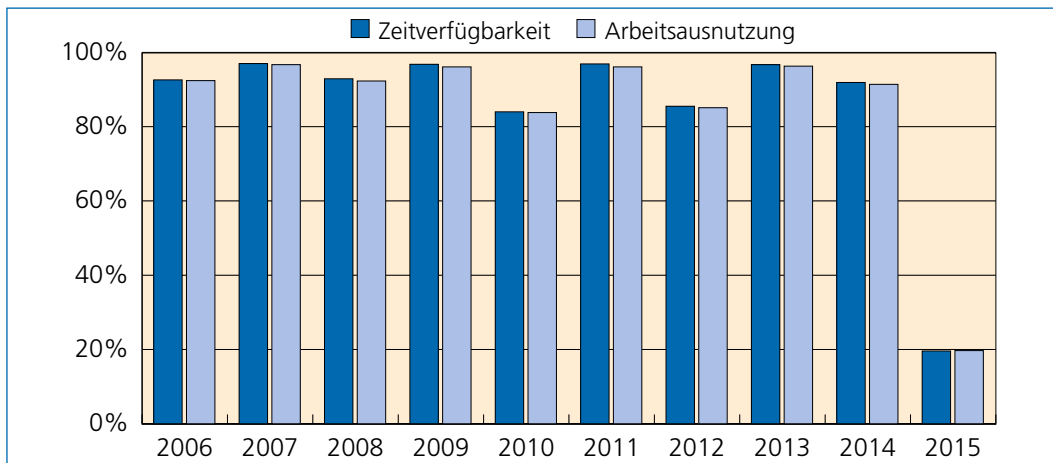
² Nur teilweise radioaktiver Abfall

³ Hierin enthalten sind 38 Gebinde (8 m³) mit leicht angereichertem uranhaltigem Material aus dem Versuchsatomkraftwerk Lucens

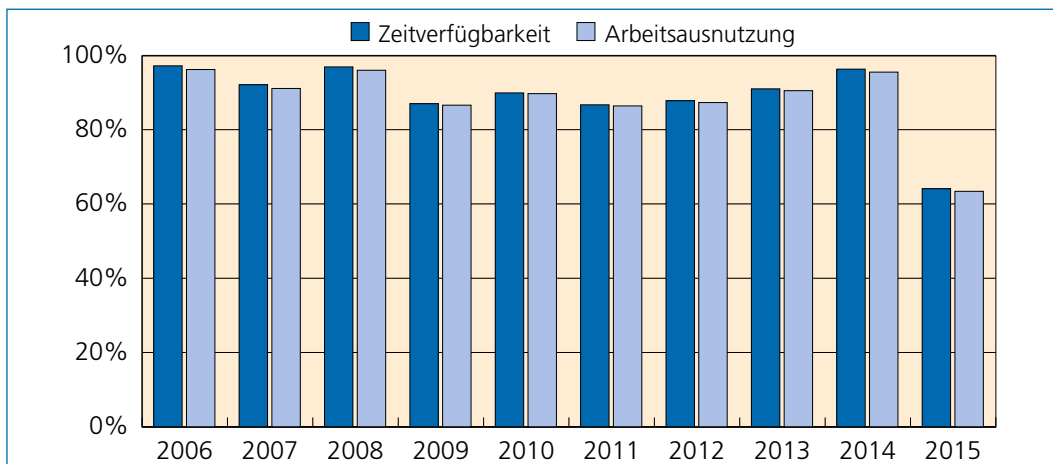
⁴ Alle Lagerteile der Zwiilag ausgenommen sep. aufgeführter Bestand des HAA-Lagers

Figur 1
 Zeitverfügbarkeit
 und Arbeitsausnutzung
 2006–2015

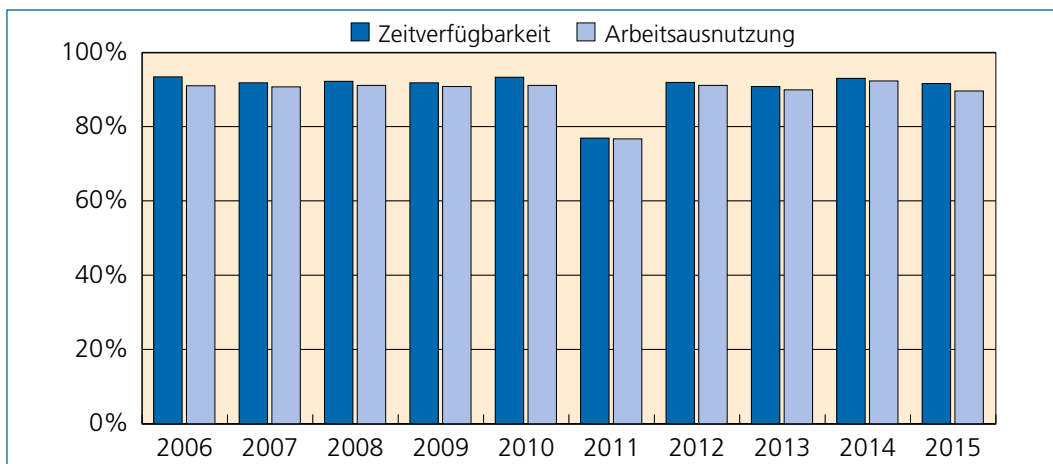
KKB 1

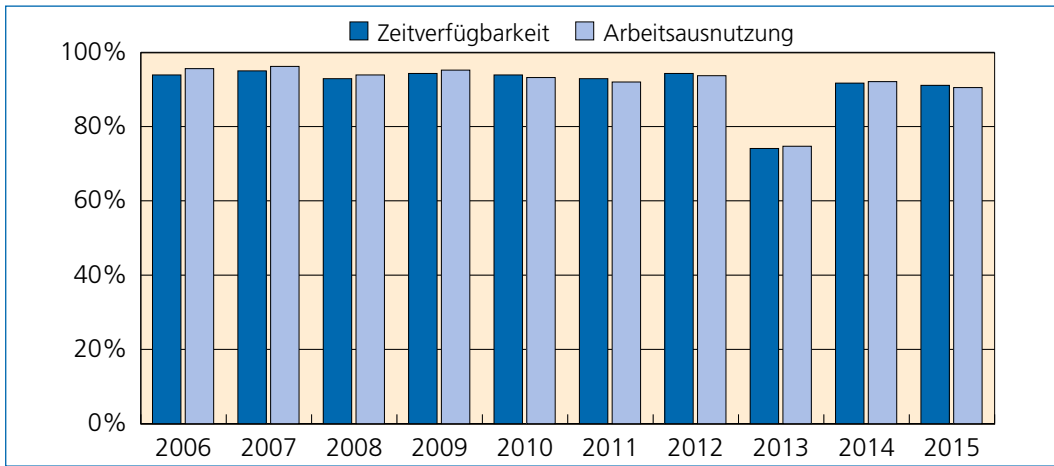


KKB 2

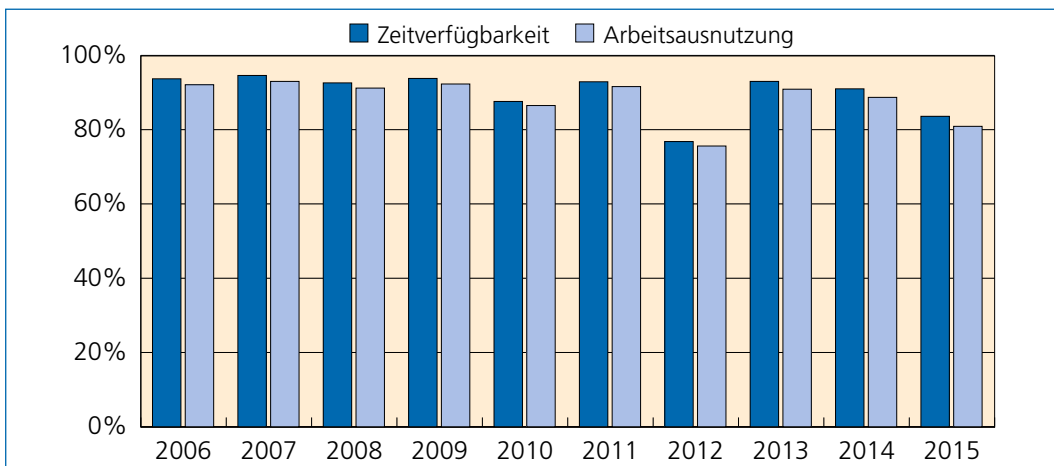


KKM





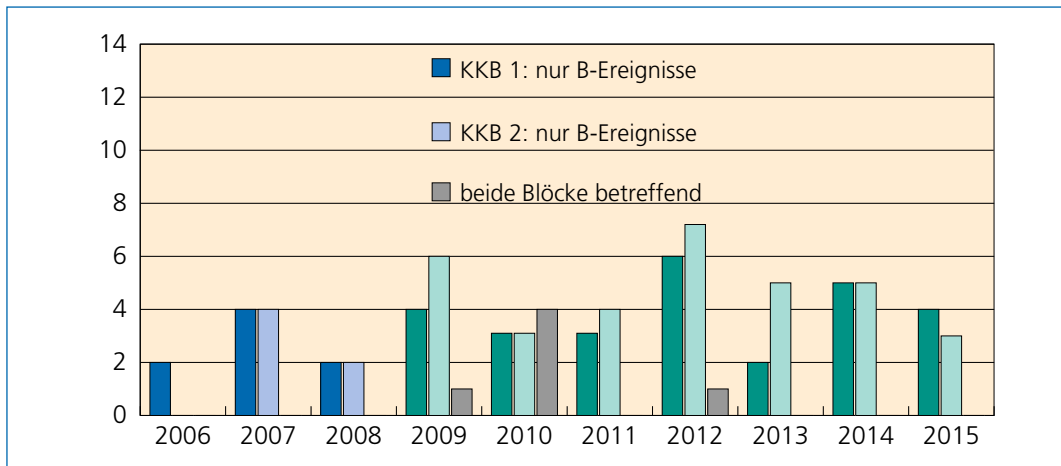
KKG



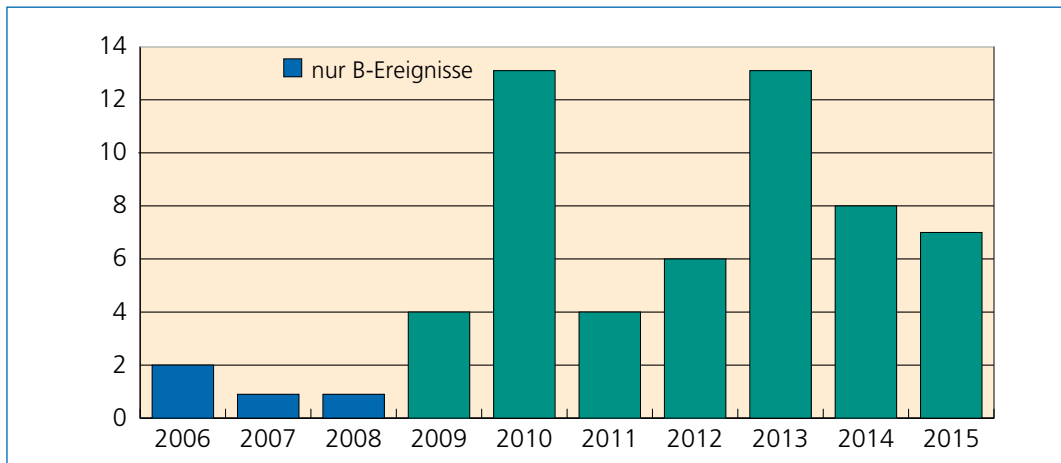
KKL

Figur 2
 Meldepflichtige
 klassierte Vorkomm-
 nisse 2006–2008 sowie
 meldepflichtige Vor-
 kommenisse im Bereich
 der nuklearen Sicher-
 heit 2009–2015.
 Aufgrund der geänderten
 Meldekriterien können die Zahlen
 vor 2009 nicht mit
 denjenigen ab 2009
 verglichen werden.

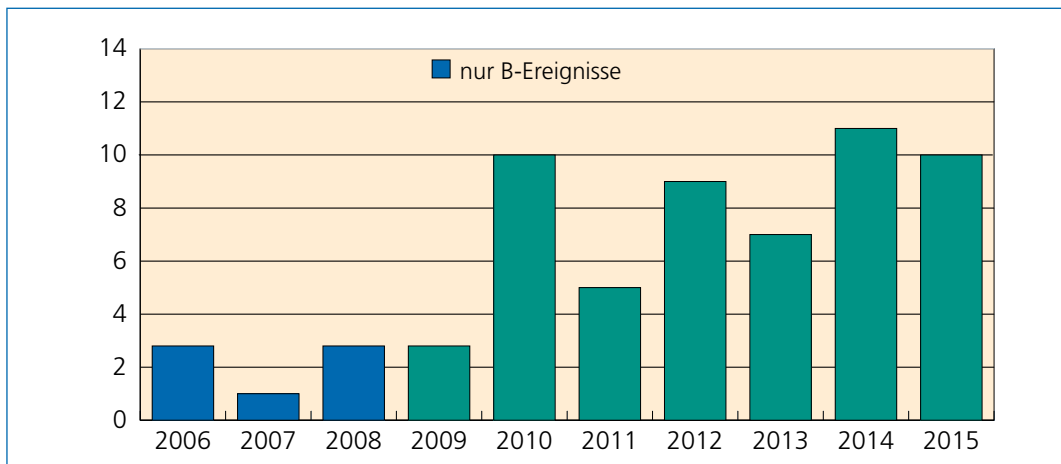
KKB 1 + 2



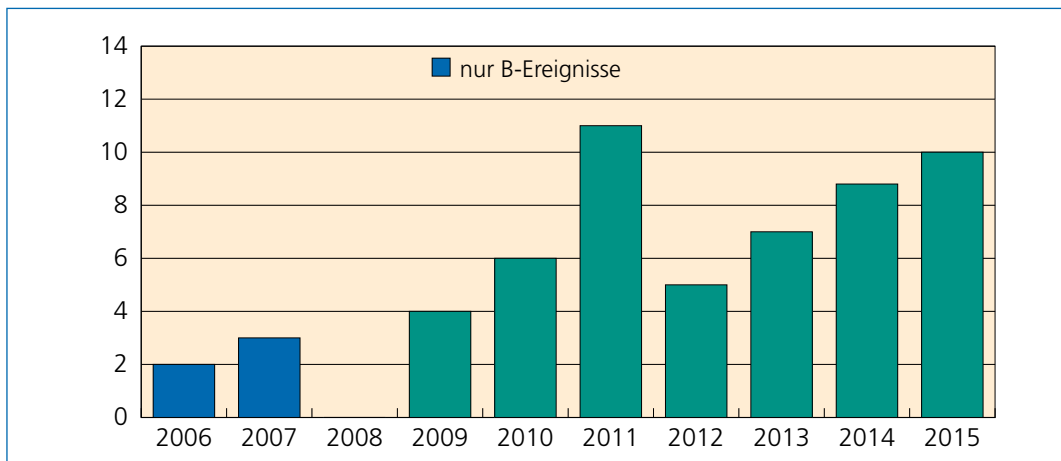
KKM



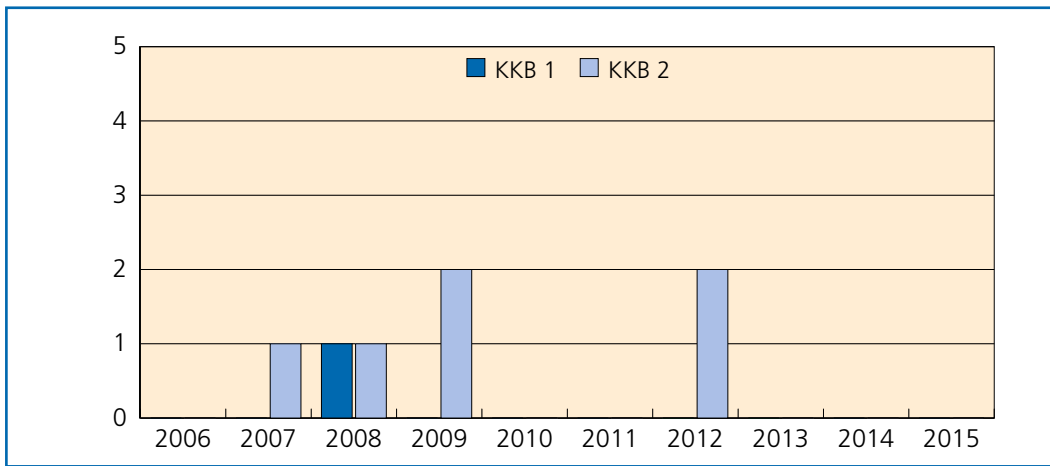
KKG



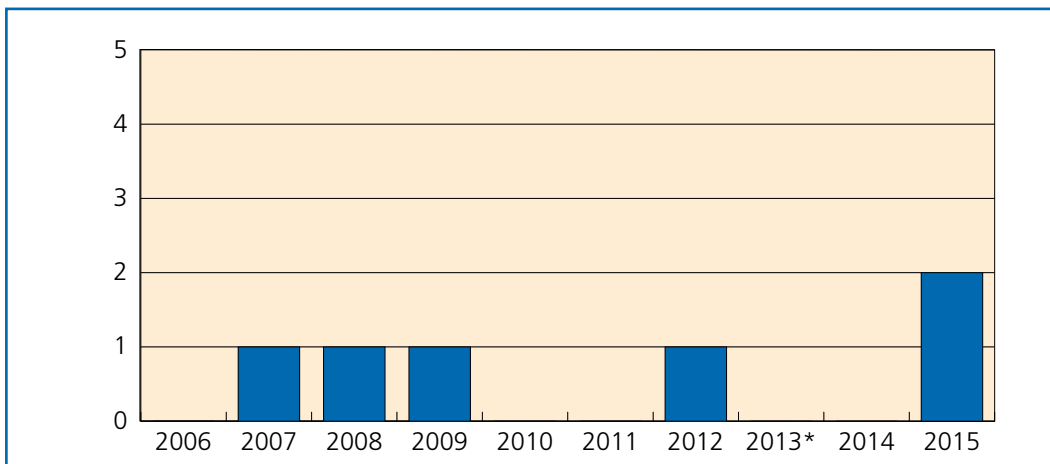
KKL



Figur 3
 Ungeplante Reaktor-
 schnnellabschaltungen
 (Scrams) 2006–2015

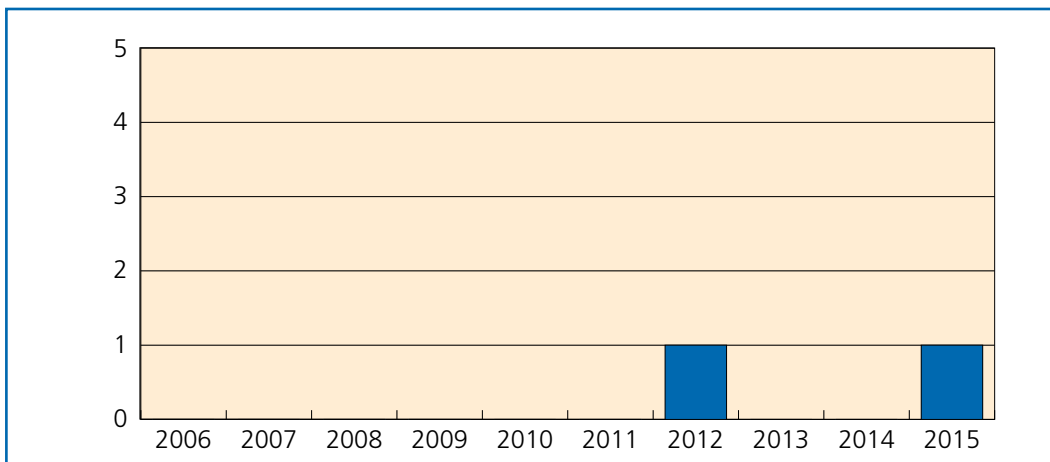


KKB 1 + 2

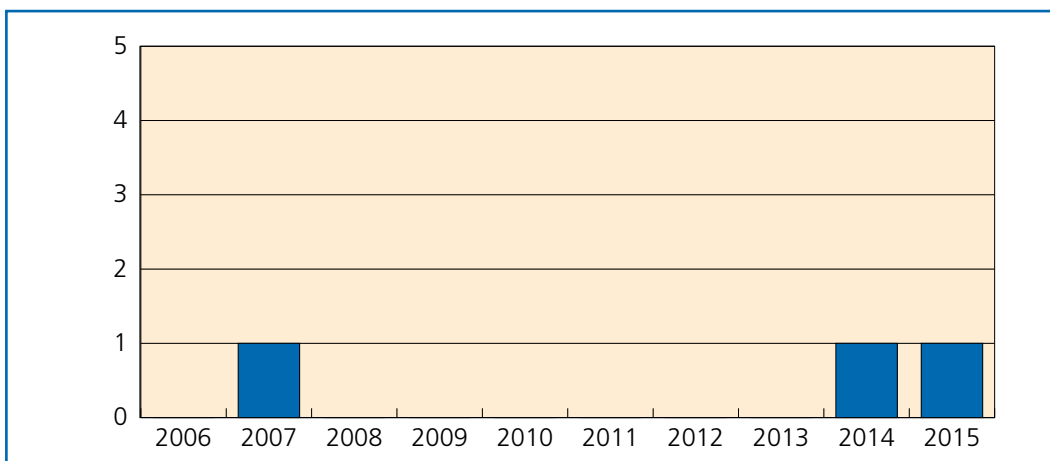


KKM

* Scram bei
 Kritikalitätstest
 vor BE-Wechsel
 bei Nullleistung



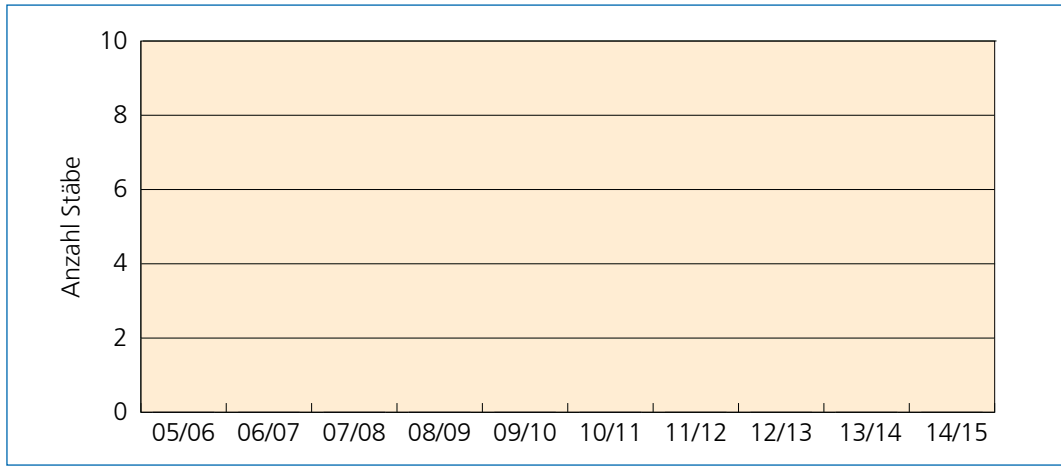
KKG



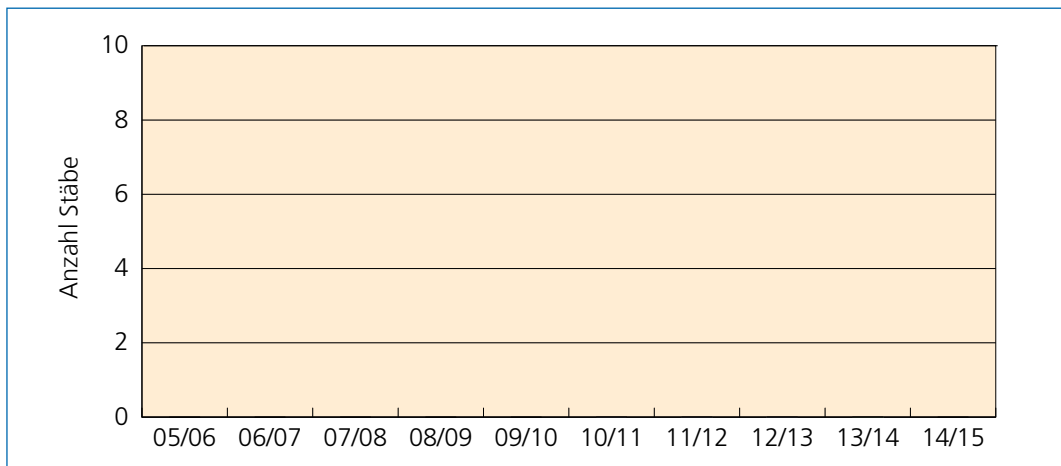
KKL

Figur 4
 Brennstabschäden
 (Anzahl Stäbe)
 2006–2015

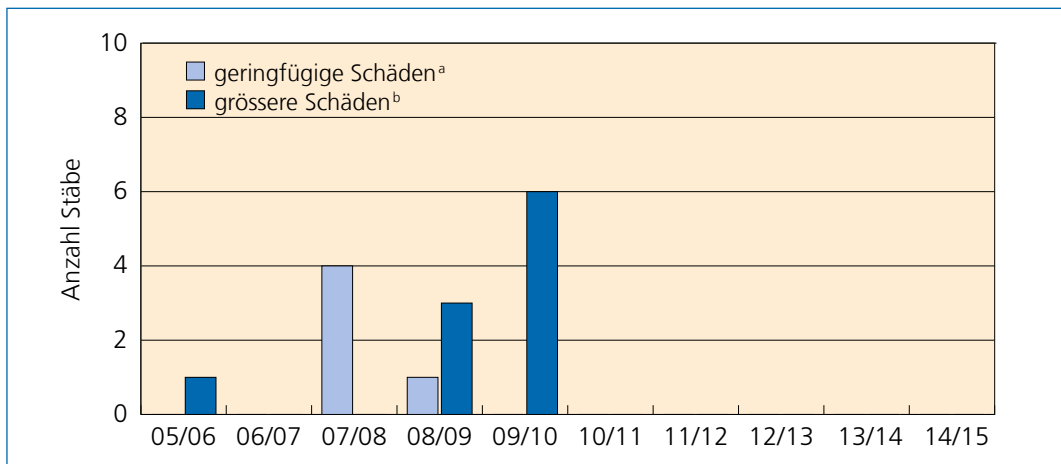
KKB 1 + 2



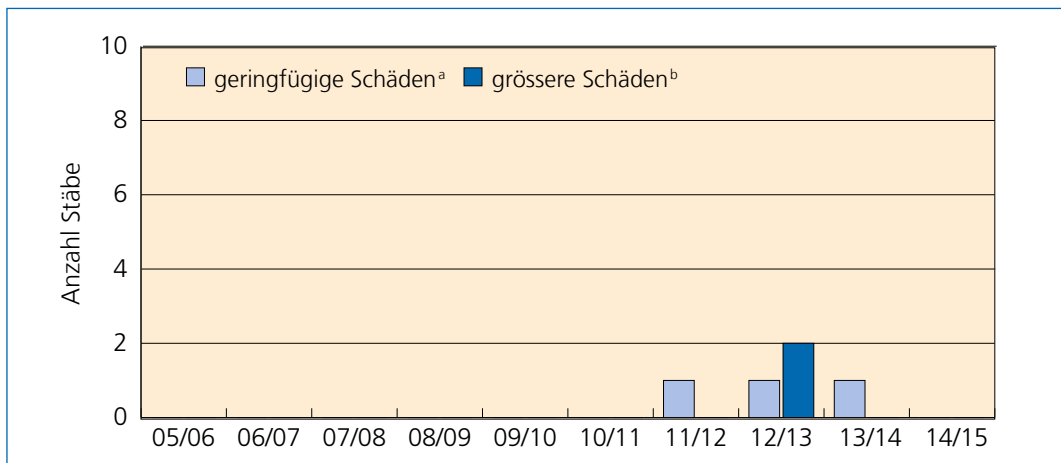
KKM



KKG

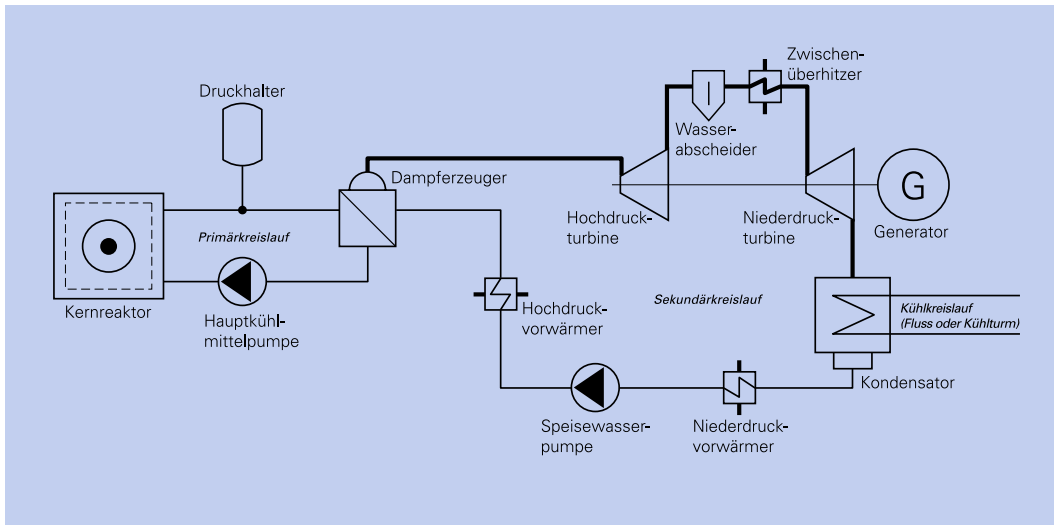


KKL

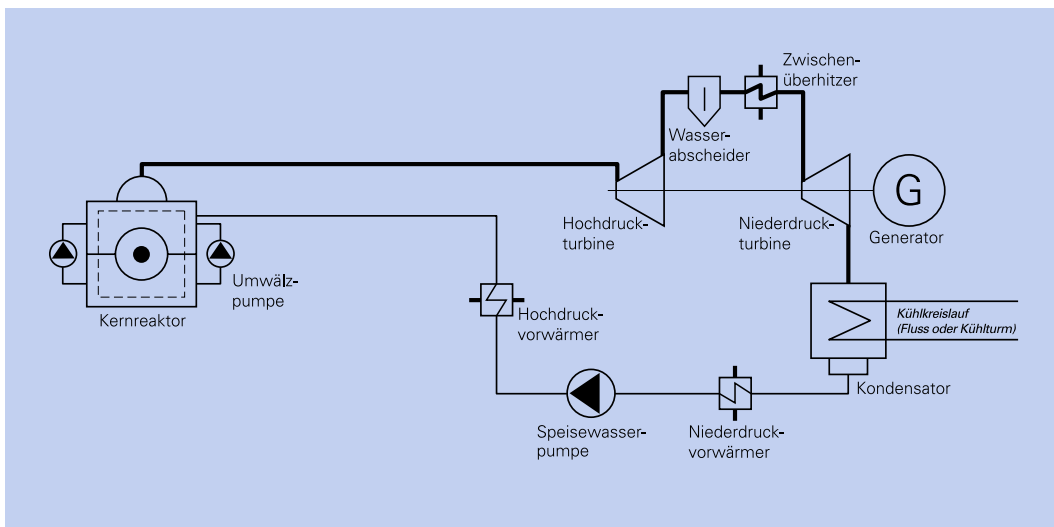


^a z.B. Haarrisse
 im Hüllrohr

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



Figur 5a
 Funktionsschema eines
 Kernkraftwerks mit
 Druckwasser-Reaktor



Figur 5b
 Funktionsschema eines
 Kernkraftwerks mit
 Siedewasser-Reaktor

Verzeichnis der Abkürzungen

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

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

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

Herausgeber

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI
CH-5200 Brugg
Telefon +41 (0)56 460 84 00
info@ensi.ch
www.ensi.ch

Zusätzlich zu diesem Aufsichtsbericht...

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

ENSI-AN-9671
ISSN 1661-2876

© ENSI, Juni 2016

ENSI-AN-9671
ISSN 1661-2876

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