



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 2011

zur nuklearen Sicherheit in den schweizerischen Kernanlagen

Aufsichtsbericht 2011

zur nuklearen Sicherheit in den schweizerischen Kernanlagen

Rapport de Surveillance 2011

sur la sécurité nucléaire dans les installations nucléaires en Suisse

Regulatory Oversight Report 2011

concerning nuclear safety in Swiss nuclear installations

Inhalt

Vorwort	4
<i>Préface</i>	6
<i>Preface</i>	8
Zusammenfassung und Übersicht	11
<i>Résumé et aperçu</i>	14
Summary and overview	17
1. Kernkraftwerk Beznau	21
1.1 Überblick	21
1.2 Betriebsgeschehen	22
1.3 Anlagentechnik	23
1.4 Strahlenschutz	27
1.5 Radioaktive Abfälle	28
1.6 Notfallbereitschaft	29
1.7 Personal und Organisation	29
1.8 Sicherheitsbewertung	30
2. Kernkraftwerk Mühleberg	33
2.1 Überblick	33
2.2 Betriebsgeschehen	34
2.3 Anlagentechnik	35
2.4 Strahlenschutz	39
2.5 Radioaktive Abfälle	40
2.6 Notfallbereitschaft	41
2.7 Personal und Organisation	42
2.8 Periodische Sicherheitsüberprüfung	42
2.9 Sicherheitsbewertung	42
3. Kernkraftwerk Gösgen	45
3.1 Überblick	45
3.2 Betriebsgeschehen	46
3.3 Anlagentechnik	47
3.4 Strahlenschutz	50
3.5 Radioaktive Abfälle	51
3.6 Notfallbereitschaft	52
3.7 Personal und Organisation	52
3.8 Periodische Sicherheitsüberprüfung	52
3.9 Sicherheitsbewertung	53
4. Kernkraftwerk Leibstadt	55
4.1 Überblick	55
4.2 Betriebsgeschehen	56
4.3 Anlagentechnik	60
4.4 Strahlenschutz	64
4.5 Radioaktive Abfälle	65
4.6 Notfallbereitschaft KKL	66
4.7 Personal und Organisation	66
4.8 Sicherheitsbewertung	66
5. Zentrales Zwischenlager Würenlingen	69
5.1 Zwischenlagergebäude	69
5.2 Konditionierungsanlage	70
5.3 Plasma-Anlage	70
5.4 Strahlenschutz	70

5.5	Notfallbereitschaft	71
5.6	Personal und Organisation	71
5.7	Rücknahme von Wiederaufarbeitungsabfällen	71
5.8	Vorkommnisse	72
5.9	Gesamtbeurteilung	72
6.	Paul Scherrer Institut (PSI)	73
6.1	Die Kernanlagen des PSI	73
6.2	Hotlabor	73
6.3	Forschungsreaktor PROTEUS	74
6.4	Stillgelegte oder im Rückbau stehende Kernanlagen	74
6.5	Behandlung radioaktiver Abfälle	74
6.6	Lagerung radioaktiver Abfälle	75
6.7	Strahlenschutz	76
6.8	Notfallbereitschaft	76
6.9	Personal und Organisation	77
6.10	Strahlenschutz-Schule	77
6.11	Gesamtbeurteilung	77
7.	Weitere Kernanlagen	79
7.1	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)	79
7.2	Universität Basel	80
8.	Transporte und Behälter	81
8.1	Genehmigungen nach Gefahrgutgesetzgebung	81
8.2	Bewilligungen nach Strahlenschutzgesetzgebung	82
8.3	Bewilligungen nach Kernenergiegesetzgebung	82
8.4	Rückführung von Abfällen aus der Wiederaufarbeitung	82
8.5	Beschaffung von Transport- und Lagerbehältern	83
8.6	Inspektionen und Audits	84
9.	Geologische Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle	85
9.1	Sachplan geologische Tiefenlager	85
9.2	Entsorgungsprogramm	87
9.3	Offene Fragen aus dem Entsorgungsnachweis	88
9.4	Kostenstudie	88
9.5	Felslaboratorien	88
9.6	Internationaler Wissenstransfer	89
10.	Anlagenübergreifende Themen	91
10.1	Probabilistische Sicherheitsanalysen und Accident Management	91
10.2	Erdbebengefährdungsanalyse	93
10.3	Fukushima und Lehren	94
10.4	Externes Lager Reitnau	96
10.5	Sistierung des Rahmenbewilligungsverfahrens	96
	Anhang	97
	Verzeichnis der Abkürzungen	127

Vorwort



Die zentrale Aussage im Aufsichtsbericht 2011 des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats ENSI ist kurz und nüchtern: Im vergangenen Jahr ist es in den Schweizer Kernanlagen zu keinen Vorkommnissen gekommen, welche die Sicherheit der Bevölkerung hätten beeinträchtigen können. Diese nüchterne Feststellung war für viele in den letzten Jahren zu einer Selbstverständlichkeit geworden. 2011 ist sie es nicht mehr. Der Unfall von Fukushima hat viele Leute verunsichert, so dass im Empfinden der Menschen die Selbstverständlichkeit zum Ausnahmefall wird. Doch die Daten, die das ENSI in über 400 Inspektionen zusammengetragen und ausgewertet hat, zeigen die Fakten:

- In den fünf Kernkraftwerken in der Schweiz sind im vergangenen Jahr die bewilligten Betriebsbedingungen eingehalten worden.
- Insgesamt kam es in der Schweiz 2011 zu 27 meldepflichtigen Vorkommnissen. Sieben betrafen das Kernkraftwerk Beznau, fünf Vorkommnisse betrafen das Kernkraftwerk Gösgen, elf das Kernkraftwerk Leibstadt und vier das Kernkraftwerk Mühleberg.

Die Aufsichtsarbeit im Jahr 2011 war indessen durch ein gravierendes Ereignis in Japan gezeichnet worden: Als uns im März 2011 die Bilder aus Fukushima erreichten, waren auch wir fassungslos und erschüttert. Wie konnte sich ein derartiges Ereignis ausgerechnet im hoch technisierten Japan ereignen? Unsere Fachleute haben, noch während die ersten Bilder aus Japan eintrafen, mit der wissenschaftlichen Analyse der Ereignisse begonnen. Die Ergebnisse der kritischen Untersuchung durch ein interdisziplinäres ENSI-Team haben die Mängel und Versäumnisse in Japan schonungslos aufgedeckt.

Der Befund ist so klar wie erschütternd: Trotz der immensen Schäden, die das Erdbeben und der Tsunami verursacht haben, wäre die radioaktive Kontamination der Umwelt durchaus zu vermeiden gewesen, wenn die Betreiberfirma und die Aufsichtsbehörden in Japan nicht über Jahre hinweg gegen die geltenden internationalen Regeln verstossen hätten.

Doch trotz dieses Befunds war Fukushima für uns Anlass, auch die Sicherheitskultur in der Schweiz erneut zu hinterfragen. Wir haben zahlreiche Lehren gezogen («Lessons learned») und deren Umsetzung in mehreren Verfügungen angeordnet. Mit einem Aktionsplan zeigen wir auf, wie und bis wann die Betreiber der Schweizer Kernkraftwerke die wichtigsten Massnahmen umgesetzt haben müssen.

Die Aufarbeitung der Katastrophe von Fukushima hat eine wichtige Aufgabe des ENSI aufgezeigt, nämlich die gesammelten Daten, Erkenntnisse und Massnahmen in verständlicher Art der Allgemeinheit zugänglich zu machen. Denn es sollen nicht nur wenige Fachleute die komplexen Zusammenhänge verstehen, sondern auch die breite Öffentlichkeit. Damit wollen wir einen sachlichen Beitrag zum Meinungsbildungsprozess leisten. Mit unserer im letzten Jahr nicht nur optisch, sondern auch inhaltlich völlig überarbeiteten Website meinen wir, der berechtigten Forderung der inte-

ressierten Öffentlichkeit nach Offenheit und Transparenz nachzukommen. Wir wollen mit unserer Internetpräsenz eine Anlaufstation für Fragen zur Sicherheit der Kernenergie sein und Information aus erster Hand liefern.

2011 war auch für die schweizerische Strombranche ein historisches Jahr: Der Bundesrat hat am 25. Mai 2011 entschieden, dass die Schweiz aus der Kernenergie aussteigen wird. National- und Ständerat haben diesen Entscheid bestätigt. Es soll in der Schweiz nur noch so lange Strom aus Kernkraftwerken produziert werden, wie die bestehenden Werke sicher betrieben werden können.

Dieser Entscheid hat die Aufgabe des ENSI verändert. Noch im Januar 2011 waren wir anders aufgestellt gewesen: Nach den Ende 2010 fertig gestellten Gutachten des ENSI zu den Rahmenbewilligungsgesuchen für den Bau neuer Kernkraftwerke waren wir mitten in der Vorbereitung der behördlichen Vorgaben für die Baubewilligungen solcher Neubauten.

Seit dem Entscheid der Politik, aus der Kernenergie auszusteigen, haben wir das ENSI organisatorisch neu ausgerichtet. Die zentralen Themen, die unsere Arbeit in den nächsten Jahren prägen werden, sind der sichere Betrieb der Kernkraftwerke bis zu deren Stilllegung, die Entsorgung der radioaktiven Abfälle mit der anspruchsvollen Suche nach geeigneten und gesellschaftlich akzeptierten Standorten für geologische Tiefenlager sowie der Rückbau der später stillgelegten Kernanlagen.

Der geänderten Ausgangslage haben sich meine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im ENSI im vergangenen Jahr mit dem nötigen Elan und Engagement gestellt. Ihnen gilt mein Dank.



Hans Wanner
Direktor

Préface

Le rapport de surveillance 2011 de l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN comporte une déclaration capitale courte et objective: les installations nucléaires suisses n'ont pas enregistré l'année dernière d'incidents susceptibles de compromettre la sécurité de la population.

Ces dernières années, ce constat objectif était devenu une chose naturelle pour nombre d'entre nous. Or ce n'est plus le cas en 2011. L'accident de Fukushima a déstabilisé de nombreuses personnes qui ont maintenant le sentiment que ce qui semblait évident ne l'est plus et est devenu exceptionnel.

Les données que l'IFSN a réunies et évaluées au cours de ses plus de 400 inspections mettent en évidence les faits suivants :

- *En 2011, les cinq centrales nucléaires de Suisse ont respecté les conditions d'exploitation autorisées.*
- *En 2011, 27 événements ont en tout été notifiés en Suisse: sept dans la centrale nucléaire de Beznau, cinq dans celle de Gösgen, onze dans celle de Leibstadt et quatre dans celle de Mühleberg.*

Mais en 2011, le travail de surveillance a été marqué par un événement grave au Japon. Lorsque les images de Fukushima nous sont parvenues au mois de mars de la même année, nous aussi en avons été décontenancés et ébranlés. Comment un tel événement pouvait-il se produire dans un pays à l'ingénierie justement aussi développée que le Japon? Pendant que les premières photos du Japon nous parvenaient encore, nos spécialistes ont commencé l'analyse scientifique des événements. Les résultats de l'analyse critique par une équipe interdisciplinaire de l'IFSN ont révélé sans la moindre indulgence les carences et les négligences du Japon.

Le constat est aussi clair que bouleversant: malgré les immenses dégâts provoqués par le trem-

blement de terre et le tsunami, la contamination radioactive de l'environnement aurait pu être totalement évitée si la société exploitante et les autorités de surveillance du Japon n'avaient pas enfreint des années durant les règles internationales en vigueur.

Pourtant, malgré ce constat, Fukushima nous a permis de nous questionner aussi sur la culture de la sécurité poursuivie en Suisse. Nous en avons tiré de nombreux enseignements («Lessons learned») que nous avons mis en œuvre dans plusieurs dispositions. A l'aide d'un plan d'action, nous montrons comment les exploitants des centrales nucléaires suisses doivent appliquer les mesures les plus importantes et jusqu'à quand.

Le traitement de la catastrophe de Fukushima a mis en valeur une tâche importante de l'IFSN: rendre à la collectivité l'accès simple et aisé aux données recueillies, aux enseignements tirés et aux mesures prises. Car il ne suffit pas que quelques rares spécialistes comprennent une situation complexe, il faut aussi que la population dans son entier soit en mesure de la comprendre. Nous voulons ainsi contribuer avec objectivité au processus de formation d'opinion.

Avec notre site Internet entièrement revu en 2011, tant au niveau visuel que sur le plan du contenu, nous entendons répondre à la demande juste d'ouverture et de transparence de la population intéressée. Par notre présence sur Internet, nous voulons servir de plateforme pour toutes les questions relatives à la sécurité de l'énergie nucléaire et les informations de première main.

2011 a été aussi une année historique pour la branche suisse de l'électricité: le 25 mai 2011, le Conseil fédéral a décidé que la Suisse sortira du nucléaire. Le Conseil national et le Conseil des Etats ont confirmé cette décision. On ne produira d'électricité d'origine nucléaire en Suisse qu'aussi longtemps que les centrales en place pourront être exploitées de manière sûre.

Cette décision a modifié la tâche de l'IFSN. En janvier 2011, nous avons encore une tout autre position: suite aux expertises de l'IFSN terminées fin 2010, relatives aux demandes d'autorisation générale pour la construction de nouvelles centrales nucléaires, nous étions en pleine préparation des spécifications des autorités pour les autorisations de construire de ces nouvelles constructions.

Depuis la décision des politiques de sortir du nucléaire, nous avons réorienté l'organisation de l'IFSN. Notre travail se concentrera ces prochaines années sur le fonctionnement sûr des centrales nucléaires jusqu'à leur démantèlement, sur la gestion des déchets radioactifs et l'exigeante recherche de sites appropriés et socialement acceptés de dépôts en couches géologiques profondes, ainsi que sur le démantèlement des installations nucléaires désaffectées ultérieurement.

A l'IFSN, mes collaboratrices et mes collaborateurs ont tous accepté l'année dernière le changement de situation avec l'élan et l'engagement nécessaires. Je les en remercie ici vivement.



*Hans Wanner
Directeur*

Preface

The central message of the 2011 Oversight Report of ENSI, the Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate is both clear and brief: There were no incidents in Swiss nuclear facilities during 2011 that could have compromised human safety.

In recent years, such a rational statement had, for many, become routine. However, in 2011 that was no longer the case. The accident at Fukushima unsettled many and so, what had become routine was perceived as an exception.

And yet, the data collected and analysed by ENSI from more than 400 inspections demonstrate the facts quite clearly:

- *All five nuclear power plants (NPPs) in Switzerland complied with their approved operating conditions.*
- *During 2011, there were a total of 27 reportable events in Switzerland: 7 events at the Beznau NPP, 5 at Gösgen NPP, 11 at Leibstadt NPP and 4 at the Mühleberg NPP.*

That said, our surveillance work during 2011 was dominated by the serious accident in Japan. When, in March 2011 the pictures from Fukushima reached us, we too were stunned and shocked. How could something like that happen, particularly in a country as technologically advanced as Japan? As soon as the first pictures came in from Japan, our specialists set to work on a scientific analysis of the events. This critical review – conducted by an interdisciplinary ENSI team – mercilessly exposed the defects and failures in Japan.

The findings were as clear as they were shocking: Despite the enormous damage caused by the earthquake and the tsunami, the radioactive contamination of the environment would have been avoided had the operating company and the surveillance authorities in Japan not been in breach of existing international regulations for several years. Nevertheless, despite our findings, we used the events at Fukushima as an opportunity to subject

the safety culture in Switzerland to renewed scrutiny. We learned much from the process and the lessons learned formed the basis of instructions for the implementation of certain measures. We produced an action plan showing how and by what date the operators of Swiss nuclear NPPs would be required to implement the main measures.

The process of investigating the Fukushima disaster highlighted an important task for ENSI, i.e. to make the data, findings and resultant measures accessible in a form that could be understood by the general public. After all, such complex information should be understood not just by a few experts but by the public as a whole. For that reason, we sought to make an objective contribution to the opinion-forming process.

Last year, we completely overhauled our website – not just visually but also in terms of content. We are convinced that this new website satisfies the justified demands of an interested public for greater openness and transparency. We intend to make our website the first port of call for questions relating to nuclear safety and first-hand information. For the Swiss electricity industry, last year was also historic. On 25 May, 2011 the Swiss Federal Council decided that Switzerland would phase out nuclear power. This decision was endorsed by both the National Council and the Council of States. This means that Switzerland will only continue to generate electricity from nuclear power for as long as the existing plants can be operated safely.

This decision will affect the role of ENSI. Even in January 2011, the landscape looked quite different. At the end of 2010, ENSI had completed its report on the general license applications for the construction of new nuclear power plants and at the beginning of the year, we were in the throes of preparing the official requirements for the licenses that would have allowed the construction of new plants.

Since the decision by politicians to phase out nuclear power, we have completed a restructuring of ENSI and in the next years, we will focus on the following main themes: the safe operation of nuclear power plants until they are decommissioned, the disposal of radioactive waste including the challenging search for locations for deep geological repositories that are both suitable and acceptable to society and finally the dismantling of nuclear facilities following shut-down.

My staff at ENSI has responded to this fundamental shift with the required vigour and commitment. To them I owe a debt of thanks.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Hans Wanner', with a stylized flourish at the end.

*Hans Wanner
Director General*

Zusammenfassung und Übersicht

Das ENSI

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI begutachtet und beaufsichtigt als Aufsichtsbehörde des Bundes die Kernanlagen in der Schweiz. Dazu gehören die fünf Kernkraftwerke, die Zwischenlager bei den Kraftwerken, das Zentrale Zwischenlager der ZWILAG in Würenlingen sowie die nuklearen Einrichtungen am Paul Scherrer Institut (PSI) und an den Hochschulen in Basel und Lausanne. Mittels Inspektionen, Aufsichtsgesprächen, Prüfungen und Analysen sowie 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. Zu seinem Aufsichtsbereich gehören zudem die Transporte radioaktiver Stoffe von und zu den Kernanlagen sowie die Vorbereitungen zur geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle. 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.

Die gesetzliche Basis für die Aufsicht des ENSI bilden das Kernenergiegesetz, die Kernenergieverordnung, das Strahlenschutzgesetz, die Strahlenschutzverordnung sowie weitere Verordnungen und Vorschriften zur Reaktorsicherheit und Ausbildung von Personal, zum Notfallschutz, zum Transport radioaktiver Stoffe und zur geologischen Tiefenlagerung. 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. Eine Übersicht über die Richtlinien des ENSI findet sich in der Tabelle 10 im Anhang dieses Aufsichtsberichts. Die gültigen Richtlinien sind zudem auf der Website des ENSI (www.ensi.ch) aufgeschaltet.

Das ENSI berichtet periodisch über seine Aufsichtstätigkeit und die nukleare Sicherheit der schweizerischen Kernanlagen. Es nimmt seine gesetzliche Pflicht wahr, die Öffentlichkeit über besondere Ereignisse und Befunde in den Kernanlagen

zu informieren. Zu spezifischen Themen orientiert es auch im Rahmen von Veranstaltungen.

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.

Die Berichte werden auch im Internet unter www.ensi.ch publiziert, wo das ENSI ein breites Angebot an Fachartikeln aufgeschaltet hat.

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. Jedes dieser Kapitel schliesst mit einer Sicherheitsbewertung.

Das Kapitel 5 behandelt das Zentrale Zwischenlager der ZWILAG in Würenlingen. Die Kapitel 6 und 7 sind den nuklearen Anlagen des Paul Scherrer Instituts sowie den Forschungsreaktoren der Universität Basel und der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Lausanne gewidmet. Im Kapitel 8 kommen die Transporte radioaktiver Stoffe von und zu den schweizerischen Kernanlagen zur Sprache. Kapitel 9 erläutert die Arbeiten im Rahmen des Sachplans zur geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle, und Kapitel 10 behandelt anlagenübergreifende Aspekte wie zum Beispiel probabilistische Sicherheitsanalysen. Im Anhang finden sich erläuternde Tabellen und Figuren.

Kernkraftwerke

Die fünf Kernkraftwerke in der Schweiz (Beznau Block 1 und 2, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt) wurden im vergangenen Jahr sicher betrieben. Das ENSI kommt zum Schluss, dass die bewilligten Betriebsbedingungen eingehalten wurden. Die Bewilligungsinhaber haben gegenüber der Auf-

sichtsbehörde ihre gesetzlich festgelegten Meldepflichten wahrgenommen. Alle Anlagen befinden sich in einem sicherheitstechnisch guten Zustand. Die 27 meldepflichtigen Vorkommnisse im Jahr 2011 verteilen sich wie folgt auf die Schweizer Kernkraftwerke: 7 Vorkommnisse betrafen das Kernkraftwerk Beznau, 5 Vorkommnisse betrafen das Kernkraftwerk Gösgen, 11 das Kernkraftwerk Leibstadt und 4 das Kernkraftwerk Mühleberg. Auf der von 0 bis 7 reichenden international gültigen Ereignisskala INES ordnete das ENSI 26 der 27 Vorkommnisse des vergangenen Jahres in den Kernkraftwerken der Stufe 0 zu. Ein Ereignis im Kernkraftwerk Mühleberg ordnete es der INES-Stufe 1 zu. Dies betraf eine mögliche Verstopfung der Notstandsystem-Wasserfassung bei einem Extremhochwasser. Diese Erkenntnis bewog den Kraftwerksbetreiber BKW, das Kernkraftwerk Mühleberg vor dem geplanten Revisionstermin abzuschalten und nachzurüsten. Das ENSI bewertet die Sicherheit eines jeden Kernkraftwerks im Rahmen einer systematischen Sicherheitsbewertung. Dabei werden neben meldepflichtigen Vorkommnissen weitere Erkenntnisse berücksichtigt, insbesondere die Ergebnisse der über 400 Inspektionen, die das ENSI im Jahr 2011 durchgeführt hatte.

Zentrales Zwischenlager Würenlingen

Das Zentrale Zwischenlager der ZWILAG in Würenlingen umfasst mehrere Zwischenlagergebäude, die Konditionierungsanlage und die Plasma-Anlage (Verbrennungs- und Schmelzanlage). Ende 2011 befanden sich in der Behälterlagerhalle 34 Transport- und Lagerbehälter mit abgebrannten Brennelementen und Glaskokillen sowie sechs Behälter mit Stilllegungsabfällen aus dem Versuchsatomkraftwerk Lucens. Der Belegungsgrad betrug Ende 2011 rund 17 % im HAA-Lager und 23 % im MAA-Lager.

Im Berichtsjahr wurden zwei Kampagnen zur Verbrennung und Einschmelzung von radioaktiven Abfällen durchgeführt.

Im ZWILAG registrierte das ENSI im Jahr 2011 keine meldepflichtigen Vorkommnisse.

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die ZWILAG die bewilligten Betriebsbedingungen im Jahr 2011 eingehalten hat.

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

Die Kernanlagen des Paul Scherrer Instituts (PSI), wie der Forschungsreaktor PROTEUS, das Hotlabor, die Sammelstelle für die radioaktiven Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung sowie das Bundeszwischenlager, stehen unter der Aufsicht des ENSI. Das Bundeszwischenlager wies Ende 2011 einen Belegungsgrad von rund 85 % auf.

Die Rückbauarbeiten an den beiden Forschungsreaktoren DIORIT und SAPHIR erfolgten aus radiologischer Sicht korrekt. Im Forschungsreaktor PROTEUS wurden im Berichtsjahr keine Bestrahlungen mehr durchgeführt und die betrieblichen Aktivitäten beschränkten sich auf routinemässige Wartungsarbeiten und Kontrollen.

In den Kernanlagen des PSI ereigneten sich im Jahr 2011 drei hinsichtlich der nuklearen Sicherheit meldepflichtige Vorkommnisse der INES-Stufe 0. Ein Vorkommnis verzeichnete das ENSI im Forschungsreaktor der ETH Lausanne und keines an der Universität Basel.

Das ENSI kommt zum Schluss, dass im Jahr 2011 sowohl beim PSI als auch bei den Forschungsreaktoren von Lausanne und Basel die Betriebsbedingungen eingehalten wurden.

Abgaben radioaktiver Stoffe

Die Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt via Abwasser und Abluft der Kernkraftwerke, des Zentralen Zwischenlagers, des PSI und der Kernanlagen 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

Aufgrund des zehnjährigen Moratoriums dürfen bis 2016 keine Transporte bestrahlter Brennelemente ins Ausland stattfinden. Im Jahr 2011 fanden zwei Transporte von kompaktierten Wiederaufarbeitungsabfällen aus La Hague in Frankreich zum Zentralen Zwischenlager in Würenlingen statt. Bei allen Transporten von Brennelementen und

radioaktiven Abfällen wurden die gefahrgutrechtlichen Vorschriften und die Strahlenschutzlimite eingehalten.

Geologische Tiefenlagerung

Im Rahmen des Sachplans geologische Tiefenlagerung hatte die Nagra in der ersten Etappe sechs mögliche Standortgebiete für geologische Tiefenlagerung für schwach- und mittelaktive sowie drei für hochaktive Abfälle vorgeschlagen. Das ENSI hatte nach seiner Prüfung das Vorgehen der Nagra als transparent und nachvollziehbar beurteilt, stimmte dem Vorschlag zu und empfahl, die vorgeschlagenen Standortgebiete in der zweiten Etappe des Sachplanverfahrens weiter zu verfolgen. Die

Hauptforderungen des ENSI betreffen die Verbesserung des Kenntnisstandes über die Wirtgesteine, die systematische Beschreibung der hydraulischen Fließwege in den Standortgebieten und vertiefte Untersuchungen von bautechnischen Aspekten.

Die mit internationaler Beteiligung betriebene erdwissenschaftliche Forschungstätigkeit der Nagra in den beiden Felslaboratorien Grimsel (kristallines Gestein) und Mont Terri (Opalinuston) wurde 2011 fortgesetzt. Das ENSI führt seinerseits im Mont Terri ein Experiment zur Erfassung des felsmechanischen Verhaltens des Opalinustons durch. Zudem beteiligt es sich an zwei weiteren Experimenten: die Untersuchung des Austrocknungsverhaltens von Stollenwänden im Opalinuston sowie die Evaluation einer neuen Methode zur Bestimmung von Durchlässigkeiten.

Résumé et aperçu

L'IFSN

L'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN est l'instance de la Confédération chargée de la surveillance et de l'expertise des installations nucléaires en Suisse, soit les cinq centrales nucléaires, les entrepôts situés dans les centrales, le Centre de stockage intermédiaire ZWILAG de Würenlingen, les installations nucléaires de l'Institut Paul Scherrer (IPS) et des Universités de Bâle et de Lausanne. Les inspections, entretiens de surveillance, contrôles et analyses, ainsi que les rapports des exploitants lui permettent d'acquérir la vue d'ensemble nécessaire sur la sécurité nucléaire des installations surveillées. L'IFSN veille au respect des prescriptions et à la conformité de la gestion de l'exploitation avec la loi. Ses activités de surveillance s'étendent aussi 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 dans le cadre d'une organisation d'urgence nationale susceptible d'intervenir, en cas d'accident grave, dans une installation nucléaire suisse.

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 des réacteurs et la formation du personnel exploitant, 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 apprécie les activités et les projets des exploitants d'installations nucléaires. Un aperçu des directives de l'IFSN figure au tableau 10 de l'annexe de ce rapport de surveillance. De plus, toutes les directives en vigueur peuvent être consultées sur le site Internet de l'IFSN (www.ifsun.ch).

L'IFSN donne des informations régulières sur ses activités de surveillance et sur la sécurité nucléaire des installations suisses. Elle a pour tâche légale

d'informer le public des événements et constats particuliers dans les installations nucléaires. Son information sur des thèmes plus spécifiques se poursuit aussi dans le cadre de manifestations.

Le présent rapport de surveillance fait partie du compte rendu périodique de l'IFSN. L'IFSN publie chaque année aussi 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.

Ces rapports peuvent aussi être consultés sur Internet, à l'adresse www.ifsun.ch, où l'IFSN publie par ailleurs de nombreux articles spécialisés.

Contenu du présent rapport

Les chapitres 1 à 4 du présent rapport de surveillance décrivent 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. Chacun de ces chapitres se termine sur une évaluation de la sécurité.

Le chapitre 5 est consacré au Centre de stockage intermédiaire ZWILAG à Würenlingen. Les chapitres 6 et 7 concernent les installations nucléaires de l'Institut Paul Scherrer ainsi que les réacteurs de recherche de l'Université de Bâle et de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, EPFL. Le chapitre 8 aborde les transports de matières radioactives en provenance et à destination des installations nucléaires suisses. Le chapitre 9 commente les travaux réalisés dans le cadre du plan sectoriel «Dépôts en couches géologiques profondes pour déchets radioactifs» et le chapitre 10 traite d'autres aspects transversaux des installations, tels que les analyses probabilistes de sécurité. Tableaux et figures en annexe complètent ce rapport.

Centrales nucléaires

L'IFSN atteste pour 2011 de la bonne sécurité d'exploitation des cinq centrales nucléaires de Suisse (Beznau 1 et 2, Mühleberg, Gösgen et Leibstadt), ainsi que du respect des conditions d'exploitation

autorisées. Les détenteurs d'autorisations ont respecté leurs devoirs de notification, fixés par la loi, à l'égard de l'autorité de surveillance. Toutes les installations témoignent d'une bonne situation en matière de sécurité.

Les 27 événements notifiés en 2011 dans les installations nucléaires suisses se répartissent comme suit: sept événements dans la centrale nucléaire de Beznau, cinq dans la centrale nucléaire de Gösgen, onze dans celle de Leibstadt et quatre dans celle de Mühleberg.

L'IFSN a classé 26 des 27 événements survenus l'année dernière dans les centrales nucléaires au niveau 0 de l'échelle internationale de gravité des événements INES qui va de 0 à 7. Un événement survenu dans la centrale nucléaire de Mühleberg et classé au niveau 1 a porté sur l'obstruction potentielle de la prise d'eau du système de secours lors d'une crue extrême. Suite à cet événement, l'exploitant BKW/FMB a arrêté et rééquipé la centrale nucléaire de Mühleberg avant la date prévue pour la révision.

L'IFSN évalue la sécurité de toute centrale nucléaire dans le cadre d'une évaluation systématique de la sécurité. En plus des événements notifiables, l'IFSN tient compte d'autres éléments, notamment des résultats des plus de 400 inspections réalisées par ses soins en 2011.

Centre de stockage intermédiaire de Würenlingen

Le Centre de stockage intermédiaire ZWILAG à Würenlingen comprend plusieurs bâtiments d'entreposage, l'installation de conditionnement et l'installation plasma (station d'incinération et de fusion). Fin 2011, la halle des conteneurs abritait 34 conteneurs de transport et d'entreposage avec assemblages combustibles usés et coquilles de verre, ainsi que six conteneurs de déchets de démantèlement provenant de la centrale nucléaire expérimentale de Lucens. Fin 2011, le taux d'occupation était d'environ 17% dans le dépôt pour déchets hautement radioactifs et 23% dans le dépôt pour déchets faiblement et moyennement radioactifs.

Deux campagnes d'incinération et de fusion des déchets radioactifs ont eu lieu en 2011.

Au cours de l'exercice sous revue, l'IFSN n'a notifié aucun événement à ZWILAG.

L'IFSN en conclut que ZWILAG a respecté les conditions d'exploitation autorisées en 2011.

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

Les installations nucléaires de l'Institut Paul Scherrer (IPS), comme le réacteur de recherche PROTEUS, le laboratoire chaud, le site de ramassage des déchets radioactifs provenant de la médecine, de l'industrie et de la recherche, ainsi que l'entrepôt fédéral pour déchets radioactifs, sont placées sous la surveillance de l'IFSN. En 2011, le taux d'occupation de l'entrepôt intermédiaire de la Confédération était d'environ 85%.

Les travaux de démantèlement des deux réacteurs de recherche DIORIT et SAPHIR se sont déroulés du point de vue radiologique correctement. Dans le réacteur de recherche PROTEUS, plus aucune irradiation n'a eu lieu en 2011 et les activités d'exploitation se sont limitées à des travaux d'entretien de routine et à des contrôles.

En 2011, trois événements relatifs à la sécurité nucléaire et classés au niveau 0 de l'échelle INES ont été notifiés dans les installations nucléaires de l'IPS. L'IFSN a notifié un événement dans le réacteur de recherche de l'EPFL et aucun dans celui de l'Université de Bâle.

L'IFSN en conclut que tant l'IPS que les réacteurs de recherche de Lausanne et de Bâle ont respecté les conditions d'exploitation autorisées en 2011.

Rejets de substances radioactives

En 2011, les rejets de substances radioactives dans l'environnement via les eaux usées et l'air d'évacuation des centrales nucléaires, du Centre de stockage intermédiaire ZWILAG, de l'IPS et des installations nucléaires 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 la radio-exposition annuelle naturelle.

Transports de matières radioactives

En raison du moratoire de dix ans, il n'y aura pas de transport d'assemblages combustibles usés à l'étranger jusqu'en 2016. En 2011, deux transports de déchets de retraitement compactés ont eu lieu de La Hague en France à ZWILAG. Tous

les transports d'assemblages combustibles et de déchets radioactifs se sont déroulés dans le respect des prescriptions en vigueur pour le transport de marchandises dangereuses et des limites de la radioprotection.

Stockage en couches géologiques profondes

Dans le cadre du plan sectoriel «Dépôts en couches géologiques profondes», la Nagra avait proposé, dans la première étape, six domaines d'implantation possibles pour des dépôts géologiques profonds pour déchets de faible et de moyenne activité, ainsi que pour déchets de haute activité. Après vérification, l'IFSN avait jugé la démarche de la Nagra transparente et retraçable, approuvé la proposition et recommandé de poursuivre l'étude de tous les domaines d'implantation proposés dans

la deuxième étape de la procédure du plan sectoriel. Les principales exigences de l'IFSN concernent l'amélioration du niveau des connaissances des roches d'accueil, la description systématique des voies d'écoulement hydrauliques dans les domaines d'implantation, ainsi que des analyses approfondies des aspects liés à la construction.

L'activité de recherche sur les sciences de la terre, réalisée de la Nagra, s'est poursuivie en 2011 avec une participation internationale dans les deux laboratoires souterrains du Grimsel (roche cristalline) et du Mont Terri (argiles à Opalinus). L'IFSN poursuit quant à elle au Mont Terri une expérience sur l'identification du comportement géo-mécanique des argiles à Opalinus. Par ailleurs, elle participe à deux autres expériences, l'une sur l'analyse du comportement dessiccateur des parois des galeries dans les argiles à Opalinus, l'autre sur l'évaluation d'une nouvelle méthode de mesure des perméabilités.

Summary and overview

ENSI

The Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI, acting as the regulatory body of the Swiss Confederation, assesses and monitors nuclear facilities in Switzerland. These include five nuclear power plants, the interim storage facilities based at each plant, the Central Interim Storage Facility ZWILAG at Würenlingen together with the nuclear facilities at the Paul Scherrer Institute (PSI) and the two universities of Basel and 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 the relevant facilities. It ensures that the facilities comply with regulations and operate according to the law. Its regulatory responsibilities also include the transport of radioactive materials to and from 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 a national emergency structure that would be activated in the event of a serious incident at a nuclear facility in Switzerland.

The legislative framework for the ENSI area of responsibility is as follows: the Nuclear Energy Act (NEA), the Nuclear Energy Ordinance (NEO), the Radiological Protection Act (StSG – only available in German), the Radiological Protection Ordinance (StSV – only available in German) together with other ordinances and regulations on reactor safety, the training of personnel, emergency preparedness, the transport of radioactive materials and the deep geological repository. Building on this legislative framework, ENSI formulates and updates its own guidelines. These guidelines stipulate the criteria for evaluating both the current activities and future plans of the operators of nuclear facilities. Table 10 in the Appendix to this report gives an overview of the guidelines. The current guidelines are also available on the ENSI website (www.ensi.ch).

ENSI produces regular reports on its regulatory activities and nuclear safety in Swiss nuclear facilities. It fulfils its statutory obligation to provide the public with information on particular events and

findings in nuclear facilities. ENSI also organises conferences at which information on specific topics is circulated.

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

These reports are also available on the ENSI website at www.ensi.ch as are a range of specialist articles.

Contents of the current report

Chapters 1 to 4 of the current Oversight Report deal with operational experience, systems technology, radiological protection and management of the nuclear power plants Beznau 1 and 2, Mühleberg, Gösigen and Leibstadt. Each chapter concludes with the ENSI safety rating for the relevant plant.

Chapter 5 deals with the Central Interim Storage Facility (ZWILAG) at Würenlingen. Chapters 6 and 7 cover the nuclear facilities at the Paul Scherrer Institute and the research reactors at the University of Basel and the Federal Institute of Technology in Lausanne. Chapter 8 deals with the transport of radioactive materials to and from Swiss nuclear facilities. Chapter 9 describes the work associated with the Sectoral Plan for Deep Geological Repositories for radioactive waste and Chapter 10 deals with generic issues relevant to all facilities, including for example probabilistic safety analyses. The Appendix contains a series of explanatory tables and diagrams.

Nuclear power plants

In 2011, all five nuclear power reactors in Switzerland (Beznau Units 1 and 2, Mühleberg, Gösigen and Leibstadt) were operated safely and ENSI concluded that they had complied with their approved operating conditions. Licensees complied with their statutory obligations to provide reports to ENSI. All plants were rated as possessing good nuclear safety.

In 2011, there were 27 reportable events divided as follows amongst the nuclear power plants in Switzerland: 7 events at Beznau, 5 at Gösigen, 11 at Leibstadt und 4 at Mühleberg.

On the international INES scale of 0 to 7, ENSI rated 26 of the 27 events in nuclear power plants last year as Level 0. One event – at the Mühleberg nuclear power plant – was rated as INES Level 1. This related to a potential blockage of the emergency water intake system in the event of extreme flooding. As a result, the operators BKW, shut down the Mühleberg plant ahead of the scheduled maintenance date and upgraded the system. ENSI evaluates the safety of each nuclear power plant by conducting a systematic safety evaluation. This takes account of both reportable events and other findings, in particular the results of the more than 400 inspections conducted by ENSI during 2011.

Central Interim Storage Facility Würenlingen

The Central Interim Storage Facility of ZWILAG at Würenlingen consists of several interim storage halls, a conditioning plant and a plasma plant (incineration/melting plant). At the end of 2011, the cask storage hall contained 34 transport/storage casks with fuel assemblies and vitrified residue packages as well as six casks with decommissioned waste from the experimental nuclear power plant at Lucens. At the end of 2011, about 17 % of the capacity of the HLW store had been used and about 23 % of the ILW store.

During the year, ZWILAG conducted two campaigns to incinerate and melt radioactive waste.

ENSI recorded no reportable events at ZWILAG during 2011.

ENSI concluded that ZWILAG had complied with its approved operating conditions during 2011.

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), such as the research reactor PROTEUS, the hot laboratory, the collection point for radioactive waste from medicine, industry and research and the Federal Interim Storage Facility. The capacity of the

Federal Interim Storage Facility was filled up to 85 %.

From the radiological standpoint, decommissioning work at the two research reactors DIORIT and SAPHIR progressed correctly. There were no further irradiation experiments during 2011 at the PROTEUS research reactor and operational activities were restricted to routine maintenance and checks.

During 2011, there were three reportable events at PSI relevant to nuclear safety. All were rated as INES Level 0. ENSI recorded one reportable event at the research reactor at the Federal Institute of Technology in Lausanne and none at the University of Basel.

ENSI concluded that the nuclear facilities at PSI and the research reactors at Lausanne and Basel had complied with their approved operating conditions during 2011.

Release of radioactive materials

Last year, the amount of radioactive material released into the environment via waste water and exhaust air from nuclear power plants, the Central Interim Storage Facility, the PSI and the nuclear facilities at Basel and Lausanne was considerably less than the limits specified in the operating licenses. They resulted in maximum calculated doses, including for those residents in the immediate vicinity of a plant, of less than 1 % of the annual exposure to natural radiation.

Transport of radioactive materials

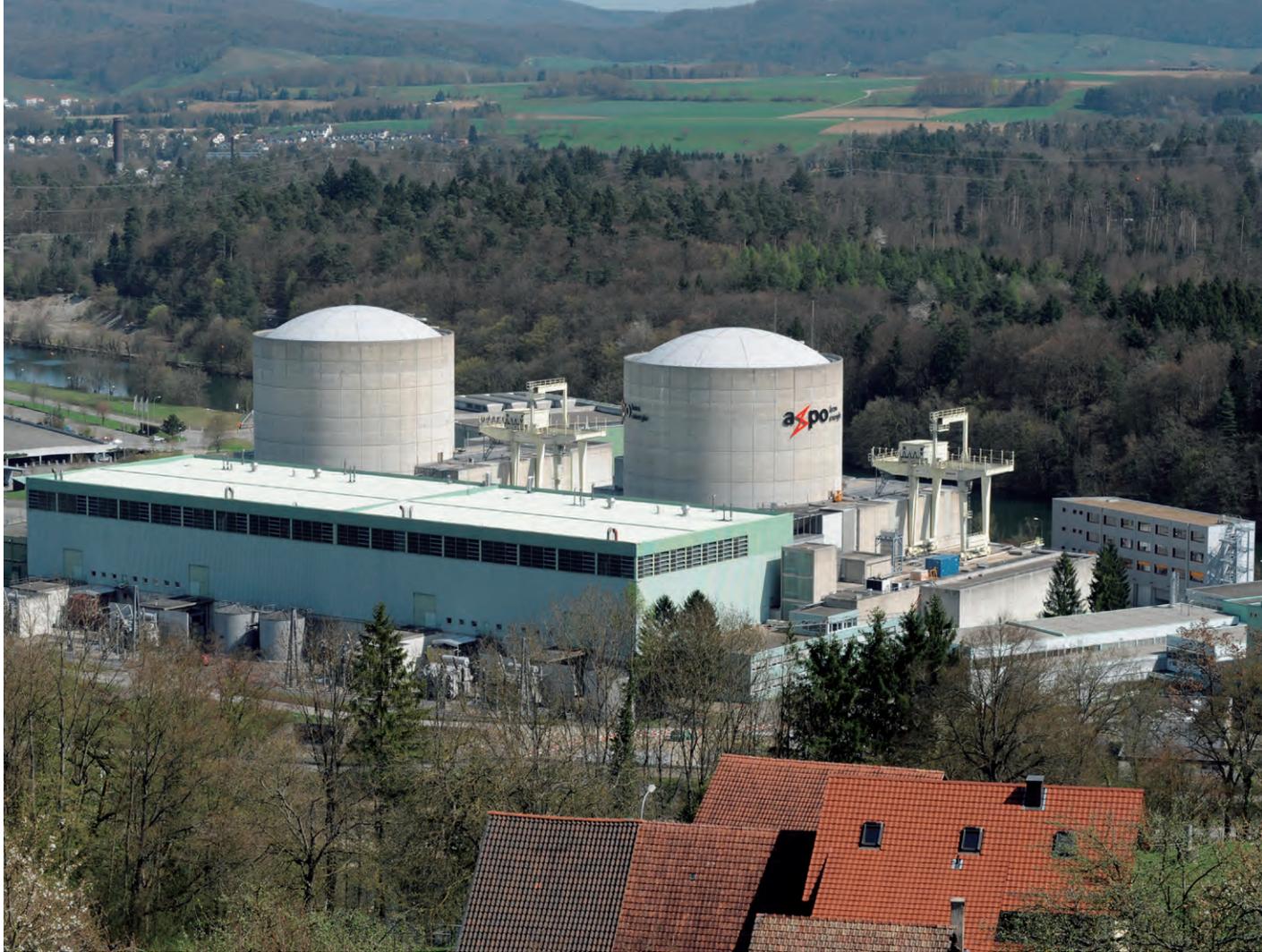
As a result of the 10-year moratorium, no spent fuel assemblies can be transported abroad until 2016. During 2011, two consignments of compacted reprocessing waste were transported from La Hague in France to the Central Interim Storage Facility in Würenlingen. The consignments of fuel assemblies and radioactive waste were transported in accordance with the limits specified in the regulations on the transport of hazardous waste and radiological protection.

Geological repository

As part of Stage 1 of the Sectoral Plan for the deep geological repository, NAGRA proposed six pos-

sible locations for the geological repository for low and medium-level waste and three for high-level waste. ENSI reviewed the procedure used by NAGRA and found it to be both transparent and understandable. It approved the proposed locations and recommended that they now progress to Stage 2 of the Sectoral Plan. The main ENSI demand was for more information on the host rock. In addition, ENSI demanded a systematic description of the hydraulic flow paths for the various locations and in-depth studies of structural issues.

During 2011, NAGRA, in association with international partners, continued its geological research at the Rock Laboratories of Grimsel (crystalline rock) and Mont Terri (Opalinus clay). For its part, ENSI is conducting an experiment at Mont Terri to determine the geo-mechanical behaviour of the Opalinus clay. In addition, it is participating in two other experiments: one to determine the drying-out behaviour of the tunnel walls of Opalinus clay another to evaluate a new method for measuring porosity.



Blick auf das
Kernkraftwerk Beznau.
Foto: ENSI

1. Kernkraftwerk Beznau

1.1 Überblick

Das Betriebsjahr 2011 war im Kernkraftwerk Beznau (KKB) durch einen weitgehend ungestörten Volllastbetrieb geprägt. Das ENSI stellt fest, dass das KKB die bewilligten Betriebsbedingungen immer eingehalten hat. Das ENSI beurteilt die Sicherheit des KKB im Jahr 2011 in beiden Blöcken hinsichtlich Auslegungs-Vorgaben als gut, hinsichtlich Betriebs-Vorgaben als hoch, hinsichtlich Zustand und Verhalten der Anlage als gut sowie hinsichtlich Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation als hoch.

Das KKB umfasst zwei weitgehend baugleiche Zwei-Loop-Druckwasserreaktor-Blöcke (KKB 1 und KKB 2), die in den Jahren 1969 bzw. 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 7a zeigt das Funktionsschema einer Druckwasserreaktor-Anlage.

Im **Block 1** kam es zu drei meldepflichtigen Vorkommnissen. Sie wurden alle der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeteilt.

Im Block 1 dauerte der Revisionsstillstand 13 Tage und diente primär dem Brennelementwechsel.

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

Während des 50-tägigen Revisionsstillstands wurden unter anderem Brennelemente ausgewechselt sowie die Hauptleitungen des primären Nebenkühlwassersystems und ausserhalb des Containments liegende Teile der Frischdampfleitungen ersetzt. Daneben wurden insbesondere System- und Komponententests beim Abfahren sowie beim Wiederanfahren der Anlage durchgeführt.

Im Berichtsjahr 2011 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 102 Inspektionen durchgeführt. Wo erforderlich, verlangte das ENSI Verbesserungsmaßnahmen und überwachte deren Umsetzung.

Vier Reaktoroperateure und zwei Schichtchefs bestanden ihre Zulassungsprüfung.

1.2 Betriebsgeschehen

Die Blöcke KKB 1 und KKB 2 erreichten im Jahr 2011 eine Arbeitsausnutzung von 96,0 % bzw. 85,7 % und eine Zeitverfügbarkeit von 96,6 % bzw. 86,3 %, wobei der unproduktive Anteil jeweils im Wesentlichen auf den Revisionsstillstand zurückzuführen war.

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 2011 auf insgesamt 170,4 GWh.

Im **Block 1** dauerte der Revisionsstillstand 13 Tage, im **Block 2** 50 Tage.

Im **Block 1** ereigneten sich 2011 drei meldepflichtige Vorkommnisse, welche vom ENSI der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeteilt wurden. Für die systematische Sicherheitsbewertung wird auf Kap. 1.8 verwiesen, für die risikotechnische Beurteilung auf Kap. 10.1.

■ Am 30. April 2011 führte eine Störung im Regelkreis der Rückkühlung einer Kälteanlage zu einem kurzzeitigen Ausfall der beiden Kältekompressoren. Die betroffene Kälteanlage dient der Raumkühlung des Notstandgebäudes. Die Störung wurde nach einer halben Stunde behoben. Die Ursache konnte nicht eindeutig ermittelt werden. Angesichts der kurzen Dauer hatte die Störung keinen Einfluss auf die Verfügbarkeit der Notstandssysteme und auf den Anlage-

betrieb. Damit im Falle einer erneuten, gleichartigen Störung die Ursache genauer eingegrenzt werden kann, wurde temporär eine zusätzliche Überwachungsinstrumentierung eingesetzt.

■ Am 16. Juni 2011 wurden an der Dichtschweißnaht des Rückschlagventils der Hilfssprühung an drei Stellen geringe Borsäureablagerungen festgestellt. Alle drei Ablagerungen waren deutlich kleiner als 1 cm³. Eine Farbeindringprüfung nach der Entfernung der Ablagerungen zeigte keinen Befund. Die Schweißnaht dient der Abdichtung des darunter liegenden Gewindes des eingeschraubten Deckels und zusätzlich der Sicherung der Verschraubung. Sie hat keine tragende Funktion. Die drucktragende Funktion wird durch das Gewinde übernommen. In der Umgebung der Armatur gibt es keine ferritischen Komponenten, die durch eine allfällige Tropfleckage beschädigt werden könnten. Das Rückschlagventil wird im laufenden Betriebszyklus periodisch inspiziert. Die bisherigen Inspektionen haben keinen Befund ergeben.

■ Im Rahmen eines wöchentlichen Tests wurde am 27. September 2011 die Nichtverfügbarkeit der Stabpositionsanzeige von vier Stäben der Regelbank A festgestellt. Ursache war eine defekte Elektronikarte. Die Elektronikarte wurde ausgetauscht und die korrekte Funktion der Stabpositionsanzeige überprüft. Alle Steuerstäbe befanden sich während des Vorkommnisses in ihrer vorgesehenen Position. Die Schnellabschaltfunktion, bei deren Auslösung sämtliche Steuerstäbe in den Reaktorkern einfallen, ist unabhängig von der Stabpositionsanzeige und war damit jederzeit gewährleistet.

Im **Block 2** ereigneten sich in diesem Jahr vier Vorkommnisse. Alle wurden der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeteilt.

■ Am 13. Juli 2011 führte eine Störung im Regelkreis einer Kälteanlage zu einer kurzzeitigen Nichtverfügbarkeit. Die betroffene Kälteanlage dient der Raumkühlung des Notstandgebäudes. Die Störung wurde innert 35 Minuten behoben. Die Ursache konnte nicht eindeutig ermittelt werden. Angesichts der kurzen Dauer hatte die Störung keinen Einfluss auf die Verfügbarkeit der Notstandssysteme und auf den Anlagebetrieb. Damit im Falle einer erneuten vergleichbaren Störung die Ursache genauer eingegrenzt werden kann, wurde temporär, wie im Block 1, eine zusätzliche Überwachungsinstrumentierung eingesetzt. Bis Ende 2011 kam es in keinem Block zu einem weiteren Ausfall der Kälteanlage.

- Im Rahmen der Alterungsüberwachung wurden die Eigenbedarfstransformatoren zweier 6-kV-Gruppenschiene zu Beginn der Revisionsabstellung ausgebaut. Um die zeitliche Nichtverfügbarkeit gering zu halten, wurden die drei ausgebauten Transformatoren (einer pro Phase) einer Gruppenschiene durch Reservetransformatoren ersetzt. Zwei dieser Reservetransformatoren waren in fabrikneuem Zustand. Der dritte Transformator war in der Vergangenheit schon einmal für ein Jahr im Block 1 in Betrieb gewesen. Beim Start einer Speisewasserpumpe am 26. September 2011 löste der Differenzialschutz eines Transformators aus. Die Gruppenschiene und damit die von ihr versorgte 400-V-Schiene 21BDH wurden spannungslos. Dadurch war die Versorgung der nicht in Betrieb stehenden Brennelementlager-Umwälzpumpe B für ca. 15 Minuten unterbrochen. Die Betriebsbereitschaft der Umwälzpumpe B wurde durch die Versorgung mit einer anderen Schiene wieder sichergestellt. Ursache der Störung waren an den fabrikneuen Transformatoren zum Schutz der Stromwandler temporär installierte elektrische Kurzschlussbrücken. Diese waren bei der Montage nicht ausgebaut worden. Die Brennelementlagerkühlung war jederzeit gewährleistet, da die in Betrieb stehende Umwälzpumpe A von einer nicht betroffenen Schiene versorgt wird. Die Kurzschlussbrücken wurden entfernt und so der ordnungsgemäße Zustand hergestellt.
- Am 17. Dezember 2011 trat während des monatlichen Probelaufs der Notstand-Umluftkühler beim Start des Ventilators eine Störungsmeldung auf. Der Umluftkühler dient im Notstandsfall der Kühlung von zwei Räumen mit elektromechanischen Anlagen. Ursache war ein Erdschluss im Klemmenkasten des Ventilatormotors. Nach Behebung des Isolationsschadens konnte der Probelauf erfolgreich durchgeführt werden.
- Am 29. Dezember 2011 wurde im Kommandoraum die Nichtverfügbarkeit der Stabpositionsanzeige von vier Stäben der Regelbank B festgestellt. Als Fehlerursache wurde – wie beim Vorkommnis in Block 1 vom 27. September 2011 – eine defekte Elektronikarte ermittelt. Die Elektronikarte wurde ausgetauscht und die korrekte Funktion der Stabpositionsanzeige überprüft. Die defekten Karten wurden jeweils vom Hersteller untersucht, wobei sich keine Hinweise auf systematische Fehler ergaben. Alle Steuerstäbe befanden sich während des Vor-

kommnisses in ihrer vorgesehenen Position. Die Schnellabschaltfunktion ist unabhängig von der Stabpositionsanzeige und war damit jederzeit gewährleistet.

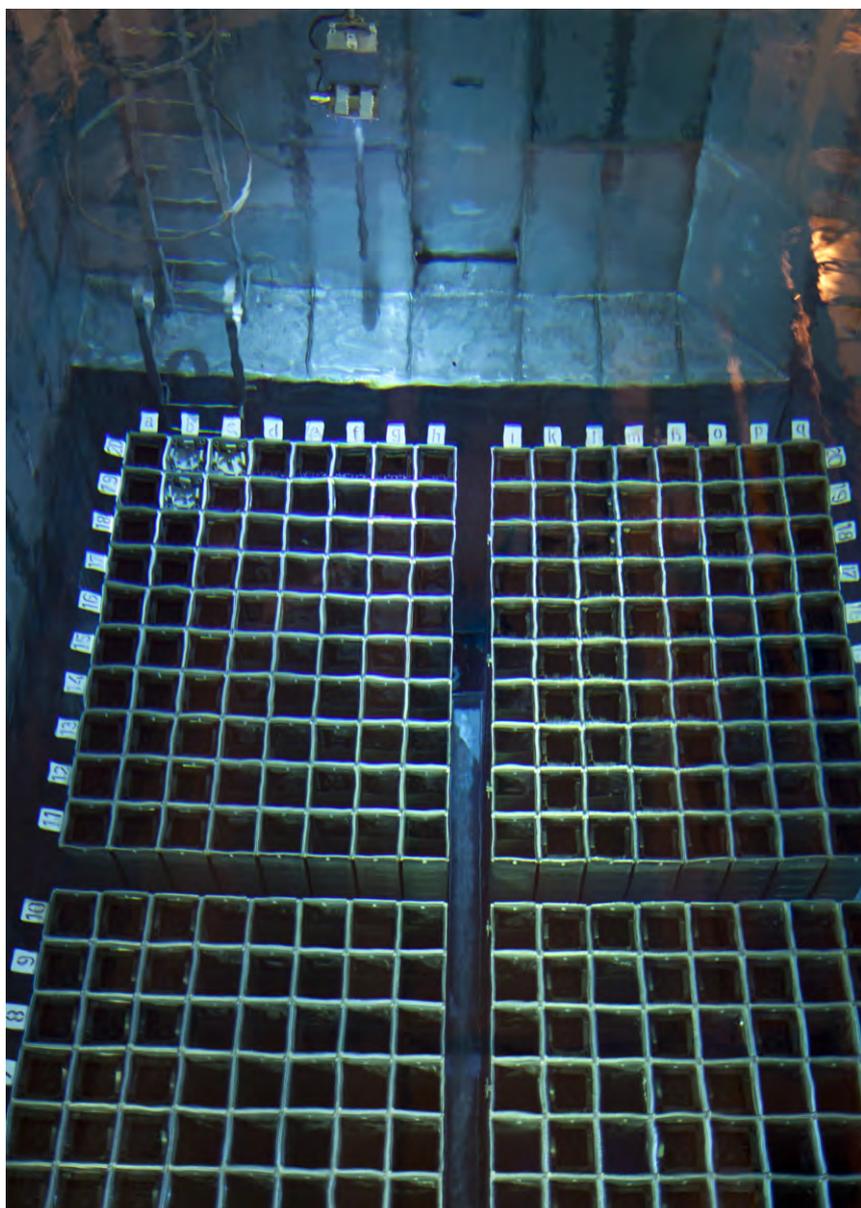
Eine Zusammenstellung von Vorkommnissen der vergangenen zehn Jahre ist im Anhang in Figur 2 dargestellt. Eine Übersicht über die meldepflichtigen Vorkommnisse im Berichtsjahr findet sich in Tabelle 4.

1.3 Anlagentechnik

1.3.1 Revisionsarbeiten

Der **Block 1** wurde vom 7. bis 20. Juni 2011 vom Netz getrennt und für den Brennelementwechsel abgestellt. Weitere Arbeiten waren System- und Komponententests beim Abfahren sowie beim Wiederanfahren der Anlage. Am RDB wur-

Brennelement-Lagerbecken.
Foto: KKB



den visuelle Prüfungen durchgeführt, insbesondere am RDB-Deckel, an den Regelstabantrieben und an den Regelstab-Antriebsstangengehäusen. Zusätzlich wurden die Lippdichtschweissnähte der Regelstab-Antriebsstangengehäuse in die Prüfungen einbezogen. Es wurden keine bewertungspflichtigen Anzeigen festgestellt. An den Lippdichtschweissnähten wurden keine Borsäureablagerungen gefunden.

An einem Rückschlagventil im Hilfssprühsystem wurden Borsäureablagerungen gefunden (vgl. Kap. 1.2).

Im Rahmen der Wiederholungsprüfungen elektrischer Ausrüstungen wurden alle von der Technischen Spezifikation verlangten wiederkehrenden Funktionskontrollen und Prüfungen an elektrischen und leittechnischen Ausrüstungen erfolgreich durchgeführt.

Im Revisionsstillstand des **Blocks 2** vom 12. August bis 1. Oktober 2011 wurden geplante Tätigkeiten wie Brennelementwechsel, Inspektionen mechanischer und elektrischer Einrichtungen, zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen, wiederkehrende Funktionsprüfungen an Komponenten und Systemen sowie Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten durchgeführt. In Ergänzung zu den Revisionsarbeiten wurden zahlreiche Anlagenänderungen vorgenommen (vgl. Kap. 1.3.2).

Nachfolgend sind die wichtigsten zerstörungsfreien Prüfungen aufgeführt:

- Mit einem qualifizierten Ultraschall-Prüfsystem wurden am RDB die Deckeldurchführungsröhre im Bereich der Einschweissnähte auf axial- und umfangsorientierte Risse und Leckagepfade

untersucht. Es wurden weder Rissanzeigen noch Leckagepfade festgestellt.

- Die Mischnähte von sieben Deckeldurchführungen des RDB wurden mit einem mechanisierten Wirbelstromprüfsystem von der Unterseite des Deckels aus geprüft. Ziel war die Untersuchung auf Spannungsrisskorrosion und Ermüdungsrisse an der inneren Oberfläche der Mischnähte und des angrenzenden Grundwerkstoffes. Es ergaben sich keine registrierpflichtigen Anzeigen.
- An den Lippdichtschweissnähten der Regelstab-Antriebsstangengehäusen wurden visuelle Prüfungen durchgeführt. Es wurden keine Borsäureablagerungen festgestellt.
- Die Heizrohre der beiden Dampferzeuger wurden mit einem mechanisierten Wirbelstromprüfsystem geprüft. Die Prüfungen untersuchten die Heizrohre auf Ermüdungsrisse und Spannungsrisskorrosion an den inneren und äusseren Rohroberflächen sowie auf Wanddickenschwächungen der Rohre infolge von Abrieb im Bereich der Stützkonstruktion. Die Prüfungen ergaben keine bewertungspflichtigen Anzeigen.
- Bei der Prüfung der Kerninstrumentierungsrohre ergab sich ein Befund, der auf einen deutlichen lokalen Wandstärkenabtrag hinwies. Als Erstmassnahme hat das KKB entschieden, das betroffene Instrumentierungsrohr nicht mehr zu verwenden und zu verschliessen. Das ENSI ist mit dem Vorgehen einverstanden, hat aber ein Instandhaltungskonzept verlangt.
- An sieben von zehn Engspaltschweissnähten der Hauptkühlmittelleitungen wurden mechanisierte Ultraschallprüfungen durchgeführt. Es wurde dabei besonders auf betriebsinduzierte Fehler längs und quer zur Schweissnaht geachtet. Es ergaben sich keine bewertungspflichtigen Anzeigen.
- Die plattierte Innenoberfläche des Druckhalters wurde in ausgewählten Bereichen einer indirekten visuellen Prüfung mit einem Kamerasystem unterzogen. Die gezielte Prüfung auf Oberflächenfehler umfasste die Bereiche der rostfreien Plattierung im mittleren Übergangsbereich von der Dampfphase zur flüssigen Phase im Normalbetrieb sowie die Kanten der Instrumentierungsstutzen und der Entlastungsstutzen. Es zeigten sich keine bewertungspflichtige Auffälligkeiten.

Im Rahmen der Wiederholungsprüfungen elektrischer Ausrüstungen wurden alle von der Technischen Spezifikation verlangten wiederkeh-

Pumpen im
Primärteil des
Notstandsgebäudes.
Foto: KKB



renden Funktionskontrollen und Prüfungen an elektrischen und leittechnischen Ausrüstungen erfolgreich durchgeführt.

1.3.2 Anlageänderungen

Im **Block 1** wurden folgende Anlageänderungen durchgeführt:

- Um den Zustand des Blocktransformatorenöls laufend zu überwachen, wurde ein System zur Messung des Gas- und Wassergehalts installiert. Es ergänzt die statische Probenanalyse während der Revisionsstillstände.
- Im Rahmen des Ersatzes der elektrischen Installationen des Rundlaufkrans und dem Ersatz der Krankatze wurden Vorbereitungsarbeiten ausgeführt.

Im **Block 2** wurden folgende Anlageänderungen durchgeführt:

- Alle Bögen und die geraden Rohre der Frischdampfleitungen im Bereich zwischen den Containmentdurchdringungen und den Schnellschlussarmaturen wurden ersetzt. Die Leitungen wurden erneuert, da in den Jahren 2006 und 2007 herstellungsbedingte lokale Unterschreitungen der rechnerischen Mindestwandstärke festgestellt worden waren. Der Weiterbetrieb wurde damals durch das ENSI befristet freigegeben. Bei der Kontrolle der Arbeiten wurde an einer Schweißnaht zwischen Alt- und Neuleitung wieder eine lokale Wanddickenschwächung festgestellt. Ursache waren nicht sachgemäss durchgeführte Schleifarbeiten nach dem Schweißen. Die Unterschreitung lässt nur einen befristeten Weiterbetrieb der Rohrleitung zu. Die Reparatur findet 2013 statt.
- Jeweils eine der doppelt vorhandenen Containment-Absperrarmaturen beim Ringraum-Rückpumpsystem und beim Aktivitätsüberwachungssystem wurde in das Containment versetzt. Diese Anlageänderung führt zu einer Verbesserung der Erdbebensicherheit der Containmentisolation.
- Die Leitungen des primären Nebenkühlwassersystems waren grösstenteils aus Kohlenstoffstahl gefertigt und seit 40 Jahren ununterbrochen im Einsatz. Unter dem Einfluss des sauerstoffreichen Aarewassers musste mit Wanddickenschwächungen durch Korrosion und Leckagen gerechnet werden. Deshalb wurden alle Hauptleitungen des Systems durch solche in rostfreier Qualität ersetzt. Zur Verbesserung der Wasserversorgung bei Anlagestillständen soll zukünftig der stillstehende Block aus dem Zulaufkanal des laufenden Blocks versorgt

werden. Dazu wurde der Anschluss zum Kanal der Turbogruppe 21 erstellt und die zugehörigen Armaturen eingebaut. Die Inbetriebnahme erfolgt aber erst nach der Realisierung der entsprechenden Massnahme im Block 1.

- Im Rahmen des altersbedingten Ersatzes der gesamten elektrischen Installationen der Rundlaufkrane und dem Ersatz der Krankatzen beider Blöcke wurde der Rundlaufkran des Blocks 2 umfassend saniert. Die Arbeiten bestanden aus dem Ersatz der bestehenden Krankatze durch eine neu konstruierte Krankatze mit von 93 t auf 100 t erhöhter Traglast, dem Austausch sämtlicher elektrischer Installationen inklusive Kransteuerung sowie der Sanierung der bestehenden Kranbrücke. Die mechanische Auslegung der Katze erfolgte neu nach dem KTA-Regelwerk und erfüllt somit einen höheren Sicherheitsstandard als bisher.
- Die 125 Niederspannungs-Leistungsschalter werden in einem Zeitraum von fünf Jahren ersetzt. Während des Revisionsstillstands 2011 wurden 36 Schalter in den klassierten Schaltanlagen ausgewechselt.

Die geänderten Systeme und Komponenten wurden vor dem Wiederauffahren der Anlage getestet und funktionierten einwandfrei.

1.3.3 Brennelemente, Steuerstäbe und Reaktorkern

Im Betriebszeitraum traten keine Defekte an Brennelementen auf. Die Integrität der ersten Barriere zum Schutz gegen den Austritt radioaktiver Stoffe war somit gegeben.

Notstand-Sicherheits-einspeisepumpe.
Foto: KKB



Die Blöcke 1 und 2 des KKB werden mit je 121 Brennelementen betrieben. Während der Revisionsstillstände wurden in beiden Blöcken je 20 abgebrannte durch 20 neue Brennelemente ersetzt. Bei den neuen Brennelementen handelt es sich um Brennelemente mit wiederaufgearbeitetem Uran (WAU), das bis zu 4,65 Gewichtsprozent Spaltstoff aufweist. Der Reaktorkern des Blocks 1 enthält im 40. Betriebszyklus 5 Uran-Brennelemente, 108 WAU-Brennelemente und 8 Brennelemente mit Uran/Plutonium-Mischoxid (MOX). Der Reaktorkern des Blocks 2 enthält im 38. Zyklus 97 WAU- und 24 MOX-Brennelemente. Entsprechend dem langfristigen Steuerstab-Inspektionsprogramm wurde während der Revisionsabstellung die Wirbelstromprüfung sämtlicher Steuerstäbe von Block 2 durchgeführt. Die Prüfung ergab, dass sich nach einer Einsatzdauer von 18 bis 22 Jahren alle Stäbe in einem einsatzfähigen Zustand befinden.

Die Reaktorkerne beider Blöcke sind im Berichtszeitraum auslegungsgemäss und im bewilligten Rahmen betrieben worden. Die neuen Kernbeladungen erfüllten die Anforderungen. Das Wiederanfahren beider Blöcke verlief einwandfrei und wurde vor Ort durch das ENSI inspiziert. Die Ergebnisse der reaktorphysikalischen Messungen stimmten gut mit den Ergebnissen der Kernausslegungsberechnungen überein. Die Betriebsgrenzen wurden eingehalten.

1.3.4 Massnahmen nach Fukushima

Wie im Kapitel 10.3 dargestellt, forderte das ENSI aufgrund des Unfalls von Fukushima bis zum 31. März 2011 einen ersten Bericht zu Fragen der Auslegung bezüglich Erdbeben und Überflutung, den das KKB fristgerecht einreichte. Aufgrund des Berichts bezeichnete das ENSI in seiner Verfügung vom 5. Mai 2011 folgende verbesserungsbedürftige Punkte:

- Das Erdbebenverhalten des Nebengebäudes B (Brennelementlager) ist verbesserungsbedürftig. Ein Erdbeben könnte zum Versagen einer nicht tragenden Backsteinwand führen. Die Tragfähigkeit des Gebäudes wird dadurch nicht gefährdet, doch ist zum Schutz der Brennelemente eine Massnahme notwendig.
- Im KKB steht kein gegen Erdbeben und Überflutung ausreichend geschütztes System zur Kühlung der Brennelementbecken zur Verfügung. Für den Fall eines schweren Erdbebens oder einer schweren Überflutung ausschliesslich vor Ort durchzuführende Handmassnahmen vorzu-

bereiten, erachtet das ENSI vor dem Hintergrund der Erkenntnisse aus Japan als nicht ausreichend.

- Die vorhandenen anlageinternen Notfallmassnahmen zur Gewährleistung des Wasserinventars und zum Abführen der Nachwärme bei Ausfall der Kühlung der Brennelementbecken sind aus Sicht des ENSI nicht abdeckend. Für Situationen, in denen die Becken nur erschwert zugänglich sind oder die Lüftung im Brennelementlager nicht verfügbar ist, sind weitere Vorkehrungen zu treffen.

Das ENSI verlangte vom KKB bis zum 31. August 2011 geeignete Lösungsansätze.

Am 30. Juni 2011 reichte das KKB den geforderten Nachweis der Beherrschung eines 10 000-jährlichen Hochwassers ein. In seiner Stellungnahme vom 31. August 2011 ist das ENSI zum Ergebnis gekommen, dass das KKB den Nachweis unter den vom ENSI gesetzten Randbedingungen erbracht hat.

In Erfüllung der Verfügung vom 5. Mai 2011 hat das KKB fristgerecht am 31. August 2011 die geplanten weiteren Nachrüstungen dargelegt. Diese umfassen die Verbesserung des Erdbebenverhaltens der Brennelementlager-Gebäude, die Errichtung eines zusätzlichen Kühl- und Nachspeisesystems für die Brennelementbecken, die Erweiterung des bestehenden alternativen Brennelementbecken-Kühlsystems um eine Nachspeisemöglichkeit, die Nachrüstung einer Druckentlastungsleitung, um Dampf und damit auch Wärme aus dem Brennelementlager-Gebäude abzuführen, und die Nachrüstung einer störfallfesten Instrumentierung für die Füllstands- und Temperaturüberwachung der Brennelementbecken. Das ENSI hat am 11. November 2011 den vorgelegten Zeitplan zur Umsetzung der geplanten Massnahmen für angemessen erachtet und das KKB aufgefordert, die erforderlichen Antragsunterlagen der Hierarchiestufe 1 bis Ende Dezember 2011 einzureichen. Das KKB hat entsprechende Unterlagen fristgerecht eingereicht.

Das KKB hat entsprechend der in Kapitel 10.3 erwähnten ENSI-Verfügung vom 1. Juni 2011 fristgerecht am 31. Oktober 2011 einen Bericht zur Neubewertung der Sicherheitsmargen im Rahmen des EU-Stresstests vorgelegt. Das ENSI hat am 31. Dezember 2011 der EU einen nationalen Bericht eingereicht.

Aufgrund der Erkenntnisse aus Fukushima führte das ENSI im KKB zusätzliche Inspektionen durch:

Am 25. Mai 2011 überprüfte das ENSI die für

Auslegungsstörfälle und auslegungüberschreitende Störfälle getroffenen Vorsorgemassnahmen zur Kühlung der Brennelementbecken. Verbesserungsbedarf stellte das ENSI fest hinsichtlich der Vorgaben für den Fall einer gestörten Rückleitung des Kühlwassers aus dem Brennelementbecken und hinsichtlich der periodischen Funktionsprüfung des alternativen Brennelementbecken-Kühlsystems.

In einer am 18. November 2011 durchgeführten Schwerpunktinspektion des Systems zur gefilterten Druckentlastung des Containments identifizierte das ENSI punktuellen Verbesserungsbedarf hinsichtlich der Einsatzbedingungen für Personal, das Schaltheilungen am Druckentlastungssystem vornehmen muss. Dieser Verbesserungsbedarf betrifft Vorkehrungen für die Beleuchtung bei einem Stromausfall und Vorkehrungen zur Minimierung der Aufenthaltszeit in Bereichen mit erhöhter Strahlung.

Das ENSI verlangte entsprechende Abklärungen und Korrekturmassnahmen.

1.4 Strahlenschutz

Im Kalenderjahr 2011 wurden im KKB folgende Kollektivdosen ermittelt:

Aktionen	KKB 1	KKB 2	KKB 1 und 2
Aktionen	KKB 1	KKB 2	KKB 3
Revisionsstillstand	104 Pers.-mSv	399 Pers.-mSv	503 Pers.-mSv
Leistungsbetrieb	39 Pers.-mSv	35 Pers.-mSv	74 Pers.-mSv
Jahreskollektivdosis	143 Pers.-mSv	434 Pers.-mSv	577 Pers.-mSv

Im Kalenderjahr 2011 wurde in den beiden Blöcken des KKB eine Kollektivdosis von 577 Pers.-mSv verzeichnet. Die höchste im KKB registrierte Individualdosis betrug 7,5 mSv und lag deutlich unterhalb des Dosisgrenzwerts nach Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Das entsprechende betriebseigene Planungsziel von maximal 10 mSv pro Person und pro Jahr wurde eingehalten. Es wurden weder Personenkontaminationen, die nicht mit herkömmlichen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen über der Triageschwelle gemäss Dosimetrieverordnung festgestellt.

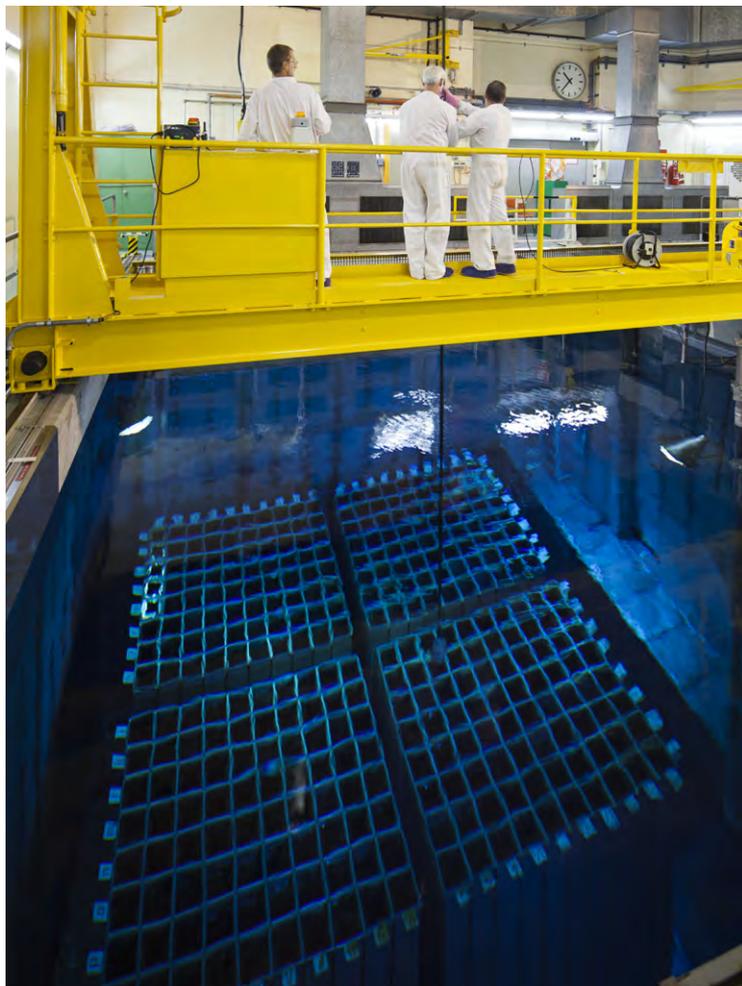
Das ENSI hat bei einer Inspektion festgestellt, dass die Unterdruckstaffelung im Sicherheitsgebäude des KKB 2 nicht den generellen Anforderungen an die kontrollierte Zone entsprach. Diese verlan-

gen, dass bei unterschiedlichen Zonentypen die Luft stets in Richtung der höher eingestufteten Zone strömt. An der Notschleuse bestanden unzulässige Druckverhältnisse mit einer Luftströmung aus dem Containment in das Hilfsanlagegebäude. Das ENSI hat diesen Zustand als Abweichung bewertet. Das KKB wurde aufgefordert, eine korrekte Unterdruckstaffelung sicherzustellen. Diese Forderung wurde erfüllt.

Die übrigen Inspektionsergebnisse haben gezeigt, dass der Strahlenschutz im KKB sonst gut funktioniert und dem Optimierungsprinzip entspricht. Das Abfahren zum geplanten Brennelementwechsel im Block 1 verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Die akkumulierte Kollektivdosis von 104 Pers.-mSv lag nahe bei der Planungs-dosis von 100 Pers.-mSv.

Im Block 2 wurde im Berichtsjahr eine vergleichsweise lange Revisionsabstellung durchgeführt. Das Abfahren verlief wie im Block 1 ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Die Kollektivdosis des Personals für die Revision wurde mit 425 Pers.-mSv geplant, akkumuliert wurden 399 Pers.-mSv. Durch engagiertes und erfahrenes Eigenpersonal und mit einem erhöhten Fremdpersonalbestand wirkte das KKB der seit 2010 engen Personalsituation in der Leitung des operationellen Strahlenschutzes entgegen, so dass im Berichtsjahr die administrativen und technischen Strahlenschutz- und Überwachungsaufgaben adäquat ausgeübt werden konnten. Die Erhöhung des Fremdpersonalbestands war auch deshalb notwendig, weil der Eigenpersonalbestand in Anbetracht der umfangreichen strahlenschutzrelevanten Arbeiten während der Revisionen zu gering war. Das ENSI stellt fest, dass das KKB bestrebt ist, zukünftig gut qualifiziertes, erfahrenes und motiviertes Strahlenschutzfachpersonal für den längerfristigen Normalbetrieb der Doppelblockanlage und für die geplanten anspruchsvollen Revisionen zur Verfügung zu haben.

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. Die für Druckwasserreaktoren typischen Tritium-Abgaben des KKB betragen rund 12 % des Jahresgrenzwerts. Die quartalsweise vom ENSI durchgeführten Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern zeigten Übereinstimmung mit den vom KKB gemeldeten Analyseergebnissen.



Arbeiten über dem
Brennelement-
Lagerbecken.
Foto: KKB

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 rund 0,001 mSv für Erwachsene, 0,0013 mSv für Zehnjährige und 0,0021 mSv für Kleinkinder und lag deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv/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. Die Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD), die an ausgewählten Stellen am Zaun des Kraftwerkareals angebracht sind, zeigten keine nennenswerte Erhöhung gegenüber der Untergrundstrahlung. 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 Kraftwerksare-

als 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 2011 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. Der Anfall an radioaktiven Rohabfällen (vgl. Tabelle 8) war im Berichtsjahr mit 26 m³ geringer als im Vorjahr. Der Anfall bewegt sich in der mehrjährigen Schwankungsbreite auf einem niedrigen Niveau.

Die radioaktiven Rohabfälle werden gesammelt, kampagnenweise konditioniert und anschliessend zwischengelagert. Die im KKB vorhandenen unkonditionierten Abfälle sind in dafür vorgesehenen Räumlichkeiten der kontrollierten Zone aufbewahrt (Nebenanlagegebäude, ZWIBEZ). Der Bestand an unkonditionierten Abfällen liegt im KKB mit 71 m³ unter dem Fünfjahresmittelwert. Brenn- und schmelzbare Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in der Plasma-Anlage der ZWILAG bereitgestellt und dorthin transportiert.

Als Konditionierungsverfahren kommen im KKB die Einbindung von Harzen in Polystyrol sowie die Zementierung von Schlämmen zum Einsatz. Für alle Verfahren liegen die gemäss Kernenergieverordnung und Richtlinie ENSI-B05 erforderlichen Typengenehmigungen vor. Im Berichtsjahr wurden verbrauchte Ionenaustauscherharze und Schlämme konditioniert. Ferner wurde auch ein Gebinde mit Filterkerzen zementiert.

Die konditionierten Abfallgebände werden routinemässig in die werkseigenen Zwischenlager (Rückstandslager und SAA-Lager des ZWIBEZ) eingelagert. Das KKB nutzt aber auch die Kapazitäten des zentralen Zwischenlagers in Würenlingen. 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 Jahr 2011 insgesamt 55 t Material gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B04 freigemessen.

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 November 2011 anlässlich der Werksnotfallübung ARALKUM die Notfallorganisation beobachtet und beurteilt. Bei der Übung wurde ein Szenario unterstellt, bei dem alle externen Stromeinspeisungen und die gesamte Kühlwasserversorgung verloren gingen. Die Massnahmen konzentrierten sich auf die Bespeisung der Dampferzeuger zur Abfuhr der Nachwärme aus dem Reaktorkern und Accident-Management-Massnahmen zur Notstromversorgung. Die Übung zeigte insbesondere den erfolgreichen Einsatz von Feuerwehrmitteln zur Bespeisung der Dampferzeuger und die Erstellung einer Notstromversorgung durch mobile Aggregate.

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

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

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

1.7 Personal und Organisation

1.7.1 Organisation und Betriebsführung

Im Berichtsjahr hat das KKB zur Unterstützung grosser Nachrüstprojekte eine neue Stabstelle geschaffen. Ende 2011 betrug der Personalbestand des KKB 543 (2010: 536) Personen.

Im Februar und März 2011 hat ein internationales Team von 29 Experten der World Association of Nuclear Power Operators (WANO) die Arbeitsweise des KKB überprüft. Diese Experten sind Spezialisten aus Kernkraftwerken aus verschiedenen Ländern. Aufgrund von Beobachtungen und Interviews mit Mitarbeitenden des KKB erstellten sie einen Bericht mit Empfehlungen für Verbesserungen. Im Gegensatz zu den Berichten von OSART-Missionen (siehe Kapitel 2.7.1) sind die WANO-Berichte ausschliesslich den WANO-Mitgliedern zugänglich. Dadurch sind die Gespräche zwischen Experten und Überprüften und auch die Empfehlungen viel offener und direkter. In allen schweizerischen Kernkraftwerken wurden bereits mehrere WANO-Peer-Reviews durchgeführt. Das ENSI wurde über den Ablauf dieser Peer Reviews jeweils informiert.

Im KKB begeben sich leitende Angestellte regelmässig auf Rundgänge in der Anlage und protokollieren ihre Feststellungen zum Zustand der Anlage und zum Verhalten des Personals. In Gesprächen mit den Mitarbeitenden vor Ort erhalten sie zusätzlich wertvolle Hinweise für mögliche Verbesserungen. Die Feststellungen werden systematisch analysiert und wo nötig in Massnahmen umgesetzt.

1.7.2 Personal und Ausbildung

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

Das ENSI hat eine Inspektion zum Ausbildungsprogramm der Abteilung Betrieb durchgeführt. Gegenstand der Inspektion waren die anlagen-spezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator sowie die allgemeine Wiederholungsschulung. Mit der Einführung eines E-Learning-Tools, dem Ausbau der Kurse am Soft-Panel-Simulator und dem vermehrten Simulatortraining der Schichtgruppen gemeinsam mit anderen Teilen der Notfallorganisation wurde das Ausbildungsprogramm weiterentwickelt. Es erfüllt die Anforderungen der Richtlinie ENSI-B10.

1.8 Sicherheitsbewertung

1.8.1 Block 1: Detaillierte Bewertung

Im Jahr 2011 beurteilte das ENSI mit dem im Anhang (Kapitel Sicherheitsbewertung) beschriebenen System rund 190 Inspektionsgegenstände, Ergebnisse von Zulassungsprüfungen, Einzelaspekte von Vorkommnisabläufen und Sicherheitsindikatoren bezüglich ihrer Bedeutung für die nukleare Sicherheit (einschliesslich für beide Blöcke relevante Beurteilungen). Berücksichtigt wurden zusätzlich die im Rahmen der ENSI-Verfügung vom 5. Mai 2011 identifizierten Befunde (vgl. Kap. 1.3.4). Dabei kam das ENSI für die einzelnen Zellen der Sicherheitsbewertungs-Matrix zu folgenden zusammenfassenden Beurteilungen:

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

Sicherheitsbewertung 2011 KKB1:
Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge

Zellen ohne Bewertung bedeuten, dass weder Inspektionsergebnisse, Vorkommnisse noch Sicherheitsindikatoren eine Bedeutung für diese Zellen hatten. Im Folgenden werden jene Zellenbewertungen begründet, die in die Kategorien A (Abweichung) und höher gehören. Die aufgeführten Sachverhalte sind in den Unterkapiteln 1.1 bis 1.7 ausführlicher behandelt. Die Mehrzahl der Sachverhalte ist sowohl für Sicherheits-ebenen oder Barrieren als auch für Schutzziele von Bedeutung.

Ebene 1, Zustand und Verhalten der Anlage: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Wegen einer defekten Elektronikarte war die Positionsanzeige von vier Steuerstäben kurzfristig nicht verfügbar.

Ebene 2, Zustand und Verhalten der Anlage: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Die unter Ebene 1 genannte Nichtverfügbarkeit der Positionsanzeige von Steuerstäben war auch für die Ebene 2 von Bedeutung.

Ebene 3, Auslegungs-Vorgaben: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Das Erdbebenverhalten des Nebengebäudes B (Brennelementlager) ist verbesserungsbedürftig.
- Im KKB steht kein gegen Erdbeben und Überflutung ausreichend geschütztes System zur Brennelementbeckenkühlung zur Verfügung.

Ebene 3, Zustand und Verhalten der Anlage: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Durch eine Störung der Regelung war die Notstand-Kälteanlage kurzfristig nicht betriebsbereit.

Ebene 4, Auslegungs-Vorgaben: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Die anlageinternen Notfallmassnahmen zur Gewährleistung des Wasserinventars und zur Nachwärmeabfuhr bei Ausfall der Brennelementbeckenkühlung sind nicht abdeckend für Situationen, in denen die Brennelementbecken nur erschwert zugänglich sind oder die Lüftung im Brennelementlager nicht verfügbar ist.

Integrität des Primärkreises, Zustand und Verhalten der Anlage: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- An einer Dichtschweisnaht eines Rückschlagventils des Chemie- und Vorlumenregelsystems wurden Borsäureablagerungen festgestellt.

Dieselben Sachverhalte, die oben aus der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge zugeordnet worden sind, lassen sich auch aus der Schutzziel-Perspektive zuordnen. Das Ergebnis sieht wie folgt aus:

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

Sicherheitsbewertung 2011 KKB1:
Schutzziel-Perspektive

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

1.8.2 Block 1: Gesamtbewertung

Auslegungs-Vorgaben

■ Bei der Beurteilung der Auslegungs-Vorgaben hat das ENSI Erkenntnisse berücksichtigt, welche im Jahr 2011 aus Überprüfungen resultierten, die das ENSI aufgrund des Unfalls von Fukushima angeordnet hatte. Überdies hat das ENSI Erkenntnisse aus der letzten Periodischen Sicherheitsüberprüfung PSÜ herangezogen und dabei die Auslegung der Anlage bezüglich Redundanzgrad, Diversität, räumlicher Separation und Robustheit gegen auslösende Ereignisse bewertet. Da die Auslegungs-Vorgaben des KKB die Minimalanforderungen und den Stand ausländischer Anlagen desselben Typs übertreffen, bewertet das ENSI die Sicherheit des Blocks 1 des KKB hinsichtlich Auslegungs-Vorgaben als gut.

Betriebs-Vorgaben

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

Zustand und Verhalten der Anlage

■ Das ENSI beurteilt die kurzfristigen Nichtverfügbarkeiten der Positionsanzeige von vier Steuerstäben und der Notstand-Kälteanlage sowie die Borsäureablagerungen an einer Dichtschweißnaht als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Entsprechend bewertet das ENSI die Sicherheit des Blocks 1 des KKB hinsichtlich Zustand und Verhalten der Anlage als gut.

Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

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

Alle Schutzziele waren im Berichtsjahr jederzeit vollumfänglich gewährleistet.

1.8.3 Block 2: Detaillierte Bewertung

Im Jahr 2011 beurteilte das ENSI mit dem im Anhang (Kapitel Sicherheitsbewertung) beschriebenen System rund 220 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-

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

Sicherheitsbewertung 2011 KKB2:
Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge

Matrix zu folgenden zusammenfassenden Beurteilungen:

Zellen ohne Bewertung bedeuten, dass weder Inspektionsergebnisse, Vorkommnisse noch Sicherheitsindikatoren eine Bedeutung für diese Zellen hatten. Im Folgenden werden jene Zellenbewertungen begründet, die in die Kategorien A (Abweichung) und höher gehören. Die aufgeführten Sachverhalte sind in den Unterkapiteln 1.1 bis 1.7 ausführlicher behandelt. Die Mehrzahl der Sachverhalte ist sowohl für Sicherheitsebenen oder Barrieren als auch für Schutzziele von Bedeutung.

Ebene 1, Zustand und Verhalten der Anlage: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

■ Wegen der Spannungslosigkeit einer 400-V-Schiene war eine von zwei Brennelementlager-Umwälzpumpen kurzfristig nicht betriebsbereit.

■ Wie zu einem anderen Zeitpunkt im Block 1 war im Block 2 die Positionsanzeige von vier Steuerstäben wegen einer defekten Elektronikarte kurzfristig nicht verfügbar.

Ebene 2, Zustand und Verhalten der Anlage: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

■ Die unter Ebene 1 genannte Nichtverfügbarkeit der Positionsanzeige von Steuerstäben war auch für die Ebene 2 von Bedeutung.

Ebene 3, Auslegungs-Vorgaben: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

■ Die unter Block 1 aufgeführte Bewertung des Erdbebenverhaltens des Nebengebäudes B (Brennelementlager) betrifft auch den Block 2.

■ Die unter Block 1 aufgeführte Bewertung des Schutzes der Brennelementbeckenkühlung gegen Erdbeben und Überflutung betrifft auch den Block 2.

Ebene 3, Zustand und Verhalten der Anlage: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Wie zu einem anderen Zeitpunkt im Block 1 war im Block 2 die Notstand-Kälteanlage durch eine Störung der Regelung kurzfristig nicht betriebsbereit.
- Die unter Ebene 1 genannte kurzfristige Unverfügbarkeit einer Brennelementlager-Umwälzpumpe betrifft auch die Ebene 3.
- Wegen eines Erdschlusses war die Umluftkühlung des Notstandgebäudes kurzfristig nur eingeschränkt verfügbar.

Ebene 4, Auslegungs-Vorgaben: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Die unter Block 1 aufgeführte Bewertung der Notfallmassnahmen bei Ausfall der Brennelementbeckenkühlung betrifft auch den Block 2.

Integrität des Containments, Zustand und Verhalten der Anlage: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- An der Notschleuse bestanden unzulässige Druckverhältnisse mit einer Luftströmung aus dem Containment in das Hilfsanlagegebäude.

Dieselben Sachverhalte, die oben aus der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge zugeordnet worden sind, lassen sich auch aus der Schutzziel-Perspektive zuordnen. Das Ergebnis sieht wie folgt aus:

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

Sicherheitsbewertung 2011 KKB2:

Schutzziel-Perspektive

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

1.8.4 Block 2: Gesamtbewertung

Auslegungs-Vorgaben

- Da die Auslegungs-Vorgaben des KKB für beide Blöcke weitgehend gleich sind, bewertet das ENSI auch die Sicherheit des Blocks 2 des KKB hinsichtlich Auslegungs-Vorgaben als gut.

Betriebs-Vorgaben

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

Zustand und Verhalten der Anlage

- Das ENSI beurteilt die kurzfristigen Nichtverfügbarkeiten einer Brennelementlager-Umwälzpumpe, der Positionsanzeige von vier Steuerstäben, der Notstand-Kälteanlage und der Notstandgebäude-Umluftkühlung sowie die Druckverhältnisse an der Notschleuse 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

- Da keine Bewertungen der Kategorien A und höher vorliegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des Blocks 2 des KKB hinsichtlich Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation als hoch. Alle Schutzziele waren im Berichtsjahr jederzeit vollumfänglich gewährleistet.



Blick auf das
Kernkraftwerk
Mühleberg.
Foto: ENSI

2. Kernkraftwerk Mühleberg

2.1 Überblick

Das Betriebsjahr 2011 war im Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) durch einen nahezu störungsfreien Volllastbetrieb geprägt. Dabei war keine Reaktorschnellabschaltung zu verzeichnen, nur eine störungsbedingte Leistungsabsenkung. Die Einleitung und Umsetzung von Massnahmen zur Verbesserung der Kühlwasserversorgung bei einem Extremhochwasser führte zu einem längeren Stillstand der Anlage als in den Vorjahren. Das ENSI stellt fest, dass das KKM die bewilligten Betriebsbedingungen immer eingehalten hat. Jedoch hat das KKM im Rahmen der Überprüfung der Hochwasserauslegung einen Auslegungsfehler identifiziert, der als Vorkommnis der INES-Stufe 1 bewertet wurde und zur vorsorglichen Abschaltung der Anlage bis zum Abschluss von Nachrüstmassnahmen führte. Das ENSI beurteilt die Sicherheit des KKM im Jahr 2011 hinsichtlich Auslegungs-Vorgaben als ausreichend,

hinsichtlich Betriebs-Vorgaben als hoch, hinsichtlich Zustand und Verhalten der Anlage als ausreichend sowie hinsichtlich Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation als hoch.

Das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) der BKW FMB 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 7b zeigt das Funktionsschema einer Siedewasserreaktor-Anlage.

Im Berichtsjahr waren im KKM vier meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen. Eines ordnete das ENSI auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 1 zu, die übrigen der Stufe 0.

Das ENSI hat im Rahmen seiner Aufsicht 112 Inspektionen durchgeführt. Wo erforderlich, verlangte das ENSI Verbesserungsmaßnahmen und überwachte deren Umsetzung.



Verlegen von Kabeln.
Foto: KKM

Während des Revisionsstillstands wurden neben dem Brennelementwechsel und den üblichen Revisionsarbeiten umfangreiche Wiederholungsprüfungen durchgeführt. Dabei wurden keine Befunde festgestellt, die einem sicheren Betrieb entgegenstehen. Im Hinblick auf den Betrieb über 40 Jahre hinaus und aufgrund der Erkenntnisse nach den Ereignissen in Fukushima setzte das KKM zahlreiche Verbesserungen und Anlagemodernisierungen um.

Im Berichtsjahr sind keine Brennelementschäden aufgetreten.

Der Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen wurde eingehalten. Die radioaktiven Abgaben lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Grenzwerte.

Der Anfall neuer radioaktiver Rohabfälle war auf einem niedrigen Niveau.

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

Im Berichtsjahr legte ein Picketingenieur seine Zulassungsprüfung mit Erfolg ab.

2.2 Betriebsgeschehen

Das Kernkraftwerk Mühleberg erreichte im Berichtsjahr eine Arbeitsausnutzung von 76,5 % und eine Zeitverfügbarkeit von 76,8 %. Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung der letzten zehn Jahre sind in Figur 1 dargestellt.

Die Massnahmen zur Verbesserung der Kühlwasserversorgung bei einem Extremhochwasser führten zu einer verglichen mit den Vorjahren deutlich tieferen Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung.

Die ausgekoppelte thermische Energie für die Heizung der Wohnsiedlung «Steinriesel» belief sich auf 1,4 GWh.

Zur Durchführung von Wiederholungsprüfungen und Instandhaltungsarbeiten erfolgten geplante Leistungsabsenkungen. Eine weitere Leistungsabsenkung stand im Zusammenhang mit einem meldepflichtigen Vorkommnis.

Im Berichtsjahr waren vier meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen. Den im Rahmen des Nachweises der Funktion des Notstandsystem-Einlaufbauwerks bei Extremhochwasser gemachten Befund ordnete das ENSI auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 1 zu, die übrigen drei meldepflichtigen Vorkommnisse der Stufe 0. Für die systematische Sicherheitsbewertung wird auf Kap. 2.9 verwiesen, für die risikotechnische Beurteilung auf Kap. 10.1.

- Bei der Anlieferung von neuen Brennelementen am 9. Mai 2011 wurden in einem Container ausgelöste Beschleunigungssensoren gefunden. Die Inspektion aller in diesem Container transportierten Brennelemente zeigte bei vier Brennelementen eine Beschädigung an Abstandhaltern. Die Abstandhalter dienen der Positionierung und Stabilisierung der Brennstäbe im Brennelement. Die formelle Meldung an das ENSI erfolgte am 27. Mai 2011, nachdem die Stellungnahme des Herstellers gezeigt hatte, dass die betroffenen Brennelemente nicht einsetzbar sind. Das ENSI war bereits vorgängig über die Ergebnisse der oben erwähnten Inspektion der Brennelemente informiert worden. Die betroffenen Brennelemente wurden zurück zum Hersteller geschickt. Die Beschädigungen erfolgten auf dem Transport und sind daher in der Sicherheitsbewertung der Anlage im Kap. 2.9 nicht enthalten.

- Am 8. Juni 2011 wurde am Kondensomaten eines der beiden Reaktorkernisoliations-Kühlsysteme (RCIC) ein geringfügiger Dampfaustritt festgestellt. Aufgabe des Kondensomaten ist die Abscheidung des in der Frischdampfzuleitung anfallenden Kondensats. Der Dampfaustritt konnte an der Dichtung lokalisiert werden. Das betroffene RCIC wurde für die Reparatur abgesichert und die Dichtung wurde ersetzt. Die Nichtverfügbarkeit dauerte 80 Minuten, gemäss Technischer Spezifikation zulässig ist eine Nichtverfügbarkeit von 10 Tagen. Die inzwischen vorgenommenen Verbesserungen, siehe Kap. 2.3.2, ermöglichen es, den Kondensomaten ohne Ausserbetriebnahme des RCIC auszutauschen.

■ Im Rahmen der vom ENSI aufgrund der Ereignisse in Fukushima geforderten Überprüfung der Auslegung gegen ein 10 000-jährliches Hochwasser (vgl. Kap. 10.3) kam das KKM zur Erkenntnis, dass in bestimmten Extremsituationen Kiesbewegungen zu einer Verstopfung der Wasserfassung des Notstandsystems führen könnten. Dieser Befund wurde der Stufe 1 der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet. Hintergründe und Massnahmen sind in Kap. 2.3.4 beschrieben.

■ Am 31. Oktober 2011 kam es beim Umschalten von der Reserve-Hauptkühlwasserpumpe zurück auf die normalerweise in Betrieb befindliche Hauptkühlwasserpumpe zur Abschaltung der betroffenen Turbinengruppe, gefolgt von einer Reduktion der Reaktorleistung. Die Reservepumpe war für Wartungsarbeiten an der normalerweise eingesetzten Pumpe in Betrieb genommen worden. Die Hauptkühlwasserpumpen fördern das zur Wärmeabfuhr benötigte Aarewasser in die Kondensatoren. Die betroffene Hauptkühlwasserpumpe war zwar ordnungsgemäss gestartet, jedoch öffnete ihre Rückschlagklappe nicht, da sie verklemmt war. Der Turbinenschnellschluss und die automatische Reduktion der Reaktorleistung verliefen auslegungsgemäss. Nach der Analyse der Störung und der Zurückschaltung auf die Reserve-Hauptkühlwasserpumpe wurde die betroffene Turbinengruppe wieder auf Volllast gebracht. Bis zum Austausch der Rückschlagklappe am 2. November 2011 blieb die Reserve-Hauptkühlwasserpumpe in Betrieb. Die Rückschlagklappen der Hauptkühlwasserpumpen werden technisch dahingehend modifiziert, dass ein Verklemmen nicht mehr möglich sein wird.

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.

2.3 Anlagentechnik

2.3.1 Revisionsarbeiten

Die Erkenntnisse aus der Überprüfung der Auslegung veranlassten die BKW, vorsorglich das KKM bereits am 30. Juni 2011 vom Netz zu nehmen, um Massnahmen zur Verbesserung der Kühlwasserversorgung bei einem Extremhochwasser einzuleiten, siehe Kap. 2.2 und 2.3.4.

Die Revisionsarbeiten begannen am 2. August 2011 und dauerten bis zum 9. September 2011. 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 Ultraschallprüfungen am Kernmantel innerhalb des RDB, Ultraschall- und Oberflächenrissprüfungen an Schweisnähten des Frischdampfsystems, die integrale Leckratenprüfung des Containments sowie visuelle Inspektionen der Kerneinbauten im RDB. Folgende Prüfungen sind hervorzuheben:

■ Seit 1990 wurden die Schweisnähte am nicht druckführenden Kernmantel innerhalb des RDB regelmässig mittels visueller Prüftechnik, Wirbelstrom- und Ultraschalltechnik untersucht. Dabei wurde auch das Längenwachstum der bekannten Risse registriert und nach jeder Messung bruchmechanisch bewertet. Im Revisionsstillstand 2011 wurde ein verbessertes Verfahren für die Ultraschallprüfung eingesetzt, das einerseits den Prüfumfang wesentlich erweitert, andererseits von der Qualifizierungsstelle Schweiz neu auch zur Tiefenbestimmung der

Arbeiten zur Erneuerung der bestehenden Schalt- und Verteilanlage.
Foto: KKM



Risse qualifiziert ist. Die Längen der Risse haben sich nicht weiter vergrößert, mit Ausnahme der Anzeige an einer Schweißnaht im oberen Bereich des Kernmantels. Hier entspricht das Längenwachstum der bisherigen Erfahrung. Die qualifizierte Tiefenbestimmung der Risse hat gezeigt, dass der Kernmantel im Gegensatz zu den bisherigen konservativen Annahmen für die bruchmechanische Modellierung keine wanddurchdringenden Risse aufweist. In den früher nicht geprüften Bereichen sind neue Anzeigen registriert und bewertet worden. Die Anzeigen resultieren aus im Materialvolumen eingeschlossenen Herstellungsfehlern oder sind geometriebedingte Messsignale. Bei keiner der neuen Anzeigen wurde visuell ein Riss festgestellt. Strukturmechanisch stellen sie keine Gefährdung für die Integrität des Kernmantels dar. Die nächste Ultraschallprüfung der Schweißnähte des Kernmantels ist im Jahr 2013 fällig.

- Die Einbauten des RDB wurden mit einem Kamerasystem einer visuellen Prüfung unterzogen. Dabei festgestellte Auffälligkeiten wurden als zulässig bewertet und werden bei zukünftigen Prüfungen weiter überwacht. Die Prüfungen der Kerntagstrukturen ergaben keine Auffälligkeiten, insbesondere keine Hinweise auf Risse an den Schweißnähten. Zusätzlich wurden die für die Kamerasysteme zugänglichen Bereiche am Kernmantel untersucht, in denen neue Ultraschallanzeigen festgestellt worden waren. Es ergaben sich keine Hinweise auf Risse.
- An den ferritischen Rohrleitungsschweißnähten und Stutzen-Safe-End-Nähten wurden Ultraschallprüfungen sowie Magnetpulver- und Farbeindringprüfungen durchgeführt. Bei den Ultraschallprüfungen wurden keine bewertungspflichtigen Anzeigen festgestellt. Die Magnetpulverprüfungen an den Rohrleitungsschweißnähten ergaben bewertungspflichtige Anzeigen im Bereich von Einbrandkerben. Sie wurden durch Farbeindringprüfungen nachgeprüft. Alle Befunde wurden als zulässig bewertet.
- Nach 2007 wurde das Containment in der diesjährigen Revisionsabstellung wieder einer integralen Leckratenprüfung unterzogen. Die Prüfung wurde vom SVTI überwacht und parallel ausgewertet. Die in der Technischen Spezifikation festgelegte Dichtheitsanforderung wurde erfüllt.

Schwerpunkte des diesjährigen Wiederholungsprüfungsprogramms an elektrischen und leittechnischen

Ausrüstungen waren die komponenten- und verfahrenstechnischen Prüfungen der Leittechnik einer Redundanz des Notstandsystems SUSAN sowie zweier Redundanzen des Reaktorschutzes. Bei den Eigenbedarfsanlagen wurden die festgelegten Umschaltmöglichkeiten überprüft. Die erforderliche Kapazität sämtlicher Batterien einer SUSAN- und einer Reaktorschutz-Redundanz wurde durch Entladung und Wiederaufladung nachgewiesen. Das KKM überprüfte auch sämtliche Gleich- und Wechselrichter der 24-V- und 125-V-Anlagen, der beiden sicheren Schienen sowie der Redundanzen des SUSAN. Bei den durchgeführten Prüfungen ergaben sich keine unzulässigen Befunde oder Abweichungen. Erwähnenswert sind bei den Instandhaltungsmassnahmen der Einbau eines neugewickelten Rotors und die Diagnosemessungen bei einem der beiden Generatoren, die Revisionen von zwei Block- und Eigenbedarfstransformatoren, Schaltanlagen und Motoren, insbesondere eines Speisewasserpumpenmotors, von Anfahr- und Haustransformatoren und die Inspektion eines Lastschalters.

Das ENSI erteilte am 23. September 2011 die Freigabe des Leistungsbetriebs des Reaktorkerns für den 39. Betriebszyklus. Das Wiederanfahren des Reaktors erfolgte schrittweise mit allen erforderlichen Anfahrtests und dauerte sechs Tage.

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

2.3.2 Anlageänderungen

Im Berichtsjahr wurden namentlich folgende Anlageänderungen durchgeführt:

- Alle Rohrleitungshalterungen der Frischdampf- und Speisewasserleitungen werden durch solche eines neuen Fabrikats ersetzt. Der erste Teil des Austauschs wurde im Revisionsstillstand 2011 durchgeführt. Der zweite Teil des Austauschs ist für 2012 geplant.
- Im Hilfskühlwassersystem wurde ausserhalb des Reaktorgebäudes eine motorisierte Absperrklappe eingebaut. Im Falle einer Leckage im Reaktorgebäude erlaubt diese Absperrklappe die Isolation des betroffenen Leitungsabschnitts,



ohne das gesamte Hilfskühlwassersystem ausser Betrieb zu nehmen. Diese Massnahme verbessert das Anlageverhalten bei postulierten Leitungsbrüchen im Reaktorgebäude. Ein Test bestätigte den stabilen Betrieb des Kühlwassersystems bei geschlossener Absperrklappe sowie die einwandfreie Funktion von Steuerung, Bedienung und Anzeige.

- Die Optimierung der Frischdampf-Kondensat-Ableitung für das Reaktorkernisoliations-Kühlsystem (RCIC) verbessert dessen Verfügbarkeit. Sie ermöglicht, den Kondensomaten und das Bypassventil während des Betriebs und ohne Ausserbetriebnahme des RCIC auszutauschen. Das Fehlen dieser Möglichkeit hatte zum meldepflichtigen Vorkommnis vom 8. Juni 2011 geführt, siehe Kap. 2.2. Die entsprechende Optimierung eines RCIC-Stranges war im Vorjahr erfolgt, im Berichtsjahr wurde die Optimierung am anderen Strang durchgeführt.
- Bei beiden Reaktorwärmepumpen waren im Revisionsstillstand 2010 die Antriebssysteme und die Steuerung vollumfänglich erneuert worden. Aufgrund der Erfahrungen im ersten Betriebsjahr erfolgten im Berichtsjahr Anpassungen des Antriebssystems. Tests bestätigten die korrekte Funktion des modifizierten Antriebssystems sowie das korrekte Verhalten der Reaktorwärmepumpen bei 6-kV-Umschaltungen.

- Das KKM erneuerte Schutz und Vor-Ort-Steuerung an einer Schiene der 6-kV-Schaltanlage und schloss die Erneuerung der Druckmessstellen der Turbineninstrumentierung ab. An einer Speisewasserpumpe wurden die Messstellen erneuert. Die Erneuerung der Messstellen an den restlichen Speisewasserpumpen ist im Revisionsstillstand 2012 geplant.

- Im Zusammenhang mit der geplanten Erneuerung der bestehenden Schalt- und Verteilanlage erfolgten Vorbereitungsarbeiten. Die Inbetriebnahme der neu gezogenen 220-kV-Kabelverbindung ist im Revisionsstillstand 2012 geplant. Die Anlageänderungen zur Verbesserung der Kühlwasserversorgung des Notstandsystems SUSAN und des Hilfskühlwassersystems bei Extremhochwasser sind in Kap. 2.3.4 erwähnt.

2.3.3 Brennelemente, Steuerstäbe und Reaktorkern

Im Juni 2011 wurde der 38. Betriebszyklus des KKM vorzeitig abgeschlossen. Die eingesetzten Brennelemente zeigten ein bestimmungsgemässes Betriebsverhalten. Dies folgte aus der laufenden Überwachung der Kühlmittelaktivität sowie aus Inspektionen an insgesamt 12 ausgewählten Brennelementen. Die Inspektionen bestätigten erneut, dass die Edelmetalleinspeisung in das Kühlmittel (siehe Kap. 2.4) keinen negativen

Ertüchtigung der Wasserfassung aus der Aare.
Foto: KKM

Einfluss auf die Brennstab-Hüllrohre oder andere Strukturteile der Brennelemente hat. Im Rahmen eines Vorläuferprogramms wurden an vier Brennelementen weiterentwickelte Fremdkörperfilter und an vier weiteren Brennelementen Kästen aus Zircaloy-4 eingesetzt. Messungen sowie visuelle Prüfungen bestätigten deren auslegungsgemässes Verhalten. Die Kühlmittelanalysen zeigten einen auslegungsgemässen Zustand der Steuerstäbe. Während der Revision wurden aufgrund des Erreichens ihrer Lebensdauer zwei Steuerstäbe durch neue ersetzt.

Für den 39. Betriebszyklus setzte das KKM insgesamt 36 frische Brennelemente vom Typ GNF2 ein. Das ENSI überzeugte sich davon, dass nur freigegebene und den Qualitätsanforderungen entsprechende Brennelemente geladen wurden. Vier beim Transport beschädigte neue Brennelemente wurden für die Reparatur zum Hersteller gesandt (siehe Kap. 2.2). Alle Sicherheitsmassnahmen während des Brennelementwechsels wurden gemäss den Vorgaben eingehalten. Der vom ENSI geprüfte Beladepfad des Reaktorkerns erfüllte alle 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.

2.3.4 Massnahmen nach Fukushima

Wie in Kap. 10.3 dargestellt, forderte das ENSI aufgrund des Unfalls von Fukushima bis zum 31. März 2011 einen ersten Bericht zu Fragen der Auslegung bezüglich Erdbeben und Überflutung, den

das KKM fristgerecht einreichte. Aufgrund des Berichts bezeichnete das ENSI in seiner Verfügung vom 5. Mai 2011 folgende verbesserungsbedürftigen Punkte:

- Die Kühlmittelversorgung für das Notstandssystem weist keine diversitäre Alternative zur Kühlwasserentnahme aus der Aare auf.
- Im KKM steht bei geschlossener Damplatte kein gegen Erdbeben und Überflutung ausreichend geschütztes System zur Brennelementbeckenkühlung zur Verfügung. Die Damplatte trennt im Leistungsbetrieb das Brennelementbecken von der leeren Reaktorgrube. Ein Versagen führt zu einem starken Absinken des Wasser-niveaus im Brennelementbecken, die Brennelemente bleiben aber mit Wasser bedeckt.
- Die Wirksamkeit der vorhandenen anlageninternen Notfallmassnahmen zur Überwachung des Brennelementbeckens sowie zur Einspeisung von Wasser in das Brennelementbecken sind aus Sicht des ENSI erweiterungsbedürftig.

Das ENSI verlangte vom KKM bis zum 31. August 2011 entsprechende Lösungsansätze.

Am 30. Juni 2011 reichte das KKM den geforderten Nachweis der Beherrschung eines 10 000-jährlichen Extremhochwassers ein. Um diesen Nachweis zu führen, hatte das KKM von der ETH Zürich Modellversuche durchführen lassen. Diese Versuche führten zur Erkenntnis, dass in bestimmten Extremsituationen Kiesbewegungen zwischen dem Wohlensee und dem KKM zu einer Verstopfung der Wasserfassung des Notstandsystems führen könnten. Aufgrund dieser Erkenntnis wurde das KKM in der Nacht vom 29. auf den 30. Juni 2011 vorzeitig zur Jahresrevision abgefahren, um Nachrüstungen durchzuführen: eine Verbesserung des Hochwasserschutzes unter anderem des Pumpenhauses, eine Ertüchtigung der Wasserfassung aus der Aare sowie den Bau einer zusätzlichen Leitung zur Einspeisung von Kühlwasser mit mobilen Feuerweerpumpen. Das ENSI prüfte die Nachrüstungen und hat die Ertüchtigung der Wasserfassung aus der Aare sowie die zusätzliche Leitung zur Einspeisung von Kühlwasser mit mobilen Feuerweerpumpen freigegeben. Die Ertüchtigung der Wasserfassung aus der Aare wurde entsprechend den gesetzlichen Vorgaben im Rahmen eines konzentrierten Verfahrens freigegeben. In diesem Verfahren wurden die fachlichen Stellungnahmen des Bundesamts für Umwelt (BAFU) und der zuständigen Fachstellen des Kantons Bern einbezogen. Die vom KKM vor Ausführung gemeldete, nicht freigabepflichtige Verbesserung des Hochwasserschutzes

Ertüchtigung der Wasserfassung aus der Aare.
Foto: KKM



des Pumpenhauses wurde vom ENSI ebenfalls fachlich beurteilt und für zweckmässig befunden.

In seiner Stellungnahme zum deterministischen Nachweis des KKM zur Beherrschung des 10 000-jährlichen Hochwassers vom 31. August 2011 ist das ENSI zum Ergebnis gekommen, dass unter Berücksichtigung der genannten Nachrüstungen die Kühlwasserversorgung auch bei einem Extremhochwasser gewährleistet ist. Damit hat das KKM den Nachweis der Beherrschung des 10 000-jährlichen Hochwassers unter den vom ENSI gesetzten Randbedingungen erbracht.

Das KKM wurde nach der Verwirklichung der Nachrüstmassnahmen am 23. September 2011 wieder angefahren.

In Erfüllung der Verfügung vom 5. Mai 2011 hat das KKM dem ENSI fristgerecht am 31. August 2011 Massnahmenvorschläge vorgelegt. Diese umfassen namentlich den Aufbau einer von der Aare unabhängigen Wärmesenke, die Realisierung eines Einhängenkühlsystems für das Brennelementbecken und störfallfeste Messsysteme für Füllstand und Temperatur des Brennelementbeckens. Das ENSI hat am 15. November 2011 den vom KKM vorgelegten Zeitplan zur Umsetzung der geplanten Massnahmen für angemessen erachtet und das KKM aufgefordert, die erforderlichen Antragsunterlagen der Hierarchiestufe 1 (Konzeptfreigabe) für die Erweiterung der Instrumentierung des Brennelementbeckens bis Ende März 2012 und für die Nachrüstung einer erdbeben-, überflutungs- und verstopfungssicheren Kühlmitelversorgung und eines Einhängenkühlsystems für das Brennelementbecken bis Ende Juni 2012 einzureichen.

Das KKM hat entsprechend der in Kap. 10.3 erwähnten ENSI-Verfügung vom 1. Juni 2011 fristgerecht am 31. Oktober 2011 einen Bericht zur Neubewertung der Sicherheitsmargen im Rahmen des EU-Stresstests vorgelegt. Das ENSI hat am 31. Dezember 2011 der EU einen nationalen Bericht eingereicht.

Aufgrund der Erkenntnisse aus Fukushima führte das ENSI im KKM zusätzliche Inspektionen durch:

■ Am 27. Mai 2011 bewertete das ENSI im Rahmen einer Inspektion die für Auslegungsstörfälle und auslegungsüberschreitende Störfälle getroffenen Vorsorgemassnahmen zur Kühlung des Brennelementbeckens. Verbesserungsbedarf stellte das ENSI fest hinsichtlich der Vorgaben, wie bei auslegungsüberschreitenden Störfällen Leckagen am Brennelementbecken sowie

an dessen Kühlsystem zu erkennen sind und hinsichtlich der Schulung der Betriebs-Störfallanweisungen zur Kühlung des Brennelementbeckens.

■ Am 2. August 2011 inspizierte das ENSI die Vorsorgemassnahmen zur Beherrschung des 10 000-jährlichen Hochwassers und forderte eine Überprüfung der Strategie, wie die Anlage bei Hinweisen auf ein bevorstehendes Hochwasser abzufahren ist. Ziel ist es, durch eine geeignete Betriebsweise der Anlage eine Verstopfung des Einlaufbauwerks zu vermeiden.

■ Anlässlich der Inspektion des Systems zur gefilterten Druckentlastung des Containments vom 8. Dezember 2011 identifizierte das ENSI punktuellen Verbesserungsbedarf bei der Überprüfung der Filterchemikalien und der Stromversorgung einer Messausrüstung zur Bestimmung der Wasserstoffkonzentration. Das ENSI verlangte entsprechende Abklärungen und Korrekturmassnahmen.

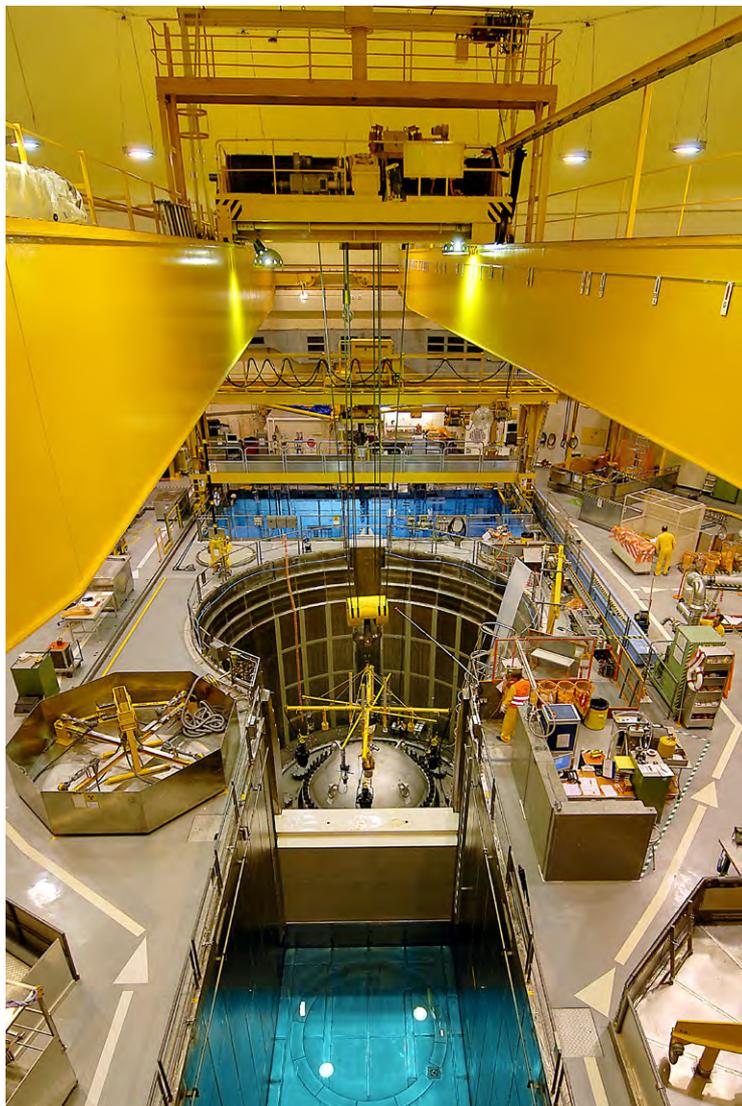
2.4 Strahlenschutz

Im Jahr 2011 betrug die akkumulierte Kollektivdosis für das KKM 891 Pers.-mSv. Die maximale Individualdosis lag mit 8,5 mSv unter dem Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr.

Im Berichtszeitraum traten weder Personenkontaminationen, 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. Zum besonders günstigen radiologischen Zustand in der Anlage hat auch das vorgezogene Abfahren der Anlage am 30. Juni 2011 beigetragen. Bis zum Beginn der Revisionsarbeiten am 2. August 2011 bedeutete dies eine längere Abklingzeit radiologisch relevanter Nuklide.

Die Kollektivdosis aller Mitarbeiter im Revisionsstillstand 2011 lag bei 786,6 Pers.-mSv (EPD). Der vom KKM vor Beginn der Arbeiten geschätzte, und wegen der vorgezogenen Jahresrevision revidierte, Wert lag bei 875 Pers.-mSv.

Die mittlere Dosisleistung an den beiden Umwälzschleifen ist mit 1,67 mSv/h im Vergleich zum Vorjahr gleich geblieben. Der Höchststand im Jahr 1994 betrug 6,4 mSv/h. Die mittlere Dosisleistung am Dampftrockner betrug 42 mSv/h und war somit 4 mSv/h höher als im Vorjahr.



Blick auf den Reaktordeckel (Mitte) und das Brennelementlagerbecken (Mitte hinten).
Foto: KKM

Der Personalbestand des Ressorts Strahlenschutz war im ganzen Betriebsjahr angemessen und ermöglichte es, die administrativen und technischen Schutz- und Überwachungsaufgaben korrekt auszuüben und sicherzustellen. Die regelmässig wiederkehrenden und arbeitsbedingten Kontaminationskontrollen der Oberflächen und der Luft bestätigten einen sauberen radiologischen Zustand der kontrollierten Zone des KKM.

Die Edelmetalleinspeisung wurde fortgesetzt. Bereits zum siebten Mal wurde eine wasserlösliche Platinverbindung in das Reaktorwasser eingespeist. Gemeinsam mit der kontinuierlichen Zugabe von Wasserstoff sollen dadurch die Einbauten im Reaktordruckbehälter vor Spannungsrisskorrosion geschützt 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. Die gleiche Aussage 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 0,0037 mSv für Erwachsene, 0,0038 mSv für Zehnjährige und 0,0043 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 keine Veränderung gegenüber dem Vorjahr. 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 2011 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. Der Anfall an radioaktiven Rohabfällen (vgl. Tabelle 8) war im Berichtsjahr mit 36 m³ geringer als im Vorjahr. Der Anfall bewegt sich in der mehrjährigen Schwankungsbreite auf einem niedrigen Niveau.

Die radioaktiven Rohabfälle werden gesammelt, kampagnenweise konditioniert und anschliessend zwischengelagert. Die im KKM vorhandenen unkonditionierten Abfälle sind in dafür vorgesehenen Räumlichkeiten der kontrollierten Zone aufbewahrt. Ihr Bestand ist mit 50 m³ gering. Brenn- und schmelzbare Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in der Plasma-Anlage der ZWILAG bereitgestellt und dorthin transportiert. Weitere Rohabfälle wurden ebenfalls an die ZWILAG zur Behandlung in der dortigen Konditionierungsanlage abgegeben.

Als Konditionierungsverfahren kommt im KKM die Zementierung von Harzen zum Einsatz. Für alle angewendeten Verfahren liegen die gemäss Kernenergieverordnung und Richtlinie ENSI-B05 erforderlichen behördlichen Typengenehmigungen vor. Im Berichtsjahr wurden die anfallenden Betriebs- und Abfallharze mit der Verfestigungsanlage des KKM in drei Kampagnen konditioniert.

Die konditionierten Abfallgebinde werden routinemässig in das werkseigene Zwischenlager eingelagert. Das KKM nutzt aber auch die Kapazitäten des zentralen Zwischenlagers in Würenlingen. 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 Jahr 2011 insgesamt 94 t Material gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B04 freigemessen. Dabei handelte es vorwiegend um metallische Abfälle.

Anlässlich der Inspektion zum Thema Abfertigung von Transporten radioaktiver Stoffe stellte das ENSI eine Forderung hinsichtlich der personellen Situation und der administrativen Abwicklung. Die Inspektion fand bei einem komplexen Transportvorgang mit gleichzeitiger An- und Ablieferung mehrerer Versandstücke statt. Die vom KKM vorgeschlagenen und inzwischen umgesetzten Massnahmen sind Voraussetzung dafür, dass derartige Vorgänge zukünftig ebenso klar strukturiert abgewickelt werden können wie einfache Transporte.

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 Oktober 2011 an der Werksnotfallübung MOTUS die Notfallorganisation beobachtet und beurteilt. Für die Übung wurde ein Szenario unterstellt, bei dem infolge eines Erdbebens eine Reaktorschnellabschaltung erfolgte und alle externen Stromeinspeisungen und etwas später die gesamte Kühlwasserversorgung ausfielen. Der Notfallstab musste mit geeigneten Severe-Accident-Management-Massnahmen die Kühlung der Brennelemente im Reaktor und im Brennelementlagerbecken sicherstellen, um Brennelementschäden zu verhindern.

Das ENSI kam 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 gezeigt, dass die Notfallkommunikationsmittel für den Kontakt zu externen Stellen betriebsbereit sind.

Abgehobener Deckel über dem Reaktor.
Foto: KKM



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

2.7 Personal und Organisation

2.7.1 Organisation und Betriebsführung

Das KKM hat im Jahr 2011 keine grösseren organisatorischen Änderungen vorgenommen. Ende 2011 umfasste der Personalbestand 328 Personen (2010: 341). Nach der Sistierung der Rahmenbewilligungsgesuche für die Ersatzkernkraftwerke unterstützten Mitarbeitende der Resun AG das KKM bei der zusätzlichen Sicherheitsüberprüfung.

Das KKM hat im November 2011 das Aufrechterhaltungsaudit durch die Schweizerische Vereinigung für Qualitäts- und Managementsysteme (SQS) ohne Auflagen bestanden. Das QM-System ist nach den Normen ISO 9001:2008 (Qualitätsmanagement), ISO 14001:2004 (Umweltmanagement) und OHSAS 18011:2007 (Arbeitssicherheit) zertifiziert.

2.7.2 Personal und Ausbildung

Ein Pickettingenieur des KKM legte im Berichtsjahr seine 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 Anlagesimulator und besteht in einer Demonstration der Anwendung der Kenntnisse. Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in Tabelle 3 zusammengestellt.

Das ENSI hat eine Inspektion zum Ausbildungsprogramm 2011 der Abteilung Betrieb durchgeführt. Gegenstand waren die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator, die allgemeine Wiederholungsschulung sowie deren Änderungen und Neuerungen. Das Ausbildungsprogramm erfüllt die Anforderungen der Richtlinie ENSI-B10.

2.8 Periodische Sicherheitsüberprüfung

Ende 2010 reichte das KKM fristgerecht die in Richtlinie HSK-R-48 verlangte Dokumentation der Periodischen Sicherheitsüberprüfung, der PSÜ 2010, ein.

Das ENSI prüfte die eingereichten Dokumente und forderte, wo notwendig, Ergänzungen. Die Überprüfung der ergänzten Unterlagen war Ende 2011 noch im Gang. Die Ergebnisse werden publiziert. Bezüglich der Erledigung der Pendenzen aus der PSÜ 2005 wird auf Kap. 10.1 verwiesen.

2.9 Sicherheitsbewertung

2.9.1 Detaillierte Bewertung

Im Jahr 2011 beurteilte das ENSI mit dem im Anhang (Kapitel Sicherheitsbewertung) beschriebenen System rund 290 Inspektionsgegenstände, Ergebnisse von Zulassungsprüfungen, Einzelaspekte von Vorkommnisabläufen und Sicherheitsindikatoren bezüglich ihrer Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Berücksichtigt wurden zusätzlich die im Rahmen der ENSI-Verfügung vom 5. Mai 2011 identifizierten Befunde (vgl. Kap. 2.3.4). Dabei kam das ENSI für die einzelnen Zellen der Sicherheitsbewertungs-Matrix zu folgenden zusammenfassenden Beurteilungen:

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

Sicherheitsbewertung 2011 KKM:
Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge

Zellen ohne Bewertung bedeuten, dass weder Inspektionsergebnisse, Vorkommnisse noch Sicherheitsindikatoren eine Bedeutung für diese Zellen hatten. Im Folgenden werden jene Zellenbewertungen begründet, die in die Kategorien A (Abweichung) und höher gehören. Die aufgeführten Sachverhalte sind in den Unterkapiteln 2.1 bis 2.7 ausführlicher behandelt. Die Mehrzahl der Sachverhalte ist sowohl für Sicherheitsebenen oder Barrieren als auch für Schutzziele von Bedeutung.

Ebene 1, Zustand und Verhalten der Anlage: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Die Blockierung einer Rückschlagklappe einer Hauptkühlwasserpumpe führte zu einer schnellen Leistungsreduktion.

Ebene 3, Auslegungs-Vorgaben: Kategorie 1 der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Bis zur im Sommer 2011 realisierten Nachrüstung hätte ein Extremhochwasser zu einer Verstopfung der Wasserfassung des Notstandsystems führen können.

Ebene 3, Auslegungs-Vorgaben: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Im KKM steht bei geschlossener Dammsplatte kein gegen Erdbeben und Überflutung ausreichend geschütztes System zur Brennelementbeckenkühlung zur Verfügung.

Ebene 3, Zustand und Verhalten der Anlage: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Am Reaktorkernisoliations-Kühlsystem trat ein Dichtungsdefekt auf.

Ebene 4, Auslegungs-Vorgaben: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Die für anlageinterne Notfallmassnahmen zur Verfügung stehenden Mittel zur Überwachung des Brennelementbeckens und zur Wassereinspeisung sind nicht ausreichend.

Ebenenübergreifend, Zustand und Verhalten der Anlage: Kategorie 1 der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Bis zur im Sommer 2011 realisierten Nachrüstung führte die bei einem Extremhochwasser bestehende Möglichkeit einer Verstopfung der Notstandsystem-Wasserfassung zu einer Risikohöherung.

Dieselben Sachverhalte, die oben aus der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge zugeordnet worden sind, lassen sich auch aus der Schutzziel-Perspektive zuordnen. Das Ergebnis sieht wie folgt aus:

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

Sicherheitsbewertung 2011 KKM:
Schutzziel-Perspektive

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

2.9.2 Gesamtbewertung

Auslegungs-Vorgaben

- Bei der Beurteilung der Auslegungs-Vorgaben hat das ENSI Erkenntnisse berücksichtigt, welche im Jahr 2011 aus Überprüfungen resultierten, die das ENSI aufgrund des Unfalls von Fukushima angeordnet hatte. Überdies hat das ENSI Erkenntnisse aus der letzten Periodischen Sicherheitsüberprüfung PSÜ herangezogen und dabei die Auslegung der Anlage bezüglich Redundanzgrad, Diversität, räumlicher Separation und Robustheit gegen auslösende Ereignisse bewertet. Da die Auslegung der Wasserfassung des Notstandsystems bis zur im Sommer 2011 realisierten Nachrüstung unzulänglich war, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKM hinsichtlich Auslegungs-Vorgaben insgesamt für das Jahr 2011 nur als ausreichend.

Betriebs-Vorgaben

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

Zustand und Verhalten der Anlage

- Da das Risiko durch die bei einem Extremhochwasser bestehende Möglichkeit einer Verstopfung der Notstandsystem-Wasserfassung bis zur im Sommer 2011 realisierten Nachrüstung erhöht war, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKM hinsichtlich Zustand und Verhalten der Anlage insgesamt für das Jahr 2011 nur als ausreichend.

Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

- Da keine Bewertungen der Kategorien A und höher vorliegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKM hinsichtlich Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation als hoch.

Alle Schutzziele waren im Berichtsjahr jederzeit gewährleistet, doch bestand bis zur im Sommer 2011 realisierten Nachrüstung wegen der Möglichkeit einer Verstopfung der Notstandsystem-Wasserfassung bei einem Extremhochwasser ein erhöhtes Risiko einer Schutzziel-Verletzung.



Blick auf das
Kernkraftwerk Gösgen.
Foto: ENSI

3. Kernkraftwerk Gösgen

3.1 Überblick

Das Betriebsjahr 2011 zeichnete sich für das Kernkraftwerk Gösgen (KKG) durch einen ungestörten Vollastbetrieb aus. Das ENSI stellt fest, dass das KKG die bewilligten Betriebsbedingungen zu jedem Zeitpunkt im Betriebsjahr 2011 eingehalten hat. Das ENSI beurteilt die Sicherheit des KKG im Jahr 2011 hinsichtlich Auslegungsvorgaben als gut, hinsichtlich Betriebs-Vorgaben als gut, hinsichtlich Zustand und Verhalten der Anlage als gut sowie hinsichtlich Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation als hoch.

Das KKG ist eine 3-Loop-Druckwasserreaktor-Anlage und nahm seinen Betrieb im Jahre 1979 auf. Die elektrische Bruttoleistung beträgt 1035 MW, die elektrische Nettoleistung 985 MW. Weitere technische Daten sind im Anhang in den Tabellen 1 und 2 zusammengestellt; Figur 7a zeigt

das Funktionsschema einer Druckwasserreaktor-Anlage. Die letzte ungeplante Reaktorschnellabschaltung trat am 11. Dezember 1990 auf, so dass für das KKG mit dem Jahr 2011 das einundzwanzigste Betriebsjahr ohne ungeplante Reaktorschnellabschaltung verzeichnet werden konnte. Wie schon im 32. Betriebszyklus wurde nach der Revisionsabstellung 2011 mit einer langsameren als der normalen Leistungssteigerung zum 33. Betriebszyklus angefahren. Diese Massnahme trug wesentlich dazu bei, dass keine Brennelementdefekte mehr aufgetreten sind. Infolge des seinerzeit ausgewaschenen Brennstoffs ist die Kühlmittelektivität im Primärkreislauf aber noch erhöht, was bei der radiologischen Planung des Revisionsstillstands zu berücksichtigen war.

Im KKG ereigneten sich 2011 insgesamt fünf meldepflichtige Vorkommnisse. Alle Vorkommnisse wurden der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet.

Das ENSI führte im Rahmen seiner Aufsicht 85 Inspektionen durch. Wo erforderlich, verlangte das ENSI Verbesserungen und kontrollierte deren Umsetzung.

Neben dem Austausch der Dichtungsgehäuse aller drei Hauptkühlmittelpumpen war der Revisionsstillstand 2011 geprägt durch zahlreiche wiederkehrende Prüfungen und Instandhaltungsarbeiten an Systemen und Komponenten der Maschinen-, Elektro- und Leittechnik, sowohl im nuklearen als auch im nicht-nuklearen Anlagenbereich. Es wurden 40 der insgesamt 177 Brennelemente durch neue Brennelemente ersetzt. Letztmalig befinden sich insgesamt 16 sogenannte Mischoxid-Brennelemente (MOX) im Reaktor.

Nach Abschluss der Arbeiten und nachdem sich das ENSI vom ordnungsgemässen Zustand der Anlage zum Wiederanfahren überzeugt hatte, nahm das KKG am 30. Juni 2011 die Stromproduktion wieder auf und erreichte am 11. Juli 2011 Volllast.

Das Betriebsjahr einschliesslich Revision zeichnete sich durch eine tiefe Kollektivdosis aus. Die Dosisgrenzwerte der Strahlenschutzverordnung für strahlenexponierte Personen wurden jederzeit eingehalten. Die Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung lagen unter den behördlich festgelegten Grenzwerten. Die dadurch verursachten zusätzlichen Strahlendosen für die Bevölkerung sind verglichen mit der natürlichen Strahlenexposition unbedeutend.

Der Anfall radioaktiver Rohabfälle bewegte sich im mehrjährigen Mittel und ist auf einem niedrigen Niveau.

Vier Reaktoroperatoren, zwei Schichtchefs und vier Pikettingenieure bestanden ihre Zulassungsprüfung. Zwei Reaktoroperator-Anwärter absolvierten die theoretische Grundausbildung an der Reaktorschule des Paul Scherrer Instituts erfolgreich.

3.2 Betriebsgeschehen

Die Arbeitsausnutzung des KKG betrug im Betriebsjahr 92% bei einer Zeitverfügbarkeit von 92,8%. Die Nichtverfügbarkeit der Anlage war hauptsächlich durch den Revisionsstillstand bedingt. Im Berichtsjahr lieferte die Anlage 174 GWh Prozesswärme für die Versorgung der nahe gelegenen Kartonfabrik. Weitere Betriebsdaten sind in der Tabelle 2 des Anhangs zusammengestellt. Die Zeitverfügbarkeit und die Arbeitsausnutzung der letzten 10 Jahre ist in Figur 1 zusammengefasst.

Im Berichtsjahr 2011 waren fünf meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen. Auf der internationalen Ereignisskala INES wurden alle Vorkommnisse der Stufe 0 zugeordnet. Für die systematische Sicherheitsbewertung wird auf Kap. 3.9 verwiesen, für die risikotechnische Beurteilung auf Kap. 10.1.

■ Am 27. April 2011 kam es bei einer Funktionsprüfung zur Fehlfunktion einer elektronischen Baugruppe im Reaktorschutz. Die betroffene Baugruppe ist Bestandteil der Ansteuerung der Frischdampf-Abblasestation, über die bei störfallbedingter Nichtverfügbarkeit der sekundärseitigen Hauptwärmesenke die Nachwärmeleistung aus dem Reaktor sicher abgeführt werden kann. Bei einem Teilschritt der Prüfung wurde festgestellt, dass ein Teiltrücksetzen des durch die Prüfung ausgelösten Reaktorschutzsignals nicht möglich war. Dieses Teiltrücksetzen kann im Anforderungsfall dazu genutzt werden, die Häufigkeit des Ansprechens der Sicherheitsventile der Frischdampf-Abblasestation zu verringern. Die betroffene Baugruppe wurde ausgetauscht und die Verfügbarkeit der Abblasestation nachgewiesen.

■ Bei einer Dichtheitsprüfung der Gebäudeabsperrearmaturen des Containment-Druckentlastungssystems trat am 1. Juni 2011 Flüssigkeit aus dem Waschbehälter des Druckentlastungssystems ins Containment aus. Der Waschbehälter enthält eine Waschflüssigkeit, die im Anforderungsfall radioaktive Stoffe zurückhält. Zur chemischen Inertisierung befindet sich über der Waschflüssigkeit ein Stickstoffpolster, das einen Überdruck von 0,3 bar aufweist. Durch das vorschriftswidrige, gleichzeitige Öffnen der Abschlussarmaturen im Leitungsbereich vom Containment zum Waschbehälter floss ein Teil der Waschflüssigkeit aus. Die fehlerhafte Stellung der Absperrarmaturen wurde von den Prüfern erkannt und umgehend korrigiert. Die Schichtmannschaft wurde durch eine automatische Störmeldung im Hauptkommandoraum ebenfalls auf den Druckabfall im Waschbehälter aufmerksam. Die Prüfung wurde abgebrochen und die Betriebsbereitschaft des Druckentlastungssystems wurde wieder hergestellt. Ursachen des Vorkommnisses waren eine mangelhafte Prüfungsvorbereitung und missverständliche Prüfvorschriften. Das KKG hat einzelne Schritte im Prüfablauf angepasst.

■ Infolge des Ansprechens des Überdrehzahlschutzes wurde ein rotierender Umformer, der eine gesicherte Stromschiene versorgt, am 26. Juli 2011

automatisch abgeschaltet. Nach einer automatischen Umschaltung erfolgte die Versorgung der gesicherten Schiene vorerst durch eine Notstromschiene. Zur Entlastung der Notstromschiene wurde anschliessend ein Reserveumformer auf die betroffene gesicherte Schiene geschaltet. Ein defekter Drehzahlregler hatte zum Ansprechen des Überzahldreheschutzes geführt. Der defekte Drehzahlregler wurde gegen ein geprüftes Reservegerät ausgetauscht.

- Bei Kalibrierarbeiten in der Reaktorleittechnik wurde am 20. September 2011 festgestellt, dass der seit Beginn des Betriebszyklus eingestellte gemeinsame Wert von zwei Totbändern nicht dem berechneten Sollwert entsprach. Diese Totbänder legen fest, bei welcher axialen Asymmetrie der Leistungsverteilung im Reaktorkern die Leistungsbegrenzung eingreift (Sicherheits-ebene 2). Damit wird verhindert, dass die axiale Asymmetrie lokal zu einer unzulässig hohen linearen Stableistung führt. Beim Wiederanfahren nach dem Revisionsstillstand war aufgrund von nicht eindeutig interpretierbaren Mess- und Einstellprotokollen die notwendige Neueinstellung der Totbänder fälschlicherweise nicht vorgenommen worden. Die tatsächlichen Totbänder entsprachen somit den höheren Werten, wie sie zu Ende des vorherigen Betriebszyklus eingestellt worden waren.

- Die umgehend durchgeführten Kontrollen der übrigen Einstellungen gemäss dem betroffenen Einstellprotokoll zeigten keine weiteren Abweichungen von Sollwerten.

Im Rahmen der Analyse des Vorkommnisses hat das KKG festgestellt, dass die nicht eindeutig interpretierbaren und unvollständigen Mess- und Einstellprotokolle die Fehleinstellung der Grenzwerte begünstigt haben. Die entsprechenden Protokolle wurden angepasst. Weiter wurde festgestellt, dass auch mit den tatsächlich eingestellten Werten der Totbänder, der gleitende Grenzwert des Reaktorschutzes (Sicherheitsebene 3) im Leistungsbetrieb im Falle einer axial asymmetrischen Leistungsverteilung in ausreichendem Mass reduziert worden wäre. Der gleitende Grenzwert des Reaktorschutzes wird von der Einstellung der Totbänder mitbestimmt. Auf Sicherheitsebene 2 wäre die Leistungsbegrenzung über ein anderes, früher ansprechendes Kriterium sichergestellt worden.

- Bei Reinigungsarbeiten im Ringraum des Reaktorgebäudes kam es infolge eines defekten Staubsaugers am 6. Oktober 2011 zum Anspre-

chen der Brandmeldelinie im betroffenen Gebäudeabschnitt. Unzureichende Vorgaben für den Umgang mit Staubsaugern in der kontrollierten Zone hatten zu einer Staubfreisetzung geführt. Durch das Ansprechen der Brandmeldelinie wurden zwei in diesem Gebäudeabschnitt befindlichen Abluftventilatoren auslegungsgemäss ausgeschaltet und Brandschutzklappen geschlossen. Die Abluftventilatoren wurden nach weniger als 20 Minuten wieder zugeschaltet. Alle im betroffenen Abschnitt befindlichen Systeme haben auslegungsgemäss funktioniert.

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 vom 4. bis zum 30. Juni 2011 wurden Routinetätigkeiten wie der Brennelementwechsel, zahlreiche zerstörungsfreie Prüfungen und Instandhaltungsarbeiten an mechanischen, elektro- und leittechnischen Einrichtungen und Systemen, wiederkehrende Funktionsprüfungen an Komponenten sowie Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten durchgeführt.

Einige der im Revisionsstillstand durchgeführten Arbeiten und Prüfungen sind nachfolgend aufgeführt.

- An allen drei Hauptkühlmittelpumpen wurden neue Dichtungsgehäuse eingebaut. Infolge der in der Jahresrevision 2008 festgestellten Befunde an den Gewindelöchern der Dichtungsgehäuse hat das KKG diese gegen neue Dichtungsgehäuse ausgetauscht. Dieser Austausch war für die Dauer des Revisionsstillstands bestimmend.
- Die Innenflächen der Gehäuse und die Einbauten der drei Hauptkühlmittelpumpen wurden visuell geprüft. Am Leitapparat einer Hauptkühlmittelpumpe war bei einer visuellen Prüfung im Jahr 2008 eine linienförmige Auffälligkeit festgestellt worden. Die 2011 in diesem Bereich durchgeführte Ultraschallprüfung zeigte, dass es sich lediglich um eine oberflächliche Verfärbung infolge Borsäureablagerung handelte, nicht aber um einen Riss.
- Vier Druckspeicher des nuklearen Nachkühl-systems wurden im Innern visuell kontrolliert. Nachdem in früheren Jahren eine minimale

Leckage festgestellt worden war, wurde die Plattierung eines Mannlochstutzens ersetzt.

- Die Ultraschall- und Oberflächenrissprüfungen an Schweisnähten der Hauptkühlmittelleitung, eines Dampferzeugers und des Druckhalters ergaben keine unzulässigen Befunde. Die zerstörungsfreien Prüfungen an Rohrleitungen des Volumenregelsystems, des nuklearen Nachkühlsystems und des Speisewassersystems ergaben keine unzulässigen Befunde.
- Mit mehr als 600 visuell geprüften Stossbremsen wurde der Umfang dieser Prüfungen, verglichen mit früheren Jahren, vervielfacht. Dabei ergaben sich 47 Befunde, von denen 43 direkt behoben und vier belassen werden konnten. Funktionsprüfungen wurden an 108 Stossbremsen durchgeführt. 25 Stossbremsen mussten ersetzt werden, was im üblichen Rahmen liegt.
- Wie bereits im Vorjahr wurden zwei Druckhalter-Heizstäbe vorsorglich ersetzt.
- Im Strang 1 des elektrischen Eigenbedarfs wurde eine Grossrevision vorgenommen. Dabei wurden auch die 24-V-Gleichrichter ausgetauscht, und der rotierende Umformer zur Versorgung der gesicherten 380-V-Schiene wurde durch statische Wechselrichter ersetzt.
- Der über mehrere Jahre verteilte Austausch der ölarmen 6/10-kV-Leistungsschalter gegen neue Vakuumschalter wurde abgeschlossen.
- Im Maschinenhaus wurde das Turbinenfundament durch den Einbau von 16 Ankerschwertern verstärkt.

Die im Bereich der Leittechnik auf der Sekundärseite neu installierte Turbinenregelung wurde nach dem Revisionsstillstand im Rahmen des Wiederanfahrens auf ihr Regelverhalten hin überprüft. Dabei führte das KKG bei einer Generatorleistung von ca. 500 MW einen Lastabwurf auf Eigenbedarf durch. Dabei hat sich das ENSI im Rahmen einer Inspektion von der Funktionsfähigkeit der neuen digitalen Regelungstechnik überzeugen können.

3.3.2 Anlageänderungen

Von den im Berichtsjahr durchgeführten Anlageänderungen ausserhalb des Revisionsstillstands ist die Erweiterung der Kapazität der betrieblichen Spülluftanlage erwähnenswert. Diese dient dazu, bei Arbeiten an Komponenten des Primärkühlkreislaufes während der Revisionsstillstände die radioaktiven Stoffe aus der Raumluft besser filtern zu können. Die Änderungsarbeiten wurden vor Beginn des Revisionsstillstands 2011 für den zweiten Lüftungsstrang durchgeführt, womit eine viel

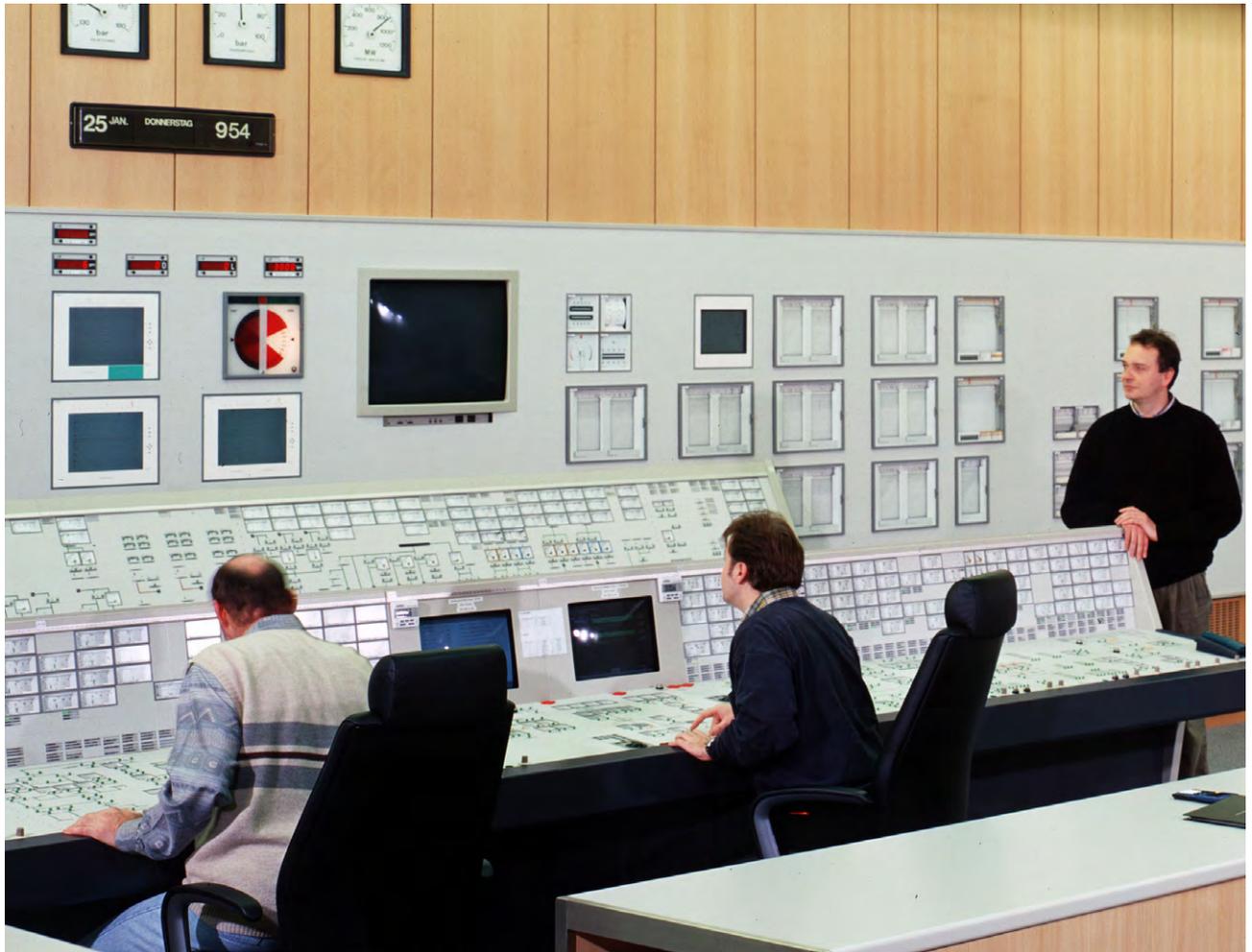
grössere Spülluftkapazität als im Revisionsstillstand 2010 zur Verfügung stand.

3.3.3 Brennelemente, Steuerstäbe und Reaktorkern

Geringe Aktivitätskonzentrationen im Primärkühlmittel liessen den Schluss zu, dass im 32. Betriebszyklus (2010/2011) keine Brennstab-Hüllrohrdefekte aufgetreten sind. Während des Revisionsstillstands wurden 40 frische WAU-Brennelemente in den Reaktorkern geladen, der damit im 33. Betriebszyklus insgesamt 4 Uran-, 157 WAU- und 16 Uran-/Plutonium-Mischoxid-Brennelemente (MOX-Brennelemente) enthält. Bei umfangreichen Inspektionen von Standard-Brennelementen mit Uran-, MOX- und WAU-Brennstoff und verschiedenen Standzeiten wurden z.B. bezüglich des Brennelement- und Brennstabwachstums sowie der Brennelementverbiegung auslegungsgemässe Zustände festgestellt. Die untersuchten Hüllrohre von Teststäben aus sogenanntem Material M5 und die Standard-Hüllrohre wiesen nur geringe, den Erfahrungen entsprechende, Oxidschichtdicken auf. Die Bestrahlungsprogramme für Cr_2O_3 -dotierten Brennstoff mit DX-D4- und M5-Hüllrohren sowie für Materialteststäbe werden weitergeführt.

Als Gegenmassnahme zu den in den Zyklen 30 und 31 aufgetretenen Brennstabschäden hat das KKG bereits bei Aufnahme des Leistungsbetriebs zum 32. Zyklus eine modifizierte Anfahrweise mit Erfolg praktiziert. Diese wurde zu Beginn des 33. Zyklus wiederholt. Dadurch wird Vollast erst etwa 10 Tage nach Zyklusbeginn erreicht. Da es seit zwei Zyklen zu keinen Brennstabschäden mehr gekommen ist, beurteilt das ENSI die neue Anfahrweise als zweckmässig. Als zusätzliche Massnahme wurden mehrere, die Brennstofftabletten betreffenden, Verbesserungen in der Brennelementfertigung umgesetzt. Einerseits werden die Tabletten im Fertigungsprozess gegen Belastungen geschützt, die zu Oberflächenschäden führen können und andererseits durch geometrische Änderungen robuster gemacht.

Die Steuerstabfinger aller 48 Steuerelemente wurden während des Revisionsstillstands mittels Wirbelstromprüfung auf Wanddickenschwächungen und Beschädigungen hin untersucht. Bei zwei Steuerelementen der Erstausrüstung, die über 20 Zyklen im Einsatz waren, und an einem Steuerelement einer Nachlieferung, das 17 Zyklen im Einsatz war, sind Rissanzeigen festgestellt worden. Sie wurden vorsorglich gegen neue Steuer-



Kommandoraum.
Foto: KKG

elemente ausgetauscht und kommen nicht mehr zum Einsatz. Alle anderen Steuerelemente befanden sich in einem auslegungsgemässen Zustand. Im 33. Betriebszyklus befinden sich 39 Steuerelemente aus Nachlieferungen sowie 9 aus der Erstausrüstung im Reaktor.

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

Im Berichtszeitraum 2011 wurde der Reaktor kern auslegungsgemäss und im bewilligten Rahmen betrieben. Die Ergebnisse der reaktorphysikalischen Messungen stimmten gut mit den Ergebnissen der Kernausslegungsberechnung überein. Die Betriebsgrenzen wurden eingehalten.

3.3.4 Massnahmen nach Fukushima

Wie im Kapitel 10.3 dargestellt, forderte das ENSI aufgrund des Unfalls von Fukushima bis zum 31. März 2011 einen ersten Bericht zu Fragen der Auslegung bezüglich Erdbeben und Überflutung, den

das KKG fristgerecht einreichte. Aufgrund des Berichts bezeichnete das ENSI in seiner Verfügung vom 5. Mai 2011 den folgenden verbesserungsbedürftigen Punkt:

Im Notstandleitstand fehlen Möglichkeiten zur Überwachung der Temperatur und des Füllstands im Brennelementbecken.

Deshalb verlangte das ENSI vom KKG bis zum 31. August 2011 geeignete Lösungsansätze.

Am 30. Juni 2011 reichte das KKG den geforderten Nachweis der Beherrschung eines 10 000-jährlichen Extremhochwassers ein. In seiner Stellungnahme vom 31. August 2011 ist das ENSI zum Ergebnis gekommen, dass das KKG den Nachweis unter den vom ENSI gesetzten Randbedingungen erbracht hat.

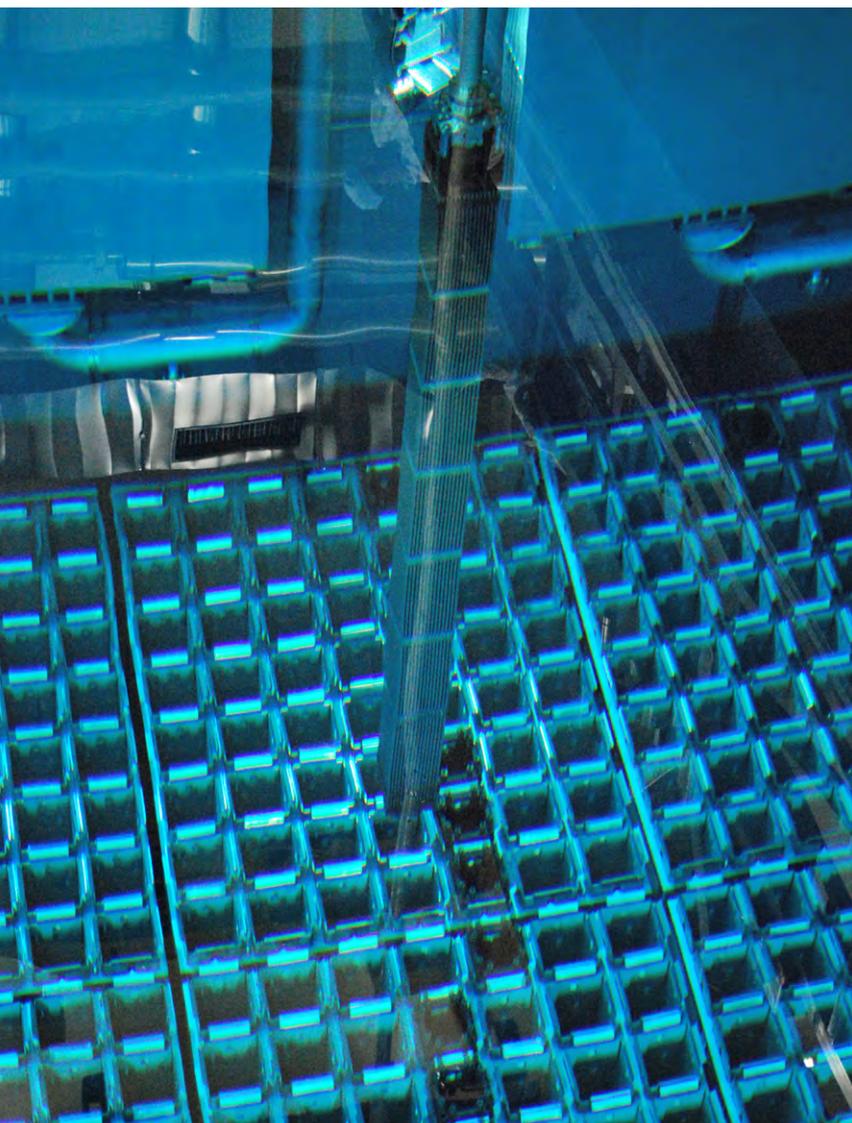
In Erfüllung der Verfügung vom 5. Mai 2011 hat das KKG fristgerecht am 31. August 2011 die geforderten Lösungsansätze dargelegt. Die geplanten Ertüchtigungen umfassen die Erhöhung des Schutzes der Temperatur- und Füllstandsmessung für das Brennelementbecken sowie die Nachrüstung von Messanzeigen in der Notsteuerstelle im Revisionsstillstand 2012. Das ENSI hat am 15. November 2011 diese Massnahmen und den vom

KKG vorgelegten Zeitplan zu deren Umsetzung für angemessen erachtet und das KKG aufgefordert, die erforderlichen Antragsunterlagen einzureichen. Das KKG hat entsprechend der in Kapitel 10.3 erwähnten ENSI-Verfügung vom 1. Juni 2011 fristgerecht am 31. Oktober 2011 einen Bericht zur Neubewertung der Sicherheitsmargen im Rahmen der EU-Stresstests vorgelegt. Das ENSI hat am 31. Dezember 2011 der EU einen nationalen Bericht eingereicht.

Aufgrund der Erkenntnisse aus Fukushima führte das ENSI im KKG zusätzliche Inspektionen durch: Am 24. Mai 2011 bewertete das ENSI im Rahmen einer Inspektion die für Auslegungsstörfälle und auslegungsüberschreitende Störfälle getroffenen Vorsorgemassnahmen zur Kühlung des Brennelementbeckens. Bei allen bewerteten Punkten erfüllt das KKG die Anforderungen.

Am 22. August 2011 inspizierte das ENSI die Vorsorgemassnahmen zur Beherrschung des 10000-jährlichen Hochwassers. Auch in diesem

Brennelement-
Lagerbecken.
Foto: KKG



Fall erfüllt das KKG die Anforderungen bei allen Prüfpunkten.

In einer Inspektion des Systems zur gefilterten Druckentlastung des Containments identifizierte das ENSI punktuellen Verbesserungsbedarf: Einzelne im Notfallhandbuch enthaltene Verweise auf andere Vorschriften sind unvollständig oder falsch. Die Wasserstoffmessung ist seismisch nicht qualifiziert und liefert bei einem Kühlmittelverluststörfall nicht in allen Zeitbereichen genaue Messwerte. Mehrere Messgrößen werden in der Notsteuerstelle über ein System angezeigt, das nur für das Betriebserdbeben, nicht aber für das Sicherheitserdeben ausgelegt ist. Das ENSI verlangte entsprechende Korrekturmaßnahmen.

3.4 Strahlenschutz

Im Kalenderjahr 2011 betrug die Kollektivdosis im KKG 500 Pers.-mSv. Die höchste im KKG registrierte Individualdosis betrug 6,2 mSv. Der Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr wurde unterschritten.

Bei den Arbeiten während des Revisionsstillstands wurden 393 Pers.-mSv akkumuliert, geplant waren 567 Pers.-mSv. Es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, die nicht mit einfachen Mitteln (Waschen, Abbürsten) entfernt werden konnten. Es sind keine Inkorporationen aufgetreten.

Die Anlage zeigte sich in einem radiologisch sehr sauberen und zonenkonformen Zustand. Die Dosierung von Zink in den Primärkreis trägt zu einer deutlichen Reduktion der Dosisleistungen und Personendosen bei. Im Durchschnitt lag die Dosisleistung an ausgewählten Primärkomponenten um 44 % unter dem Wert, der zu Beginn der Zinkdosierung im Jahr 2005 ermittelt worden war. Im Vergleich zum Vorjahr wurde eine Reduktion der Dosisleistungen um rund 9 % festgestellt.

Die radiologische Situation aufgrund der immer noch hohen Menge Trampuran im Kreislauf als Folge der Brennelementdefekte in früheren Jahren (bis 2010) erforderte auch in dieser Revision ein intensives Mess- und Überwachungsprogramm. Dank administrativen und technischen Schutzmaßnahmen war eine Zutrittsbegrenzung für das gesamte Containment nur direkt nach dem Abheben des Reaktordruckbehälterdeckels bis zum Abschluss der Reinigungsarbeiten erforderlich. Die Luftkontamination sank innert einiger Stunden

unter den für das Jahresmittel geltenden Richtwert. Damit bestand keine Gefährdung von Personen und die Umwelt wurde nicht belastet.

Das ENSI hat sich bei mehreren Inspektionen davon überzeugt, dass im KKG ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz praktiziert wird, der im Hinblick auf den Umgang mit den Folgen der Brennstab-Hüllrohrdefekte vorbildlich war. Der Personalbestand im Strahlenschutz war jederzeit ausreichend.

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 Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser ohne Tritium. Die für Druckwasserreaktoren typischen Tritium-Abgaben des KKG betragen rund 27 % 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 unter 0,001 mSv für Erwachsene, Zehnjährige und Kleinkinder und liegen damit deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv/Jahr gemäss Richtlinie ENSI-G15.

Die Dosisleistungsmesssonden des vom ENSI betriebenen Messnetzes (MADUK) in der Umgebung des Werks zeigten keine durch den Betrieb der Anlage erhöhten Werte. Die EDIS-Dosimeter (Environmental Direct Ion Storage Dosimeter) registrierten keine signifikante Erhöhung gegenüber der Untergrundstrahlung. Bei den quartalsweise vom ENSI zur Kontrolle durchgeführten Messungen an der Umzäunung des KKG wurden ebenfalls keine signifikanten Erhöhungen gegenüber der Untergrundstrahlung festgestellt. Die nach Artikel 102 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung vorgegebenen Immissionsgrenzwerte für Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerksareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche wurden eingehalten.

Für detaillierte Angaben zur radiologischen Situation innerhalb und ausserhalb der Anlage Gösgen wird auf den Strahlenschutzbericht 2011 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. Der Anfall an radioaktiven Rohabfällen (vgl. Tabelle 8) war im Berichtsjahr mit 21 m³ etwas höher als im Vorjahr. Der Anfall bewegt sich in der mehrjährigen Schwankungsbreite auf einem niedrigen Niveau.

Die radioaktiven Rohabfälle werden gesammelt, kampagnenweise konditioniert und anschliessend zwischengelagert. Die im KKG vorhandenen unkonditionierten Abfälle sind in dafür vorgesehenen Räumlichkeiten der kontrollierten Zone aufbewahrt. Ihr Bestand ist mit 44 m³ gering. Brenn- und schmelzbare Rohabfälle wurden im Berichtsjahr für die Behandlung in der Plasma-Anlage der ZWILAG bereitgestellt und dorthin transportiert.

Als Konditionierungsverfahren 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 gemäss Kernenergieverordnung und Richtlinie ENSI-B05 erforderlichen behördlichen Typengenehmigungen vor. Im Berichtsjahr wurden Waschwasserkonzentrate und Harze in Bitumen verfestigt.

Die konditionierten Abfallgebinde werden routinemässig im werkseigenen Zwischenlager eingelagert. Das KKG nutzt aber auch die Kapazitäten des Zentralen Zwischenlagers in Würenlingen. 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 Berichtsjahr wurden 30 t Material gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B04 freigemessen.

Im Frühjahr 2011 fanden vier innerbetriebliche Transporte von insgesamt 48 abgebrannten Brennelementen aus dem Brennelementbecken des Reaktorgebäudes in das externe KKG-Nasslager statt.

3.6 Notfallbereitschaft

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

Das ENSI hat im November 2011 anlässlich der Werksnotfallübung KRISTALL die Notfallorganisation beobachtet und beurteilt. Für die Übung wurde ein Szenario unterstellt, bei dem es durch den Ausfall der externen Stromversorgung nötig wurde, die Anlage auf Eigenbedarf abzufahren. Als Folge der Lasttransiente entstand ein Dampferzeugerheizrohrbruch, der zusammen mit einem störungsbedingt teilgeöffneten Abblaseventil zu einer Freisetzung von Radioaktivität in die Umgebung führte. Der Notfallstab ordnete die rasche Abkühlung des Reaktors und das mechanische Schliessen des Absperrventils an. Beim Versuch, das Ventil zu schliessen, wurde eine Steuerleitung beschädigt, so dass ein Mitarbeiter durch heissen radioaktiven Dampf verletzt wurde. Nach dem Schliessen des Abblaseventils wurde die Freisetzung beendet und die Anlage in den kalt abgestellten Zustand abgefahren.

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

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

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

3.7 Personal und Organisation

3.7.1 Organisation und Betriebsführung

Das KKG hat im Jahr 2011 keine grösseren organisatorischen Änderungen vorgenommen. Ende 2011 arbeiteten im KKG 489 Personen (2010: 476). Zur Bewältigung von Grossprojekten und um genügend Überlappungszeit bei der Neubesetzung von Stellen infolge von Pensionierungen zu ermöglichen, hat das KKG den Personalbestand aufgestockt.

Die SQS hat im März 2011 ein Aufrechterhaltungsaudit des Managementsystems des KKG (ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 und OHSAS 18001:2004) durchgeführt und die Übereinstimmung des Systems mit den Normen bestätigt.

3.7.2 Personal und Ausbildung

Im Berichtsjahr bestanden zwei 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.

Vier Reaktoroperateure, zwei Schichtchefs und vier Pikettingenieure 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 Anlagesimulator und besteht in einer Demonstration der Anwendung der Kenntnisse. Die Anzahl der zulassungspflichtigen Personen ist im Anhang in Tabelle 3 zusammengestellt.

Das ENSI hat eine Inspektion zum Ausbildungsprogramm 2011 der Abteilung Betrieb durchgeführt. Gegenstand der Inspektion waren insbesondere die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator und die allgemeine Wiederholungsschulung. Besondere Bedeutung kommt der Ausbildung neuer Schichtchefs und der Weiterbildung von Reaktoroperateuren zu, womit das KKG angemessen auf die Abgänge bei den Schichtchefs reagiert hat. Das Ausbildungsprogramm erfüllt die Anforderungen der Richtlinie ENSI-B10.

3.8 Periodische Sicherheitsüberprüfung

Die Bearbeitung und Veröffentlichung der Stellungnahme des ENSI zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) des KKG haben sich infolge von Ressourcenengpässen wegen des Unfalls im japanischen Kernkraftwerk Fukushima verzögert.

3.9 Sicherheitsbewertung

3.9.1 Detaillierte Bewertung

Im Jahr 2011 beurteilte das ENSI mit dem im Anhang (Kapitel Sicherheitsbewertung) beschriebenen System rund 210 Inspektionsgegenstände, Ergebnisse von Zulassungsprüfungen, Einzelaspekte von Vorkommnisabläufen und Sicherheitsindikatoren bezüglich ihrer Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Berücksichtigt wurden zusätzlich die im Rahmen der ENSI-Verfügung vom 5. Mai 2011 identifizierten Befunde (vgl. Kap. 3.3.4). Dabei kam das ENSI für die einzelnen Zellen der Sicherheitsbewertungs-Matrix zu folgenden zusammenfassenden Beurteilungen:

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

Sicherheitsbewertung 2011 KKG:
Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge

Zellen ohne Bewertung bedeuten, dass weder Inspektionsergebnisse, Vorkommnisse noch Sicherheitsindikatoren eine Bedeutung für diese Zellen hatten. Im Folgenden werden jene Zellenbewertungen begründet, die in die Kategorien A (Abweichung) und höher gehören. Die aufgeführten Sachverhalte sind in den Unterkapiteln 3.1 bis 3.7 ausführlicher behandelt. Die Mehrzahl der Sachverhalte ist sowohl für Sicherheitsebenen oder Barrieren als auch für Schutzziele von Bedeutung.

Ebene 1, Betriebs-Vorgaben: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Unzureichende Vorgaben für den Umgang mit Staubsaugern führten zu einer Staubfreisetzung bei Belagsarbeiten in der kontrollierten Zone und dadurch zum Ansprechen einer Brandmeldelinie, der Abschaltung der Abluftanlage im Bereich des Brennelementladebeckens und der Schliessung von Brandschutzklappen.

Ebene 2, Zustand und Verhalten der Anlage: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Ein sich auf die Leistungsverteilung im Reaktorkern beziehendes Reaktorschutzkriterium war falsch eingestellt.

Ebene 3, Auslegungs-Vorgaben: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Im Notstandleitstand fehlen Möglichkeiten, die Temperatur und den Füllstand der Brennelementbecken zu überwachen.

Ebene 3, Zustand und Verhalten der Anlage: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Eine defekte Baugruppe im Reaktorschutzesystem führte zu einer Unverfügbarkeit einer Frischdampf-Abblasestation.

- Wegen einer Störung an einem Drehzahlregler kam es zum Ausfall eines rotierenden Umformers.

- Die unter Ebene 2 genannte falsche Einstellung eines Reaktorschutzkriteriums ist auch für die Ebene 3 von Bedeutung.

Ebene 4, Zustand und Verhalten der Anlage: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Eine fehlerhafte Armaturenstellung führte zu einer Unverfügbarkeit der gefilterten Containment-Druckentlastungsfunktion.

Integrität des Containments, Zustand und Verhalten der Anlage: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Die unter Ebene 4 erwähnte fehlerhafte Armaturenstellung führte auch zu einer kurzfristigen Verletzung der Containment-Integrität.

Dieselben Sachverhalte, die oben aus der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge zugeordnet worden sind, lassen sich auch aus der Schutzziel-Perspektive zuordnen. Das Ergebnis sieht wie folgt aus:

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

Sicherheitsbewertung 2010 KKG:

Schutzziel-Perspektive

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

3.9.2 Gesamtbewertung

Auslegungs-Vorgaben

- Bei der Beurteilung der Auslegungs-Vorgaben hat das ENSI Erkenntnisse berücksichtigt, welche im Jahr 2011 aus Überprüfungen resultierten, die das ENSI aufgrund des Unfalls von Fukushima angeordnet hatte. Überdies hat das ENSI Erkenntnisse aus der letzten Periodischen Sicherheitsüberprüfung PSÜ 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, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKG hinsichtlich Auslegungs-Vorgaben als gut.

Betriebs-Vorgaben

- Das ENSI beurteilt die unzureichenden Vorgaben für den Umgang mit Staubsaugern in der kontrollierten Zone als Abweichung mit einer gerin-

gen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Entsprechend bewertet das ENSI die Sicherheit des KKG hinsichtlich Betriebs-Vorgaben als gut.

Zustand und Verhalten der Anlage

- Das ENSI beurteilt die falsche Einstellung eines Reaktorschutzkriteriums, die kurzfristigen Unverfügbarkeiten einer Frischdampf-Abblasestation, eines rotierenden Umformers und des Containment-Druckentlastungssystems sowie die kurzfristige Verletzung der Containment-Integrität als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Entsprechend bewertet das ENSI die Sicherheit des KKG hinsichtlich Betriebs-Vorgaben als gut.

Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

- Da keine Bewertungen der Kategorien A und höher vorliegen, bewertet das ENSI die Sicherheit des KKG hinsichtlich Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation als hoch.

Alle Schutzziele waren im Berichtsjahr jederzeit vollumfänglich gewährleistet.



Blick auf das
Kernkraftwerk
Leibstadt.
Foto: KKL

4. Kernkraftwerk Leibstadt

4.1 Überblick

Das Betriebsjahr 2011 war im Kernkraftwerk Leibstadt (KKL) durch einen weitgehend ungestörten Volllastbetrieb geprägt. Das ENSI stellt fest, dass das KKL die bewilligten Betriebsbedingungen immer eingehalten hat. Das ENSI beurteilt die Sicherheit des KKL im Jahr 2011 hinsichtlich Auslegungs-Vorgaben als hoch, hinsichtlich Betriebs-Vorgaben als gut, hinsichtlich Zustand und Verhalten der Anlage als gut sowie hinsichtlich Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation als gut.

Das KKL ist eine Siedewasserreaktor-Anlage. Es nahm seinen kommerziellen Betrieb im Jahr 1984 auf. Die elektrische Nettoleistung beträgt 1190 MW. Weitere Daten sind in den Tabellen 1 und 2 des Anhangs zu finden. Die Figur 7b zeigt das Funktionsschema einer Siedewasserreaktor-Anlage. Im abgelaufenen Betriebszyklus traten – wie bereits in den vorangegangenen sechs Zyklen – keine Schäden an Brennelementen auf.

Im Revisionsstillstand wurden mehrere Anlageänderungen zur weiteren Verbesserung der Anlage umgesetzt. Ein wesentlicher Teil der Ertüchtigungsmassnahmen betraf den erst 2010 ausgetauschten Blocktransformator: Bei einem der drei Transformatorpole wurden seit längerem Anzeichen eines Defektes (Gasbildung im Öl) festgestellt. Er wurde deshalb 2011 durch einen Reservetransformatorpol ersetzt. Bei der Untersuchung des ausgetauschten Transformatorpols wurde ein Fabrikationsfehler im Bereich der Oberspannungsausleitung gefunden, welcher die Ursache für die elektrischen Teilentladungen und die damit verbundene Gasbildung im Transformatoröl war. Vorsichtshalber hat das KKL bei allen Transformatorpolen des Blocktrafos die nötigen Instandsetzungsmassnahmen vorgenommen. Damit konnte die Fehlerursache behoben und die Betriebsbereitschaft des Blocktransformators erstellt werden.

Der Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen wurde 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.

Der Anfall radioaktiver Rohabfälle bewegte sich im mehrjährigen Mittel und ist auf einem niedrigen Niveau.

Das ENSI führte in allen Fachgebieten 85 Inspektionen durch. Wo erforderlich, verlangte das ENSI Verbesserungsmaßnahmen und überwachte deren Umsetzung.

Acht Reaktoroperateure, zwei Schichtchefs und ein Pickettingenieur bestanden ihre Zulassungsprüfung.

4.2 Betriebsgeschehen

Das KKL verzeichnete in seinem 27. Betriebsjahr eine Arbeitsausnutzung von 91,1 % und eine Zeitverfügbarkeit von 92,4 %. Die Zeitverfügbarkeit und die Arbeitsausnutzung der letzten 10 Jahre sind im Anhang in Figur 1 dargestellt.

Im Rahmen der Systemdienstleistung «Netzregelung Tertiär Minus» wurde die elektrische Leistung der Anlage mehrmals vorübergehend um bis zu 100 MW reduziert. Die Anlage wurde jeweils am gleichen Tag wieder auf Volllast gefahren.

Am 24. Februar 2011 kam es zu einer automatischen Abschaltung der Turbine (siehe unten). Diese ungeplante Lastreduktion machte am 26. Februar 2011 eine Anpassung des Steuerstabmusters erforderlich.

Am 18. April 2011 kam es zu einem unerwarteten Anstieg des Kontaminationspegels im Maschinenhaus. Ursache war eine Leckage an einer Flanschverbindung einer Frischdampf-Entwässerungsleitung (siehe unten). Um die Reparatur durchzuführen, wurden am 28. April 2011 die Reaktorleistung auf ca. 25 Prozent abgesenkt, die Turbine abgestellt und der Generator vom Netz getrennt. Nach der Reparatur wurde die Anlage wieder ans Netz geschaltet und im Laufe des nächsten Tages auf Volllast gefahren. Infolge dieser Lastreduktion wurde am 30. April 2011 wiederum eine Anpassung des Steuerstabmusters erforderlich.

Während der Sommermonate musste die Reaktorleistung infolge der hohen Umgebungstemperaturen an einigen Tagen um bis zu 14 % reduziert werden.

Am 3. August 2011 wurde die Anlage planmässig zum Revisionsstillstand abgefahren. Nachdem alle geplanten Arbeiten der Jahreshauptrevision und die erforderlichen Funktionstests erfolgreich abgeschlossen waren, wurde am 22. August 2011 mit dem ersten Teil des Anfahrprogramms begonnen. Ungeplante Instandsetzungsmaßnahmen an den Polen des Blocktransformators führten aber zu einer Verlängerung der Revision um mehrere Tage. Nach Abschluss dieser Arbeiten wurde das

Brennelement-
Lagerbecken.
Foto: KKL



Anfahren der Gesamtanlage weitergeführt. Am 30. August 2011 konnten der Reaktor endgültig in Betrieb genommen und der Generator mit dem Netz synchronisiert werden. Die volle elektrische Leistung wurde am 2. September 2011 erreicht. Zwecks Behebung einer Dampfleckage infolge einer defekten Dichtung an der Heizedampfleitung eines Zwischenüberhitzers wurde die Reaktorleistung am 12. Oktober 2011 für 4 Stunden auf 15 % reduziert.

Darüber hinaus waren keine weiteren störungsbedingten Leistungsreduktionen und auch kein unvorhergesehenes Abfahren der Anlage zu verzeichnen.

Zur Verbesserung des Wirkungsgrads der Anlage hat das KKL im Jahr 2010 mehrere Anlageänderungen vorgenommen. Der für 2011 geplante Austausch des Generators gegen einen mit höherer Leistung konnte nicht vorgenommen werden, da bei Testläufen Mängel festgestellt worden waren. Bei tiefen Aussentemperaturen könnte mehr elektrische Leistung erzeugt werden als der bestehende Generator liefern kann. Bei Erreichen der maximal zulässigen Generatorleistung wird die thermische Reaktorleistung reduziert. Diese Fahrweise soll bis zum Austausch des Generators beibehalten werden.

Im Berichtsjahr waren elf meldepflichtige Vorkommnisse zu verzeichnen. Alle wurden der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeteilt. Für die systematische Sicherheitsbewertung wird auf Kap. 4.8 verwiesen, für die risikotechnische Beurteilung auf Kap. 10.1.

■ Bei einem Funktionstest des Hochdruck-Kernsprühsystems am 6. Januar 2011 wurde ein dünner Wasserstrahl festgestellt. Dieser trat aus einer Schweißnaht einer zu einem Sicherheitsventil führenden Kleinleitung aus. Der Funktionstest wurde abgebrochen und das betroffene Stück der Kleinleitung innerhalb der gemäss Technischer Spezifikation zulässigen Zeit für die Nichtverfügbarkeit des Hochdruck-Kernsprühsystems ersetzt. Das KKL führte vertiefte Abklärungen zum Langzeitverhalten von Schweißnähten an Kleinleitungen durch. Massnahmen daraus werden 2012 definiert und umgesetzt.

■ Am 24. Februar 2011 führte ein defekter Widerstand auf einer Elektronikarte zum Ausfall einer Baugruppe des Turbinenregelsystems. Dadurch fuhren die Regelklappen der Niederdruckturbinen langsam zu. Die Anlage reagierte auslegungsgemäss mit einer Turbinenabschaltung und einer automatischen Reduktion der Reaktor-

leistung auf 67% durch Einschliessen von Steuerstäben und Verminderung des Kerndurchflusses. Anschliessend reduzierte das Betriebspersonal gemäss Störfallanweisung die Reaktorleistung auf 22%. Während des Betriebs mit reduzierter Leistung kam es zur kurzzeitigen Kavitation in den Speisewasserpumpen, zu einer Leckage im Bereich der Frischdampfleitungsentswässerung und zu Schwingungen der Reaktorleistung. Das Ereignis führte aber zu keinen Anforderungen von Schutzsystemen und zu keinen sicherheitsrelevanten Einschränkungen.

■ Beim Hochfahren der Anlage nach der Turbinenabschaltung am 24. Februar 2011 (siehe oben) stand wegen eines defekten Öldruck-Manostaten weiterhin ein Alarm an, welcher auf eine Offenstellung der Turbinenbypassventile hinwies, obwohl diese aber ordnungsgemäss geschlossen waren. Zur Sicherstellung des Reaktor-schutz-Auslösesignals im Reaktorschutzkanal A wurde durch einen leittechnischen Eingriff das Signal «Bypassversagen» dauernd aufgeschaltet, so wie dies in der Technischen Spezifikation vorgesehen ist. Damit wäre bei einem Lastabwurf oder Turbinentrip mit echtem Bypassversagen sofort 1-kanalig eine Reaktorschnellabschaltung ausgelöst worden. Der defekte Manostat wurde im Revisionsstillstand 2011 ausgewechselt.

■ Bei einem regelmässig durchzuführenden Test der Drywell-Isolationsventile des Systems zur Entnahme von Proben aus dem Reaktorumwälzsystem wurde am 15. März 2011 bei zwei in Serie angebrachten Armaturen eine innere Undichtheit der Armaturenventilsitze festgestellt, wodurch die Isolationsfunktion der Armaturen in der Probenahmeleitung bei automatischer Anforderung nicht mehr vollumfänglich gewährleistet gewesen wäre. Als Sofortmassnahme wurde die betroffene Durchdringung durch Schliessen von zwei in Serie angebrachten Handventilen isoliert. Die Instandsetzung erfolgte in der Jahreshauptrevision 2011.

■ Am 29. März 2011 kam es wegen eines fehlerhaften Netzgeräts zu einem Ausfall des Steuerstab-Steuer- und Informationssystems. Nach dem Rücksetzen der Störung im betroffenen Leittechnikschränk durch einen Leittechniker wurden die Funktion des Systems erfolgreich überprüft und eine vertiefte Ursachenabklärung eingeleitet. Nach einem erneuten Ansprechen des Alarms am 30. März 2011 wurde das defekte Netzgerät als Ursache der Störung erkannt. Das Gerät wurde ausgetauscht. Die sicherheitsrele-

vante Schnellabschaltfunktion der Steuerstäbe durch das Reaktorschutzsystem ist unabhängig vom Steuerstab-Steuer- und Informationssystem und wurde durch die Störung nicht beeinträchtigt.

- Am 18. April 2011 kam es zu einem unerwarteten Anstieg des Kontaminationspegels im Maschinenhaus. Ursache war eine Leckage an einem Blindflansch einer Frischdampf-Entwässerungsleitung. Der Anstieg des Kontaminationspegels machte eine Höherstufung eines grösseren Teils des Maschinenhauses von Zone I auf Zone IV erforderlich. Die Abgaben radioaktiver Stoffe über die Abluft an die Umwelt lagen weit unter den massgeblichen Grenzwerten. Zur Behebung der Leckage wurden die Reaktorleistung auf 25% reduziert und der Generator vom Netz getrennt. Nach Abdichtung der Leckage konnte der betroffene Bereich mehrheitlich von Zone IV auf Zone I zurückgestuft werden, die nähere Umgebung auf Zone II. Im Revisionsstillstand wurde die Ursache genauer analysiert. Die betroffene Dichtung wurde durch eine aus einem besser geeigneten Material ersetzt (siehe Kap. 4.3.1). Die Zone II wurde aufgehoben.
- Während des Revisionsstillstands wurden im Brennelementlager Brennstablängenmessungen und visuelle Inspektionen durchgeführt. Dafür mussten Teilbündel aus dem Brennelementkasten gezogen werden. Beim Wiedereinbau eines solchen Teilbündels in den Brennelementkasten am 8. August 2011 wurden trotz Anwendung eines Einfahrtrichters zwei Abstandshalter beschädigt. Daher konnte das betroffene Brennelement nicht wie vorgesehen für den neuen Betriebszyklus im Reaktor eingesetzt werden. Ein Ersatzbrennelement wurde bestimmt, und entsprechende Anpassungen an der Kernaulegung wurden vorgenommen.
- Am 5. September 2011 wurde in drei Bereichen der Notsteuerstellen eine Überschreitung des gemäss Art. 59 Abs. 2 StSV massgeblichen Grenzwertes von 0,0025 mSv/h für die Ortsdosisleistung an selten begangenen Orten ausserhalb kontrollierter Zonen gemessen. Der höchste Wert von 0,01 mSv/h wurde an einer Gebäudefuge an der Wand zum Reaktorgebäude gemessen. In diesem Bereich verlaufen Rohrleitungen des Nachwärmeabfuhrsystems, in denen sich während des Betriebs radioaktive Partikel ablagern. An vier Kabeldurchführungen wurden 0,0035 mSv/h gemessen. Auf der anderen Seite der betroffenen Kabeldurchführungen befinden

sich zur kontrollierten Zone gehörende Räume mit Komponenten des Nachwärmeabfuhrsystems, in denen eine erhöhte Ortsdosisleistung herrscht. Als Sofortmassnahme wurden die Notsteuerstellen als Zone 0 deklariert. Dies bedeutet, dass das persönliche Dosimeter zu tragen ist. Systematische Messungen der Ortsdosisleistung in den Notsteuerstellen zeigten keine weiteren Stellen mit unzulässiger Ortsdosisleistung. In der Folge wurde die Zone 0 auf die direkt betroffenen, kleinräumigen Bereiche verkleinert. Ursache für die erhöhte Ortsdosisleistung sind die ungenügende Abschirmwirkung der Brandabschottungen der Kabeldurchführungen und der Wand im betroffenen Bereich der Gebäudefuge. Die verkleinerte Zone 0 bleibt bis zur Umsetzung der geplanten baulichen Verbesserungsmaßnahmen bestehen.

- Bei der zweiwöchentlichen Ventilprüfung vom 29. Oktober 2011 schaltete einer von vier Druckschaltern zur Regelöl Drucküberwachung der Bypassregelventile bei deren Schliessen nicht ordnungsgemäss zurück. Trotz Erreichen des Schaltpunkts sprach der Druckschalter nicht an. Zur Sicherstellung des Reaktorschutz-Auslösesignals im Reaktorschutzkanal A wurde durch einen leittechnischen Eingriff das Signal «Bypassversagen» dauernd aufgeschaltet, so wie dies in der Technischen Spezifikation vorgesehen ist. Damit würde bei einem Lastabwurf oder Turbinentrip mit echtem Bypassversagen sofort 1-kanalig eine Reaktorschnellabschaltung ausgelöst. Der Druckschalter wird im Revisionsstillstand 2012 ausgewechselt. Ein analoges Ereignis fand bereits am 25. Februar 2011 statt (siehe oben). Auch damals war der gleiche Druckschalter fehlerhaft und wurde deshalb im Revisionsstillstand ersetzt. Nach dem Wiederanfahren verliefen vier Ventilprüfungen ohne Befund, bis es am 29. Oktober 2011 zum Ausfall des Schalters kam. Eine vertiefte Ursachenabklärung ist für den Revisionsstillstand 2012 vorgesehen. Weitere Massnahmen werden aufgrund der Ergebnisse definiert.
- Bei der Durchführung des zweimonatlichen Funktionstests eines der beiden Notabluftsysteme am 28. Oktober 2011 wurde festgestellt, dass der Druckabfall über einem der drei Aktivkohlefilter zu tief war. Die Ursache lag in einem vertikalen Riss von ca. 20 cm Länge im feinmaschigen Drahtnetz, welches die Integrität des Aktivkohlefilters gewährleistet. Aus der Schadstelle war Aktivkohle in den Zwischenraum zwi-

schen Schwebstoff- und Aktivkohlefilter ausgetreten. Die verringerte Aktivkohlemenge reduzierte den Strömungswiderstand, was sich im verminderten Druckabfall über dem Aktivkohlefilter manifestierte. Aktivkohle wurde nachgefüllt und das Drahtnetz instand gesetzt. Da die Beschädigung des Drahtnetzes höchstwahrscheinlich beim Füllen des Filters mit Aktivkohle erfolgte, wurde das Vorgehen in einer speziellen Arbeitsanweisung festgelegt und die Methode des Verdichtens der Aktivkohle mittels Stabrüttlers überprüft.

■ Die Störfallrechnungen «Extended Analysis of Fast Transients» wurden im Jahr 2011 unter Verwendung neuer Erkenntnisse bezüglich der Schliesszeiten der Turbineneinlass- und -regelventile erneut vorgenommen. Die aktuelle Analyse zeigte, dass im Teillastbereich durch Verwendung eines nicht konservativen Eingabewertes eine falsche thermische Limite für den Abstand zur Siedeübergangsleistung eingestellt worden war. Es kam aber zu keiner Grenzwertverletzung, da der Reaktor mit einer ausreichenden Sicherheitsmarge betrieben wurde. Die Herabsetzung der mit dem Kernüberwachungssystem überwachten thermischen Limite und ihrer Alarmauslösung als Sofortmassnahme war geeignet, die Einhaltung des tatsächlichen Grenzwerts zu gewährleisten. Das KKL hat dem ENSI darzulegen, welche Massnahmen zur vertieften Überprüfung der Analyseinputparameter und Randbedingungen in der Kernüberwachung aus dem Vorkommnis abgeleitet wurden. 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 des Typs *legionella pneumophila* festgestellt. Die Werte im Wasser der Kühlturmtasse lagen wiederholt um die 100 000 KBE/l (Koloniebildende Einheiten pro Liter Wasser). Legionellen sind die Verursacher der unter Umständen tödlichen Legionärskrankheit. In regelmässigen Abständen wurden die Mitarbeitenden des KKL über den Zustand des Hauptkühlwassers und über die notwendigen Schutzmassnahmen informiert.

Die Legionellenbekämpfung erfolgte in zwei Schritten. Am 28. Juni 2011 wurden insgesamt



Zugang zur kontrollierten Zone.

Foto: KKL

1800 kg Natriumhypochlorit bei geschlossener Abflut dem Kühlwasser zudosiert. Nach einer Unterbruch von einem Tag erfolgte am 30. Juni 2011 der zweite Schritt mit der Zugabe von 2100 kg Tetrakis(hydroxymethyl)-phosphoniumsulfat (THPS), einem nicht-oxidierenden Biozid, ebenfalls bei geschlossener Abflut. Nach der Behandlung wurden die Biozide chemisch in unbedenklichere Stoffe umgewandelt und über etwa eine Woche verteilt mit dem Kühlwasser in den Rhein abgegeben. Die Toxizität des eingeleiteten Wassers wurde mit Leuchtbakterientests überwacht. Weder im Rheinwasser noch im eingeleiteten Wasser konnte eine Toxizität beobachtet werden.

Im Juli und August 2011 wurde die routinemässige, stossweise Zugabe von Wasserstoffperoxid bis zur Jahresrevision fortgesetzt. Die Kühlturmtasse und das Hauptkühlwassersystem wurden in der Revision komplett entleert. Die Schlammablagerungen in der Tasse, den Wasserkammern und in den Rohrleitungen wurden entfernt. Nach dem Füllen des Hauptkühlwassersystems und beim Anfahren der Anlage nach der Jahresrevision erfolgten mehrere, erhöhte Wasserstoffperoxidzugaben von je 300 bis 600 kg.

Die Massnahmen wirkten aber nur kurzfristig. Mehrfach wurde im Herbst 2011 bei den wöchentlichen Analysen des Hauptkühlwassers Konzentrationen von *Legionella pneumophila* über dem Richtwert von 10 000 KBE/l nachgewiesen. Das KKL stellte daher im Oktober 2011 einen Freigabeantrag für den regelmässigen Einsatz von Natriumhypochlorit für die Bekämpfung von Legionellen.

4.3 Anlagentechnik

4.3.1 Revisionsarbeiten

Während des Revisionsstillstands vom 3. bis 30. August 2011 wurden geplante Instandhaltungsmassnahmen wie Inspektionen an mechanischen und elektrischen Einrichtungen, zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen sowie wiederkehrende Funktionsprüfungen und Begehungen an Komponenten und Systemen durchgeführt. Die Arbeiten konnten unter radiologisch günstigen Bedingungen vorgenommen werden, da während des vorhergehenden Betriebszyklus keine Brennelementschäden aufgetreten waren.

An den mechanischen Anlageteilen wurden eine Reihe von Prüfungen und Instandhaltungsarbeiten durchgeführt. Nachfolgend werden davon einige der sicherheitstechnisch wichtigen erläutert:

- An beiden Umwälzpumpen des Reaktorwasser-Umwälzsystems fand neben anderen Untersuchungen auch eine weitere Überprüfung der 2004 ausgeführten Reparatur am hydrostatischen Lager statt. Die Tiefe der umlaufenden Erosionsrinne hatte seit der letzten Prüfung 2010 weiter progressiv zugenommen. An beiden Pumpen müssen deshalb im Revisionsstillstand 2012 Instandsetzungen vorgenommen werden. Der bisherige Verschleissabtrag liegt noch im zulässigen Bereich. Das ENSI forderte

einen Nachweis, dass die Strukturintegrität für das hydrostatische Lager an beiden Umwälzpumpen auch unter Berücksichtigung des progressiv verlaufenden Verschleissfortschritts gegeben ist und ein Versagen der hydrostatischen Lager im nächsten Betriebszyklus ausgeschlossen werden kann. Das KKL hatte zudem geeignete Überwachungsmassnahmen zu treffen, die gewährleisten, dass ein Versagen der hydrostatischen Lager frühzeitig erkannt würde.

- Die Schweissnaht-Stosstellen des Druckluftbehälters zum Antrieb eines Frischdampfisolationsventils wurden versuchsweise mit Ultraschall geprüft. Ein Vergleich der Ultraschallresultate mit den Resultaten von früheren Durchstrahlungsprüfungen zeigte keine Übereinstimmung. Da bei früheren Durchstrahlungsprüfungen an Druckluftbehältern dieser Art unzulässige Anzeigen von Herstellungsfehlern detektiert worden waren, liegt eine Abweichung von der Bauvorschrift vor. Das ENSI forderte daher die Einreichung eines Konzepts, wie die Abweichung von der Bauvorschrift bei diesen Druckluftbehältern behoben werden kann. Das KKL hat sich in der Folge entschieden, diese Druckluftbehälter zu ersetzen.

- Als Ursache für die im letzten Zyklus erhöhte Leckagerate im Drywell wurde eine undichte Flanschverbindung an einem T-Stück für die RDB-

Führung auf dem Kraftwerksareal.
Foto: KKL



Deckelsprühleitung auf dem RDB-Deckel ermittelt und repariert. Dichtflächen und Schweissnähte in der Umgebung der Leckagestelle wurden mit Oberflächenrissprüfungen und visuellen Methoden geprüft. Die Leckage hatte nur eine geringe Auswirkung auf die nukleare Sicherheit. Das Instandhaltungsintervall für die betroffene Flanschdichtung wurde verkürzt.

- Im April 2011 musste die Turbine aufgrund einer Dampfleitungsleckage an einer Flanschverbindung einer Frischdampf-Entwässerungsleitung vom Netz getrennt werden (siehe Kap. 4.2). Zur Reparatur wurde eine Schelle gesetzt. Im Revisionsstillstand 2011 wurde diese Schelle entfernt und eine Ursachenabklärung durchgeführt. Es stellte sich heraus, dass die Undichtigkeit des Flansches durch eine falsche Werkstoffauswahl der Dichtung verursacht worden war. Bei hohen Temperaturen härtet das Basismaterial der bisher eingesetzten Dichtung aus und die Rückfederrate sinkt stark ab. Die Undichtheit wurde durch den Einbau einer Dichtung mit besseren Eigenschaften beseitigt. Zusätzlich wurden die Dehnhülsen entfernt und die Flansche mit kürzeren Schrauben und einem höheren Anzugsdrehmoment montiert, damit durch die auftretenden Setzungen der Dichtung keine Undichtigkeiten entstehen können. Die Nachweise für die unter den erhöhten Vorspannungen ausreichende Festigkeit der Bauteile wurden erbracht.
- Bei jeder Revisionsabstellung werden ausgewählte Einbauten des RDB einer visuellen Prüfung unterzogen. Mit Unterwasser-Kamerasystemen werden Schweissnähte und Einbauten auf Defekte untersucht. In diesem Jahr wurden insbesondere die Wasserstrahlpumpen und der Dampftrockner inspiziert. Die RDB-Bodenkalotte wurde mit einem qualifizierten mechanischen Kamerasystem von aussen überprüft. Es wurden keine bewertungspflichtigen Befunde gefunden.
- Im nuklearen Dampfsystem wurden sämtliche 16 Sicherheits- und Abblaseventile auf ihre Funktion überprüft. Die Prüfungen ergaben keinen Befund.
- Die Gleitlager des Frischdampfrohrleitungssystems wurden einer ausführlichen Inspektion unterzogen. Insgesamt wurden vier Gleitlager wegen nicht ordnungsgemäsem Zustand ausgetauscht. Die Befunde werden analysiert. Die Rohrleitungen zeigten keine Schäden.

Im Revisionsstillstand 2011 wurden an den leittechnischen und starkstromtechnischen Anlagen

Instandhaltungsarbeiten inklusive Funktionsprüfungen durchgeführt. Die wichtigsten Arbeiten sind im Folgenden zusammengefasst:

- Im Revisionsstillstand 2010 war der Zustand diverser Kabel im Bereich der Vorwärmer, des Speisewasserbehälters und im Dampftunnel beanstandet worden. Diese Kabel wurden nun ersetzt. Zudem wurden weitere Kabel bestimmt, die in den kommenden Revisionen zu ersetzen sind.
- Der Generator wurde einer visuellen Kontrolle unterzogen. Diese ergab keine Befunde. Der Generator und die zugehörigen Hilfssysteme sind in einem funktionstüchtigen Zustand.
- Ein Blocktransformatorpol musste wegen eines seit längerem bekannten Defektes durch den Reservetransformatorpol ersetzt werden. Bei der Untersuchung des ausgetauschten Transformatorpols wurde ein Fabrikationsfehler im Bereich der Oberspannungsausleitung gefunden, welcher die Ursache für die elektrischen Teilentladungen und die damit verbundene Gasbildung im Transformatoröl war. Die darauffolgende Kontrolle der andern Pole zeigte ebenfalls Mängel in diesem Bereich. Auch hier wurden die nötigen Instandsetzungsmassnahmen vorgenommen. Damit wurde die Fehlerursache behoben. Der Revisionsstillstand 2011 dauerte aus diesem Grund länger als geplant.
- Bei den Mittelspannungsanlagen sind neben den planmässig ausgeführten Schalterrevisionen, der altersbedingte Austausch von Zubehörteilen sowie Modifikationen für den zukünftigen Einbau von SF6-Schaltern vorgenommen worden.
- Im Bereich der Gleichstromanlagen und sicheren Versorgung wurden drei Batterien altersbedingt durch neue ersetzt. Zur Verbesserung der Personensicherheit sind in allen Batterieräumen anti-statische Bodenbeläge eingebaut worden.
- Im leittechnischen Anlagebereich wurden diverse Kontrollen und Kalibrierungen zur Aufrechterhaltung einer hohen Systemzuverlässigkeit durchgeführt. Zahlreiche Relais des Reaktorschutzsystems wurden vorsorglich ersetzt. Im Neutronenflussmesssystem wurden ein Detektor und sein Antrieb ersetzt.
- Im Reaktorschutzsystem wurden hydraulische Steuereinheiten revidiert. Bei 20 dieser Steuereinheiten wurden die Scram-Vorsteuerventile präventiv ersetzt. Ausserdem wurden die elektronischen Baugruppen von zwei Transmittern, ein fehlerhaftes Relais sowie ein fehlerhafter Endschalter eines Ventils ersetzt.

4.3.2 Anlageänderungen

Im Berichtsjahr wurden mehrere Änderungen zur weiteren Verbesserung der Anlage umgesetzt. Nennenswert sind:

- Das Reaktorwasser-Reinigungssystem wurde verbessert, was sich positiv auf die Filterleistung auswirkt. Damit wird auch die Einsatzzeit der Filter verlängert.
- Das Überwachungssystem für Aerosole, Edelgase und Iod im Containment, welches zum Schutz vor Inhalation radioaktiver Stoffe dient, soll durch ein modernes System ersetzt werden. Im Revisionsstillstand 2011 wurden dazu Vorbereitungsarbeiten durchgeführt.
- Im Jahr 2004 wurden an den Saugsieben der Hauptkondensatpumpen feine Haarrisse entdeckt. Die Siebe wurden daraufhin durch neue, verstärkte Siebe ersetzt, welche aber einen leicht höheren Druckverlust aufwiesen. An einer der drei Pumpen wurde deshalb in der Folge probeweise eine verbesserte Konstruktion eingesetzt, welche sich bewährt hat. Im Revisionsstillstand 2011 wurde diese Konstruktion auch an den beiden anderen Pumpen eingebaut.
- Für die Einlagerung von aktiven Komponenten soll auf der Ostseite des Maschinenhauses ein Zwischenlagergebäude gebaut werden (Projekt ZENT). Im geplanten Baufeld stand ein Zusatzwassertank, der entfernt werden musste. Während der Jahresrevision wurden als Ersatz zwei neue Behälter an einem andern Standort zugeschaltet. Weiter musste die Station, welche den Generator mit dem zur Kühlung benötigten Wasserstoff versorgt, örtlich versetzt werden. Damit wurden wichtige Voraussetzungen für die Erstellung des neuen Zwischenlagergebäudes erfüllt.

Im Revisionsstillstand wurden an den elektrischen und leittechnischen Ausrüstungen insgesamt 25 Anlageänderungen vorgenommen. Eine Vielzahl dieser Änderungen waren Vorarbeiten, welche in während des Normalbetriebs nicht zugänglichen Bereichen durchgeführt wurden. Diese Anlageänderungen können nun während des Leistungsbetriebs weitergeführt und abgeschlossen werden.

- Die Neutronenflussmesssysteme für den Anfahr- und Zwischenbereich sollen mittelfristig durch eine Weitbereichsinstrumentierung ersetzt werden. Im Revisionsstillstand 2011 wurden Vorbereitungsarbeiten ausgeführt und beispielsweise Schrankverbindungen und Kabelzüge erstellt.
- Im Anlageinformationssystem wurden zahlreiche neue Signale zur Beschreibung des Zustands

und Verhaltens der Anlage aufgeschaltet. Dies erleichtert im Kommandoraum die Bedienung der Anlage und trägt so zum sicheren Anlagenbetrieb bei.

4.3.3 Brennelemente, Steuerstäbe und Reaktorkern

Im Berichtszeitraum traten keine Brennelementeschäden auf, so dass die Integrität der ersten Barriere zum Schutz gegen den Austritt radioaktiver Stoffe gewährleistet war.

Für den Brennstoffzyklus 28 (2011/2012) wurden 136 frische Brennelemente eingesetzt, 92 vom Typ SVEA-96 Optima2 und 44 vom Typ ATRIUM 10XM. Der Reaktorkern enthält aktuell 394 Brennelemente vom Typ ATRIUM 10XM-, 246 vom Typ SVEA-96 Optima2-, eines vom Typ ATRIUM 10XP- und sieben vom Typ SVEA-96 Optima3. Das ENSI hat sich davon überzeugt, dass das KKL nur frische Brennelemente einsetzt, die den Qualitätsanforderungen für einen sicheren Betrieb entsprechen. Für den Zyklus 28 wurden keine neuen Steuerstäbe eingesetzt. Es wurden auch keine Steuerstäbe im Reaktorkern umgesetzt.

Schwerpunkte der diesjährigen Brennelementinspektion waren die Messungen von Kastenverbiegungen und die Überprüfung des Zustands von Vorläuferbrennelementen der Typen ATRIUM 10XM- und SVEA-96 Optima3. Die Werte der Kastenverbiegung lagen im erwarteten Bereich und bestätigten damit das verwendete Modell für die Vorausberechnung. Es wurden keine Schwergängigkeiten von Steuerstäben festgestellt. Der Zustand der Vorläuferbrennelemente war auslegungsgemäss. Das KKL ist gemäss dem langfristigen Inspektionsprogramm vorgegangen. Es ergaben sich keine Hinweise, dass die Einhaltung der Schutzziele «Kühlung der Brennelemente» und «Einschluss radioaktiver Stoffe» nicht gewährleistet ist.

Beim Einbau des inspizierten Teilbündels eines Brennelements vom Typ SVEA-96 Optima3 in den Brennelementkasten wurden zwei Abstandhalter verbogen (vgl. Kap. 4.2). Das betroffene Brennelement wurde daher in Zyklus 28 nicht eingesetzt. Die Analyse der Ursache dauert noch an. Das ENSI wird über die Ergebnisse informiert. Das Vorkommnis hat deshalb für den 28. Betriebszyklus keine sicherheitstechnische Relevanz.

Durch die 2008 begonnene Wasserstoff- und Platineinspeisung wurde das elektrochemische Korrosionspotenzial erwartungsgemäss abgesenkt. Die wasserchemischen Daten liefern keine Hinweise

auf Auswirkungen auf die Brennelemente, die deren Einsetzbarkeit in Frage stellen.

Wie im Aufsichtsbericht 2010 dargestellt, waren im Jahr 2010 Risse an Steuerstäben des Typs Marathon festgestellt worden. Diese wurden in der Sicherheitsbewertung 2010 berücksichtigt. Im Jahr 2011 identifizierte der Hersteller die Ursachen der bereits vor Ende der erwarteten Betriebsdauer aufgetretenen Risse. In erster Linie sind diese auf eine nicht konservative Auslegung der betroffenen Steuerstäbe zurückzuführen. Dieser Aspekt wird nun in der Sicherheitsbewertung 2011 abgebildet und als Verbesserungsbedarf bewertet. Um Steuerstabschäden in Zukunft früher erkennen zu können, hat das KKL die Kernüberwachungsmethoden durch eine Quantifizierung der Bor-Auswaschung und eine Heliummessung ergänzt.

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. Es kam zu keiner Überschreitung von thermischen Betriebsgrenzwerten.

4.3.4 Massnahmen nach Fukushima

Wie im Kapitel 10.3 dargestellt, forderte das ENSI aufgrund des Unfalls von Fukushima bis zum 31. März 2011 einen ersten Bericht zu Fragen der Auslegung bezüglich Erdbeben und Überflutung, den das KKL fristgerecht einreichte. Aufgrund des Berichts bezeichnete das ENSI in seiner Verfügung

vom 5. Mai 2011 den folgenden verbesserungsbedürftigen Punkt:

Im KKL sind die Messwertangaben zur Wassertemperatur und zum Wasserstand der Brennelementbecken nicht Teil der Störfallinstrumentierung. In den Notsteuerstellen und im Notstandleitstand fehlen Möglichkeiten zur Überwachung der Brennelementbeckentemperatur und des Brennelementbeckenfüllstands.

Entsprechend verlangte das ENSI vom KKL bis zum 31. August 2011 geeignete Lösungsansätze.

Am 30. Juni 2011 reichte das KKL den geforderten Nachweis der Beherrschung eines 10 000-jährlichen Extremhochwassers ein. In seiner Stellungnahme vom 31. August 2011 ist das ENSI zum Ergebnis gekommen, dass das KKL den Nachweis unter den vom ENSI gesetzten Randbedingungen erbracht hat.

In Erfüllung der Verfügung vom 5. Mai 2011 hat das KKL fristgerecht am 31. August 2011 die geplanten weiteren Nachrüstungen dargelegt. Diese umfassen die Installation einer Temperatur- und Füllstandsmessung für das Brennelementbecken mit Fernüberwachung dieser Messungen im Hauptkommandoraum und in den Notsteuerstellen. Die Nachrüstung soll bis Ende 2013 abgeschlossen sein. Das ENSI hat am 15. November 2011 diese Massnahmen und den vom KKL vorgelegten Zeitplan zu deren Umsetzung für angemessen erachtet und das KKL aufgefordert, die erforderlichen Antragsunterlagen einzureichen.

Das KKL hat entsprechend der in Kapitel 10.3



Prozessbedienstation.
Foto: KKL

erwähnten ENSI-Verfügung vom 1. Juni 2011 fristgerecht am 31. Oktober 2011 einen Bericht zur Neubewertung der Sicherheitsmargen im Rahmen der EU-Stresstests vorgelegt. Das ENSI hat am 31. Dezember 2011 der EU einen nationalen Bericht eingereicht.

Aufgrund der Erkenntnisse aus Fukushima führte das ENSI im KKL zusätzliche Inspektionen durch:

Am 24. Mai 2011 bewertete das ENSI im Rahmen einer Inspektion die für Auslegungsstörfälle und auslegungsüberschreitende Störfälle getroffenen Vorsorgemassnahmen zur Kühlung des Brennelementbeckens. Einen Verbesserungsbedarf stellte das ENSI fest hinsichtlich der Vorgaben, wie bei auslegungsüberschreitenden Störfällen die Kühlung zu gewährleisten ist und hinsichtlich der periodischen Prüfung der Brennelementbecken-Kühlung mittels Not- und Nachkühlsystem.

In einer Inspektion des Systems zur gefilterten Druckentlastung des Containments identifizierte das ENSI punktuellen Verbesserungsbedarf bei der Instandhaltung des Systems. Die Sollwerte für die chemischen Parameter und die Füllstände sowie die nötigen wiederkehrenden Arbeiten am Filterbehälter sind in keinem übergeordneten Dokument geregelt. Zudem bezieht sich der in der Technischen Spezifikation genannte Füllstand auf einen anderen Bezugspunkt als der für die Messungen verwendete. Das ENSI verlangte entsprechende Abklärungen und Korrekturmassnahmen.

4.3.5 Periodische Sicherheitsüberprüfung

Das ENSI hatte im Jahr 2009 gestützt auf die vom KKL eingereichte Periodische Sicherheitsüberprüfung eine Reihe von Forderungen erhoben. Die Bearbeitung dieser Forderungen durch das KKL verläuft plangemäss. Der grösste Teil der Forderungen wurde bereits erfüllt

Sicht aufs
Maschinenhaus (vorn).
Foto: KKL



4.4 Strahlenschutz

Die während des Kalenderjahrs 2011 im KKL akkumulierte Kollektivdosis war 1014 Pers.-mSv. Die höchste registrierte Jahresindividualdosis betrug 10,9 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.

Die radiologischen Arbeitsbedingungen während des Revisionsstillstands waren in der kontrollierte Zone des Maschinenhauses gut, da in den vergangenen Zyklen keine Brennstabschäden aufgetreten sind. In der Primäranlage war die Co-60-Konzentration im Reaktorwasser während des 27. Zyklus um das 2,5-Fache angestiegen. Das KKL rechnete daher mit einer Zunahme der Ortsdosisleistung an Systemen. Die Referenzmessungen an den Umwälzschleifen ergaben einen Durchschnittswert von 2,43 mSv/h und lag damit etwas mehr als doppelt so hoch wie 2010. Der Anstieg der Ortsdosisleistungen in den begehbaren Bereichen des Drywell betrug rund 50 %. Als eine erste Massnahme hat das KKL zu Beginn des neuen 28. Zyklus die Zinkeinspeisung erhöht und beobachtet sorgfältig die Auswirkungen. Es zeichnete sich bis Ende des Jahres 2011 eine Verringerung der Co-60-Aktivitätskonzentrationen im Primärwasser ab. Die Entwicklung der Aktivitätskonzentrationen und Dosisleistungen im KKL wurde vom ENSI aufmerksam verfolgt.

Die Jahresrevision des KKL war mit einer Kollektivdosis von 720 Pers.-mSv geplant, tatsächlich akkumuliert wurden 604 Pers.-mSv. Gründe für die niedrigere Kollektivdosis sind insbesondere das zonenkonforme Verhalten des gesamten Personals, umfangreiche Abschirmmassnahmen und die Verlegung der Drywell-Garderobe in einen Bereich mit niedrigerer Ortsdosisleistung.

Die Garderobe für den Zutritt zum Drywell (Zonentyp III) wurde vor das Materialtor des Containments (ZA-Gebäude) verlegt, was eine Dosisersparnis von 33 Pers.-mSv brachte. Das KKL hat in der Revision erstmalig Funkdosimeter eingesetzt, mit denen die Dosen des vor Ort eingesetzten Personals bei Arbeiten in komplexen Strahlenfeldern vom Strahlenschutz zeitnah überwacht wurden.

Im Mai 2011 wurden Instandhaltungsarbeiten am Not- und Nachkühlsystem einer Division mit einer Kollektivdosis von 89 Pers.-mSv durchgeführt.

Als dosisminimierende Massnahme war dabei eine chemische Dekontamination der Pumpe des Systems vorgenommen worden. Im Oktober 2011 wurde das Not- und Nachkühlsystem der anderen Division revidiert, wobei die Kollektivdosis nur 64 Pers.-mSv betrug, weil der Arbeitsumfang geringer war.

Der Personalbestand des Ressorts Strahlenschutz war immer angemessen und ermöglichte es, die administrativen und technischen Schutz- und Überwachungsaufgaben uneingeschränkt auszuüben. Das ENSI stellte bei mehreren 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 10 % 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 0,0022 mSv für Erwachsene, 0,0029 mSv für Zehnjährige und 0,0049 mSv für Kleinkinder und liegen damit deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv/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 keine Veränderung gegenüber dem Vorjahr. 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 2011 des ENSI verwiesen.

4.5 Radioaktive Abfälle

Radioaktive Rohabfälle fallen im KKL 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. Der Anfall an radioaktiven Rohabfällen (vgl. Tabelle 8) war im Berichtsjahr mit 41 m³ etwas kleiner als im Vorjahr. 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 ist mit 12 m³ gering. Im Berichtsjahr wurden 187 Fässer mit brennbaren Rohabfällen für die Behandlung in der Plasma-Anlage der ZWILAG bereitgestellt und dorthin transportiert. Zusätzlich wurden drei korrodierte Fässer für eine Umkonditionierung abtransportiert. Als Konditionierungsverfahren kommt im KKL die Zementierung von Harzen und Konzentraten zum Einsatz. Für alle angewendeten Verfahren liegen die gemäss Kernenergieverordnung und Richtlinie ENSI-B05 erforderlichen behördlichen Typengenehmigungen vor. Im Berichtsjahr wurden verbrauchte Harze und Konzentrate in zwei Kampagnen zementiert. Bereits im August 2010 hatte das ENSI die Durchführung der PEAK-Kampagne 2010/2011 freigegeben. Im Rahmen dieser Kampagne wurden ca. 16 t aktivierte Komponenten aus dem Reaktordruckbehälter unter Wasser zerlegt und konditioniert. Insbesondere wurden zerlegte Kerneinbauten, Steuerstäbe und Messlanzen in 12 Behälter vom Typ MOSAIK-II verpackt.

Die konditionierten Abfallgebände werden routinemässig im werkseigenen Zwischenlager eingelagert. Das KKL nutzt aber auch die Kapazitäten der ZWILAG. Beispielsweise wurden die oben genannten Behälter vom Typ MOSAIK-II dorthin trans-

portiert. 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 30 t Material gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B04 freigemessen.

4.6 Notfallbereitschaft KKL

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

Das ENSI hat im Oktober 2011 an der Werksnotfallübung OVERSPEED die Notfallorganisation beobachtet und beurteilt. Der Übung lag ein Szenario zugrunde, das die Zusammenarbeit der Notfallorganisation des KKL mit der Kantonspolizei Aargau notwendig machte.

Das ENSI kam zum Schluss, dass die Übungsziele gemäss der Richtlinie ENSI-B11 erreicht wurden. Das KKL verfügt über eine zur Beherrschung von Sicherheitsereignissen und der gleichzeitigen Gewährleistung der Anlagensicherheit geeignete Notfallorganisation.

Eine Inspektion hat gezeigt, 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 Werks-Notfallstabes gemäss Richtlinie ENSI-B11 bestätigt wurde.

4.7 Personal und Organisation

4.7.1 Organisation und Betriebsführung

Für die Abwicklung grosser Projekte und die Gewährleistung einer ausreichenden Überlappungszeit bei der Neubesetzung von Stellen infolge von Pensionierungen hat das KKL den Personalbestand erhöht. Ende 2011 arbeiteten im KKL 533 Personen (2010: 517).

Im KKL hatten die technischen Abteilungen sogenannte «Standards» entwickelt, bestehend aus einem Satz von erwarteten Verhaltensweisen bei der täglichen Arbeit. Die Erarbeitung abteilungsübergreifender Standards wurde im Jahr 2011 abgeschlossen. Damit werden die Kommunikation und das gegenseitige Verständnis bei der Zusammenarbeit verbessert. Diese vereinheitlichten Standards wurden im Jahr 2011 geschult.

4.7.2 Personal und Ausbildung

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

Acht Reaktoroperateure, zwei Schichtchefs und ein Pikettingenieur des KKL 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 bei Betriebs- und Störfällen 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 hat eine Inspektion zum Ausbildungsprogramm 2011 der Abteilung Betrieb durchgeführt. Gegenstand der Inspektion waren insbesondere die anlagenspezifische Grundausbildung, die Wiederholungsschulung am Simulator und die allgemeine Wiederholungsschulung. Das Ausbildungsprogramm erfüllt die Anforderungen der Richtlinie ENSI-B10.

4.8 Sicherheitsbewertung

4.8.1 Detaillierte Bewertung

Im Jahr 2011 beurteilte das ENSI mit dem im Anhang (Kapitel Sicherheitsbewertung) beschriebenen System rund 230 Inspektionsgegenstände, Ergebnisse von Zulassungsprüfungen, Einzelaspekte von Vorkommnisabläufen und Sicherheitsindikatoren bezüglich ihrer Bedeutung für die nuk-

leare Sicherheit. Berücksichtigt wurden zusätzlich die im Rahmen der ENSI-Verfügung vom 5. Mai 2011 identifizierten Befunde (vgl. Kap. 4.3.4). Dabei kam das ENSI für die einzelnen Zellen der Sicherheitsbewertungs-Matrix zu folgenden zusammenfassenden Beurteilungen:

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

Sicherheitsbewertung 2011 KKL:
Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge

Zellen ohne Bewertung bedeuten, dass weder Inspektionsergebnisse, Vorkommnisse noch Sicherheitsindikatoren eine Bedeutung für diese Zellen hatten. Im Folgenden werden jene Zellenbewertungen begründet, die in die Kategorien A (Abweichung) und höher gehören. Die aufgeführten Sachverhalte sind in den Unterkapiteln 4.1 bis 4.7 ausführlicher behandelt. Die Mehrzahl der Sachverhalte ist sowohl für Sicherheitsebenen oder Barrieren als auch für Schutzziele von Bedeutung. Ebene 1, Zustand und Verhalten der Anlage: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Der Ausfall einer elektronischen Baugruppe der Turbinenregelung führte zu einer schnellen Leistungsreduktion.
- Ein fehlerhaftes Netzteil führte zu einem kurzfristigen Ausfall des Steuerstab-Steuer- und Informationssystems.
- Bei der Brennelementhandhabung wurde die Beschädigung eines Abstandhalters festgestellt.
- In selten begangenen Kabelräumen wurde eine Überschreitung des Immissionsgrenzwertes für die Ortsdosisleistung festgestellt.

Ebene 2, Zustand und Verhalten der Anlage: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Ein Defekt an einem Öldruck-Manostaten führte am 24. Februar 2011 zu einer kurzfristigen Unverfügbarkeit eines Reaktorschutz-Kriteriums.
- Am 29. Oktober 2011 trat am selben Öldruck-Manostaten ein analoger Defekt auf.

- Eine Leckage der Dampfleitungsentwässerung führte zu einem erhöhten Kontaminationspegel im Maschinenhaus.

Ebene 3, Auslegungs-Vorgaben: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- In der Störfallinstrumentierung, den Notsteuerstellen und im Notstandleitstand fehlen Temperatur- und Füllstandsanzeigen der Brennelementbecken.

Ebene 3, Betriebs-Vorgaben: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Für eine thermische Limite des Reaktorkerns bestand eine falsche Vorgabe.

Ebene 3, Zustand und Verhalten der Anlage: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Das Hochdruck-Kernsprühsystem war zur Behebung einer Leckage an einer Schweißnaht kurzzeitig nicht betriebsbereit.

- Druckluftbehälter für die Frischdampf-Isolationsventile wiesen an Schweißnähten unzulässige Stossstellen auf.

- Über einem Notabluft-Aktivkohlefilter wurde eine reduzierte Druckdifferenz gemessen. Diese war auf eine verringerte Aktivkohlemenge im Filter zurückzuführen.

Ebene 3, Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Beim Hochfahren der Anlage wurde ein Alarm nicht beachtet und dadurch nicht erkannt, dass eine begrenzendende Betriebsbedingung bezüglich des Reaktorschutzsystems nicht erfüllt war.

Integrität der Brennelemente, Betriebs-Vorgaben: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Die unter Ebene 3 genannte falsche Vorgabe für eine thermische Limite des Reaktorkerns war auch von Bedeutung für die Integrität der Brennelemente.

Integrität des Containments, Zustand und Verhalten der Anlage: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Eine Frischdampf-Entwässerungsleitung wies eine Leckage auf.
- An den Drywell-Isolationsventilen des Probenahmesystems aus dem Reaktorwälsystem trat eine Leckage auf.

Ebenen oder barrierenübergreifende Bedeutung, Zustand und Verhalten der Anlage: Kategorie A der ENSI-Sicherheitsbewertungsskala

- Die unter Ebene 3 erwähnte kurzzeitige Unverfügbarkeit des Hochdruck-Kernsprühsystems führte zu einer Risikoerhöhung.

- Die unter Ebene 1 erwähnte schnelle Leistungsreduktion war mit einer Risikoerhöhung verbunden.

Dieselben Sachverhalte, die oben aus der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge zugeordnet worden sind, lassen sich auch aus der Schutzziel-Perspektive zuordnen. Das Ergebnis sieht wie folgt aus:

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

Sicherheitsbewertung 2011 KKL:
Schutzziel-Perspektive

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

4.8.2 Gesamtbewertung

Auslegungs-Vorgaben

- Bei der Beurteilung der Auslegungs-Vorgaben hat das ENSI Erkenntnisse berücksichtigt, welche im Jahr 2011 aus Überprüfungen resultierten, die das ENSI aufgrund des Unfalls von Fukushima angeordnet hatte. Überdies hat das ENSI Erkenntnisse aus der letzten Periodischen Sicherheitsüberprüfung PSÜ herangezogen und dabei die Auslegung der Anlage bezüglich Redundanzgrad, Diversität, räumlicher Separation und Robustheit gegen auslösende Ereignisse bewertet. Da die Auslegungs-Vorgaben 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, bewertet das ENSI

die Sicherheit des KKL hinsichtlich Auslegungs-Vorgaben als hoch.

Betriebs-Vorgaben

- Das ENSI beurteilt die falsche Vorgabe für eine thermische Limite des Reaktorkerns als Abweichung mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Entsprechend bewertet das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich Betriebs-Vorgaben als gut.

Zustand und Verhalten der Anlage

- Das ENSI beurteilt die schnelle Leistungsreduktion durch eine Störung der Turbinenregelung, den kurzzeitigen Ausfall des Steuerstab-Steuer- und Informationssystems, die beschädigten Abstandhalter an einem Brennelement, die Überschreitung des Immissionsgrenzwertes in einem selten begangenen Kabelraum, die Ausfälle eines Reaktorschutzkriteriums, die Leckage der Dampfleitungsentwässerung, die kurzzeitige Unverfügbarkeit des Hochdruck-Kernsprüh-systems, die Befunde an Schweißnaht-Stossstellen von Druckluftbehältern, die reduzierte Druckdifferenz über einem Notabluft-Aktivkohlefilter, die Leckage an einer Frischdampf-Entwässerungsleitung und die Leckage von Drywell-Isolationsventilen als Abweichungen mit einer geringen Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Entsprechend bewertet das ENSI die Sicherheit des KKL hinsichtlich Zustand und Verhalten der Anlage als gut.

Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation

- Das ENSI beurteilt das fehlende Erkennen der Nichterfüllung einer begrenzenden Betriebsbedingung während des Hochfahrens der Anlage als Abweichung 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.

Alle Schutzziele waren im Berichtsjahr jederzeit vollumfänglich gewährleistet.



Blick auf das
Zentrale Zwischenlager
in Würenlingen.
Foto: ENSI

5. Zentrales Zwischenlager Würenlingen

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

5.1 Zwischenlagergebäude

Die Zwischenlagergebäude der ZWILAG dienen der Lagerung von abgebrannten Brennelementen und von radioaktiven Abfällen aller Kategorien über mehrere Jahrzehnte hinweg bis zur deren Einlagerung in ein geologisches Tiefenlager. Die Lagergebäude umfassen die Behälterlagerhalle (HAA-Lager) für abgebrannte Brennelemente und verglaste hochaktive Abfälle (Glaskokillen) aus der Wiederaufarbeitung, das Lagergebäude für mittelaktive Abfälle (MAA-Lager) und die Lagerhalle für schwach- und mittelaktive Abfälle (SAA-Lager). Zum Zwischenlager gehören auch das Empfangsgebäude und die sogenannte heisse Zelle. Im Berichtsjahr hat im HAA-Lager keine Einlagerung

von Transport- und Lagerbehältern (TL-Behälter) mit abgebrannten Brennelementen stattgefunden. Der Lagerbestand im HAA-Lager hat sich somit gegenüber den Vorjahren nicht verändert. Er betrug 34 TL-Behälter, davon 5 CASTOR- und 3 TN-Behälter mit insgesamt 224 Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung von Brennelementen bei AREVA NC (La Hague), 25 TN-Behälter mit insgesamt 1832 abgebrannten Brennelementen aus dem Betrieb der KKW sowie 1 CASTOR-Behälter mit den Brennelementen aus dem stillgelegten Forschungsreaktor DIORIT des Paul Scherrer Instituts (PSI). Die Belegung des HAA-Lagers beträgt per Ende 2011 rund 17%. Neben den erwähnten Transport- und Lagerbehältern 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 MOSAIK-II-Behälter mit verpackten Reaktorabfällen aus dem KKL, durch die ZWILAG konditionierte Gebinde sowie mittelaktive Abfälle aus der Wiederaufar-

beutung in Frankreich (CSD-C) eingelagert. Ende 2011 betrug der Bestand im MAA-Lager 6 254 Gebinde in Lagergestellen (Harassen), was einem Belegungsgrad von rund 23% entspricht. Das SAA-Lager wird entsprechend dem Nutzungskonzept der ZWILAG bis auf Weiteres als konventionelles Lager für nichtradioaktive Ausrüstungen und Materialien genutzt. Demzufolge bleibt der maschinentechnische Ausbau auf die für diese Nutzung erforderlichen Einrichtungen beschränkt.

5.2 Konditionierungsanlage

Die Konditionierungsanlage dient der Behandlung von schwachaktiven Abfällen aus dem Betrieb der schweizerischen Kernkraftwerke sowie von radioaktiven Abfällen aus Medizin, Industrie und Forschung, die keine Alphastrahler enthalten.

Das Hochregallager der Konditionierungsanlage wurde als Eingangslager für Rohabfälle benutzt. Zu einem späteren Zeitpunkt werden diese ins Hochregallager der Plasma-Anlage transferiert und von dort der Verarbeitung zugeführt.

Betriebsabfälle aus den Kernkraftwerken, die nicht als verbrennbarer oder schmelzbarer Abfall direkt in der Plasma-Anlage verarbeitet werden können, wurden im Bereich der Konditionierung unterschiedlichen Behandlungsverfahren unterzogen. Das Ziel ist es, eine möglichst grosse Menge als inaktives Material freizumessen bzw. den kontaminierten Abfall in eine Form zu überführen, die den Anforderungen der Richtlinie ENSI-B05 entspricht. Im ZZL wurden im Jahr 2011 insgesamt 75,8 t Material gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B04 als inaktiv freigemessen.

Sekundärabfälle aus dem Betrieb der Lager sowie der Konditionierungsanlage und der Plasma-Anlage wurden im Hinblick auf eine spätere Endkonditionierung verarbeitet und verpackt.

Ferner wurde erstmalig die vorgeschriebene wiederkehrende Prüfung an den beiden Transportbehältern TN 9/4, die für die Transporte von abgebrannten Brennelementen zwischen dem Kernkraftwerk Mühleberg und dem ZWILAG verwendet werden, erfolgreich ausgeführt.

5.3 Plasma-Anlage

Aufgabe der Plasma-Anlage ist es, brenn- und schmelzbare schwachaktive Abfälle durch sehr hohe Temperaturen in eine inerte Schlackenma-

trix 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 Berichtszeitraum wurden wie in den Vorjahren jeweils eine Frühjahrs- und eine Herbstkampagne durchgeführt. Die Arbeiten verliefen planmässig, was sich in der erfolgreichen Verarbeitung von 1008 Abfallfässern und ca. 400 Litern Öl zu 270 konditionierten Gebinden ausdrückt. Dies entspricht mehr als dem Jahresanfall aus dem Betrieb in allen schweizerischen Kernanlagen.

Um die Abgabe von ^{137}Cs im Abwasser während den Verbrennungskampagnen zu reduzieren, wird seit dem Jahr 2010 ^{137}Cs durch Sorption an selektiven Molekularsieben abgetrennt. Die verbrauchten Siebe werden in der Plasma-Anlage verbrannt.

In den letzten Verbrennungskampagnen wurden weniger Fässer mit Sekundärabfällen produziert als verarbeitet. Somit konnte eine Verringerung des Sekundärabfallbestandes erreicht werden. Im Hochregallager der Konditionierungsanlage befinden sich keine derartigen Fässer früherer Kampagnen mehr. Ein Überschuss an Sekundärabfällen ist nun nicht mehr vorhanden.

5.4 Strahlenschutz

In der Berichtsperiode wurde im ZZL eine Kollektivdosis von 15,2 Pers.-mSv akkumuliert. Der geschätzte Wert von 20,9 Pers.-mSv wurde dank guter administrativer und technischer Strahlenschutzmassnahmen deutlich unterschritten. Die höchste registrierte Einzeldosis betrug 1,9 mSv. Im Berichtsjahr wurden weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen festgestellt. Die durch den Strahlenschutz regelmässig erhobenen Proben zeigten weder auf den Oberflächen 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 ZWILAG gemeldeten Analyseergebnisse. Die aufgrund der Abgaben unter ungünstigen Annahmen berechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in

der Umgebung des ZWILAG lagen mit weniger als 0,001 mSv für Erwachsene, Zehnjährige und Kleinkinder deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,05 mSv.

Die ZWILAG 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 ZWILAG 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 ZWILAG 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 ZWILAG wird auf den Strahlenschutzbericht 2011 des ENSI verwiesen.

5.5 Notfallbereitschaft

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

Das ENSI hat im Juni 2011 an der Werksnotfallübung FORNAX die Notfallorganisation beobachtet und beurteilt. Das Übungsszenario sah vor, dass beim Anliefern von Sauerstoff ein Behälter beschädigt wurde und durch austretenden Sauerstoff ein Brand entstand, bei dem ein Mitarbeiter verletzt wurde und ein Todesopfer zu beklagen war. Der Notfallstab musste die Einsätze von Feuerwehr, Sanität sowie den von internen Stellen koordinieren und seiner Informationspflicht gegen aussen nachkommen. Die ZWILAG hat bei der Übung u. a. Optimierungspotenzial beim Informieren des ENSI und der eigenen Belegschaft festgestellt.

Das ENSI kam zum Schluss, dass die Übungsziele gemäss der Richtlinie ENSI-B11 erreicht wurden. Die ZWILAG verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.

Im Dezember 2011 löste das ENSI in der ZWILAG ohne Voranmeldung einen Übungsalarm aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Werksnotfallstabs gemäss Richtlinie ENSI-B11 bestätigt wurde.

5.6 Personal und Organisation

Im Berichtsjahr hat die ZWILAG keine grösseren organisatorischen Änderungen vorgenommen. Die Belegschaft hat sich um 6 Personen auf 69 erhöht. Damit hat sich das Personal der ZWILAG in den letzten sechs Jahren mehr als verdoppelt. Besondere Aufmerksamkeit hat die ZWILAG mit rund 440 Ausbildungstagen der Aus- und Weiterbildung geschenkt.

Das Managementsystem der ZWILAG ist seit 2003 entsprechend der Norm DIN EN ISO 9001:2008 zertifiziert. Im Überwachungsaudit 2011 wurde festgestellt, dass das Managementsystem für die Aufgaben der ZWILAG vollständig und geeignet sowie in der Praxis gut umgesetzt ist.

5.7 Rücknahme von Wiederaufarbeitungsabfällen

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

Mit den bisherigen ausschliesslich aus Frankreich zurück gelieferten Glaskokillen hat die Schweiz bereits rund 50% ihrer Verpflichtungen gegenüber AREVA NC für die Rücknahme hochaktiver Abfälle erfüllt. Weitere Transporte dieser Abfallart zum ZZL werden ab 2012 stattfinden.

Im Berichtsjahr hat sich die Rücklieferung von mittelaktiven verpressten Abfällen (CSD-C) der AREVA NC fortgesetzt. Die entsprechende Rücknahmequote dieser Abfallart betrug per Ende 2011 rund 50% der Rücknahmeverpflichtung. Wie die Glaskokillen (CSD-V) werden diese Gebinde in den gleichen Behältern angeliefert, da beide Gebindetypen zwar unterschiedliche Massen, aber identische Abmessungen haben. Die CSD-C können im ZZL jedoch analog den mittelaktiven Betriebsabfällen wieder ausgeladen und im MAA-Lager eingelagert werden. Im Berichtsjahr fanden im Frühjahr und im Herbst jeweils eine Anlieferung von mittelaktiven Abfällen aus La Hague statt. Die Anlieferungen bestanden jeweils aus 60 CSD-C-Behältern mit Abfällen aus der Wiederaufarbeitung von Brennstoff aus dem Betrieb von KKL, KKG und KKM. Sie erfolgten in drei Transportbehältern mit je 20 Kokillen. Die CSD-C-Behälter wurden jeweils aus den Transportbehältern entladen und in das MAA-Lager der ZWILAG eingelagert. Die entleerten Transportbehälter werden wiederholt für weitere Rücklieferungen eingesetzt. Das ENSI hat dem jeweiligen Abfalleigentümer für jede der Rücklieferungen eine Genehmigung zum Übertritt in den Aufsichtsbereich des ENSI gemäss der Richtlinie ENSI-B05 erteilt.

Im Jahr 2010 hat Areva NC vorgeschlagen, statt bituminierte Schlämme aus den Wasserreinigungsanlagen der Wiederaufarbeitungsanlage verglaste mittelaktive Abfälle in Form von sogenannten CSD-B-Gebinden zurückzuführen. Die Schweizer Kernkraftwerksbetreiber haben einen gemeinsamen Vertrag für die Rücknahme von CSD-B-

Kokillen mit Areva NC abgeschlossen. Daher stellen sie am 8. Februar 2011 beim Bundesamt für Energie ein Vorabklärungsgesuch für diese Abfall-Kategorie. Das Bundesamt für Energie hat das ENSI mit der sicherheitstechnischen Prüfung des Gesuchs beauftragt. Das ENSI wird seine Stellungnahme zum Vorabklärungsgesuch voraussichtlich im Frühjahr 2012 fertigstellen.

Für die Rückführung der Abfälle aus Sellafield machen die schweizerischen Kernkraftwerksbetreiber von der Möglichkeit der Substitution Gebrauch: An Stelle der schwach- und mittelaktiven Abfälle wird eine hinsichtlich der radiologischen Eigenschaften gleichwertige, aber volumenmässig viel kleinere Menge an verglasten, hochaktiven Abfällen in die Schweiz zurückgeführt und so die Anzahl der Transporte stark reduziert. Erste Rücktransporte der Glaskokillen aus Sellafield sind ab 2013 geplant.

5.8 Vorkommnisse

Im Berichtsjahr waren hinsichtlich der nuklearen Sicherheit keine Vorkommnisse zu verzeichnen, welche dem ENSI gemäss Richtlinie ENSI-B03 gemeldet wurden.

5.9 Gesamtbeurteilung

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die ZWILAG die bewilligten Betriebsbedingungen im Jahr 2011 eingehalten hat.



Links: PSI-Westareal
Rechts: PSI-Ostareal
Rechts hinten: ZWILAG
Foto: ENSI

6. Paul Scherrer Institut (PSI)

6.1 Die Kernanlagen des 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 Materie und Material, Mensch und Gesundheit sowie Energie und Umwelt. Das Hotlabor, der Nullleistungs-Forschungsreaktor PROTEUS, die Anlagen für die Behandlung und Lagerung radioaktiver Abfälle sowie die im Rückbau befindlichen Forschungsreaktoren SAPHIR und DIORIT sind Kernanlagen und werden durch das ENSI beaufsichtigt.

Im Berichtsjahr waren hinsichtlich der nuklearen Sicherheit drei Vorkommnisse zu verzeichnen, welche dem ENSI gemäss Richtlinie ENSI-B03 gemeldet wurden. Diese sind im Kapitel Hotlabor, im Kapitel Forschungsreaktor PROTEUS und im Kapitel Lagerung radioaktiver Abfälle erörtert.

6.2 Hotlabor

Im Hotlabor werden hochradioaktive Substanzen gehandhabt. Die Abteilung Hotlabor, das Forschungslabor für nukleare Materialien und die Target-Entwicklungsgruppe untersuchen unter anderem in Reaktoren oder Beschleunigern stark bestrahlte Werkstoffe und Kernbrennstoffe mit unterschiedlichen makro- und mikroskopischen Methoden.

Vorkommnis: Anlässlich einer Brennstoffrückführungsaktion im Hotlabor wurde ein Logik-Fehler im Kernbrennstoff-Buchhaltungsprogramm entdeckt. Durch diesen Fehler ist es grundsätzlich möglich, unzulässige Materialcodes einzubuchen, wobei Spaltstoffanteile nicht erfasst werden. Solche Materialzusammensetzungen werden bei den Kritikalitätssicherheitsrechnungen nicht berücksichtigt. Bei den betroffenen vier Fehlbuchungen wurden insgesamt 0,7 g U-235 nicht erfasst. Das Vorkommnis wurde dem ENSI am 25. November 2011 gemeldet und als INES 0 eingestuft. Die Kritikalitätssicherheit war zu keiner Zeit gefährdet.

Im Hotlabor erfolgt auch die Konditionierung radioaktiver Abfälle aus dem Betrieb seiner heissen Zellen. Darunter fallen insbesondere Abfalllösungen, die bei der Brennstoff-Analytik anfallen, und Aktinide sowie Spalt- und Aktivierungsprodukte enthalten. Zur Verfestigung dieser flüssigen radioaktiven Abfälle hat das PSI die Fixbox-3-Anlage entwickelt und konstruiert. Das ENSI hat bestätigt, dass die Voraussetzungen zur Inbetriebnahme dieser Anlage per Ende 2011 grundsätzlich erfüllt waren und hat die Durchführung der Typenprüfung genehmigt.

Auf Gesuch des PSI hat das ENSI einen neuen Abfallbindetyp zur Konditionierung der bei der Probenentnahme für die Nachbestrahlungsuntersuchungen zum MEGAPIE-Target anfallenden radioaktiven Abfälle genehmigt.

Im Hotlabor wurden im Jahr 2011 insgesamt 23,5 t Material gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B04 freigemessen. Der grösste Teil stammt aus einer erfolgten Sanierung des Bodenbelags.

6.3 Forschungsreaktor PROTEUS

Die Direktion des PSI hat Anfang 2011 beschlossen, den Forschungsreaktor PROTEUS aus Kostengründen stillzulegen. Das Projekt LIFE@PROTEUS wurde sistiert. Die mit diesem Projekt verknüpfte Erneuerung des PROTEUS wird nicht realisiert. Im Jahr 2011 wurden keine Bestrahlungen im Rahmen von wissenschaftlichen Forschungsprogrammen durchgeführt. Die 253 Treiberstäbe wurden aus dem Reaktorkern gezogen, inspiziert und im Stablager eingelagert. Die weiteren betrieblichen Aktivitäten beschränkten sich auf routinemässig durchgeführte Checks, Wartungsarbeiten und Inspektionen.

Vorkommnis: Im Forschungsreaktor PROTEUS haben die Ausfahrzeit von Sicherheits- und Abschaltstäben, die Signalisation der Endlagen der Stäbe und das Abschalten des Motors sicherheitstechnische Bedeutung für das Verfahren der Sicherheits- und Abschaltstäbe. Sie werden gemäss Betriebsvorschrift monatlich geprüft. Der Reaktor war am 28. Januar 2011 vorbereitet, um den monatlichen Check durchzuführen. Teil dieses Checks ist die Messung der Ausfahrzeiten aller 8 Sicherheits- bzw. Abschaltstabpaare. Die Sicherheitsstabpaare Nr. 1 bis 4 wurden korrekt ausgefahren. Beim Abschaltstabpaar Nr. 5 kam es nach dem Ausfahren nicht zum Abstellen des Antriebsmotors, und die Endlage des Abschaltpaars Nr. 5 wurde nicht signalisiert. Die Abschaltfunktion war

dadurch nicht beeinträchtigt. Das Vorkommnis hat nur eine geringe sicherheitstechnische Bedeutung. Das ENSI bewertet das Vorkommnis mit INES 0.

6.4 Stillgelegte oder im Rückbau stehende Kernanlagen

Beim stillgelegten Forschungsreaktor SAPHIR sind Reaktorbecken und biologische Abschirmung vollständig abgebaut und entsorgt. Die planmässige Fortführung der seit Anfang 2009 ruhenden Rückbauarbeiten ist bis zur vollständigen Entleerung des Kernbrennstofflagers zurückgestellt.

Die biologische Abschirmung des Reaktors DIO-RIT wurde bis Ende 2011 mit Ausnahme von zwei kleineren Segmenten auf Hallenbodenniveau zurückgebaut. In der Berichtsperiode wurden 175 t Material (vorwiegend Beton) gemäss Richtlinie ENSI-B04 freigemessen und konventionell entsorgt.

Der Betrieb der Versuchsverbrennungsanlage des PSI wurde Ende 2002 eingestellt. Die Überwachung dieser abgestellten Kernanlage erfolgt routinemässig durch die Sektion Rückbau und Entsorgung des PSI. Mitte 2011 hat das PSI für die Versuchsverbrennungsanlage beim BFE ein Stilllegungsgesuch eingereicht.

6.5 Behandlung radioaktiver Abfälle

Das PSI ist 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 z.B. 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 ergeben sich unterschiedliche Konditionierungs- und Verpackungskonzepte, was ein im Vergleich zur Behandlung von Abfällen aus den Kernkraftwerken umfangreicheres und häufig änderndes Spektrum an Abfallbindetypen bedingt.

Im Jahr 2011 wurden insgesamt rund 51 m³

Abfälle bei der Bundessammelstelle angeliefert, davon 43,38 m³ aus dem PSI, 3,75 m³ aus der jährlichen Sammelaktion des Bundesamts für Gesundheit (BAG) und weitere 3,72 m³ aus dem CERN.

Unter den 3,75 m³ aus den BAG-Sammelaktionen befanden sich 79 vorkonditionierte Stahlzylinder (0,73 m³). Deren Übertritt in den Aufsichtsbereich des ENSI wurde vorgängig auf Basis der Richtlinie ENSI-B05 genehmigt. Derartige Zylinder mit flüchtigen MIF-Abfällen werden routinemäßig in der Industrie hergestellt. Sie sind als dicht verschweisste, nicht zulassungspflichtige Versandstücke qualifiziert und werden jährlich bei der Bundessammelstelle am PSI abgeliefert.

Im Herbst 2011 wurden 22 Fässer des KKB, welche sich seit mehreren Jahren zu Untersuchungszwecken am PSI befanden, nach Abschluss der Arbeiten an das KKB zurückgeführt.

Zur Behandlung in der Plasma Anlage der ZWILAG wurden 47,38 m³ feste, brennbare Rohabfälle aussortiert und verpresst; dabei wurden 61 Fässer à 200 Liter befüllt und zusammen mit 33 analogen, noch aus der Berichtsperiode 2010, übrigen Gebinden an die Zwiilag abgeliefert. Daraus resultieren 94 Fässer à 200 Liter mit vorkonditionierten brennbaren Abfällen, die das PSI in der Berichtsperiode

zusammen mit 8 weiteren 200-Liter-Fässern mit Proben aus den Qualitätskontrollprogrammen der KKW zur Behandlung in der Plasma-Anlage an die ZWILAG übergeben hat.

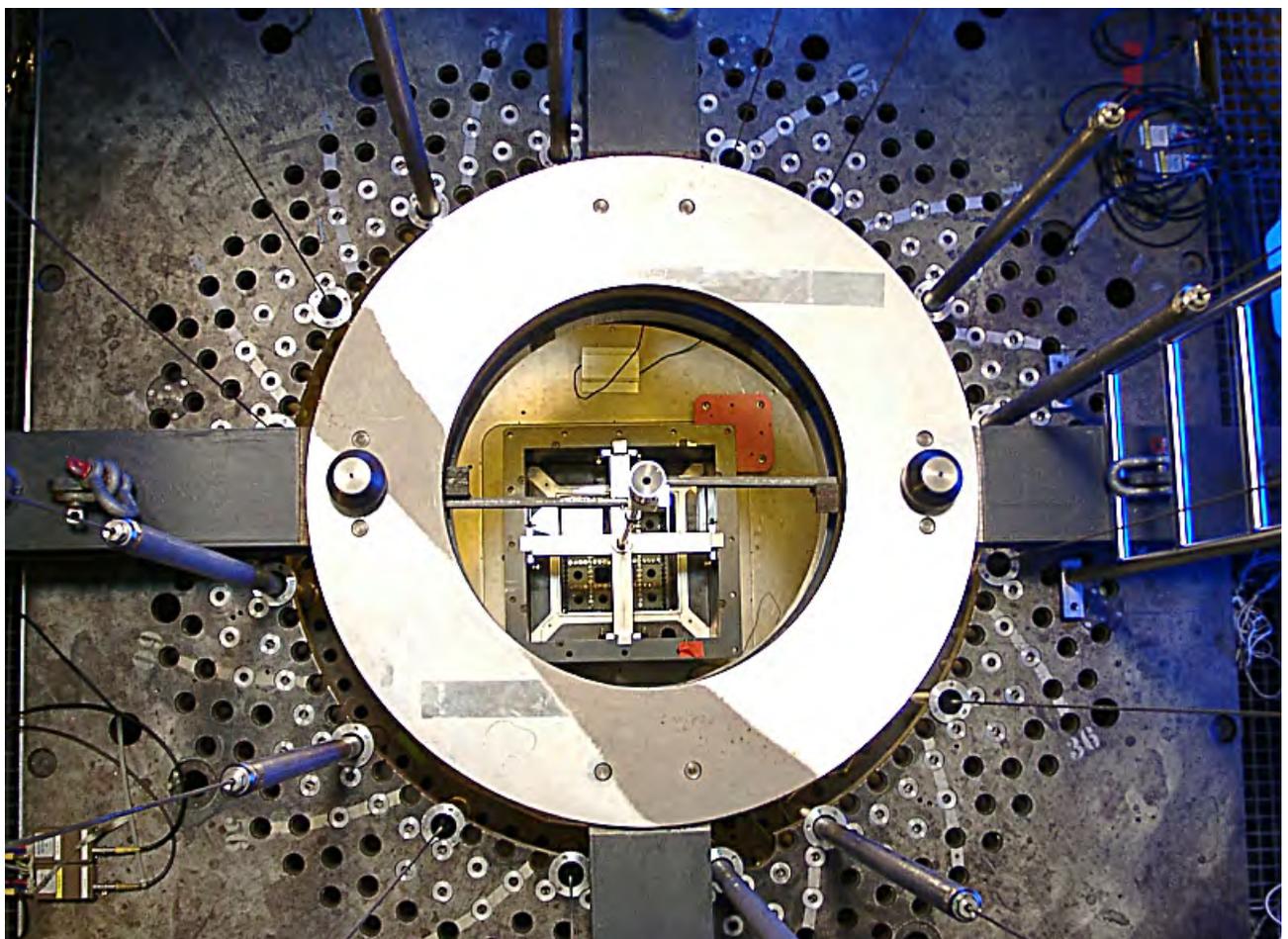
Im Berichtsjahr hat das PSI 27 Fässer à 200 Liter mit nicht brennbaren MIF-Abfällen endkonditioniert. Die geplante Konditionierung von 2 bis 3 Beton-Kleincontainern vom Typ KC-T12 mit Stilllegungsabfällen aus dem Forschungsreaktor DIORIT und Abfällen aus den Beschleunigeranlagen des PSI-West wurde aufgeschoben.

Des Weiteren hat das ENSI die Nachdokumentation von drei Abfallgebindtypen mit Tritium-, Radium und Americium-haltigen MIF-Abfällen (dicht verschweisste Stahlzylinder) genehmigt.

6.6 Lagerung radioaktiver Abfälle

Im Bundeszwischenlager (BZL) werden vorwiegend 200-Liter-Fässer und Kleincontainer (bis 4,5 m³) mit konditionierten Abfällen eingelagert. Fallweise werden unkonditionierte Komponenten in Kleincontainern temporär aufbewahrt. Das ENSI stimmt der Aufbewahrung nicht endkonditionierter Abfälle im BZL zu, sofern dies dem Opti-

Blick in den
Forschungsreaktor
PROTEUS.
Foto: PSI



mierungsgebot nach Artikel 6 der Strahlenschutzverordnung entspricht.

In der Berichtsperiode wurden insgesamt 32 endkonditionierte 200-Liter-Fässer neu im BZL eingelagert; dabei handelt es sich um 20 dem PSI zugeleitete Kokillenfässer aus der Plasma-Anlage der Zwiilag und 12 weitere, am PSI gemäss genehmigter Abfallgebindetypen, endkonditionierte 200-Liter-Fässer. Ende 2011 war der mit 200-Liter-Fässern belegte Raum mit 4844 Gebinden zu knapp 85 % gefüllt (+ 0,66 %). Das Inventar des BZL-Container-Teils blieb unverändert.

In weiteren Hallen 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 Lagerung radioaktiver Abfälle.

Die in Kap. 6.5 beschriebenen und abgelieferten 79 Stahlzylinder wurden im Hinblick auf deren Einlagerung in das BZL temporär in den Lagerhallen auf dem Gelände AERA untergebracht. Nach Beurteilung der neuen, durch das PSI im März 2011 beim ENSI eingereichten, BZL-Störfallanalyse hat das ENSI im Dezember 2011 die Einlagerungsfreigabe für die besagten Zylinder erteilt.

Vorkommnis: Anlässlich einer visuellen Inspektion an Stahlzylindern mit Tritium-haltigen MIF-Abfällen im Hinblick auf deren Einlagerung in das BZL wurden an mehreren Gebinden sichtbare Mängel und bei Nachuntersuchungen Undichtigkeiten festgestellt. Das PSI hat dem ENSI das Vorkommnis am 21. Dezember 2011 gemäss Richtlinie ENSI-B03 gemeldet und als INES 0 eingestuft. Die Beurteilung des ENSI ist Gegenstand laufender Ermittlungen.

Ende 2011 stellte das PSI beim BFE ein Gesuch für den Bau eines Stapelplatzes am PSI-Ost als Entlastungsbau für das Bundeszwischenlager BZL. In dem neuen Gebäude sollen hauptsächlich Beton-Kleincontainer der Typen KC-T12 und KC-T30 mit Abfällen aus dem PSI (Rückbau- und Beschleunigerabfälle) sowie aus dem MIF-Bereich bis zu ihrer Endlagerung gestapelt werden.

6.7 Strahlenschutz

Im Jahr 2011 akkumulierten die 1397 beruflich strahlenexponierten Personen des PSI eine Kolle-

tivdosis von 100,7 Pers.-mSv (2010: 129,5 Pers.-mSv). Davon stammen 11,7 Pers.-mSv aus dem Aufsichtsbereich des ENSI (2010: 14,3 Pers.-mSv) bei einer höchsten Individualdosis von 0,7 mSv (2010: 0,8 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 0,006 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 2011 des ENSI zu finden.

6.8 Notfallbereitschaft

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

Das ENSI hat im September 2011 an der Institutsnotfallübung AER zusammen mit dem Bundesamt für Gesundheit (BAG) die Notfallorganisation des PSI beobachtet und beurteilt. Für die Übung wurde ein Szenario gewählt, welches von einem Kurzschluss im Untergeschoss des Hotlabors ausging mit anschliessender Rauchgasentwicklung. Ein Mitarbeiter erlitt schwere Verbrennungen. Ein Labormitarbeiter liess eine radioaktive Probe fallen und wurde an den Händen und der Kleidung kontaminiert. Bei der Flucht aus dem Labor kam es zu einer Verschleppung der Kontamination. Die Löscharbeit des Hotlabors rückte unter Atemschutz in das Untergeschoss vor und begann mit den Löscharbeiten. Die Belegschaft wurde aufgefordert, das Gebäude zu verlassen und den Anweisungen zu folgen.

Aufgrund ihrer Übungsbeobachtungen identifizierten das ENSI und das BAG Verbesserungsmöglichkeiten bei der Alarmierung der Notfallorganisation und der Orientierung der Aufsichtsbehörde BAG. Das ENSI und das BAG kamen zum Schluss,

dass die Übungsziele gemäss der Richtlinie ENSI-B11 erreicht wurden. Das PSI verfügt über eine zur Beherrschung von Störfällen geeignete Notfallorganisation.

6.9 Personal und Organisation

Der Personalbestand des Hotlabors ist in den letzten Jahren stabil. Zur Sicherstellung des Know-how-Transfers hat das Hotlabor zur Vorbereitung der Pensionierung eines Mitarbeiters mit sicherheitsrelevanten Aufgaben dessen Nachfolger frühzeitig eingestellt. Das Hotlabor verfügt über ein Managementsystem, welches nach ISO 9001:2008 zertifiziert ist.

Im Berichtsjahr hat die Hälfte des zulassungspflichtigen Personals den Forschungsreaktor PROTEUS verlassen. Es verbleiben drei Reaktorphysiker (höchste Zulassungsstufe) und ein Reaktortechniker (zweithöchste Zulassungsstufe). Aus Sicht des ENSI ist diese Besetzung für den abgestellten Forschungsreaktor ausreichend.

Mit dem Stilllegungsentscheid für den Forschungsreaktor PROTEUS haben sich die Anforderungen an das zulassungspflichtige Personal geändert, da der Reaktor nicht mehr kritisch geladen werden soll. Themen wie beispielsweise Strahlenschutz, Arbeitssicherheit, Notfallübungen, etc. sind aber weiterhin von Bedeutung. Das ENSI hat dem Vorschlag des PSI, sich bei der Requalifikation des zulassungspflichtigen Personals auf die für den abgestellten Reaktor bedeutenden Themen zu beschränken, zugestimmt. Im Berichtsjahr wurde mit der Requalifikation des Personals begonnen.

Die Personalsituation und die Organisation in den sich im Rückbau befindenden Kernanlagen SAPHIR und DIORIT ist weitgehend unverändert. Die Sektion Rückbau und Entsorgung, welche

die Anlagen zur Entsorgung radioaktiver Abfälle betreibt, verfügt über ein akkreditiertes Qualitätsmanagementsystem nach ISO/IEC 17020.

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Organisation in den Kernanlagen des PSI zweckmässig ist und den Anforderungen der Kernenergiegesetzgebung genügt.

6.10 Strahlenschutz-Schule

Im Berichtsjahr wurde neben zahlreichen Kursen im Bereich Medizin und Forschung auch der vom ENSI anerkannte Ausbildungskurs zur Strahlenschutz-Fachkraft durchgeführt. Dieser 13-wöchige, praxisbezogene Kurs wurde von acht Teilnehmenden besucht und mit schriftlichen, mündlichen und praktischen Prüfungen erfolgreich abgeschlossen. Die Teilnehmenden kamen aus schweizerischen Kernkraftwerken, aus dem PSI und aus deutschen Unternehmen, welche fallweise auch in der Schweiz tätig sind. Das ENSI hat die Qualität des Unterrichts beurteilt, die Prüfungen beaufsichtigt und der Schule ein hohes Niveau der Lehrveranstaltungen attestiert.

6.11 Gesamtbeurteilung

Die nukleare Sicherheit im PSI war sowohl in Bezug auf die Auslegung der Kernanlagen als auch auf das Betriebsgeschehen gut. Die Betriebsstörungen und Vorkommnisse waren für das Personal, die Kernanlagen und die Umgebung von geringer sicherheitstechnischer Bedeutung. Es gab keine radiologischen Auswirkungen auf die Bevölkerung. Das ENSI kommt zum Schluss, dass das Personal der Vielfalt und Komplexität der PSI-Anlagen angemessen Rechnung trägt.



Reaktorkern des
Forschungsreaktors
CROCUS.
Foto: EPFL

7. Weitere Kernanlagen

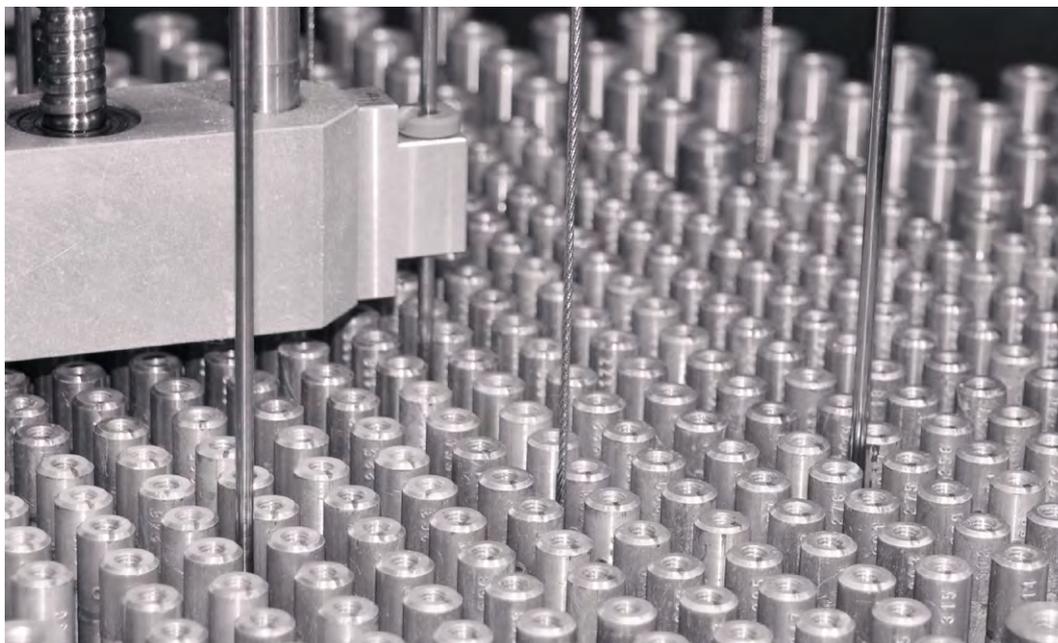
7.1 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

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 2011 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 110,3 Stunden bei kleiner Leistung (unter 100 W) für Ausbildungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 159 Wh thermische Energie erzeugt. Reparaturen und Modernisierung an hydraulischen Komponenten wurden im Frühjahr 2011 ausgeführt. Deshalb waren die Betriebsstunden des CROCUS-Reaktors geringer als im Durchschnitt der vergangenen Jahre. Das Experiment CARROUSEL wurde für

Praktika verwendet. Die Neutronenquelle LOTUS war nicht in Betrieb.

Die alte Lüftungsanlage in der kontrollierte Zone wurde während des Sommers durch eine neue Anlage ersetzt. Die bei der Demontage angefallene Abfallmenge von ca. 52,5 t wurde als inaktiv freigemessen und konventionell entsorgt. Das ENSI hat vor dem geplanten Abtransport des Materials eine Inspektion durchgeführt. Eine weitere Charge wird im Jahr 2012 freigemessen und entsorgt.

Anlässlich eines Betriebstests des Reaktors «CROCUS» wurde am 26. Oktober 2011 festgestellt, dass ein Spannungsversorgungsmodul nicht korrekt funktioniert hat. Der Reaktor konnte zu diesem Zeitpunkt nicht angefahren werden. Das Ereignis wurde gemäss der Richtlinie B03 an das ENSI gemeldet. Die Sicherheit der Anlage war zu keiner Zeit beeinträchtigt. Als Folgemaassnahme wurden diverse Tests mit Reservemodulen durchgeführt. Nach weiteren Anpassungen und Einstellungen konnte der Reaktor am 31. Oktober 2011 wieder in Betrieb genommen werden. Die



defekten Module werden zur Untersuchung und Reparatur an den Hersteller geschickt. Dieses Vorkommnis wurde auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 0 (unterhalb der Skala) eingestuft.

Im Jahr 2011 lagen die Dosen des Personals unterhalb der Nachweisgrenze. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend. Im Dezember 2011 hat das ENSI seine Jahresinspektion durchgeführt. Dabei wurden technische, organisatorische und personelle Änderungen besprochen und es wurde ein Rundgang durch verschiedene Anlagenräume durchgeführt.

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Betriebsbedingungen im Jahr 2011 eingehalten wurden.

7.2 Universität Basel

Der Forschungsreaktor AGN-211-P der Universität Basel dient vorwiegend der Ausbildung von Studenten und der Anwendung in der Neutronenaktivierungsanalytik.

Die Nutzung des Reaktors hat sich gegenüber den Vorjahren kaum verändert. Im Berichts-

jahr betrug die produzierte Energie 31,7 kWh. Die Nutzung verteilt sich auf die Neutronenaktivierungsanalytik für die Universitäten Bern und Basel, die Kurse der Reaktorschule und der Strahlenschutzkurse sowie auf etliche Vorführungen für Besuchergruppen und Schulklassen. Der Reaktorbetrieb erfolgte im Kalenderjahr 2011 störungsfrei bei einer thermischen Leistung von rund 1 kW. Vom Bewilligungsinhaber wurden zwei umfassende Kontrollen der Reaktorschutzinstrumentierung durchgeführt und die Reaktorwasseraktivität überprüft, wobei keine Abweichungen von den Vorgaben festgestellt wurden. Im Jahr 2011 traten keine meldepflichtigen Vorkommnisse von sicherheitstechnischer Bedeutung gemäss Richtlinie ENSI-B03 auf. Die Dosen des Personals lagen unterhalb der Nachweisgrenze. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und den Abwasserpfad war unbedeutend. Im Oktober 2011 hat das ENSI seine Jahresinspektion durchgeführt. Dabei wurden technische, organisatorische und personelle Änderungen besprochen und es wurde ein Rundgang durch die Anlagenräume durchgeführt. Das ENSI stellte fest, dass die Betriebsbedingungen im Jahr 2011 eingehalten wurden.



Transport- und Lagerbehälter in der Behälter-Lagerhalle der ZWILAG.
Foto: ZWILAG

8. Transporte und Behälter

8.1 Genehmigungen nach Gefahrgutgesetzgebung

Die schweizerischen Vorschriften für den Transport radioaktiver Stoffe auf Strasse und Schiene basieren auf den internationalen Regelwerken über den Transport gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR¹) bzw. mit der Eisenbahn (RID²). Bei allen Verkehrsträgern kommen die IAEA-Empfehlungen (TS-R-1³) für die sichere Beförderung radioaktiver Stoffe zur Anwendung. Basierend auf diesen Empfehlungen wird das internationale Transportrecht regelmässig angepasst. Im nationalen Transportrecht für Gefahrgüter der Klasse 7 (radioaktive Stoffe) gelten u.a. die SDR⁴ und die RSD⁵. 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 (vgl. fol-

gende Kapitel). Das ENSI ist die zuständige schweizerische Behörde für die Ausstellung von Genehmigungszeugnissen gemäss Gefahrgutgesetzgebung, und das unabhängig davon, ob es sich beim Transportgut um radioaktive Stoffe aus Kernanlagen oder aus anderen Betrieben handelt. Derzeit findet in der Schweiz keine Fertigung von zulassungspflichtigen Versandstücken statt. Die umfassende Zulassung derartiger Behältertypen im Ursprungsland ist somit nicht Aufgabe des ENSI. Dagegen ist häufig eine Anerkennung der von der zuständigen Behörde des Ursprungslandes ausgestellten Zulassung von Versandstückmustern erforderlich. Dabei prüft das ENSI die Vollständigkeit des zugehörigen Sicherheitsberichts insbesondere hinsichtlich des Nachweises, dass alle gemäss ADR/RID und TS-R-1 vorgeschriebenen Anforderungen erfüllt sind. Beförderungsgenehmigungen sind in bestimmten Fällen erforderlich, vor allem wenn die Beförderung aufgrund einer Sondervereinbarung erfolgt. In solchen Fällen müssen für

¹ Europäisches Übereinkommen über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse

² Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter

³ IAEA Safety Standards Series: Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 2009 Edition, Safety Requirements TS-R-1

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)

den Transport spezielle Massnahmen durch das ENSI festgelegt werden. Zudem wird anhand der eingereichten Dokumente jeweils geprüft, ob Verpackung und Inhalt den Vorschriften entsprechen. Im Berichtsjahr hat das ENSI 7 Gesuche nach Gefahrgutgesetzgebung beurteilt und die entsprechende Genehmigung ausgestellt. 6 Gesuche betrafen die Anerkennung der Zulassung von Versandstückmustern. Ein Gesuch bezog sich auf eine Beförderungsgenehmigung nach Gefahrgutrecht.

8.2 Bewilligungen nach Strahlenschutzgesetzgebung

Gemäss Artikel 2 des Strahlenschutzgesetzes sind die Beförderung auf öffentlichen Verkehrswegen sowie die Ein- und Ausfuhr von radioaktiven Stoffen bewilligungspflichtige Tätigkeiten. Die Voraussetzungen für die Erlangung solcher Bewilligungen sind im Strahlenschutzgesetz (StSG) und in der Strahlenschutzverordnung (StSV) festgehalten. Derartige Bewilligungen sind über einen längeren Zeitraum 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 BAG zuständig. Im Berichtsjahr hat das ENSI eine allgemeine Bewilligung sowie eine der oben beschriebenen Einzelbewilligungen erteilt.

Spezial-Strassenfahrzeug
der ZWILAG.
Foto: ZWILAG



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 BFE. Im Hinblick auf die kernenergierechtliche Bewilligung von Transporten prüft jeweils das ENSI als Fachbehörde, dass die nukleare Sicherheit und Sicherung gewährleistet und die Vorschriften über die Beförderung gefährlicher Güter erfüllt sind. Das BFE erteilt die Bewilligung erst aufgrund einer zustimmenden Beurteilung durch das ENSI.

Im Berichtsjahr hat das ENSI 12 Beurteilungen für kernenergierechtliche Transportbewilligungen abgegeben. Von diesen betreffen 3 Bewilligungen Transporte von Kernmaterial und 9 solche von Abfällen. Bei den Kernmaterialien handelte es sich a) um die Versorgung des KKL mit frischen Brennelementen, b) den Transport von abgebrannten Brennelementen aus dem KKL ins Zentrale Zwischenlager (ZZL) der ZWILAG, c) einem Transport von Brennstäben zu Untersuchungen in einem ausländischen Laboratorium. Bei den radioaktiven Abfällen bestanden 2 Transporte aus der Rückführung von Wiederaufarbeitungsabfällen (CSD-C) von La Hague ins ZZL; 7 Transporte waren radioaktive Abfälle von den KKW ins ZZL zur Verarbeitung und Zwischenlagerung.

8.4 Rückführung von Abfällen aus der Wiederaufarbeitung

Aufgrund des zehnjährigen Moratoriums finden bis 2016 keine Transporte bestrahlter Brennelemente ins Ausland statt. Hingegen fanden 2011 zwei Transporte mit je drei Behältern kompaktierter Abfälle vom Typ CSD-C aus der französischen Wiederaufarbeitungsanlage in La Hague zum ZZL statt. Aus La Hague wurden damit bereits etwa die Hälfte aller rücknahmepflichtigen Wiederaufarbeitungsabfälle in die Schweiz zurückgeliefert. Die Rückführungen aus Sellafield werden nach derzeitiger Planung in den Jahren 2013 und 2018 stattfinden.



8.5 Beschaffung von Transport- und Lagerbehältern

Das Konzept der Zwischenlagerung von bestrahlten Brennelementen und von Glaskokillen besteht darin, diese Abfälle in störfallsicheren Transport- und Lagerbehältern (TL-Behältern) einzuschliessen, deren Dichtheit im Zwischenlager kontinuierlich überwacht wird. Diese Behälter werden von den Kernkraftwerken bzw. von den Wiederaufarbeitungsanlagen zum jeweiligen Zwischenlager transportiert, dort in der Behälterlagerhalle abgestellt und an das Überwachungssystem angeschlossen. Die TL-Behälter müssen die Sicherheit für den gesamten Zeitraum der Zwischenlagerung gewährleisten, weshalb hierfür gegenüber einem reinen Transportbehälter nochmals erhöhte Anforderungen zu erfüllen sind. Die Anforderungen und Verfahren hierzu regelt die Richtlinie ENSI-G05. Mit dieser Richtlinie sind nicht nur die Anforderungen an die Auslegung der TL-Behälter spezifiziert, sondern auch die Anforderungen an die Behälterfertigung, wie etwa Qualitätsanforderungen, begleitende Kontrollen oder Behälterdokumentation. Bei der Fertigung derartiger Behälter sind festgelegte und vom ENSI freigegebene Abläufe einzuhalten, welche im Auftrag des ENSI von unabhängigen Experten kontrolliert werden. Für jeden Behälter bestätigt das ENSI schliesslich den qualitätsgerechten Abschluss der Fertigung durch seine Freigabe zur Verwendung. Ende 2011 befanden sich 19 Behälter in den ver-

schiedenen Fertigungsphasen: von der Vorbereitung bis zur Endprüfung der Gesamtdokumentation nach Fertigungsabschluss. Im Jahr 2011 wurden 14 Brennelementbehälter und 6 Behälter für hochaktive verglaste Abfälle während der Fertigung kontrolliert. Soweit sich Beanstandungen ergaben, wurden diese in allen Fällen vom Hersteller korrigiert oder nach eingehender Prüfung als akzeptabel qualifiziert, sofern die auslegungsgemässe Sicherheit des jeweiligen Behälters nachgewiesen werden konnte. Die Anzahl solcher Beanstandungen hat sich gegenüber dem Vorjahr erhöht. Bereits vom Hersteller vorgeschlagene Korrekturmaassnahmen befinden sich in der Umsetzung. Zusätzlich wurde die Wartung zweier Transportbehälter in der Schweiz durchgeführt. Das ENSI hat die Wartungsarbeiten inspiziert und sich von der ordnungsgemässen Durchführung nach den Vorgaben des Behälterherstellers überzeugt. Im Rahmen der Inspektion wurde an zwei Punkten Verbesserungsbedarf innerhalb der Qualitätsprozesse identifiziert; die entsprechenden Massnahmen befinden sich in der Umsetzung. Im Berichtsjahr wurden seitens des ENSI keine Freigaben für die Verwendung und für die Einlagerung von Transport- und Lagerbehälter erteilt. Zurzeit befinden sich zwei neue Behältertypen im Zulassungsverfahren nach der Richtlinie ENSI-G05. Aufgrund der neuartigen Eigenschaften dieser Behältertypen und des daraus folgenden Prüfumfanges werden diese Verfahren als Projekte auch unter Beizug externer Experten abgewickelt.

Nächtlicher Transport eines TL-Behälters.
Foto: ZWILAG

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 überprüft. Zudem prüft das ENSI im Rahmen seiner Inspektionen regelmässig übergeordnete organisatorische Aspekte, die als gute Indikatoren für das Qualitätsbewusstsein dienen.

Das ENSI führte im Jahr 2011 in seinem Aufsichtsbereich 10 Transportinspektionen durch. Betroffen waren drei Anlieferungen von frischen Brennelementen, radioaktive Abfälle sowie sonstige radioaktive Stoffe (Proben, Quellen, Werkzeuge, etc.). Eine Inspektion betraf den internen Transfer eines Behälters im KKG. In zwei Fällen wurde bei Bewertungen dieser Inspektionen Verbesserungsbedarf festgestellt. Sicherheitsrelevante Grenzwerte für Kontamination, Dosisleistung und sonstige Behäl-

tereigenschaften wurden jedoch in allen Fällen eingehalten. Bezüglich der Transportdurchführung konnte somit in allen Fällen die Einhaltung der Vorschriften bezüglich Sicherheit und Strahlenschutz des Personals, der Bevölkerung und der Umwelt nachgewiesen werden.

In einem Fall der Anlieferung von unbestrahlten Brennelementen wurde «Gute Praxis» ausgesprochen. Damit sollte die vorbildliche, umfassende Einarbeitung neuer Mitarbeiter im Bereich Strahlenschutz und Transportabwicklung honoriert werden. Bei den beiden Abweichungen zeigte sich die Notwendigkeit der Verbesserung von den intern benutzten Dokumenten wie Verfahrens- und Arbeitsanweisungen, Formularen und Checklisten. Bei den festgestellten Mängeln in der Dokumentation ging es um die Verknüpfung der Verfahrens- und Arbeitsanweisungen mit den dazugehörigen Formularen und Checklisten und die richtige Protokollierung der Messwerte. Dies erforderte die Überarbeitung der eingesetzten Dokumente und die Schulung der betroffenen Mitarbeiter bei deren Anwendung. Ferner wurden in einem Fall organisatorische Engpässe festgestellt, welche durch klare Festlegung der Pflichten und ausreichende Unterstützung aller an den Aufgaben Beteiligten behoben werden konnten.



Eine der Versuchseinrichtungen im Felslabor Mont Terri.
Foto: ENSI

9. Geologische Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle

Für die Abfallverursacher besteht die gesetzliche Verpflichtung, die anfallenden radioaktiven Abfälle sicher in geologischen Tiefenlagern zu entsorgen. Im Auftrag der Abfallverursacher ist die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) für die wissenschaftliche und technische Vorbereitung dieser Aufgabe, insbesondere für die Entwicklung von Projekten zur Tiefenlagerung und die entsprechende Standortsuche, verantwortlich. Das Entsorgungskonzept der Nagra umfasst zwei Tiefenlager, eines für schwach- und mittelaktive Abfälle und eines für hochaktive Abfälle. Die Standortsuche für die benötigten Tiefenlager erfolgt durch das im Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) definierte Verfahren (Kap. 9.1). Das von der Nagra vorgelegte Entsorgungsprogramm beschreibt den Realisierungsplan und die dafür notwendigen Schritte (Kap. 9.2). Der schweizerische Bundesrat verfügte, dass Hinweise und offene Fragen aus dem Entsorgungsnachweis von den Entsorgungspflichtigen systematisch zu erfassen sind und in einem Bericht

darzulegen ist, wie diese im weiteren Vorgehen berücksichtigt werden (Kap. 9.3). Die Kernkraftwerksbetreiber sind gesetzlich verpflichtet, alle fünf Jahre die voraussichtliche Höhe der Stilllegungs- und Entsorgungskosten zu berechnen. Die Entsorgungspflichtigen haben im November 2011 eine entsprechende Kostenstudie vorgelegt (Kap. 9.4). Die für die Tiefenlagerung notwendigen Daten werden teilweise in Felslaboratorien ermittelt (Kap. 9.5). Die Verfolgung des Stands von Wissenschaft und Technik zu Tiefenlager-relevanten Prozessen wird durch die Mitarbeit in internationalen Programmen ergänzt (Kap. 9.6). Nachfolgend wird der Stand der Arbeiten zur geologischen Tiefenlagerung der radioaktiven Abfälle dargelegt.

9.1 Sachplan geologische Tiefenlager

Der vom Bundesrat im April 2008 genehmigte Sachplan geologische Tiefenlager regelt das Standortauswahlverfahren für geologische Tie-

fenlager. Dieses Verfahren ist in drei Etappen aufgeteilt. Gegen Ende 2008 reichte die Nagra für die Etappe 1 des Sachplans ihren Vorschlag geologischer Standortgebiete ein. Für das Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) schlägt die Nagra die sechs Standortgebiete Südanden, Zürich Nordost (ehemals Zürcher Weinland), Nördlich Lägern, Jura Ost (ehemals Bözberg), Jura-Südfuss und Wellenberg vor. Für die Lagerung hochaktiver Abfälle (HAA) wurden die drei Standortgebiete Zürich Nordost, Nördlich Lägern und Jura Ost vorgeschlagen.

In Etappe 1 des Sachplanverfahrens hat das ENSI überprüft, ob sich die vorgeschlagenen Standortgebiete sicherheitstechnisch für den Bau eines Tiefenlagers eignen und stimmten der Wahl der vorgeschlagenen Standortgebiete zu. Zusätzliche Stellungnahmen erfolgten durch die Kommission Nukleare Entsorgung (KNE), die Kommission für nukleare Sicherheit (KNS), die Kantone (AG SiKa/KES) und die deutsche Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager (ESchT).

Der Bundesrat hat im November 2011 den Ergebnisbericht zur Etappe 1 gutgeheissen und entschieden, die von der Nagra vorgeschlagenen Standortgebiete aufgrund der Gutachten und Stellungnahmen der Sicherheitsbehörden und Kommissionen des Bundes in den Sachplan geologische Tiefenlager aufzunehmen. Er hat zudem das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) beauftragt, Etappe 2 der Standortsuche zu starten. Die vorgeschla-

genen Standortgebiete werden in der rund vier Jahre dauernden Etappe 2 vertieft untersucht.

Der Konzeptteil des Sachplans geologische Tiefenlager sieht vor, dass im Hinblick auf Etappe 2 die Entsorgungspflichtigen vorgängig mit dem ENSI abzuklären haben, ob der Kenntnisstand der Prozesse und sicherheitsrelevanten Parameter ausreicht, um in Etappe 2 provisorische Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich durchführen zu können. Das ENSI hat seine Anforderungen an die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich im Bericht ENSI 33/075 im April 2010 festgelegt. Die Nagra hat im November 2010 den entsprechenden Bericht zur Darlegung der Datenlage eingereicht (NTB 10-01). Die dazugehörige Stellungnahme hat das ENSI im März 2011 veröffentlicht und im April 2011 im Rahmen einer Fachsitzung des Technischen Forums Sicherheit vorgestellt. Die Kernaussagen dieser Stellungnahme sind:

- Die Nagra hat in ihrem Bericht NTB 10-01 den geologischen Kenntnisstand in den jeweiligen Standortgebieten und die Ableitung der sicherheitstechnisch relevanten Parameter korrekt dargelegt.
- Basierend auf dem aktuellen Kenntnisstand, zusammen mit den von der Nagra vorgeschlagenen ergänzenden Untersuchungen und den vom ENSI zusätzlich geforderten Ergänzungen kann der notwendige Kenntnisstand erreicht werden, um in Etappe 2 belastbare Aussagen zur sicherheitstechnischen Einstufung und zur

Erforschung des
Gastransports.
Foto: ENSI





Messung des Verhaltens der Stollenwand bei Luftfeuchtigkeitsschwankungen.

Foto: ENSI

bautechnischen Machbarkeit machen zu können.

- Das ENSI hat 41 Forderungen gestellt, die vor der Einreichung der Unterlagen der Nagra für Etappe 2 erfüllt sein müssen.
- Vor Einreichung der für Etappe 2 erforderlichen Unterlagen durch die Nagra wird das ENSI im Rahmen einer Grobprüfung feststellen, ob die Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen die Anforderungen gemäss ENSI 33/075 erfüllen.

Die Hauptforderungen des ENSI betreffen die Verbesserung des Kenntnisstands über die Wirtgesteine Brauner Dogger und Effinger Schichten, die systematische Beschreibung der hydraulischen Fliesswege in den Standortregionen und vertiefte Untersuchungen bei den bautechnischen Aspekten.

In Etappe 2 sind je mindestens zwei Standorte für ein Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle und ein Lager für hochaktive Abfälle vorzuschlagen. Für diese Standorte sind Sondierbohrungen notwendig, um in Etappe 3 (d.h. im Hinblick auf die Rahmenbewilligung) den gemäss Kernenergieverordnung geforderten Kenntnisstand zu erreichen. Das ENSI erwartet deshalb, dass die Nagra zusammen mit den Standortvorschlägen in Etappe 2 entsprechende Gesuche einreicht.

Der Sachplan geologische Tiefenlager sieht für die Beantwortung sicherheitstechnischer Fragen das Technische Forum Sicherheit vor, das in Zusammenarbeit mit Vertretern der Kantone, der Stand-

ortregionen und Nachbarländer sowie Bundesbehörden sicherheitsrelevante Fragen sammelt, beantwortet und die Antworten der Öffentlichkeit zur Verfügung stellt. 2011 fanden vier Sitzungen des Technischen Forums Sicherheit statt. Von den bis Ende 2011 eingetroffenen 63 Fragen sind 52 beantwortet. Fragen und Antworten sind unter www.technischesforum.ch einsehbar. Im Rahmen von Fachsitzungen wurden auch spezifische Fragestellungen zu den Themen Gasbildung und Gastransport im Tiefenlager und der Zugangsbauwerke (Rampe/Schacht) eines Tiefenlagers anhand des aktuellen Wissensstands dargelegt und diskutiert.

Beim Aufbau der Regionalkonferenzen, die die Standortgebiete in Etappe 2 im Rahmen der Partizipation vertreten werden, hat das ENSI an diversen Informations- und Ausbildungsveranstaltungen teilgenommen. Das ENSI hat an diesen Veranstaltungen seine Rolle als Aufsichtsbehörde im Sachplan geologische Tiefenlager erläutert, insbesondere wie es die Sicherheit von geologischen Tiefenlagern überprüft.

9.2 Entsorgungsprogramm

Die Kernenergieverordnung (KEV) legt in Artikel 52 fest, dass die Entsorgungspflichtigen ein Entsorgungsprogramm vorlegen müssen. Es ist alle fünf Jahre anzupassen. Zuständig für die Überprüfung und für die Überwachung der Einhaltung des

Programms sind das ENSI und das Bundesamt für Energie (BFE).

Das BFE prüft den Finanzplan für die Entsorgungsarbeiten bis zur Ausserbetriebnahme der Kernanlagen sowie das Informationskonzept der Nagra. Die Unterlagen der Nagra (NTB 08-01) wurden mit den Standortvorschlägen für geologische Tiefenlager im Oktober 2008 eingereicht. Die Prüfung der Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle, der benötigten geologischen Tiefenlager einschliesslich ihres Auslegungskonzepts und der Zuteilung der Abfälle zu den geologischen Tiefenlagern erfolgte im Rahmen der Prüfung der Standortvorschläge der Nagra in Etappe 1. Das ENSI legte daher sein Schwergewicht bei der Prüfung des Entsorgungsprogramms auf den Realisierungsplan für die Erstellung der geologischen Tiefenlager.

9.3 Offene Fragen aus dem Entsorgungsnachweis

Der schweizerische Bundesrat verfügte im Juni 2006, dass der Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente (BE), verglaste hochaktive Abfälle (HAA) und langlebige mittelaktive Abfälle (LMA) erbracht ist. Er legte fest, dass die Kernkraftwerkgesellschaften gleichzeitig mit dem Entsorgungsprogramm nach Artikel 32 des Kernenergiegesetzes dem Bundesrat einen Bericht zu unterbreiten haben, der alle in den Gutachten und Stellungnahmen der damaligen HSK (einschliesslich KNE) und KSA sowie der OECD/NEA-Experten enthaltenen offenen Fragen, Hinweise und Empfehlungen systematisch erfasst und aufzeigt, wie diese im weiteren Verfahren zeit- und sachgerecht beantwortet werden. Diese offenen Einzelpunkte und Empfehlungen stellen die grundsätzliche Machbarkeit eines geologischen Tiefenlagers nicht in Frage, sie müssen aber stufengerecht im Verlauf der schrittweisen Realisierung des Lagers beantwortet werden.

Die Nagra reichte dazu im November 2008 den Bericht NTB 08-02 ein und legte darin ihre Vorgehensweise zu rund 200 Empfehlungen dar. Diese Empfehlungen sind teilweise deckungsgleich und betreffen häufig gleiche Themenbereiche. Wichtige Empfehlungen aus dem damaligen Verfahren sind bereits in den Konzeptteil des Sachplans geologische Tiefenlager und in die Richtlinie ENSI-G03 eingeflossen. Die Nagra hat diese Vorgaben bei der Ausarbeitung der Vorschläge geologischer

Standortgebiete in Etappe 1 des SGT berücksichtigt. Einige der Empfehlungen und Hinweise wurden in der Zwischenzeit bereits umgesetzt. Das ENSI wird seine Stellungnahme im Jahr 2012 veröffentlichen.

9.4 Kostenstudie

Die Finanzierung der Stilllegung der Kernkraftwerke und die Entsorgung der radioaktiven Abfälle nach Ausserbetriebnahme der Anlagen wird in der Schweiz durch zwei unabhängige Fonds sichergestellt: Der Stilllegungsfonds deckt die Kosten der Stilllegung der Kernanlagen, der Entsorgungsfonds deckt die Kosten der sicheren Entsorgung der radioaktiven Abfälle und der abgebrannten Brennelemente in geologischen Tiefenlagern. Beide Fonds werden durch Beiträge der Betreiber geäufnet, die gemäss Kernenergiegesetz (Art. 27 und 31) zur Übernahme dieser Kosten verpflichtet sind.

Die Kernkraftwerkbetreiber sind gesetzlich verpflichtet, die voraussichtliche Höhe der Stilllegungs- und Entsorgungskosten zu berechnen. Diese Kostenstudien, die gemäss Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung (SEFV) alle 5 Jahre aufgrund des neusten Stands von Wissenschaft und Technik aktualisiert werden müssen, bilden die Grundlage für die Berechnung der jährlichen Beiträge der Betreiber an die beiden Fonds, die durch eine Verwaltungskommission festgelegt werden. Die letzten Kostenstudien der Entsorgungspflichtigen stammen aus dem Jahr 2006. Swissnuclear, die Fachgruppe Kernenergie des Verbands swiss-electric, hat im November 2011 der Verwaltungskommission der beiden Fonds die Kostenstudien 2011 vorgelegt, welche die Grundlage für die Berechnung der Beiträge in der Veranlagungsperiode 2012 bis 2016 bilden.

Der Abschluss der Prüfung der Kostenstudie, die das ENSI in Zusammenarbeit mit externen Experten vornimmt, ist für 2012 vorgesehen.

9.5 Felslaboratorien

In der Schweiz werden zwei Felslaboratorien im Kristallin- und im Tongestein (Felslabor Grimsel und Felslabor Mont Terri) betrieben, wo unter internationaler Beteiligung umfangreiche Forschungsprojekte durchgeführt werden. Sie dienen einerseits der Charakterisierung und Erfassung der geotech-



nischen, geochemischen und hydraulischen Eigenschaften dieser Gesteinsformationen sowie andererseits auch der Entwicklung und Überprüfung von Lagerkonzepten für den sicheren Einschluss radioaktiver Abfälle in geologischen Tiefenlagern. Für die Beurteilung der Sicherheit von geologischen Tiefenlagern liefern diese Forschungsarbeiten wichtige Erkenntnisse und erlauben anhand von Demonstrationsversuchen, das Verhalten technischer (Bentonit, Zement, Stahlbehälter) und natürlicher Barrieren (Wirtgestein und Rahmengesteine) zu untersuchen.

Das ENSI beteiligt sich seit 2003 mit eigenen Forschungsprojekten im Felslabor Mont Terri, um die behördeninterne Fachkompetenz zu erhalten und zu fördern. Der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten lag 2011 auf der Fortführung und Auswertung des sogenannten RC-Experimentes, welches von der Ingenieurgeologie der ETH Zürich betreut wird. Zielsetzung dieses vierjährigen Experimentes ist es, die durch den Bau der Galerie-2008 infolge von Spannungsumlagerungen hervorgerufenen Deformationen im Opalinuston quantitativ zu erfassen. Langfristig sollen auch sehr langsam ablaufende Verformungen im Gebirge (Konvergenz, Kriechprozesse) mittels eines Bohrloch-Monitoring-Systems analysiert werden. Ergänzt werden diese Untersuchungen durch umfangreiche

felsmechanische Laborversuche, mit welchen die felsmechanischen Kennwerte des Opalinustons ermittelt und für Rechenimulationen verfügbar gemacht werden. Am RC-Experiment beteiligen sich neben ENSI und ETH die deutsche Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR (geophysikalische Messungen) und die swisstopo (geodätische Messungen).

Neben dem RC-Experiment beteiligt sich das ENSI ausserdem an zwei kleineren Experimenten. Das eine Experiment untersucht das zyklische Austrocknungsverhalten der Stollenwand des Opalinustons in Abhängigkeit des Stollenklimas (Temperatur, Luftfeuchtigkeit). Mit dem anderen Experiment evaluiert das ENSI zusammen mit der swisstopo eine neue Methode der Durchlässigkeitsbestimmung in Bohrungen anhand von Verdunstungsmessungen.

9.6 Internationaler Wissenstransfer

Die Mitarbeit in internationalen Arbeitsgruppen bietet dem ENSI Gelegenheit, alle relevanten Fragestellungen im Bereich der Entsorgung in geo-

logischen Tiefenlagern im europäischen Rahmen zu verfolgen und bezüglich Stand von Wissenschaft und Forschung über die aktuellen Entwicklungen informiert zu bleiben. Die Resultate dieser Arbeiten fließen in die Begutachtung im Rahmen des Sachplans geologische Tiefenlager ein.

Neben der Beteiligung des ENSI an der internationalen Forschung im Felslabor Mont Terri engagiert sich das ENSI im Rahmen internationaler Programme zur Entsorgung (EU-Projekte) und arbeitet in verschiedenen internationalen Gremien mit. Das 2009 gestartete vierjährige Forschungsprojekt FORGE («fate of repository gases») der Europäischen Union dient der Erforschung der in einem geologischen Tiefenlager durch Korrosion oder Zersetzung produzierten Gase, dem damit verbundenen Gasdruckaufbau und dem Abtransport des

Gases durch ein wenig durchlässiges Medium (z.B. ein tonreiches Gestein). 2010 und 2011 wurden Vergleichsrechnungen von den teilnehmenden Gruppen durchgeführt. Dabei wurde der zweidimensionale Gastransport für ein Tiefenlager modelliert. Der Vergleich der Ergebnisse zeigte, dass die Berechnungen des ENSI einem international hohen Standard entsprechen.

Im Rahmen eines Forschungsprojekts der Agneb (Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung) verfolgt das ENSI eng die Aktivitäten am vierjährigen Forschungsprogramm MoDeRn («Monitoring developments for safe repository operation and staged closure», 2009–2013). Dabei verfolgt das ENSI die aktuellen Aktivitäten und technischen Entwicklungen auf dem Gebiet der Umweltüberwachung und Messtechnik.

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. Schwere Unfälle sind äusserst unwahrscheinlich und setzen den Ausfall zahlreicher Anlagenteile voraus. Erst ein schwerer Unfall kann (muss aber nicht notwendigerweise) dazu führen, dass grössere Mengen radioaktiver Stoffe in die Umgebung freigesetzt werden. Die PSA ist eine wichtige Methode zur laufenden Beurteilung und Verbesserung der Sicherheit von Kernanlagen.

Eine PSA kann in drei Stufen unterteilt werden: Ausgehend von einem breiten Spektrum von auslösenden Ereignissen werden in der Stufe-1-PSA alle möglichen Unfallsequenzen bis zum Kernschaden (Kernschmelze) betrachtet. Die auslösenden Ereignisse umfassen sowohl anlageninterne Störfälle wie z. B. Brände, Brüche von Kühlmittel führenden Leitungen oder Ausfälle der Wärmeabfuhr als auch Störfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage wie Erdbeben, unfallbedingter Flugzeugabsturz oder 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 (KEV) 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 (Qualität und Umfang) und ENSI-A06 (Anwendungen) festgehalten. Jeder Betreiber hat eine anlagenspezifische PSA entwickelt und aktualisiert diese regelmässig.

Im Jahr 2011 wurden im Wesentlichen folgende Arbeiten im Bereich PSA durchgeführt:

- Das KKB arbeitet schwerpunktmässig an der Nachführung der Beznau-PSA im Hinblick auf die nächste Periodische Sicherheitsüberprüfung (PSÜ). Ferner hat das KKB eine Studie zur probabilistischen Bewertung des PTS-Versagens (Pressurized Thermal Shock) des Reaktordruckbehälters abgeschlossen, deren Ergebnisse in die PSA einfließen werden. Das ENSI hat die vom KKB eingereichte Neubewertung der HRA (Human Reliability Analysis) und die PSA der internen Überflutung überprüft, letztere auch anhand einer Inspektion, bei der insbesondere Verbesserungspunkte bezüglich der Dokumentation der PSA identifiziert wurden. Die Ergebnisse der Überprüfungen hat das KKB bei der Nachführung der PSA für die nächste PSÜ zu berücksichtigen.
- Das ENSI hat die vom KKB im Rahmen der PSÜ 2008 eingereichte PSA überprüft und eine Reihe von Verbesserungspunkten identifiziert, welche das ENSI in seiner Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung behandelt. Da das PSA-Modell auch als ergänzende Analyse für die gemäss Regelwerk verlangten Anwendungen herangezogen wird, ist das ENSI auf einige Verbesserungspunkte vorab eingetreten und hat mittels einer Zwischenstellungnahme bereits einige Anpassungen des Stufe-1-PSA Modells gefordert.
- Beim KKL lag im Berichtsjahr der Arbeitsschwerpunkt im Bereich PSA bei der Behandlung der Verbesserungspunkte aus der ENSI-Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung 2006. Insbesondere wurden die Verfeinerung der Modellierung der Sekundäranlage (wie zum Beispiel des Abgassystems, des Hauptkondensatsystems und der Turbinenventile), die Überarbeitung der Erdbebenanalyse, die Aktualisierung der Stufe-2-PSA sowie die Erweiterung der Stufe-2-PSA für die Bewertung des Stillstandsbetriebs angegangen. Ferner beabsichtigt das KKL bei der Überarbeitung der PSA das Modell so zu gestalten, dass es in Zukunft einfacher möglich sein wird, Erkenntnisse aus der PSA für die deterministische Störfallanalyse zu nutzen oder Verfahrensvorschriften, Testintervall oder Testvorschriften aus Sicht der PSA zu bewerten.

■ Die Grobprüfung der vom KKM im Rahmen der PSÜ 2010 eingereichten PSA führte zu Fragen, welche alle im Laufe des Berichtsjahres beantwortet wurden. Bei der genannten Grobprüfung wurde eine Schwachstelle bei der Beherrschung interner Überflutungen innerhalb des Reaktorgebäudes identifiziert. Daher rüstete das KKM eine automatische Absperrung eines Teils des Hilfskühlwassersystems nach, die durch die Signalisierung eines erhöhten Wasserstands im Sumpf des Reaktorgebäudes ausgelöst wird. Im Laufe des Berichtsjahres reichte das KKM weitere umfangreiche Unterlagen zu PSÜ-Forderungen aus der Stellungnahme zur PSÜ 2005 ein. Diese umfassen überarbeitete probabilistische Brand- und Erdbebenanalysen sowie eine Unsicherheits- und Importanzanalyse für den Stillstand. Die genannten Überarbeitungen stellen aus Sicht des ENSI eine deutliche Verbesserung der PSA dar. Die Beurteilung der neuen KKM-PSA ist Gegenstand der ENSI-Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung.

Gemäss den per Ende 2010 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 durch die risikotechnische Bewertung der Vorkommnisse sowie durch eine zusammenfassende Bewertung des Vorjahres. Die zusammenfassende Bewertung wird gemäss KEV jeweils im Folgejahr eingereicht. Spezifische Anforderungen an die beiden Analysen (probabilistische Bewertung der Betriebserfahrung eines Jahres bzw. eines Vorkommnisses) sind in der Richtlinie ENSI A06 festgehalten.

Alle Kernkraftwerksbetreiber reichten im Berichtsjahr eine probabilistische Bewertung der Betriebserfahrung des Vorjahres ein, also 2010. 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. Das ENSI erstellt zur Kontrolle anhand der Betreiberinformation eigene Auswertungen und leitet daraus, falls notwendig, Forderungen ab. Für das Jahr 2010 lassen sich fol-

gende, für alle Schweizer Kernkraftwerke gültige Aussagen zur probabilistischen Bewertung der Betriebserfahrung machen:

■ Die vorliegenden Daten zeigen für das Jahr 2010 keine ausgeprägten Risikospitzen und das kumulative Risiko über dieses Zeitintervall blieb gering. Betrachtet man über mehrere Jahre hinweg die Risikospitzen oder das jährliche kumulative Risiko, so sind keine Trends erkennbar.

■ Latente Fehler bleiben unentdeckt, bis die betroffene Komponente angefordert oder geprüft wird. Für das kumulative Risiko können sie wichtig sein, weil hier nicht nur die momentane Risikoerhöhung durch eine Komponentenunverfügbarkeit, sondern auch die Dauer der Unverfügbarkeit eine Rolle spielt. Erwähnenswert ist im Jahr 2010 eine beim KKL im Rahmen einer Funktionsprüfung festgestellte 2-jährige latente Unverfügbarkeit eines Explosionsventils des Vergiftungssystems. Aufgrund der sich dadurch ergebenden geringfügigen momentanen Risikoerhöhung blieb jedoch auch das kumulative Risiko klein. Die Beiträge der latenten Fehler zum kumulativen Risiko, welche sich im Jahr 2010 ergeben haben, waren bei allen Kernkraftwerken gering.

■ Die Daten der probabilistischen Bewertung der Betriebserfahrung werden zudem genutzt, um den Einfluss der Wartungsunverfügbarkeit auf das Risiko zu analysieren. Das wartungsbedingte inkrementelle kumulative Risiko wie auch die wartungsbedingten Risikospitzen waren bei allen Werken kleiner als die Planungswerte gemäss Richtlinie ENSI-A06. Um die Planungswerte zu erreichen, wurden Optimierungen der Wartungsabläufe in einzelnen Werken vorgenommen. Beispielsweise wurden im KKB u.a. Verbesserungen bei der Wartung der Flutdiesel und der Notstanddiesel eingeführt.

Seit 2009 werden meldepflichtige Vorkommnisse gemäss der Richtlinie ENSI-B03 in Ergänzung zur deterministischen Betrachtungsweise auch systematisch mit der PSA bewertet. Dazu wird die inkrementelle bedingte Kernschadenswahrscheinlichkeit eines Vorkommnisses ($ICCDP_{\text{Vorkommnis}}$) gemäss Richtlinie ENSI-A06 berechnet. Ein Vorkommnis wird anhand der $ICCDP_{\text{Vorkommnis}}$ einer der Stufen 0 bis 3 der internationalen Bewertungsskala für nukleare Ereignisse (INES) zugeordnet.

Im Jahr 2011 führte die vom ENSI geforderte Überprüfung der Auslegung des KKM gegen ein 10 000-jährliches Hochwasser zu einem Befund, der aus Sicht der PSA – in Übereinstimmung

mit der deterministischen Bewertung – mit INES 1 ($ICCDP_{\text{Vorkommnis}}$ mindestens 10^{-6} , siehe Richtlinie ENSI-A06) einzustufen ist. Es handelt sich dabei um den Befund vom 28. Juni 2011 aus der Nachweisführung der Funktion des SUSAN-Einlaufbauwerks bei Extremhochwasser. Die Nachweisführung zeigte, dass eine Verstopfung der Zulaufleitung zum SUSAN-Einlaufbauwerk bei einem 10 000-jährlichen Hochwasser nicht ausgeschlossen werden kann (vgl. Kap. 2).

Alle weiteren von den Kernkraftwerksbetreibern im Jahr 2011 mit der PSA bewerteten Vorkommnisse waren risikotechnisch unbedeutend, d.h. als INES-Stufe 0 beurteilt ($ICCDP_{\text{Vorkommnis}}$ mindestens 10^{-8} , jedoch kleiner als 10^{-6}) oder es erfolgte keine Einstufung auf der INES-Skala ($ICCDP_{\text{Vorkommnis}}$ kleiner als 10^{-8}) aufgrund der Risikobewertung.

10.1.3 ADAM-System

Dem ENSI werden 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 folgenden vier Modulen:

- **PI-Modul:** Das PI-Modul unterstützt den Piketteningenieur (PI) des ENSI im Einsatzfall. Es liefert laufend Hinweise auf eine eventuelle Verletzung von Grenzwerten und 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.
- **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.

Die im Vorjahr angestossene Überarbeitung des ADAM-Systems ist weit fortgeschritten, sämtliche

Module stehen dem ENSI nun für alle Schweizer Kernkraftwerke zur Verfügung. Ausstehend sind diverse Programmverfeinerungen, insbesondere die Neugestaltung der grafischen Benutzeroberfläche. Auch im Berichtsjahr stand das ADAM-System der Notfallorganisation uneingeschränkt zur Verfügung.

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 wird vom ENSI laufend verfolgt. Neue Erkenntnisse führten bereits in der Vergangenheit zu Weiterentwicklungen der Erdbebenanalysen und zu Ertüchtigungen in den Kernanlagen.

Als weiteren Schritt dieser fortwährenden Entwicklung verlangte die HSK (heute ENSI) im Jahre 1999 von den Kernkraftwerksbetreibern, die Erdbebengefährdung nach dem fortschrittlichsten Stand der methodischen Grundlagen neu zu bestimmen und dabei insbesondere die Unschärfe der Rechenergebnisse umfassend zu quantifizieren. Zur Umsetzung dieser Forderung gaben die Kernkraftwerksbetreiber das Projekt PEGASOS (Probabilistische Erdbebengefährdungsanalyse für die KKW-Standorte in der Schweiz) in Auftrag. In Anlehnung an eine in den USA neu entwickelte Methode wurde in diesem Projekt die Erdbebengefährdung unter umfassender Berücksichtigung des Kenntnisstandes der internationalen Fachwelt berechnet. Mit dem Projekt PEGASOS hat die Schweiz Neuland betreten. Es ist die erste und bisher einzige Studie dieser Art in Europa.

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 von der swissnuclear geleitete «PEGASOS Refinement Project» (PRP). Mitte 2009 wurde das PRP auf die damals neu vorgesehenen Kernkraftwerkstandorte erweitert. Die Hauptthemenkreise des Projekts sind wie bereits bei PEGASOS die Charakterisierung der Erdbebenherde, der Erdbebenfortpflanzung und der lokalen Effekte an den Standorten der Kernkraftwerke. Das PRP berücksichtigt die seit dem Abschluss von PEGASOS neu vorliegenden Erkenntnisse aus der Erdbebenforschung und die Resultate aus den neuen Messungen der seismologischen Bodenkennwerte an den Kernkraftwerkstandorten. Parallel zur anhaltenden Diskussion dieses Fortschritts arbeiteten die verschiedenen Expertengruppen des PRP im Jahr 2011 an der Entwicklung der eigentlichen Eingabemodelle für die numerische Berechnung der Erdbebengefährdung. Diese Modelle haben die Form logischer Bäume. Die Äste bestehen aus alternativen Modellansätzen, die von den Experten so ausgewählt und gewichtet werden, dass die Spanne der in der massgebenden Fachwelt vertretenen Interpretationen möglichst genau abgebildet wird. Das Projekt wird vom ENSI mit einem Expertenteam kontinuierlich überprüft.

10.3 Fukushima und Lehren

Das ENSI hat auf den am 11. März 2011 von einem Erdbeben und anschliessenden Tsunami ausgelösten schweren Unfall im Kernkraftwerk Fukushima Dai-ichi rasch und entschlossen reagiert. Das Naturereignis führte in den Blöcken 1 bis 4 zum vollständigen Verlust der Wechselstromversorgung und der letzten Wärmesenke. Weil aufgrund der durch die Naturgewalten entstandenen grossflächigen Zerstörungen die Notfallmassnahmen stark behindert und verzögert wurden, dauerte das Fehlen der Stromversorgung lange an. In der Folge kam es zu schweren Kernschäden und grossen Freisetzungen radioaktiver Stoffe. Das ENSI hat entsprechend dem sich entwickelnden Kenntnisstand schrittweise die für die Sicherheit der Schweizer Kernkraftwerke nötigen Lehren gezogen und Massnahmen angeordnet. Rasch erkannte das ENSI, dass der Tsunami vor allem wegen schwerer Auslegungsmängel so gravierende Folgen für das Kernkraftwerk hatte. Das ENSI analysierte den Unfallablauf von Fukushima

minutiös und dokumentierte die Erkenntnisse in mehreren auf der Website verfügbaren Publikationen:

- Ablauf Fukushima 11032011, Ereignisabläufe Fukushima Dai-ichi und Daini infolge des Tohoku-Chihou-Taiheiyu-Okii-Erdbebens vom 11.03.2011, ENSI-AN-7614 Rev. 1 (26. August 2011)
- Analyse Fukushima 11032011, Vertiefende Analyse des Unfalls in Fukushima am 11. März 2011 unter besonderer Berücksichtigung der menschlichen und organisatorischen Faktoren, ENSI-AN-7669 (29. August 2011)
- Lessons Fukushima 11032011, Lessons Learned und Prüfpunkte aus den kerntechnischen Unfällen in Fukushima, ENSI-AN-7746 (29. Oktober 2011)
- Auswirkung Fukushima 11032011, Radiologische Auswirkungen aus den kerntechnischen Unfällen in Fukushima vom 11.03.2011, ENSI-AN-7800 (16. Dezember 2011)

Bereits am 18. März 2011 – eine Woche nach Unfallbeginn – hat das ENSI von den Betreibern eine Überprüfung der Auslegung der Schweizer Kernkraftwerke bezüglich Erdbeben und Überflutung verlangt. Insbesondere war zu prüfen, ob Bedingungen für eine vorläufige Ausserbetriebnahme gemäss der entsprechenden Verordnung (SR 732.114.5) vorlagen. Besondere Aufmerksamkeit lenkte das ENSI dabei auch auf die Verfügbarkeit der letzten Wärmesenke, die Sicherheit der Brennelementlagerbecken und die Auswirkungen grossflächiger Zerstörungen auf die Verfügbarkeit externer Einsatzkräfte. Bis zum 31. März 2011 hatten die Betreiber dem ENSI erste Berichte vorzulegen. Bis zum 1. Juni 2011 hatten sie einen Zugang zu einem externen Lager zu schaffen, aus dem auch im Falle eines Erdbebens oder einer Überflutung Notfalleinsatzmittel auf dem Luftweg auf das Kraftwerksareal transportiert werden können (vgl. Kapitel 10.4). Damit diese Mittel selbst dann einsetzbar sind, wenn in Gebäuden erschwerte Bedingungen herrschen, verlangte das ENSI bis Ende 2012 zu verwirklichende Nachrüstungen, dank denen Pumpen und Generatoren auch ausserhalb der Gebäude angeschlossen werden können.

Am 1. April 2011 legte das ENSI genauer fest, wie die Betreiber die Ausserbetriebnahmekriterien zu überprüfen hatten. Es definierte hierfür drei Schritte: Bis zum 30. Juni 2011 war das Anlageverhalten bei einem alle 10 000 Jahre möglichen Extremhochwasser zu untersuchen. Bis zum

31. März 2012 war zu zeigen, ob die Anlage auch bei einem alle 10 000 Jahre möglichen Extremerdbeben in Kombination mit einem durch das Erdbeben bedingten Versagen einer Stauanlage im Einzugsbereich des Kernkraftwerks und der dadurch verursachten Überflutung in der Lage ist, die Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung einzuhalten.

Am 5. Mai 2011 forderte das ENSI aufgrund der bis zum 31. März 2011 von den Betreibern eingereichten ersten Berichte für jedes Kernkraftwerk spezifische Nachrüstmassnahmen (vgl. Kapitel 1.3.4, 2.3.4, 3.3.4 und 4.3.4). Zusätzlich verlangte es, die am 1. April 2011 für die Überprüfung der Reaktorsicherheit gemachten Verfahrensvorgaben auch auf die Auslegung der Brennelementlagerbecken, -gebäude und -kühlssysteme anzuwenden und den Schutz vor Wasserstoffexplosionen im Bereich der Brennelementbecken zu bewerten. Die entsprechenden Überprüfungen wurden bis zum 31. März 2012 gefordert.

Am 1. Juni 2011 verlangte das ENSI von den Schweizer Kernkraftwerksbetreibern bis zum 31. Oktober 2011 eine Neubewertung der Sicherheitsmargen im Rahmen der EU-Stresstests. Diese Neubewertung folgt der Logik der gestaffelten Sicherheitsvorsorge und umfasst die Themenbereiche auslösende Ereignisse, Ausfall von Sicherheitsfunktionen und Notfallmanagement. Die geforderte Neubewertung auslösender Ereignisse umfasste eine Analyse der Einwirkung extremer Erdbeben, Hochwasser sowie der Kombination von Erdbeben und von Erdbeben ausgelösten Überflutungen. Der EU-Stresstest umfasste zudem die Auswirkungen extremer Wetterbedingungen. Hinsichtlich des Ausfalls von Sicherheitsfunktionen waren die Folgen des Verlustes der Strom- und Kühlwasserversorgung unabhängig vom Auslöser zu beurteilen. Beim Notfallmanagement war die Wirksamkeit der vorbereiteten Massnahmen gegen schwere Unfälle neu zu bewerten.

Während die werksspezifischen Erkenntnisse in den Kapiteln über die einzelnen Kraftwerke dokumentiert sind (vgl. Kapitel 1.3.4, 2.3.4, 3.3.4 und 4.3.4), hat das ENSI für die Schweizer Kernkraftwerke insbesondere folgende allgemeinen Lehren gezogen:

- Bisher ging man in der Schweiz von der international geteilten Annahme aus, es stelle keine besondere Herausforderung dar, nach einem erdbebenbedingten Versagen der Kühlung der Brennelementbecken die Kühlung mit Notfallschutzmassnahmen rechtzeitig wieder her-

zustellen. Das ENSI hat gelernt, dass es im Fall grossflächiger naturbedingter Zerstörungen der Infrastruktur wesentlich länger dauern kann, Einsatzkräfte und Einsatzmittel an einen Kraftwerksstandort zu entsenden. Deshalb ist die Notfallvorsorge sowohl auf den Kraftwerksarealen als auch durch die Schaffung einer Lufttransportmöglichkeit von Einsatzmitteln aus einem zentralen Lager in allen Schweizer Kernkraftwerken verstärkt worden (vgl. Kapitel 10.4).

- Zur Verstärkung der Notfallschutzmassnahmen für den Fall eines Verlusts aller Systeme zur Kernnotkühlung sind zusätzliche Massnahmen auf dem Areal der einzelnen Kernkraftwerke und durch die Nutzung von Einsatzmitteln aus einem zentralen Lager zu treffen (vgl. Kapitel 10.4).

- Die Gefahr, dass Kühlwasserfassungen aus Oberflächengewässern bei einem Extremhochwasser ausfallen, ist grösser als bisher angenommen. Eine Alternative zur Kühlwasserentnahme aus Oberflächengewässern ist deshalb von grosser sicherheitstechnischer Bedeutung.

- Auslegung und Einsatz der Systeme zur gefilterten Sicherheitsgebäude-Druckentlastung sind namentlich hinsichtlich des Schutzes vor Wasserstoffexplosionen zu hinterfragen.

Die dem Unfall von Fukushima zugrunde liegenden schweren Auslegungsmängel gegen Naturgefahren und die internationale Reaktion auf diesen Unfall haben aber auch gezeigt, dass die Schweiz bei der Aktualisierung ihrer Gefährdungsannahmen international führend ist. Dies gilt namentlich für die Erdbebengefährdung, wo der Prozess zur Festlegung neuer Gefährdungsannahmen bereits vor Fukushima weit fortgeschritten war und höhere Anforderungen bereits Anwendung fanden.

Der Unfall von Fukushima hat überdies zu Erkenntnissen für den anlageexternen Notfallschutz geführt. Das ENSI arbeitet mit in der vom Bundesrat eingesetzten interdepartementalen Arbeitsgruppe zur Überprüfung der Notfallschutzmassnahmen bei Extremereignissen in der Schweiz (IDA NOMEX).

Nicht zuletzt wirft der Unfall Fragen auf, welche die internationale Zusammenarbeit in der Kernenergieaufsicht betreffen. Die Überprüfungen durch die IAEA, aber auch durch die Betreiberorganisation WANO, waren nicht in der Lage, rechtzeitig die in Fukushima bestehenden Defizite zu identifizieren oder deren Behebung zu erwirken.

Eine ausführliche Darstellung des Unfalls von Fukushima und der daraus gezogenen Lehren fin-

det sich im Erfahrungs- und Forschungsbericht 2011 des ENSI.

10.4 Externes Lager Reitnau

In Erfüllung einer am 18. März 2011 – eine Woche nach dem Beginn des Unfalls von Fukushima – gestellten ENSI-Forderung, nahmen die Schweizer Kernkraftwerksbetreiber am 31. Mai 2011 im aargauischen Reitnau in einer umgenutzten Armeeanlage ein zentrales externes Lager mit Notfalleinsatzmitteln in Betrieb. Das Lager ist überflutungssicher auf einer Anhöhe gelegen und befindet sich in gebunkerten Gebäuden. Es stellt einen zusätzlichen Stützpfiler im Notfallmanagement der Schweizer Kernkraftwerke dar und ist in die Notfallorganisation der einzelnen Anlagen integriert. Die Einsatzbereitschaft des externen Lagers wird ständig gewährleistet. Das ENSI stellte im Rahmen einer Inspektion des Lagers am 31. Mai 2011 vor Ort fest, dass die eingelagerten Einsatzmittel die Anforderungen der Verfügung erfüllen, sowohl was das Material als auch die Transportierbarkeit mit in der Schweiz verfügbaren Helikoptern betrifft. Jedes der schweizerischen Kernkraftwerke hat damit Zugang zu einem Lager mit zusätzlichen Einsatzmitteln zur Bekämpfung von schweren

Unfällen. Die Einsatzmittel umfassen insbesondere Notstromaggregate mit Anschlusskabeln, Pumpen und Schläuchen für die Wassereinspeisung, Bor-säure, Treibstoffbehälter und Werkzeuge. Ausrüstungen für die Einsatzkräfte ergänzen die Einsatzmittel. Die Betreiber reichten dem ENSI damals ein provisorisches Auslegungs- und Betriebskonzept vor. Das ENSI verlangte bis zum 31. Januar 2012 die Einreichung eines definitiven Konzepts.

10.5 Sistierung des Rahmenbewilligungsverfahrens

Beim Bewilligungsverfahren zu den drei Rahmenbewilligungsgesuchen für neue Kernkraftwerke in der Schweiz kam es im Frühjahr 2011 zu einer Wende. Kurze Zeit nach dem schweren Reaktorunfall im japanischen Kernkraftwerk Fukushima Dai-ichi hat Frau Bundesrätin Leuthard am 14. März 2011 das Bewilligungsverfahren für neue Kernkraftwerke in der Schweiz sistiert. Das Bundesamt für Energie (BFE) als verfahrensleitende Behörde hat die involvierten Stellen von Bund, Kantonen und dem Ausland darüber informiert. Die begonnenen Arbeiten wurden eingefroren. Das ENSI hat in der Folge seine diesbezüglichen Begutachtungsarbeiten eingestellt und sich neu organisiert.

Anhang

Sicherheitsbewertung	99
Abbildung 1 ENSI-Sicherheitsbewertungs-Skala	102
Abbildung 2 Definition der ENSI-Kategorien G, N, V und A	104
Tabelle 1 Hauptdaten der schweizerischen Kernkraftwerke	105
Tabelle 2 Betriebsdaten der schweizerischen Kernkraftwerke 2011	105
Tabelle 3 Bestand an zulassungspflichtigem Personal und Gesamtbelegschaft in den Kernkraftwerken Ende 2011	106
Tabelle 4 Meldepflichtige Vorkommnisse im Bereich der nuklearen Sicherheit 2011	106
Tabelle 5 Kollektivdosen in den schweizerischen KKW im Berichtsjahr	107
Tabelle 6a Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2011 und der daraus berechneten Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung	108
Tabelle 6b Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2011 und der daraus berechneten Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung	109
Tabelle 6c Fussnoten	110
Tabelle 7 Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke in den letzten fünf Jahren im Vergleich mit den Abgabelimiten	111
Tabelle 8 Radioaktive Abfälle in den Kernkraftwerken und im PSI per 31.12.2011	112
Tabelle 9 Radioaktive Abfälle in den Anlagen der ZWILAG per 31.12.2011	112
Tabelle 10 Richtlinien des ENSI/Directives de l'ENSI/Guidelines of ENSI	113
Figur 1 Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung, 2002–2011	119
Figur 2 Vorkommnisse 2002–2011	120
Figur 3 Ungeplante Reaktorschnellabschaltungen (Scrams), 2002–2011	121
Figur 4 Brennstabschäden (Anzahl Stäbe), 2002–2011	122
Figur 5 Jahreskollektivdosen (Personen-Sv/Jahr) der Kernanlagen, 1979–2011	123
Figur 6 Berechnete Dosen für die meistbetroffenen Personen (Erwachsene) in der Umgebung der schweizerischen KKW	124
Figur 7a Funktionsschema eines Kernkraftwerks mit Druckwasserreaktor	125
Figur 7b Funktionsschema eines Kernkraftwerks mit Siedewasserreaktor	125
Verzeichnis der Abkürzungen	126

Sicherheitsbewertung

Das ENSI wacht als unabhängige Aufsichtsbehörde darüber, dass die Betreiber von Kernanlagen ihre Verantwortung für die nukleare Sicherheit umfassend wahrnehmen. Das Ziel nuklearer Sicherheit ist es, Mensch und Umwelt vor schädlichen Auswirkungen ionisierender Strahlung zu schützen. Zur Gewährleistung der nuklearen Sicherheit müssen die Betreiber von Kernanlagen eine umfassende Sicherheitsvorsorge treffen, die verschiedene Aspekte umfasst. Das ENSI beurteilt die von ihm beaufsichtigten Aspekte hinsichtlich ihrer Aufgabe innerhalb der Sicherheitsvorsorge. Bisher fließen die Inspektionstätigkeit, die Ergebnisse der Zulassungsprüfungen, die Analyse meldepflichtiger Vorkommnisse und auf der Basis der periodischen Berichterstattung ermittelte Sicherheitsindikatoren in der nachfolgend beschriebenen Weise in eine systematische Sicherheitsbewertung ein. Damit deckt das Bild, das sich aus der Sicherheitsbewertung ergibt, zurzeit vor allem betriebliche Aspekte ab. Weiter unten ist beschrieben, welche weiteren Datenquellen in Zukunft das Bild vervollständigen sollen.

Das ENSI ordnet alle in die Sicherheitsbewertung eingehenden Aspekte nach mehreren Kriterien: Es unterscheidet zwischen den in den Dokumenten eines Kernkraftwerks festgelegten Vorgaben und dem tatsächlichen Betriebsgeschehen. Da die nukleare Sicherheit sowohl von technischen als auch von menschlichen und organisatorischen Faktoren abhängt, macht das ENSI zudem sichtbar, ob sich eine Beurteilung auf die Technik bezieht oder auf Mensch und Organisation. Dies ergibt vier Bereiche, die systematisch zu beurteilen sind: 1. **Auslegungsvorgaben**, 2. **Betriebsvorgaben**, 3. **Zustand und Verhalten der Anlage** sowie 4. **Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation**.

Die Sicherheitsvorsorge der Kernkraftwerke lässt sich aus zwei alternativen Perspektiven betrachten, die im Folgenden dargestellt werden. Die eine Perspektive ist das **Konzept der gestaffelten Sicherheitsvorsorge**, das Sicherheitsebenen und Barrieren umfasst. Die andere Perspektive ist das **Konzept der Schutzziele**, denn der Zweck der Sicherheitsvorsorge ist letztlich die Einhaltung übergeordneter Schutzziele.

Zum Konzept der gestaffelten Sicherheitsvorsorge: Dieses besteht aus mehreren hintereinander

gestaffelten Ebenen von Vorkehrungen, von denen jeweils die nächste dazu dient, Schwachstellen der davor liegenden Ebenen aufzufangen. Zur **1. Ebene** gehören systematische Vorkehrungen zur Vermeidung von Abweichungen vom Normalbetrieb. Für den Fall, dass es dennoch zu Abweichungen kommt, umfasst die **2. Ebene** Vorkehrungen zur Beherrschung von Abweichungen vom Normalbetrieb mittels Begrenzungs- und Schutzsystemen und zur Entdeckung von Fehlern. Für Situationen, in denen diese nicht erfolgreich sind, werden auf einer **3. Ebene** Vorkehrungen zur Beherrschung von Auslegungsstörfällen getroffen. Für die seltenen Fälle, in denen diese nicht ausreichend wirksam sind, werden auf einer **4. Ebene** Vorkehrungen zur Beherrschung auslegungsüberschreitender Anlagenzustände getroffen. Die Sicherheitsebenen 1 bis 4 bilden die **anlageninterne** Sicherheitsvorsorge.

Schliesslich umfasst die gestaffelte Sicherheitsvorsorge für den noch unwahrscheinlicheren Fall, dass trotz aller Massnahmen auf den Ebenen 1 bis 4 grössere Mengen radioaktiver Stoffe freigesetzt werden sollten, auf einer **5. Ebene** Vorkehrungen zur Linderung der Auswirkungen. Die Sicherheitsebene 5 umfasst die **anlagenexterne** Sicherheitsvorsorge. Jede Ebene der gestaffelten Sicherheitsvorsorge dient dazu, vier grundlegende Schutzziele zu gewährleisten: Erstens ist beim Umgang mit Kernbrennstoffen jederzeit zu gewährleisten, dass die Reaktivität unter Kontrolle ist (Schutzziel **«Kontrolle der Reaktivität»**). Zweitens müssen Brennelemente jederzeit ausreichend gekühlt werden (Schutzziel **«Kühlung der Brennelemente»**). Drittens sind radioaktive Stoffe jederzeit sicher einzuschliessen (Schutzziel **«Einschluss radioaktiver Stoffe»**) und viertens ist die Strahlenexposition von Mensch und Umwelt jederzeit zu begrenzen (Schutzziel **«Begrenzung der Strahlenexposition»**). Die drei ersten Schutzziele dienen alle dazu, das vierte Schutzziel der Begrenzung der Strahlenexposition sicherzustellen. Massnahmen zur Gewährleistung der Schutzziele 3 und 4 werden auch als Strahlenschutz bezeichnet. Für die Ebenen 1 bis 4 der gestaffelten Sicherheitsvorsorge – die anlageninterne Sicherheitsvorsorge – gilt, dass jede Sicherheitsebene für jedes Schutzziel Vorkehrungen umfasst. Somit werden für jedes Schutzziel Vorkehrungen auf jeder dieser Sicherheitsebenen getroffen. Einzig die Sicherheitsebene 5 – die anlagenexterne Sicherheitsvor-

sorge – dient ausschliesslich dem Schutzziel «Begrenzung der Strahlenexposition», weil sie für den äusserst unwahrscheinlichen Fall da ist, dass die anderen Schutzziele in einer Weise verletzt sind, die zur Freisetzung einer grösseren Menge radioaktiver Stoffe geführt hat oder führen kann.

Dem Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe» dienen in Kernkraftwerken drei hintereinander liegende Barrieren: Die Brennstoffmatrix und die Hüllrohre der **Brennelemente** bilden die erste, die Umschliessung des **Primärkreislaufs** die zweite und das **Containment** die dritte Barriere. Die Integrität dieser Barrieren wird in der systematischen Sicherheitsbewertung dargestellt.

Nicht alle beurteilten Aspekte lassen sich klar einer oder mehreren spezifischen Sicherheitsebenen zuordnen. Manche Aspekte sind potenziell für alle Sicherheitsebenen von Bedeutung und betreffen somit das Gesamtrisiko des Kernkraftwerks. Solche Aspekte werden als Aspekte **mit ebenen- oder barrierenübergreifender Bedeutung** bezeichnet. Ebenso lassen sich nicht alle Aspekte klar einem oder mehreren spezifischen Schutzzielen zuordnen. Diese Aspekte werden als Aspekte **mit schutzzielübergreifender Bedeutung** bezeichnet.

Sämtliche Bewertungen, welche sich auf Aspekte der Sicherheitsvorsorge beziehen, finden sich sowohl in der Darstellung der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge als auch in der Darstellung der Schutzzielperspektive. Alle Bewertungen, die sich auf den Zustand oder das Verhalten der Anlage beziehen, werden hierbei als Aspekte der Sicherheitsvorsorge verstanden und erscheinen in beiden Darstellungen. Hingegen werden Bewertungen, die sich auf radiologische Auswirkungen beziehen, nur aus der Schutzzielperspektive sichtbar. Denn wenn zum Beispiel eine Person einer erhöhten Strahlendosis ausgesetzt wird, ist zwar das Schutzziel «Begrenzung der Strahlenexposition» betroffen, nicht aber die Sicherheitsvorsorge.

Für alle Bewertungen wird eine einheitliche Skala verwendet. Die Skala basiert auf der internationalen Ereignisskala (INES), ist aber nach unten – im Bereich «below scale» (INES 0) – erweitert. Dadurch deckt sie nicht nur Vorkommnisse ab, sondern auch den ungestörten Normalbetrieb und sogar Aspekte, die Vorbildcharakter für andere Anlagen haben (vgl. Abbildung 1). Die Skala umfasst folgende Kategorien: G (gute Praxis), N (Norma-

lität), V (Verbesserungsbedarf), A (Abweichung), 1 (Anomalie), 2 (Zwischenfall) und so weiter gemäss INES.

Die Kriterien für die Zuordnung zu den Kategorien G, N, V und A sind in Abbildung 2 genannt. In den Kategorien G, N, V und A sind stets alle Schutzziele im gemäss den bewilligten Betriebsbedingungen geforderten Mass erfüllt. Die Bewertungen der Kategorien 1 bis 7 basieren auf der Beurteilung von drei verschiedenen Kriterien: 1. auf den radioaktiven Abgaben an die Umwelt, 2. auf der Strahlenexposition des Personals und 3. (im Bereich der Kategorien 1 bis 3) auf der Wirksamkeit der gestaffelten Sicherheitsvorsorge zur Verhinderung eines Kernschadens und zur Verhinderung eines Schadens an den radiologischen Barrieren sowie (im Bereich der Kategorien 4 bis 5) auf der Schwere eines Kernschadens oder Barrierschadens. Es zählt jeweils das Kriterium, das zur höchsten Einstufung führt. Eine Einstufung aufgrund radioaktiver Abgaben an die Umwelt bedeutet ab Kategorie 1, dass das Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe» verletzt worden ist, wobei die freigesetzte Aktivität bis zur Kategorie 7 um mehrere Grössenordnungen zunimmt. Eine Einstufung aufgrund der Strahlenexposition des Personals bedeutet ab Kategorie 1, dass das Schutzziel «Begrenzung der Strahlenexposition» verletzt worden ist, wobei die Strahlendosis bis zur Kategorie 4 um mehrere Grössenordnungen zunimmt. Eine Einstufung aufgrund der Wirksamkeit der gestaffelten Sicherheitsvorsorge **kann** in den Kategorien 1 bis 3 bedeuten, dass die Schutzziele «Kontrolle der Reaktivität», «Kühlung der Brennelemente» oder «Einschluss radioaktiver Stoffe» nicht alle im gemäss den bewilligten Betriebsbedingungen geforderten Mass erfüllt sind. Es ist aber auch möglich, dass diese Schutzziele gerade noch erfüllt sind, aber zusätzliche Fehler zu einer Schutzzielverletzung führen würden. Eine Einstufung aufgrund der Schwere eines Kernschadens oder eines Barrierschadens bedeutet, dass Schutzziele verletzt worden sind.

Bei der Sicherheitsbewertung wird jeder beurteilte Aspekt sämtlichen Sicherheitsebenen, Barrieren und Schutzzielen zugeordnet, für die er von Bedeutung ist. Dadurch erscheinen manche Aspekte auf mehreren Sicherheitsebenen oder bei mehreren Schutzzielen. Ein Aspekt (zum Beispiel eine Komponente, ein Dokument, eine Person oder eine Handlung), der sich auf mehrere Sicher-

heitsebenen oder Schutzziele auswirkt, kann entsprechend auch mehrere Sicherheitsvorkehrungen schwächen. Da – wie bereits erwähnt – das Konzept der gestaffelten Sicherheitsvorsorge und das Konzept der Schutzziele alternative Betrachtungsweisen sind, kann jedes Element der Sicherheitsvorsorge sowohl Sicherheitsebenen als auch Schutzziele zugeordnet werden. Entsprechend erscheint jeder beurteilte Aspekt sowohl in der Perspektive der gestaffelten Sicherheitsvorsorge als auch in der Schutzziel-Perspektive. Einer Barriere wird ein bewerteter Aspekt dann zugeordnet, wenn eine Aussage über den Zustand oder die Dichtheit dieser Barriere gemacht wird. Komponenten mit Barrierenfunktion werden nur dann auch Ebenen der gestaffelten Sicherheitsvorsorge zugeordnet, wenn auch die Funktion eines Systems von ihrem Funktionieren abhängt. Komponenten, welche ausschliesslich eine Barrierenfunktion haben, werden keiner Ebene – aber dem Schutzziel «Einschluss radioaktiver Stoffe» – zugeordnet.

Das ENSI hat im Jahr 2010 alle Ergebnisse von Inspektionen, Zulassungsprüfungen, Vorkommnisanalysen und alle Sicherheitsindikatoren nach dem beschriebenen System bewertet. Für die Kernkraftwerke hat es die Bewertungen zu einem umfassenden Gesamtbild zusammengefügt. Das Gesamtbild besteht einerseits aus einer Vielzahl von Einzelbewertungen in den verschiedenen Zellen der Sicherheitsbewertungs-Darstellung (z. B. 1 Bewertung A, 5 Bewertungen V, 12 Bewertungen N und 1 Bewertung G). Zum anderen hat das ENSI alle in einer Zelle enthaltenen Bewertungen zu jeweils einer Gesamtbewertung verdichtet (z. B. Bewertung A). Die Zellen-Gesamtbewertung ist normalerweise gleich der höchsten Einzelbewertung, weil die Tragweite eines Fehlers naturgemäss grösser ist als die Tragweite der erwartungsgemässen Sachverhalte. Entsprechend müssen sich die aus der Sicherheitsbewertung abzuleitenden Massnahmen auch primär auf die Diskrepanzen zum Erwarteten richten.

Das ENSI betrachtet die Transporte von und zu den Kernkraftwerken bei der systematischen Sicherheitsbewertung separat. In den nächsten Jahren werden zusätzliche Datenquellen in die Bewertung einfließen. Weil zurzeit die verwendeten Datenquellen vor allem Information über das Betriebsgeschehen liefern, liegt der Erkenntnisgewinn der systematischen Sicherheitsbewertung vorerhand vor allem in diesem Bereich. Sobald wie geplant auch die Beurteilung von Änderungen im Rahmen von Freigaben für die Sicherheitsbewertung genutzt wird, wird das Bild im Bereich der beiden linken Spalten der Sicherheitsbewertungs-Darstellung vollständiger. Anlagenverbesserungen werden damit in Zukunft auch in der Sicherheitsbewertung sichtbar. Ergebnisse wiederkehrender Prüfungen erscheinen in der Sicherheitsbewertung jeweils im Jahr der Prüfung. Wenn eine Prüfung nicht jährlich erfolgt und ein Befund – weil er zulässig ist – bis zur nächsten Prüfung belassen werden kann, wird er in den Jahren, in denen keine Prüfung stattfindet, in der Sicherheitsbewertung zurzeit nicht dargestellt. Zentrale Ergebnisse dieser Bewertung für das Aufsichtsjahr 2010 sind jeweils am Schluss der Kapitel 1 bis 4 unter dem Punkt «Sicherheitsbewertung» dargestellt.

Das ENSI nimmt aufgrund der Ergebnisse der systematischen Sicherheitsbewertung und weiterer Erkenntnisse aus der Aufsichtstätigkeit eine vierteilige Gesamtbewertung der Sicherheit jedes Kernkraftwerks vor, nämlich hinsichtlich der Inhaltsbereiche Auslegungs-Vorgaben, Betriebs-Vorgaben, Zustand und Verhalten der Anlage sowie Zustand und Verhalten von Mensch und Organisation. Diese vier Bereiche entsprechen den Spalten der Tabellendarstellung der Ergebnisse der Sicherheitsbewertung der einzelnen Kernkraftwerke (vgl. Kap. 1.8, 2.9, 3.9 und 4.8). Für diese Gesamtbewertung verwendet das ENSI für jeden einzelnen Bereich in absteigender Reihenfolge die Kategorien «hoch», «gut», «ausreichend» und «ungenügend».

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

Schäden an der Anlage

Vorkommnisklassierungen: Radioaktive Abgaben an die Umwelt

Teilskala 1

Vorkommnisklassierungen: Strahlenexposition des Personals

Teilskala 2

Vorkommnisklassierungen: Gestaffelte Sicherheitsvorsorge

Teilskala 3

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

0 ICCDP_{Vork.} < 1E-6

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

Teilskala 4

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

* nur anwendbar für Bewertungen, die sich auf radioaktive Abgaben an die Umwelt oder die Strahlenexposition des Personals beziehen

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

Tabelle 1

Hauptdaten der schweizerischen Kernkraftwerke

	KKB 1	KKB 2	KKM	KKG	KKL
Thermische Leistung [MW]	1130	1130	1097	3002	3600
Elektrische Bruttoleistung [MW]	380	380	390	1035	1245
Elektrische Nettoleistung [MW]	365	365	373	985	1190
Reaktortyp	Druck-wasser	Druck-wasser	Siede-wasser	Druck-wasser	Siede-wasser
Reaktorlieferant	Westing-house	Westing-house	GE	KWU	GE
Turbinenlieferant	BBC	BBC	BBC	KWU	BBC
Generatordaten [MVA]	2·228	2·228	2·214	1140	1318
Kühlung	Fluss-wasser	Fluss-wasser	Fluss-wasser	Kühlturm	Kühlturm
Kommerzielle Inbetriebnahme	1969	1971	1972	1979	1984

Tabelle 2

Betriebsdaten der schweizerischen Kernkraftwerke 2011

	KKB 1	KKB 2	KKM	KKG	KKL
Thermisch erzeugte Energie [GWh]	9 543	8 521	7 293	24 184	28 429
Abgegebene elektrische Nettoenergie [GWh]	3 067	2 738	2 504	7 910	9 481
Abgegebene thermische Energie [GWh]	164,5	5,9	1,4	174	–
Zeitverfügbarkeit ¹ [%]	96,6	86,3	76,8	92,8	92,4
Nichtverfügbarkeit durch Jahresrevision [%]	3,4	13,7	23,5	7,2	7,7
Arbeitsausnutzung ² [%]	96,0	85,7	76,5	92,0	91,1
Anzahl ungeplanter Schnellabschaltungen (Scrams)	0	0	0	0	0
Unvorhergesehenes Abfahren der Anlage	0	0	0	0	0
Störungsbedingte Leistungsreduktionen (>10% P _N)	0	0	1	0	1

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.

Tabelle 3

Bestand an zulassungspflichtigem Personal und Gesamtbelegschaft in den Kernkraftwerken Ende 2011 (in Klammern Werte von 2010)

	KKB 1 + 2	KKM	KKG	KKL
Reaktoroperateur	39 (40)	21 (21)	26 (27)	17 (24)
Schichtchef	23 (24)	13 (14)	18 (20)	20 (19)
Pikettingenieur	14 (14)	8 (7)	14 (12)	12 (12)
Strahlenschutzsachverständiger	5 (6)	4 (4)	4 (4)	3 (3)
Strahlenschutzfachkraft	7 (7)	9 (6)	6 (6)	10 (10)
Strahlenschutztechniker	4 (4)	5 (7)	5 (5)	5 (5)
Gesamtbelegschaft (Personen)	543 (536)	328 (341)	489 (476)	533 (517)

Tabelle 4

Meldepflichtige Vorkommnisse im Bereich der nuklearen Sicherheit 2011

Datum	KKW	Vorkommnis	Einstufung INES
6.1.2011	KKL	Schweißnahtleckage an einer Kleinleitung des Hochdruck-Kernsprühsystems	0
24.2.2011	KKL	Teilsclam nach Fehler in der Turbinenregelung	0
24.2.2011	KKL	Ausfall eines Druckschalters zur Regelöldrucküberwachung der Bypassregelventile	0
15.3.2011	KKL	Undichte Isolationsventile an einer Probenahmeleitung	0
29.3.2011	KKL	Ausfall der Steuerstab-Stellungsanzeige	0
18.4.2011	KKL	Erhöhter Kontaminationspegel im Maschinenhaus	0
27.4.2011	KKG	Fehlfunktion einer elektronischen Baugruppe im Reaktorschutz bei Test	0
30.4.2011	KKB1	Störung in der Kälteanlage des Notstandgebäudes	0
9.5.2011	KKM	Beschädigte Abstandshalter an vier neu angelieferten Brennelementen	0
1.6.2011	KKG	Flüssigkeitsaustritt aus dem Waschbehälter des Containment-Druckentlastungssystems	0
8.6.2011	KKM	Defekte Dichtung an einem Reaktorkernisoliations-Kühlsystem	0
16.6.2011	KKB1	Borsäureablagerungen am Rückschlagventil der Druckhalter-Hilfssprühung	0
28.6.2011	KKM	Verstopfungsgefahr der Zulaufleitung des Notstandsystems bei Extremhochwasser	1
13.7.2011	KKB2	Störung in der Kälteanlage des Notstandgebäudes	0
26.7.2011	KKG	Ausfall eines rotierenden Umformers	0
8.8.2011	KKL	Beschädigung von Abstandhaltern eines Brennelements	0
5.9.2011	KKL	Erhöhte Ortsdosisleistung in den Notsteuerstellen	0
20.9.2011	KKG	Falsch eingestellte Totbänder der axialen Schiefelast	0
26.9.2011	KKB2	Nichtverfügbarkeit einer Umwälzpumpe im Brennelementbecken	0

Fortsetzung Tabelle 4

Datum	KKW	Vorkommnis	Einstufung INES
27.9.2011	KKB1	Ausfall der Positionsanzeige von vier Steuerstäben	0
6.10.2011	KKG	Abschaltung von zwei Abluftventilatoren im Ringraum	0
28.10.2011	KKL	Beschädigung eines Aktivkohlefilters im Notabluftsystem	0
29.10.2011	KKL	Ausfall eines Druckschalters zur Regelöl Drucküberwachung der Bypassregelventile	0
31.10.2011	KKM	Teilschram nach Nichtöffnen der Rückschlagklappe einer Hauptkühlwasserpumpe	0
22.11.2011	KKL	Nicht konservative Berechnung einer thermischen Limite im Teillastbereich	0
17.12.2011	KKB2	Ausfall der Umluftkühlung im Notstandsgebäude bei Test	0
29.12.2011	KKB2	Ausfall der Positionsanzeige von vier Steuerstäben	0

Tabelle 5

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

	KKB1		KKB2		KKG		KKL		KKM	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
Aktionen										
BE-Wechsel		104	194							
Revisionsstillstand	691			399	453	393	1170	598	736	786
Zwischenabstellung										
Leistungsbetrieb	63	39	60	35	142	107	270	416	240	105
Total	754	143	254	434	595	500	1440	1014	976	891

Tabelle 6a

Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2011 für die Kernkraftwerke und das Zentrale Zwischenlager Würenlingen und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung

Ort	Medium	Art der Abgaben ¹	Bilanzierte Abgaben ²				Berechnete Jahresdosis ³		
			Messung Bq pro Jahr	Normiert _{1,2} Bq pro Jahr	Limite ⁴ Bq pro Jahr	Prozent der Limite	Erw. mSv/Jahr	10j Kind mSv/Jahr	1j Kind mSv/Jahr
KKB1 + KKB2	Abwasser 3 600 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	4,0·10 ⁸	-	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	8,6·10 ¹²	8,6·10 ¹²	7·10 ¹³	12%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	4,6·10 ¹²	4,5·10 ¹²	1·10 ¹⁵	0,5%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	2,0·10 ⁵	-	6·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,3·10 ⁶ 4,2·10 ¹⁰	- -	4·10 ⁹ -	<0,1% -	<0,001 <0,001	<0,001 0,0011	<0,001 0,0019
Dosis total					0,001	0,0013	0,0021		
KKM	Abwasser 3 574 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,5·10 ⁹	-	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,8·10 ¹¹	1,8·10 ¹¹	2·10 ¹³	0,9%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	8,2·10 ¹⁰	-	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,8·10 ⁶	-	2·10 ¹⁰	<0,1%	0,0028	0,0028	0,0027
		Iod: ¹³¹ I Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	3,2·10 ⁶ 3,0·10 ¹¹	- -	2·10 ¹⁰ -	<0,1% -	<0,001 <0,001	<0,001 0,001	<0,001 0,0016
Dosis total					0,0037	0,0038	0,0043		
KKG	Abwasser 7 219 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,6·10 ⁶	-	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,9·10 ¹³	1,9·10 ¹³	7·10 ¹³	27%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	<1,2·10 ¹³	<1,4·10 ¹³	1·10 ¹⁵	<1,4%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	3,0·10 ⁴	-	1·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	8,6·10 ⁵ 6,6·10 ¹⁰	- -	7·10 ⁹ -	<0,1% -	<0,001 <0,001	<0,001 <0,001	<0,001 <0,001
Dosis total					<0,001	<0,001	<0,001		
KKL	Abwasser 13 684 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	8,9·10 ⁷	-	4·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	2,0·10 ¹²	2,0·10 ¹²	2·10 ¹³	10%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	9,1·10 ¹⁰	-	2·10 ¹⁵	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,1·10 ⁷	-	2·10 ¹⁰	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: ¹³¹ I Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	6,1·10 ⁷ 5,7·10 ¹¹	6,1·10 ⁷ -	2·10 ¹⁰ -	0,3% -	<0,001 0,0021	<0,001 0,0028	<0,001 0,0048
Dosis total					0,0022	0,0029	0,0049		
ZZL	Abwasser 468 m ³	Nuklidgemisch ohne Tritium	2,8·10 ⁸	-	2·10 ¹¹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,1·10 ¹¹	-	-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	β-/γ--Aerosole	4,1·10 ⁵	-	1·10 ⁹	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		α-Aerosole	1,5·10 ⁴	-	3·10 ⁷	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂ Tritium	1,5·10 ⁸ 5,8·10 ¹⁰	- -	1·10 ¹² 1·10 ¹⁴	<0,1% <0,1%	<0,001 <0,001	<0,001 <0,001	<0,001 <0,001
Dosis total					<0,001	<0,001	<0,001		

Tabelle 6b

Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2011 und der daraus berechneten Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung

	PSI Ost				PSI West			Gesamtanlage des PSI ^{2,4}				
	Hochkamin	Saphir, Proteus	Forschungslabor	Betriebs-Gebäude radioaktive Abfälle	Bundeszwischenlager	Zentrale Fortluftanlagen	Injektor II	C-Labor	Abwasser 1527 m ³	Abluft	Aequivalent-abgaben	
Abgaben im Abwasser^{2,4} [Bq/a] Nuklidgemisch ohne Tritium Tritium	-	-	-	-	-	-	-	-	3,8·10 ⁷ 2,1·10 ¹⁰	-	7,6·10 ⁶ -	
Abgaben über die Abluft^{2,4} [Bq/a] Edelgase und andere Gase β/γ-Aerosole ⁴ , ohne Iod α-Aerosole Iod (Summe aller Isotope) Tritium als HTO Kohlenstoff: ¹⁴ C in CO ₂	1,6·10 ¹¹ 2,2·10 ⁸ 5,1·10 ⁷ 4,5·10 ¹⁰ -	- - - 4,5·10 ³ 5,2·10 ⁵ -	- 2,4·10 ⁴ - - -	- - - 8,3·10 ⁹ -	- 2,0·10 ⁵ - 5,9·10 ³ 1,2·10 ¹⁰ -	1,7·10 ¹⁴ 2,8·10 ¹⁰ - 6,5·10 ⁷ 1,2·10 ¹² -	1,6·10 ¹⁰ 3,0·10 ⁶ - - -	- 8,9·10 ³ - 5,8·10 ³ - -	- -	1,7·10 ¹⁴ 2,8·10 ¹⁰ - 6,5·10 ⁷ 1,2·10 ¹² -	3,7·10 ¹⁴ -	- -
Jahresdosis³ [mSv/Jahr] für:	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	0,0056	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,0060	
Erwachsene	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	0,0057	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,0060	
Kind 10j	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	0,0056	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,0060	
Kleinkinder	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	3,7 %	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<4,0%	
Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert¹	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	3,7 %	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<4,0%	

Tabelle 6c (Fussnoten)

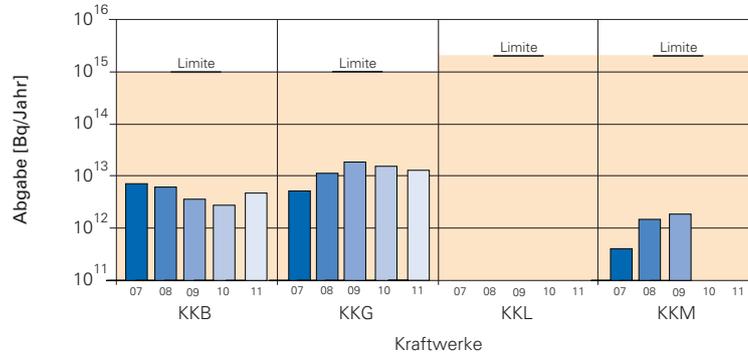
- ¹ Bei der **Art der Abgaben** resp. den **Bilanzier-ten Abgaben** ist folgendes zu präzisieren:
- Abwasser:** Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-LE-Wert von 200 Bq/kg angegeben. Die LE-Werte für die einzelnen Nuklide sind dem Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Ein LE-Wert von 200 Bq/kg entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Ingestions-Dosisfaktor von $5 \cdot 10^{-8}$ Sv/Bq. Die unnormierte Summe der Abwasserabgaben ist in der Spalte «Messung» angegeben.
- Edelgase:** Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-CA-Wert von $2 \cdot 10^5$ Bq/m³ angegeben. Die CA-Werte für die Edelgasnuklide sind dem Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Ein CA-Wert von $2 \cdot 10^5$ Bq/m³ entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Immersions-Dosisfaktor von $4,4 \cdot 10^{-7}$ (Sv/Jahr)/(Bq/m³). Die unnormierte Summe der Edelgasabgaben ist in der Spalte «Messung» angegeben.
- Beim KKG wird für die Bilanzierung der Edelgase eine β -total-Messung durchgeführt; für die Äquivalent-Umrechnung wurde in diesem Fall ein Gemisch von 80% ¹³³Xe, 10% ¹³⁵Xe und 10% ⁸⁸Kr angenommen.
- Gase:** Beim PSI handelt es sich dabei vorwiegend um die Nuklide ¹¹C, ¹³N, ¹⁵O und ⁴¹Ar. Deren Halbwertszeiten sind kleiner als zwei Stunden. Hier ist für die einzelnen Abgabestellen und das gesamte PSI die Summe der Radioaktivität dieser Gase und Edelgase ohne Normierung auf einen Referenzwert angegeben. Für die Gesamtanlage wird zusätzlich auch die auf den Referenz-CA-Wert von $2 \cdot 10^5$ Bq/m³ normierte Abgabe aufgeführt.
- Aerosole:** Hier ist in jedem Fall die Summe der Radioaktivität ohne Normierung auf einen Referenzwert angegeben.
- Der Dosisbeitrag von Aerosolen mit Halbwertszeiten kleiner 8 Tagen ist bei den Kernkraftwerken vernachlässigbar.
- Beim KKM ergibt sich der Hauptbeitrag zur Dosis durch die Strahlung der abgelagerten Aerosole, die im Jahre 1986 durch eine unkontrollierte Abgabe in die Umgebung gelangten. Der Dosisbeitrag der Aerosole, welche im Berichtsjahr abgegeben wurden, ist demgegenüber vernachlässigbar und liegt in der Grössenordnung der anderen schweizerischen Kernkraftwerke.
- Iod:** Bei den Kernkraftwerken ist die Abgabe von ¹³¹I limitiert; somit ist bei den bilanzierten Abgaben nur dieses Iod-Isotop angegeben.
- Beim PSI, bei dem andere Iod-Isotope in signifikanten Mengen abgegeben werden, ist die Abgabe für die einzelnen Abgabestellen und die Gesamtanlage als Summe der Aktivität der gemessenen Iod-Nuklide angegeben. Für die Gesamtabgabe wird zudem auch ein ¹³¹Iod-Äquivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben, wobei sich der Gewichtungsfaktor aus dem Verhältnis des Ingestionsdosisfaktors des jeweiligen Nuklides zum Ingestionsdosisfaktor von ¹³¹I ergibt. Die Ingestionsdosisfaktoren sind der StSV entnommen. Für die Berechnung der Jahresdosis werden sowohl für die KKW wie für das PSI immer sämtliche verfügbaren Iod-Messungen verwendet, d.h. es ist beispielsweise für KKB auch der Beitrag von ¹³³I berücksichtigt.
- Kohlenstoff ¹⁴C:** In den Tabellen ist der als Kohlendioxid vorliegende Anteil des ¹⁴C, der für die Dosis relevant ist, angegeben. Die für ¹⁴C angegebenen Werte basieren bei allen Werken auf aktuellen Messungen.
- ² Die **Messung der Abgaben** erfolgt nach den Erfordernissen der Reglemente «für die Abgaben radioaktiver Stoffe und die Überwachung von Radioaktivität und Direktstrahlung in der Umgebung des...» jeweiligen Kernkraftwerkes resp. des ZZZ oder PSI. Die Messgenauigkeit beträgt ca. ± 50 %. Abgaben unterhalb 0,1% der Jahresabgabelimite werden vom ENSI als nicht-relevant betrachtet und werden in der Spalte «Normiert» nicht ausgewiesen (-).
- ³ Die **Jahresdosis** ist für Personen berechnet, die sich dauernd am kritischen Ort aufhalten, ihre gesamte Nahrung von diesem Ort beziehen und ihren gesamten Trinkwasserbedarf aus dem Fluss unterhalb der Anlage decken. Die Dosis wird mit den in der Richtlinie ENSI-G14 angegebenen Modellen und Parametern ermittelt.
- Dosiswerte kleiner als 0,001 mSv – entsprechend einer Dosis, die durch natürliche externe Strahlung in ca. zehn Stunden akkumuliert wird – werden in der Regel nicht angegeben. Beim PSI wird die Jahresdosis der Gesamtanlage als Summe über die Abgabestellen gebildet.
- ⁴ **Abgabelimiten** gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die Abgabelimiten wurden so festgelegt, dass die Jahresdosis für Personen in der Umgebung (vgl. Fussnote 3) für die Kernkraftwerke unter 0,3 mSv/Jahr respektive das Zentrale Zwischenlager in Würenlingen (ZZL) unter 0,05 mSv/Jahr bleibt. Für das Paul Scherrer Institut (PSI) sind die Abgaben gemäss Bewilligung 6/2003 direkt über den quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0,15 mSv/Jahr limitiert.

Tabelle 7

Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke in den letzten fünf Jahren im Vergleich mit den Abgabelimiten

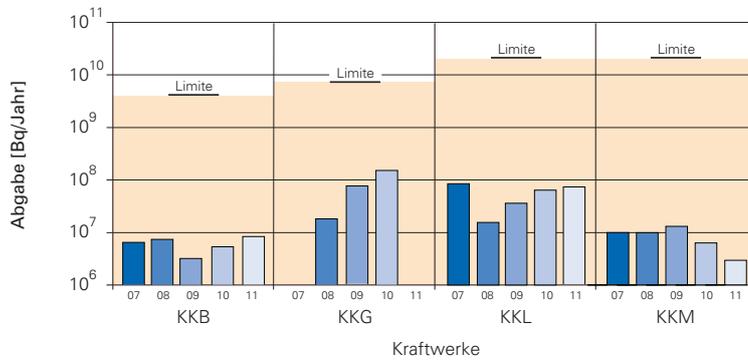
Abluft

Edelgase



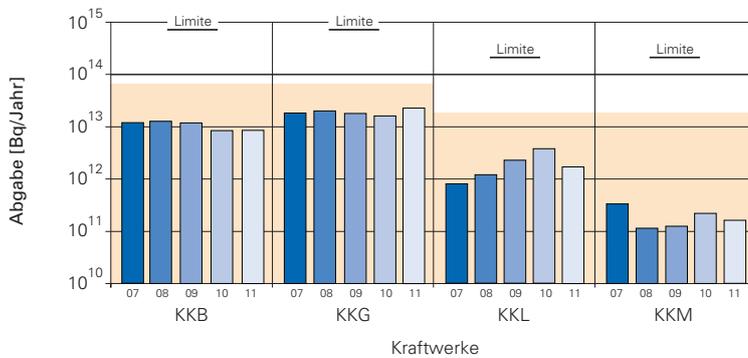
Abluft

Iod



Abwasser

Tritium im Abwasser



Abwasser

ohne Tritium

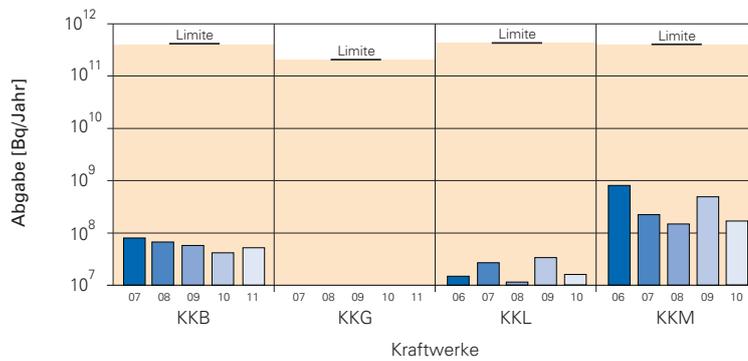


Tabelle 8

Radioaktive Abfälle in den Kernkraftwerken und im PSI per 31.12.2011
(inklusive Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung), Bruttovolumina gerundet in m³

	unkonditioniert			konditioniert		
	Anfall	Auslagerung ¹	Bestand	Produktion	Auslagerung ²	Bestand
PSI	51	22	403	6	5 ³	1496 ⁴
KKB	26	60	71	16	-	1159 ³
KKM	36	63	50	14	-	866
KKG	21	18	44	5	-	224
KKL	41	41	12	57	16	1271
Total	175	204	580	98	21	5016

- ¹ Bruttovolumen der im Berichtsjahr zur ZwiLag transferierten Abfälle für die Behandlung in der Plasma-Anlage und der Konditionierungsanlage.
² Transfer konditionierter Abfälle zur Zwischenlagerung bei der ZwiLag.
³ Rückgabe der 22 Gebinde von KKB, die das PSI zur Sanierung angenommen hatte.
⁴ Hierin enthalten sind die 20 mittels der Plasma-Anlage produzierten PSI-Gebinde (4,3 m³), die 2011 ins BZL überführt wurden.

Tabelle 9

Radioaktive Abfälle in den Anlagen der ZWILAG per 31.12.2011

	unkonditioniert			konditioniert	
	Anfall	Annahme zur Kond. bzw. Triage ²	Bestand	Produktion	
Verarbeitung [m ³]	44 ¹	600	512 ³	71	
Bestand (konditionierte Abfälle)			Einlagerung	Auslagerung	Bestand
Bruttovolumen konditionierter Abfälle ⁴ [m ³]			109	8	1475
Anzahl Behälter mit Brennelementen			-		26
Anzahl Behälter mit Glaskokillen			-		8
Anzahl Behälter mit Lucens-Abfällen			-		6

- ¹ Hierin enthalten sind:
– Sekundärabfälle aus allen Betriebsbereichen der ZwiLag
– 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 Versuchatomkraftwerk Lucens.
⁴ Alle Lagerteile der ZwiLag, ausgenommen sep. aufgeführtem Bestand des HAA-Lagers.

Tabelle 10

Richtlinien des ENSI/Directives de l'ENSI/Guidelines of ENSI

Fett gedruckte Richtlinien sind in Kraft resp. übersetzt worden.

Bold printed titles are existing/have been translated. (English is not an official language of the Swiss Confederation. English translation is provided for information purposes only and has no legal force.)

Die Sicherheitsrichtlinien sind nicht aufgeführt. The security guidelines are not listed.

(Stand Dezember 2011)

G-Richtlinien (Generelle Richtlinien)

Nr.	Definitiver Titel/Arbeitstitel	Datum der gültigen Ausgabe/ issue date (Datum früherer Ausgaben/ date of former versions)
G01	Sicherheitstechnische Klassierung für bestehende Kernkraftwerke Safety classification for existing nuclear power plants	2011/1
G02	Spezifische Auslegungsgrundsätze für Kernkraftwerke mit Leichtwasser-Reaktoren Specific design principles for nuclear power plants with light-water reactors	
G03	Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis Specific design principles for deep geological repositories and requirements for the safety case	2009/4
G04	Auslegung und Betrieb von Lagern für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente Design and operation of storage facilities for radioactive waste and spent fuel assemblies	2010/9
G05	Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung Transport and storage casks for interim storage	2008/4
G06	Anforderungen an die Baudokumentation Requirements for construction documentation	
G07	Organisation von Kernanlagen Organisation des installations nucléaires Organisation of nuclear Installations	2008/4
G08	Anforderungen an die systematischen Sicherheitsbewertungen Requirements for the systematic safety assessments	
G09	Betriebsdokumentation Operational documentation	
G11	Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Planung, Herstellung und Montage Vessels and piping classified as important to safety: Engineering, manufacture and installation	2010/5 (2009/2)

G-Richtlinien (Generelle Richtlinien) Fortsetzung

Nr.	Definitiver Titel/Arbeitstitel	Datum der gültigen Ausgabe/ issue date (Datum früherer Ausgaben/ issue date of former versions)
G12	Festlegungen von baulichen und organisatorischen Strahlenschutz-Massnahmen für den überwachten Bereich von Kernanlagen Determinations for structural and organisational radiation protection measures for controlled areas of nuclear installations	
G13	Strahlenschutzmessmittel in Kernanlagen: Konzepte, Anforderungen und Prüfungen Instruments de mesure en radioprotection: Concepts, exigences et contrôles Radiation protection measuring devices in nuclear installations: Concepts, requirements and testing	2008/2
G14	Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen Calcul de l'exposition aux radiations ionisantes dans l'environnement due à l'émission de substances radioactives par les installations nucléaires Calculation of radiation exposure in the vicinity due to emission of radioactive substances from nuclear installations	2009/12 (2008/2)
G15	Strahlenschutzziele für Kernanlagen Objectifs de radioprotection applicables aux installations nucléaires Radiation protection objectives for nuclear installations	2010/11
G16	Sicherheitstechnisch klassierte Leittechnik: Auslegung und Anwendung Instrumentation and control classified as important to safety: Design and application	
G17	Stilllegung von Kernanlagen Decommissioning of nuclear installations	
G18	Kommunikationsmittel für Kernkraftwerke Means of communications for nuclear power plants	
G19	Auslegung und Qualifikation elektrischer Ausrüstungen Design and qualification of electrical equipment	

A-Richtlinien (Richtlinien für Anlagebegutachtung)

Nr.	Definitiver Titel/Arbeitstitel	Datum der gültigen Ausgabe/ issue date
A01	Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse für Kernanlagen: Umfang, Methodik und Randbedingungen der technischen Störfallanalyse Requirements for deterministic accident analysis for nuclear installations: Extent, methodology and boundary conditions for technical accident analysis	2009/7
A02	Gesuchsunterlagen für den Bau von Kernkraftwerken Application documents for the construction of nuclear power plants	
A03	Anforderungen an die Periodische Sicherheitsüberprüfung von Kernkraftwerken Requirements for the periodic safety review for nuclear power plants	
A04	Gesuchsunterlagen für freigabepflichtige Änderungen an Kernanlagen Application documents for modifications in nuclear power plants requiring a permit	2009/9 (2008/7)
A05	Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Umfang und Qualität Probabilistic Safety Analysis (PSA): Quality and Scope	2009/1
A06	Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Anwendungen Probabilistic Safety Analysis (PSA): Applications	2008/5
A07	Methodik und Randbedingungen für die Störfallanalyse von Kernanlagen mit geringem Gefährdungspotenzial Methodology and boundary conditions for accident analysis in nuclear installations with low hazard potential	
A08	Quelltermanalyse: Umfang, Methodik und Randbedingungen Analysis of source terms: Extent, methodology and boundary conditions	2010/2
A15	Gesuchsunterlagen für Betriebsbewilligungen	

B-Richtlinien (Richtlinien für Betriebsüberwachung)

Nr.	Definitiver Titel/Arbeitstitel	Datum der gültigen Ausgabe/ issue date
B01	Alterungsüberwachung Ageing management	2011/7
B02	Periodische Berichterstattung der Kernanlagen Periodical reporting for nuclear installations	2011/8 (2008/12, 2008/9)
B03	Meldungen der Kernanlagen Reports for nuclear installations	2010/2 (2008/12, 2008/9)
B04	Freimessung von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen Mesurage de libération de matériaux et de secteurs de zones contrôlées Clearance measurement of materials and areas from controlled zones	2009/8
B05	Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle Requirements for the conditioning of radioactive waste	2007/2
B06	Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Instandhaltung Vessels and piping classified as important to safety: Maintenance	2010/5 (2009/4)
B07	Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Qualifizierung der zerstörungsfreien Prüfungen Vessels and piping classified as important to safety: Qualification of non-destructive testing	2008/9
B08	Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Zerstörungsfreie Wiederholungsprüfungen Vessels and piping classified as important to safety: Non-destructive in-service inspections	
B09	Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen Collecting and reporting of doses of persons exposed to radiation	2011/7
B10	Ausbildung, Wiederholungsschulung und Weiterbildung von Personal Initial training, recurrent training and continuing education of personnel	2010/10
B11	Notfallübungen Exercices d'urgence Emergency exercises	2007/11
B12	Notfallschutz in Kernanlagen Protection en cas d'urgence dans les installations nucléaires Emergency preparedness in nuclear installations	2009/4
B13	Ausbildung und Fortbildung des Strahlenschutzpersonals Formation et perfectionnement du personnel de radioprotection Training and continuing education of the radiation protection personnel	2010/11
B14	Instandhaltung sicherheitstechnisch klassierter elektrischer und leittechnischer Ausrüstungen Maintenance of electrical and instrumentation and control equipment classified as important to safety	2010/12

R-Richtlinien (von der früheren Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen HSK verabschiedet)

Nr.	Arbeitstitel/definitiver Titel	Datum der gültigen Ausgabe/ issue date
R-4	Aufsichtsverfahren beim Bau von Kernkraftwerken, Projektierung von Bauwerken Supervisory procedures for the construction of nuclear power plants, project engineering of structures	1990/12
R-6	Sicherheitstechnische Klassierung, Klassengrenzen und Bauvorschriften für Ausrüstungen in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren Safety classification, class limits and procedures for construction of equipment in nuclear power plants with light-water reactors	1985/5
R-7	Richtlinien für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts Guideline for the radiological monitored area of the nuclear installations and the Paul Scherrer Institute	1995/6
R-8	Sicherheit der Bauwerke für Kernanlagen, Prüfverfahren des Bundes für die Bauausführung Structural safety for nuclear power plants, Swiss Federal supervising procedures for construction work	1976/5
R-16	Seismische Anlageninstrumentierung Seismic plant instrumentation	1980/2
R-30	Aufsichtsverfahren beim Bau und Betrieb von Kernanlagen Supervisory procedures for construction and operation of nuclear installations	1992/7
R-31	Aufsichtsverfahren beim Bau und dem Nachrüsten von Kernkraftwerken, 1E klassierte elektrische Ausrüstungen Supervisory procedures for construction and backfitting of nuclear power plants, 1E classified electrical equipments	2003/10
R-35	Aufsichtsverfahren bei Bau und Änderungen von Kernkraftwerken, Systemtechnik Supervisory procedures for construction and modification of nuclear power plants, systems engineering	1996/5
R-39	Erfassung der Strahlenquellen und Werkstoffprüfer im Kernanlagenareal Collecting data of radiation sources and material testers in nuclear installations	1990/1
R-40	Gefilterte Druckentlastung für den Sicherheitsbehälter von Leichtwasserreaktoren, Anforderungen für die Auslegung Filtered containment venting of light-water reactors, design requirements	1993/3
R-46	Anforderungen für die Anwendung von sicherheitsrelevanter rechnerbasierter Leittechnik in Kernkraftwerken Requirements for the application of computer-based instrumentation and control important to safety in nuclear power plants	2005/4
R-48	Periodische Sicherheitsüberprüfung von Kernkraftwerken Periodic safety review of nuclear power plants	2001/11
R-49	Sicherheitstechnische Anforderungen an die Sicherung von Kernanlagen Requirements important to safety for security of nuclear installations	2003/12
R-50	Sicherheitstechnische Anforderungen an den Brandschutz in Kernanlagen Requirements important to safety for fire protection in nuclear installations	2003/3
R-60	Überprüfung der Brennelementherstellung Inspection of fuel element production	2003/3

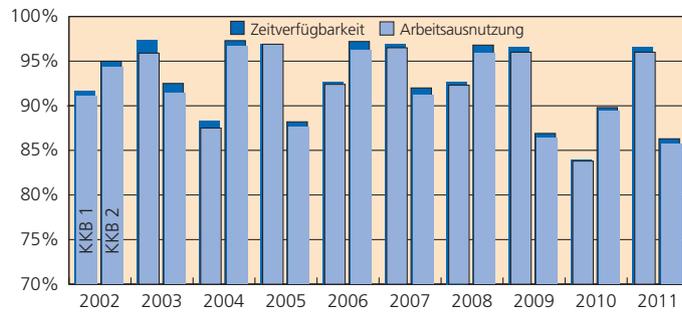
R-Richtlinien (von der früheren Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen HSK verabschiedet) Fortsetzung

Nr.	Arbeitstitel/definitiver Titel	Datum der gültigen Ausgabe/ issue date
R-61	Aufsicht beim Einsatz von Brennelementen und Steuerstäben in Leichtwasserreaktoren Supervisory procedures when using nuclear fuel and control-rods in light-water reactors	2004/6
R-101	Auslegungskriterien für Sicherheitssysteme von Kernkraftwerken mit Leichtwasser-Reaktoren Design criteria for safety systems of nuclear power plants with light-water reactors	1987/5
R-102	Auslegungskriterien für den Schutz von sicherheitsrelevanten Ausrüstungen in Kernkraftwerken gegen die Folgen von Flugzeugabsturz Design criteria for the protection of safety equipment in nuclear power stations against the consequences of airplane crash	1986/12
R-103	Anlageninterne Massnahmen gegen die Folgen schwerer Unfälle On-site measures against the consequences of severe accidents	1989/11

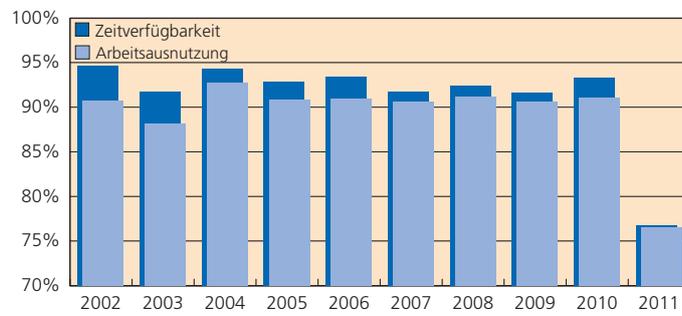
Figur 1

Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung, 2002–2011

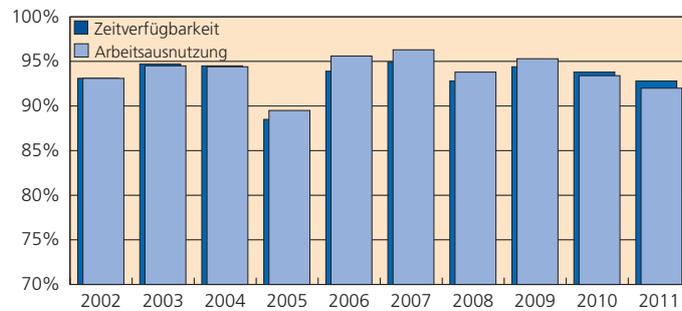
KKB 1, 2



KKM



KKG



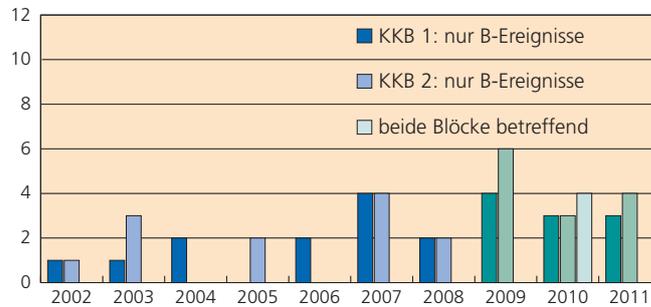
KKL



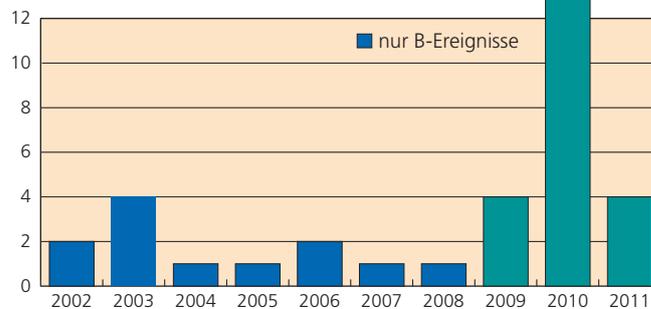
Figur 2

Meldepflichtige, klassierte Vorkommnisse, 2002–2008 sowie meldepflichtige Vorkommnisse im Bereich der nuklearen Sicherheit 2009–2011. Aufgrund der geänderten Meldekriterien können die Zahlen vor 2009 nicht mit denjenigen ab 2009 verglichen werden.

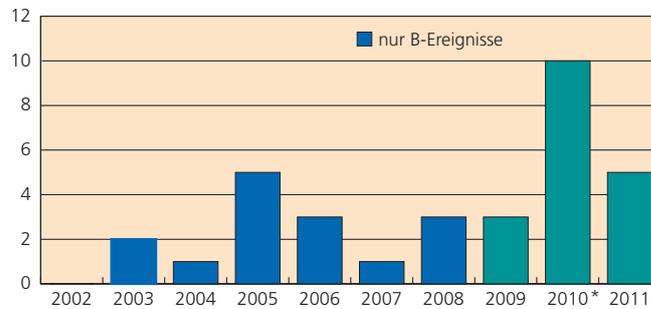
KKB 1, 2



KKM

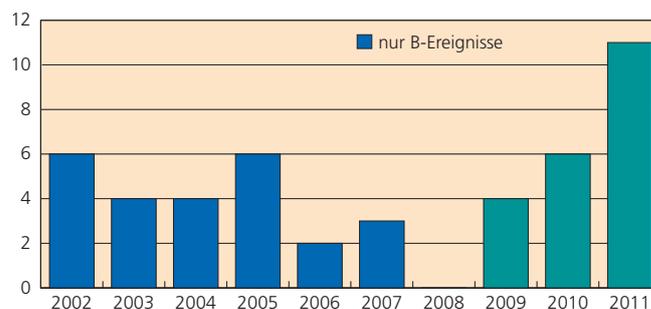


KKG



* inkl. das im März gemeldete Vorkommnis von 2008

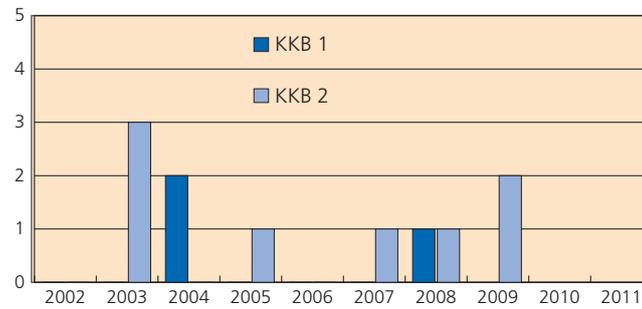
KKL



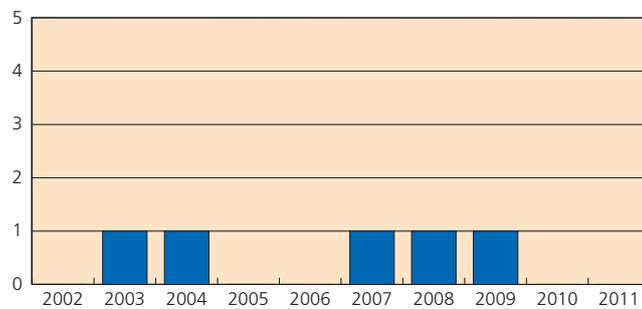
Figur 3

Ungeplante Reaktorschnellabschaltungen (Scrams), 2002–2011

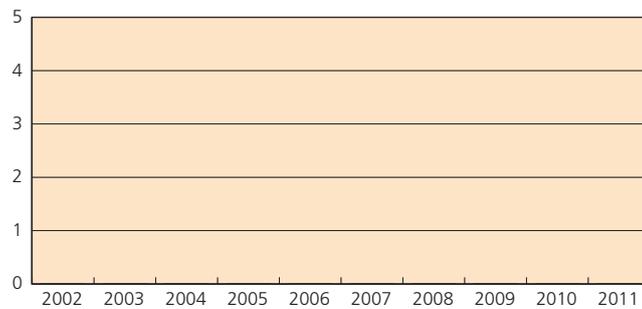
KKB 1, 2



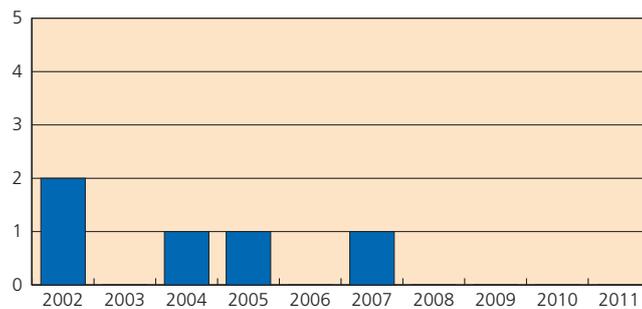
KKM



KKG



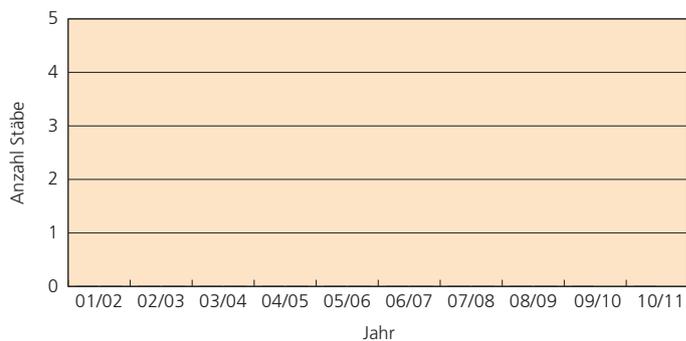
KKL



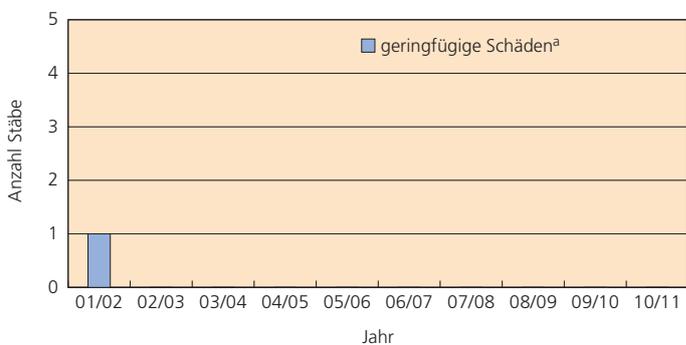
Figur 4

Brennstabschäden (Anzahl Stäbe), 2002–2011

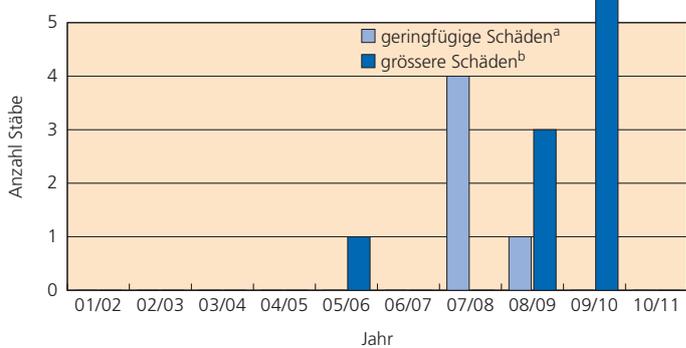
KKB 1, 2



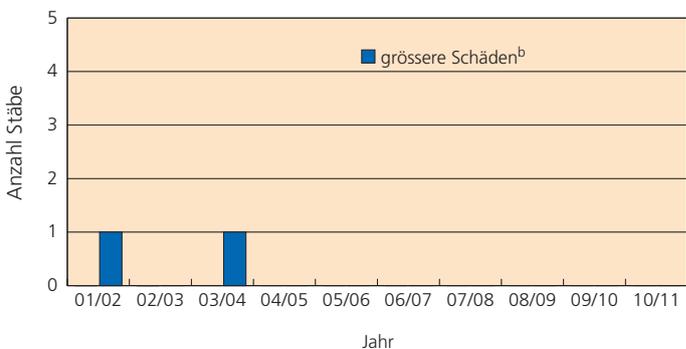
KKM



KKG



KKL

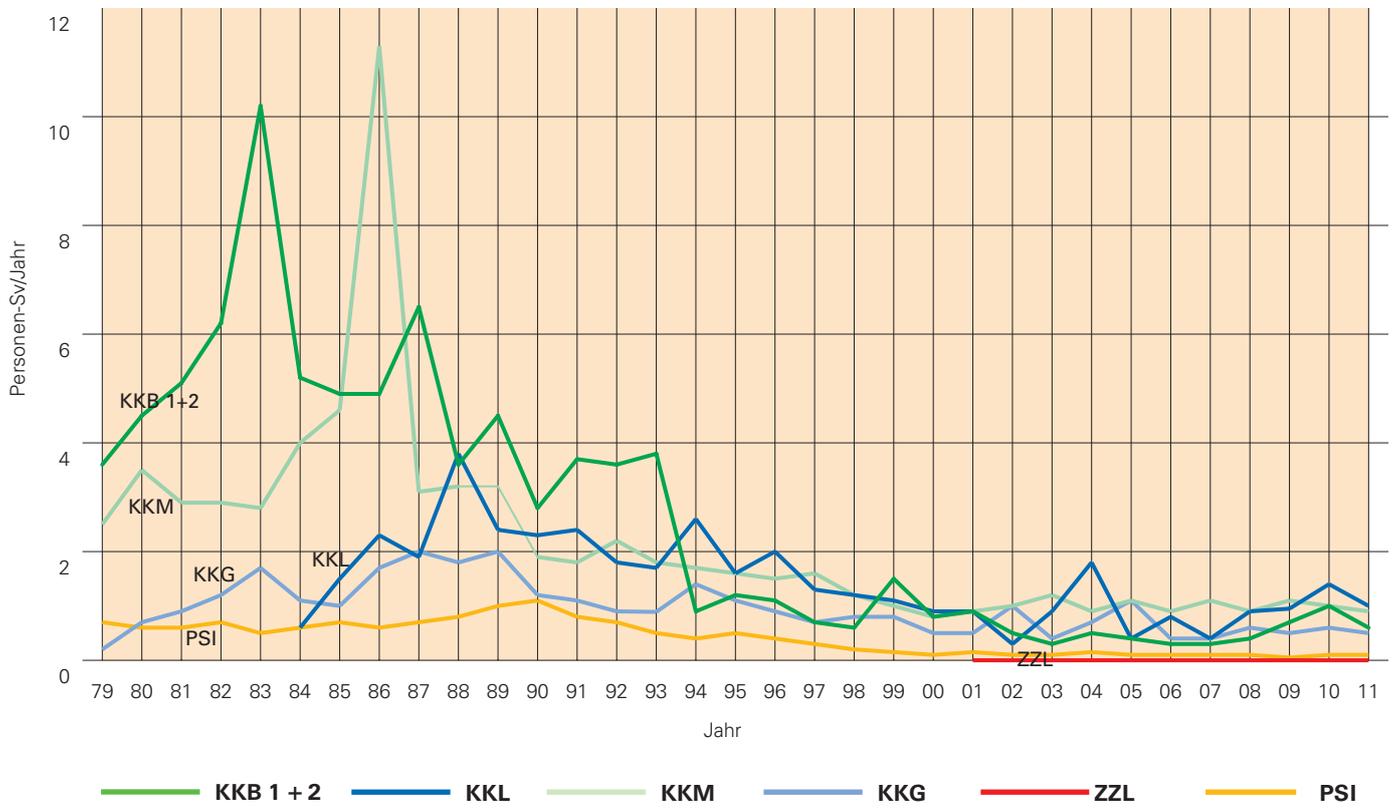


^a z.B. Haarrisse im Hüllrohr

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

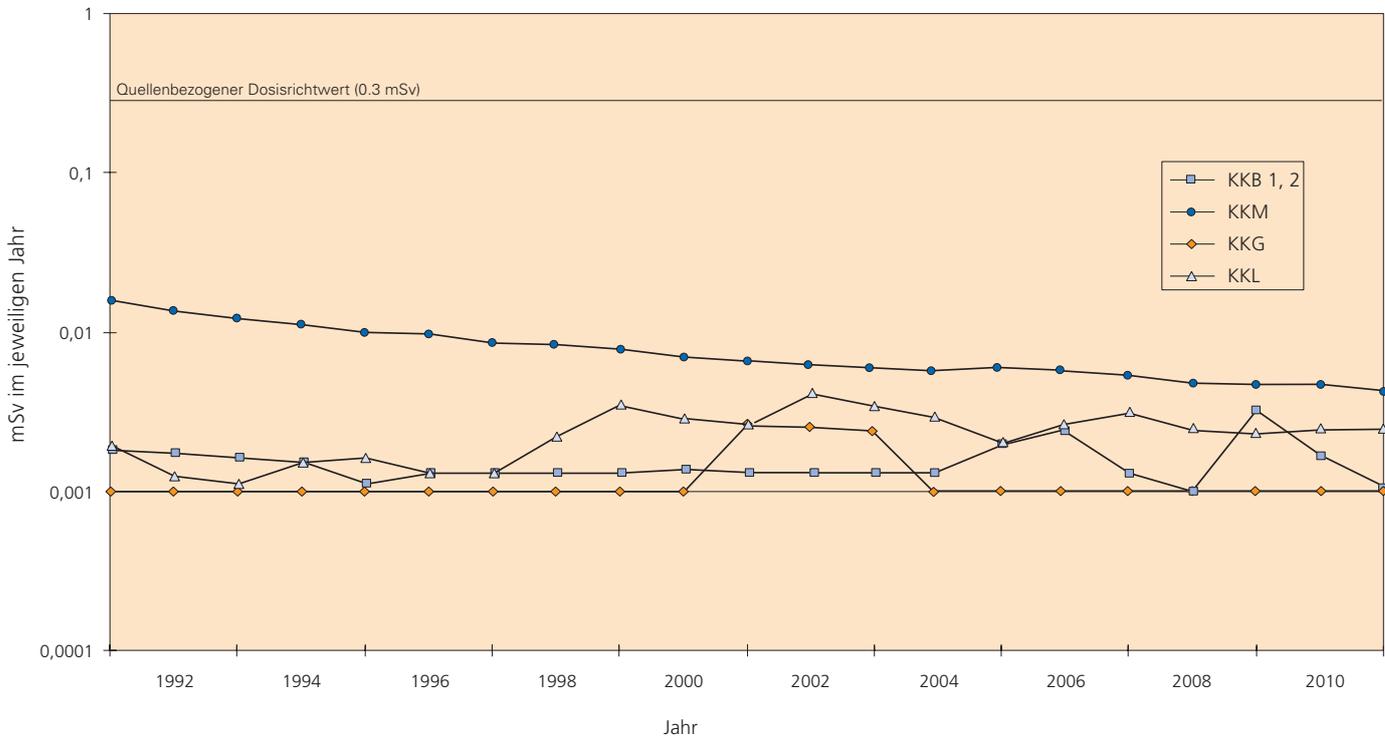
Figur 5

Jahreskollektivdosen (Personen-Sv/Jahr) der Kernanlagen, 1979–2011



Figur 6

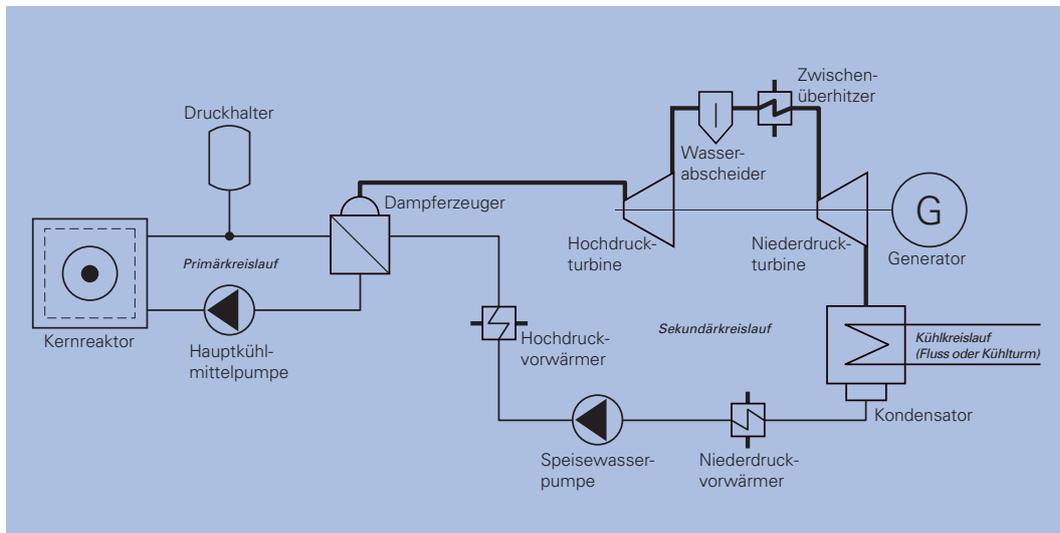
Berechnete Dosen für die meistbetroffenen Personen (Erwachsene) in der Umgebung der schweizerischen KKW



Diese Werte sind mit Vorsicht zu geniessen, da im Laufe der Zeit die Berechnungsgrundlagen für die Dosisberechnungen mehrmals geändert wurden.

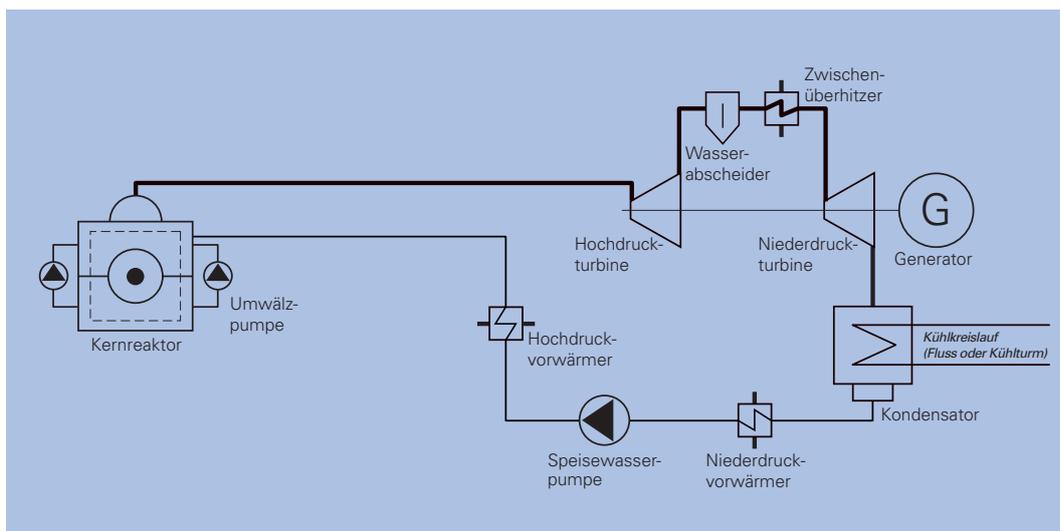
Figur 7a

Funktionsschema eines Kernkraftwerks mit **Druckwasserreaktor**



Figur 7b

Funktionsschema eines Kernkraftwerks mit **Siedewasserreaktor**



Verzeichnis der Abkürzungen

ADAM	Accident Diagnostics, Analysis and Management
ADR	European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road
AIRS	Advanced Incident Reporting System
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
ASME	American Society of Mechanical Engineers
<hr/>	
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BFE	Bundesamt für Energie
Bq	Becquerel
BZL	Bundesz Zwischenlager
BE	Brennelement
<hr/>	
CFS	Commission franco-suisse de sûreté nucléaire et de radioprotection
CIS/DAISY	Chemie Informationssystem/Daten-Analyse- und Informationssystem
CNS	Convention on Nuclear Safety
<hr/>	
DSK	Deutsch-Schweizerische Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen
DWR	Druckwasserreaktor
<hr/>	
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
EOR	Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
<hr/>	
GSKL	Gruppe der schweizerischen Kernkraftwerksleiter
GWh	Gigawattstunde = 10 ⁹ Wattstunden
<hr/>	
HAA	Hochradioaktive Abfälle
HRA	Human Reliability Analysis
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (heute: ENSI)
<hr/>	
IAEA	International Atomic Energy Agency (Internationale Atomenergieagentur), Wien
IGA	Institut de Génie Atomique, Lausanne
INES	International Nuclear Event Scale (Internationale Ereignisskala)
IRA	Institut de radiophysique appliquée, Lausanne
IRS	Incident Reporting System
<hr/>	
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
KKB	Kernkraftwerk Beznau
KKG	Kernkraftwerk Gösgen
KKL	Kernkraftwerk Leibstadt

KKM	Kernkraftwerk Mühleberg
KKW	Kernkraftwerk
KNE	Kommission Nukleare Entsorgung
KNS	Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit
KOMABC	Eidgenössische Kommission für ABC Schutz
KSR	Eidgenössische Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität
kV	Kilovolt = 10^3 Volt, Spannungseinheit

LMA	Langlebige mittelradioaktive Abfälle
LOCA	Loss of coolant accident
LWR	Leichtwasserreaktor

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

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
NOK	Nordostschweizerische Kraftwerke AG
NRC	Nuclear Regulatory Commission, USA
NTB	Nagra Technischer Bericht

OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OSART	Operational Safety Review Team (IAEA)

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

QM	Qualitätsmanagement
QS	Qualitätssicherung

RCIC	Reaktorkernisolations-Kühlsystem
RDB	Reaktordruckbehälter
REFUNA	Regionale Fernwärmeversorgung Unteres Aaretal
RID	Regulations concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail

SAA	Schwachradioaktive Abfälle
SAMG	Severe Accident Management Guidance

SMA	Schwach- und mittelradioaktive Abfälle
StSG	Strahlenschutzgesetz
StSV	Strahlenschutzverordnung
SUVA	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Luzern
Sv	Sievert = Strahlendosisäquivalent (1 Sv = 100 rem)
SVTI	Schweizerischer Verein für Technische Inspektionen
SWR	Siedewasserreaktor

TBq	Terabecquerel (1 TBq = 10 ¹² Bq)
TL-Behälter	Transport- und Lagerbehälter
TLD	Thermolumineszenz-Dosimeter

UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
------	--

WANO	World Association of Nuclear Operators
WENRA	Western European Nuclear Regulators' Association
Wh	Wattstunde

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
Telefax +41 (0)56 460 84 99
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-7870
ISSN 1661-2876

© ENSI, Juni 2012

ENSI-AN-7870
ISSN 1661-2876

ENSI, CH-5200 Brugg, Industriestrasse 19, Telefon +41 (0)56 460 84 00, Fax +41 (0)56 460 84 99, www.ensi.ch