



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen HSK  
Division principale de la sécurité des installations nucléaires DSN  
Divisione principale della sicurezza degli impianti nucleari DSN  
Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate HSK

HSK Aufsichtsbericht 2005



## Aufsichtsbericht 2005

zur nuklearen Sicherheit in den schweizerischen Kernanlagen

## **Aufsichtsbericht 2005**

über die nukleare Sicherheit in den schweizerischen Kernanlagen

## **Rapport de Surveillance 2005**

sur la sécurité nucléaire dans les installations nucléaires en Suisse

## **Regulatory Oversight Report 2005**

concerning nuclear safety in Swiss nuclear installations

# Inhalt

Vorwort	4
<i>Préface</i>	7
<i>Preface</i>	10
Zusammenfassung und Übersicht	13
<i>Résumé et aperçu</i>	17
<i>Summary and overview</i>	21
Organisation	25
<b>1. Kernkraftwerk Beznau</b>	<b>27</b>
1.1 Betriebsdaten und Betriebsergebnisse	27
1.2 Anlagensicherheit	28
1.3 Strahlenschutz	33
1.4 Radioaktive Abfälle	34
1.5 Notfallbereitschaft	35
1.6 Probabilistische Sicherheitsanalyse und Accident Management	36
1.7 Personal und Organisation	37
1.8 Erkenntnisse aus der Sicherheitsbewertung	39
1.9 Gesamtbeurteilung	39
<b>2. Kernkraftwerk Mühleberg</b>	<b>41</b>
2.1 Betriebsdaten und Betriebsergebnisse	41
2.2 Anlagensicherheit	41
2.3 Strahlenschutz	45
2.4 Radioaktive Abfälle	46
2.5 Notfallbereitschaft	47
2.6 Probabilistische Sicherheitsanalyse und Accident Management	47
2.7 Personal und Organisation	48
2.8 Erkenntnisse aus der Sicherheitsbewertung	48
2.9 Gesamtbeurteilung	49
<b>3. Kernkraftwerk Gösgen</b>	<b>51</b>
3.1 Betriebsdaten und Betriebsergebnisse	51
3.2 Anlagensicherheit	52
3.3 Strahlenschutz	57
3.4 Radioaktive Abfälle	58
3.5 Notfallbereitschaft	59
3.6 Probabilistische Sicherheitsanalyse und Accident Management	59
3.7 Personal und Organisation	60
3.8 Erkenntnisse aus der Sicherheitsbewertung	61
3.9 Gesamtbeurteilung	62
<b>4. Kernkraftwerk Leibstadt</b>	<b>63</b>
4.1 Betriebsdaten und Betriebsergebnisse	63
4.2 Anlagensicherheit	64
4.3 Strahlenschutz	69
4.4 Radioaktive Abfälle	70
4.5 Notfallbereitschaft	71
4.6 Probabilistische Sicherheitsanalyse und Accident Management	71
4.7 Personal und Organisation	72
4.8 Erkenntnisse aus der Sicherheitsbewertung	73
4.9 Gesamtbeurteilung	74
<b>5. Zentrales Zwischenlager Würenlingen</b>	<b>75</b>
5.1 Zwischenlagergebäude	75

5.2	Konditionierungsanlage	77
5.3	Verbrennungs- und Schmelzanlage	77
5.4	Strahlenschutz	78
5.5	Notfallbereitschaft	78
5.6	Personal und Organisation	78
5.7	Rücknahme von Wiederaufarbeitungsabfällen	79
5.8	Beschaffung von Transport- und Lagerbehältern	79
5.9	Gesamtbeurteilung	80
<b>6.</b>	<b>Paul Scherrer Institut (PSI)</b>	<b>81</b>
6.1	Die Kernanlagen des PSI	81
6.2	Forschungsreaktor PROTEUS	81
6.3	Rückbau des Forschungsreaktors SAPHIR	82
6.4	Rückbau des Forschungsreaktors DIORIT	83
6.5	Hotlabor	83
6.6	Behandlung radioaktiver Abfälle	84
6.7	Lagerung radioaktiver Abfälle	84
6.8	Vorkommnisse	85
6.9	Strahlenschutz	86
6.10	Notfallbereitschaft	86
6.11	Organisation, Personal und Ausbildung	86
6.12	Strahlenschutz-Schule	86
6.13	Gesamtbeurteilung	86
<b>7.</b>	<b>Weitere Kernanlagen</b>	<b>89</b>
7.1	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)	89
7.2	Universität Basel	89
<b>8.</b>	<b>Transport von radioaktiven Stoffen</b>	<b>91</b>
8.1	Genehmigungen nach Gefahrgutgesetzgebung	91
8.2	Bewilligungen nach Strahlenschutzgesetzgebung	91
8.3	Bewilligungen nach Kernenergiegesetzgebung	92
8.4	Transport abgebrannter Brennelemente und verglaster hochaktiver Abfälle	93
8.5	Inspektionen und Audits	93
<b>9.</b>	<b>Geologische Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle</b>	<b>95</b>
9.1	Tiefenlagerung allgemein	95
9.2	Programm SMA	96
9.3	Programm HAA	96
9.4	Felslaboratorien	98
<b>Anhang</b>		<b>99</b>
	Verzeichnis der Abkürzungen	121

# Vorwort



## Kommunikation und Sicherheit

Wir kommunizieren ständig. Wir teilen anderen etwas mit, absichtlich oder unabsichtlich. Mit absichtlicher Kommunikation wollen wir anderen eine Botschaft vermitteln. Doch nicht immer kommt jene Botschaft an, die wir kommunizieren wollten.

Warum ist das so? Kommunikation basiert darauf, dass der Sender seine Botschaft nicht nur durch Worte, sondern auch in Form anderer Zeichen ausdrückt, in seiner Körperhaltung, Gestik und Mimik. Viele Zeichen haben für die Mitglieder einer gemeinsamen Kultur eine gemeinsame Bedeutung, andere sind mehrdeutig und werden von verschiedenen Individuen verschieden verwendet und interpretiert. Wenn wir uns ausdrücken, senden wir verschiedene Zeichen parallel. Unsere Botschaft wird dadurch widersprüchlich. Unsere Worte wählen wir bewusster als die Stimme und den Gesichtsausdruck. Doch welche Botschaft beim Empfänger ankommt, hängt oft stärker von jenen unbeabsichtigten Zeichen ab, die unsere mit Absicht gewählten Zeichen begleiten. Die Aussage «Was ich gesagt habe, weiss ich erst, wenn ich die Antwort gehört habe» beinhaltet eine tiefe Wahrheit. Sie sagt, dass die Kommunikation mehr ist als nur gesprochene Worte. Wenn wir uns dessen bewusst sind, können wir viele dieser von uns mitgesandten Zeichen steuern. Klare Kommunikation ist lernbar.

Für die Sicherheit von Kernanlagen spielt die Kommunikation eine zentrale Rolle. Kernanlagen werden von Menschen gebaut und betrieben. Die Er-

fahrung zeigt die grosse Bedeutung menschlicher und organisatorischer Aspekte für die Sicherheit. Die Erfahrung zeigt auch, dass unklare oder fehlende Kommunikation nicht selten die eigentliche Ursache für Fehler und Vorkommnisse in Kernanlagen ist.

Im Kommandoraum einer Kernanlage geht es vor allem um die klare Kommunikation des vom Menschen wahrgenommenen Anlagenzustandes und der in der aktuellen Situation erforderlichen menschlichen Handlungen. Diese Klarheit in der Kommunikation setzt voraus, dass sich die Beteiligten gut kennen, die gemeinsame Fachsprache beherrschen und sich gegenseitig vertrauen. Die Kommunikation im Kommandoraum wird geleitet durch präzise Vorgaben. Damit werden Entscheidungsspielräume eingeengt und Fehlermöglichkeiten begrenzt. Zudem wird ein strenges Controlling durchgeführt. Der Empfänger muss bestätigen, welche Botschaft er verstanden hat, bevor er eine Handlung ausführt. Da Schalthandlungen oder deren Wirkungen zu einem grossen Teil angezeigt oder aufgezeichnet werden, kann ein Auftraggeber auch kontrollieren, ob sein Auftrag korrekt ausgeführt worden ist.

Klare Kommunikation ist auch für Arbeiten an technischen Systemen und Komponenten in der Anlage zentral. Es ist unabdingbar, dass sich der ausführende Mitarbeiter vergewissert, welche Arbeiten er auszuführen hat, welche Vorgaben und Randbedingungen zu beachten sind und wie er sich bei unvorhergesehenen Ereignissen zu verhalten hat. In allen Schweizer Kernkraftwerken wird deshalb der Arbeitsvorbereitung eine hohe Bedeutung beigemessen. Werden Arbeiten durch externe Fachleute ausgeführt, sind diese Vorbereitungen noch wichtiger und die Begleitung und Einführung durch kompetentes Betriebspersonal eine Selbstverständlichkeit. Dadurch werden die möglichen Fehlerquellen deutlich eingeschränkt und die Aufgabenkomplexität wird reduziert. Wir von der Aufsichtsbehörde legen grossen

Wert auf solche von den Betreibern ergriffenen Massnahmen zur Unterstützung klarer Kommunikation – als Voraussetzung einer sicherheitsgerichteten Zusammenarbeit.

Kommt es bei der Ausführung von in Vorschriften festgelegten Arbeitsabläufen zu Fehlern, spricht man von Fehlleistungen. Sie gehen mehrheitlich aus Routineverhalten hervor, weil Arbeiten mit hohem Wiederholungscharakter oft mit wenig Aufmerksamkeit ablaufen. Routiniers sind für solche Fehler anfälliger als Anfänger. Gerade in Kernanlagen ist es deshalb wichtig, sowohl Methoden zur Fokussierung der Aufmerksamkeit wie auch das periodische Einüben von Routineverhalten zu schulen. Damit kann das Personal in schwierigen Situationen die Aufmerksamkeit auf Aspekte richten, die bewusste Entscheidungen verlangen. Hierfür spielen Simulatoren eine zentrale Rolle. Am Simulator, der eine realitätsnahe Abbildung des Kommandoraums umfasst, kann das Verhalten der Anlage im Normalbetrieb und bei Störungen geübt werden. Auch die Zusammenarbeit der Mannschaft, insbesondere die Kommunikation, lässt sich dabei genau beobachten und bewerten. Notfallübungen haben ein ähnliches Ziel. Auch hier geht es um das Üben von vorbereiteten Massnahmen zur Beherrschung oder Linderung von Unfällen, damit der Kopf bei Bedarf frei bleibt für Entscheide, die gerade in Notfallsituationen besonders anspruchsvoll sind, weil dabei vielfältige Aspekte zu beachten sind. Bei Notfallübungen spielen das Zusammenwirken der gesamten Mannschaft in der Anlage und die Kommunikation mit externen Behörden eine entscheidende Rolle. Die Erfahrung zeigt, dass die im Notfall erforderliche Zusammenarbeit und Kommunikation regelmässig geübt werden müssen, damit man bei Bedarf richtig handeln kann.

Eine andere Kategorie von Fehlern sind Irrtümer. Diese beruhen auf bewussten Überlegungen. Hier wird nicht eine Verhaltensvorgabe falsch umgesetzt, sondern das bewusst gewählte Vorgehen

beruht auf falschen Überlegungen. Das kann folgende Gründe haben: Das Vorgehen basiert auf falschen oder unpräzisen Zielen. Das Vorgehen basiert auf ungenügendem oder falschem Wissen darüber, wie etwas funktioniert. Das Vorgehen basiert auf der Wahl falscher Mittel, um ein Ziel zu erreichen. Während der Ausführung werden die Effekte des Vorgehens falsch interpretiert. Um solche Fehler möglichst zu verhindern oder deren Konsequenzen zu begrenzen, wird bei sicherheitsrelevanten Aufgaben versucht, deren Komplexität zu reduzieren. Dies gilt namentlich bei der Vorbereitung von Anlageänderungen. Kernanlagen werden in der Schweiz während ihrer ganzen Lebensdauer laufend modernisiert und an neue Erkenntnisse angepasst. Dabei muss sichergestellt werden, dass Änderungen tatsächlich zur beabsichtigten weiteren Verbesserung führen und nicht zu unbeabsichtigten Nebenwirkungen. Die Konsequenzen jeder technischen oder organisatorischen Änderung müssen deshalb vorher sorgfältig analysiert werden. Dies setzt Kommunikation im Team, mit Experten und Behörden voraus und hilft, Fehlermöglichkeiten einzugrenzen und sichere Lösungen zu finden. Bei sicherheitsrelevanten Änderungen ist zudem eine Zustimmung der Aufsichtsbehörde notwendig, die ihrerseits die Anträge auf Übereinstimmung mit dem Regelwerk prüft und deren Auswirkungen auf die Sicherheit bewertet. Dadurch vermindert sich die Gefahr von Irrtümern zusätzlich. Die Erfahrung zeigt, dass sich dieses Vorgehen bewährt.

Fehler lassen sich aber nicht vollständig ausschliessen. Wir Menschen sind nicht fehlerfrei. Wichtig ist, dass über Fehler offen gesprochen wird – nicht um Schuldige zu finden, sondern um aus Fehlern zu lernen. Nicht die Fehler selbst, sondern die daraus erwachsenden negativen Konsequenzen müssen verhindert werden. Darauf zielt die Strategie des Fehlermanagements ab. In der Kerntechnik wird dies einerseits durch die Auslegung der Anlage sichergestellt. Wichtige Systeme sind

mehrfach vorhanden. Automatische Überwachungssysteme erkennen Abweichungen und lösen bei Bedarf Sicherheitsfunktionen aus. Andererseits dient eine offene Kommunikation innerhalb der Organisation dazu, dass Fehler bekannt werden, um diese frühzeitig zu beheben und deren Wiederholung auch durch andere Personen zu vermeiden. Die Bedeutung des zweiten Aspekts wurde in den letzten Jahren mehr und mehr als eine wichtige Voraussetzung für die Sicherheit der Anlage erkannt. In einem Schweizer Kernkraftwerk sind Grundsätze für das Arbeiten in der Anlage festgelegt worden, welche auf die Förderung offener Kommunikation ausgerichtet sind. So heisst es beispielsweise «Die Frage nach dem Was ist wichtiger als die Frage nach dem Wer», oder «Klare Kommentare (Feedback) statt die Faust im Sack». Fehler fordern zum Nachdenken auf. Mitarbeiter, die Fehler machen dürfen, sind innovativer und wagen sich an neue Probleme heran. Ohne Irrtümer gibt es keinen Fortschritt. Legendär ist die Episode aus dem Leben Thomas Edisons: er wurde gefragt, was für ein Gefühl es sei, in seinem Bemühen um die Herstellung einer elektrischen

Glühbirne so oft versagt zu haben. Edison antwortete, er habe überhaupt nicht versagt, sondern erfolgreich Tausende von Arten entdeckt, wie eine Glühbirne nicht herzustellen ist.

Wichtig ist, dass die Umgebung Fehler zulässt. In der Kerntechnik bedeutet dies, sowohl mit der Technik wie auch der Organisation Randbedingungen zu schaffen, unter denen Fehler zu keinen unzulässigen Risiken führen. Im Bereich der Technik ist dies durch die Auslegung heute weitgehend gegeben. Auch in den Bereichen Mensch und Organisation ist viel erreicht worden, indem die Bedeutung der gelebten Sicherheitskultur heute anerkannt ist. Dennoch verlangt ein ausgeprägtes Sicherheitsbewusstsein, in beiden Bereichen beharrlich an einer kontinuierlichen Verbesserung zu arbeiten. Dies wird in den Schweizer Kernanlagen gelebt und die HSK achtet darauf.



U. Schmocker

# Préface

## **Communication et sûreté**

*Nous communiquons en permanence. Nous informons autrui, intentionnellement ou non intentionnellement. Par une communication intentionnelle, nous entendons délivrer un message à autrui. Mais le message que nous voulons communiquer n'est pas toujours entendu.*

*Pourquoi? Dans toute communication, l'émetteur exprime son message par des paroles, mais aussi par le biais d'autres signes tels que l'attitude, la gestuelle ou les mimiques. De nombreux signes ont la même signification pour les membres d'une même culture, d'autres sont plus ambigus et peuvent être utilisés et interprétés de différentes manières selon les individus considérés. Lorsque nous nous exprimons, nous émettons différents signes en parallèle. Notre message peut alors devenir antinomique. Nous choisissons nos mots de manière plus consciente que notre voix ou l'expression de notre visage. Pourtant le message qui parvient à son destinataire dépend souvent plus fortement des signes involontaires qui accompagnent les signes que nous avons choisis volontairement. L'expression «Je ne sais ce que j'ai dit qu'après avoir entendu la réponse» en dit long à ce sujet. Elle rappelle que la communication c'est bien plus que des mots prononcés. Lorsque nous en avons conscience, nous pouvons contrôler nombre de ces signes que nous envoyons ainsi. Une communication claire s'apprend.*

*La communication joue un rôle capital pour la sûreté des installations nucléaires. Ces dernières sont construites et exploitées par des hommes. L'expérience montre toute l'importance que revêtent les aspects humains et d'organisation pour la sûreté. Elle montre aussi qu'une communication vague ou absente est souvent la véritable cause d'erreurs ou d'événements notifiés dans les installations nucléaires.*

*Dans la salle de commande d'une installation nucléaire, il s'agit essentiellement de communiquer*

*clairement l'état de l'installation tel que le perçoivent des êtres humains, ainsi que les actions requises en l'état actuel. Cette limpidité de la communication suppose que les personnes intéressées se connaissent bien, maîtrisent un langage technique commun et se font mutuellement confiance. La communication dans la salle de commande repose sur des éléments précis, ce qui permet de restreindre la liberté de décision et de limiter les possibilités d'erreurs.*

*De plus, des contrôles très stricts ont lieu. Le destinataire doit confirmer le message qu'il a compris avant d'entreprendre toute action. Comme les ordres d'enclenchement ou leurs effets sont largement annoncés ou consignés, le mandant peut aussi contrôler si son ordre a été correctement exécuté.*

*Une communication claire est capitale aussi pour les travaux réalisés sur les systèmes et les composantes techniques d'une installation. Il est absolument indispensable que l'exécutant s'assure des travaux à réaliser, des données et conditions à observer, ainsi que de l'attitude à adopter en cas d'événements imprévus. C'est pourquoi la discussion préliminaire ou «briefing» du travail est de la plus grande importance dans toutes les centrales nucléaires suisses. Si les travaux sont réalisés par des experts externes, ces briefings sont encore plus importants et l'introduction et le suivi des travaux par un personnel exploitant compétent constituent une évidence.*

*Les sources d'erreurs possibles sont ainsi nettement restreintes et la complexité des tâches est réduite. Les autorités de surveillance que nous représentons attachent une grande valeur aux mesures de soutien de la communication prises par les exploitants et y voient la condition sine qua non à une collaboration fondée sur la sécurité.*

*On parle de défaillance lorsque des erreurs sont commises dans l'exécution de processus de travail fixés dans des procédures. Ils résultent pour la plupart de comportements dits de routine: les travaux à caractère répétitif prononcé sont souvent réalisés*



avec une attention moindre. Ceux qui ont beaucoup de routine sont plus touchés par ce genre d'erreurs que ceux qui commencent un nouveau travail. Il est donc important, dans les installations nucléaires justement, d'exercer des méthodes de focalisation d'attention, mais aussi d'analyser régulièrement les comportements routiniers. Le personnel confronté à des situations difficiles peut ainsi diriger son attention sur des aspects nécessitant des décisions conscientes. Les simulateurs jouent ici un rôle capital. Ainsi peut-on étudier le comportement de l'installation en fonctionnement normal et en cas de pannes sur le simulateur, qui reproduit de manière réaliste l'environnement de travail de la salle de commande. On peut alors observer et évaluer précisément aussi la collaboration au sein de l'équipe, notamment sa communication. Les exercices d'urgence ont un objectif similaire. Ils visent aussi à étudier les mesures préparées en vue de maîtriser ou d'atténuer des accidents, ce qui permet, si nécessaire, de garder la tête libre pour des décisions particulièrement exigeantes en cas justement de situations d'urgence, vu qu'il faut tenir compte alors de multiples aspects. Lors d'exercices d'urgence, la collaboration de toute une équipe au sein d'une installation et la communication avec les autorités externes jouent un rôle déterminant. L'expérience montre que la collaboration et la communication nécessaires en cas d'urgence doivent être régulièrement exercées si on veut être en mesure d'agir de manière juste en cas de besoin.

Une autre catégorie d'erreurs se base sur des réflexions conscientes. Ce n'est ici pas une conduite hypothétique qui est mal appliquée, mais une procédure choisie consciemment qui repose sur des réflexions erronées. Cela peut avoir plusieurs raisons: la procédure se base sur des objectifs faux ou imprécis; la procédure se base sur la connaissance insuffisante ou erronée du fonctionnement d'un élément; la procédure se base sur le choix des mauvais moyens pour atteindre un objectif; pendant l'exécution, les effets de la procédure sont mal interprétés. Pour éviter de telles erreurs ou en limiter les conséquences, on essaie de réduire la complexité de tâches importantes pour la sûreté. Cela s'applique notamment à la préparation de modifications apportées aux installations. En Suisse, les installations nucléaires sont modernisées et

adaptées aux nouvelles connaissances tout au long de leur vie. Il faut ce faisant garantir que les changements amènent vraiment l'amélioration visée, pas des effets secondaires non voulus. Il faut donc au préalable soigneusement analyser les conséquences de chaque changement technique ou d'organisation. Cela suppose une bonne communication au sein de l'équipe, avec les experts et les autorités, et aide à limiter les possibilités d'erreurs ainsi qu'à trouver des solutions sûres. En cas de modifications importantes pour la sûreté, il faut en plus l'approbation de l'autorité de surveillance qui, de son côté, vérifie si les demandes sont conformes au règlement et en évalue les effets sur la sûreté. Cela réduit encore le risque d'erreurs. L'expérience montre que cette procédure a fait ses preuves.

Mais on ne peut pas exclure complètement les erreurs. Nous humains ne sommes pas parfaits. Il est important de parler ouvertement de ses erreurs, non pas pour trouver des coupables, mais pour en tirer les leçons. Il ne faut pas empêcher les erreurs en soi, mais les conséquences négatives qui en résultent. C'est l'objectif que vise la stratégie de la gestion des erreurs. Dans la technique nucléaire, cela est garanti d'une part par la conception et le dimensionnement d'une installation. Les systèmes importants sont présents à plus d'un exemplaire. Des systèmes de surveillance automatiques détectent des déviations et déclenchent au besoin des fonctions de sécurité. Par ailleurs, une communication franche au sein de l'organisation permet de reconnaître ses erreurs pour les écarter assez tôt et éviter que d'autres personnes ne les répètent. Ces dernières années, l'importance du second aspect a été toujours plus reconnue comme une condition importante pour la sûreté de l'installation. Dans une centrale nucléaire suisse, on a fixé des principes de travail orientés vers le développement d'une communication ouverte. Ainsi dit-on par exemple que «la question de «l'objet» (qu'est-il arrivé?) est plus importante que la question du «sujet» (qui est impliqué?)», ou que «mieux vaut faire un commentaire clair (feedback) que serrer les poings dans ses poches sans rien dire». Les erreurs appellent la réflexion. Les collaborateurs à qui l'on permet de faire des erreurs sont plus innovateurs et osent aborder de nouveaux problèmes. Comme nous le rappelle

*un épisode de la vie de Thomas Edison, il n'y a pas de progrès sans erreurs. A la question de savoir ce qu'il avait éprouvé face aux nombreux échecs qui avaient précédé l'invention de l'ampoule électrique, Edison avait répondu: «Je n'ai jamais échoué. J'ai simplement trouvé des milliers de solutions qui ne fonctionnaient pas».*

*Il est important que l'environnement permette des erreurs. Dans la technique nucléaire, cela signifie de créer, tant aux niveaux de la technique que de l'organisation, des conditions dans lesquelles les*

*erreurs ne conduisent pas à des risques inadmissibles. Au niveau de la technique, c'est ce qu'assurent aujourd'hui largement la conception et le dimensionnement. Au niveau des hommes et de l'organisation, on a bien avancé en reconnaissant aujourd'hui l'importance d'une culture de la sûreté vécue. Mais une conscience prononcée de la sûreté exige, dans ces deux domaines, de travailler sans relâche à une amélioration continue. C'est ce qui se passe dans les installations nucléaires suisses et c'est ce que surveille la DSN.*

# Preface

## **Communication and safety**

*Communication is something we do all the time. In so doing, we convey information, both intentionally and unintentionally. If the communication is intentional, our aim is to convey a specific message to someone else. However, the message received by others is not always the message that we wanted to convey.*

*Why is that? Communication is based on the fact that we convey our message with more than just words. We also use other signs, e.g. body language, gestures and facial expressions. Many signs mean the same thing to all members of the same culture. However, other signs have several meanings and are used and interpreted differently by different people. When we express ourselves, we send out several signs simultaneously and so our message may become inconsistent. We take greater care with our choice of words than we do with our tone of voice or facial expression and yet, the message received by the recipient is frequently based more on accompanying unintentional signs than on intentional signs. There is a profound truth in the statement «I will only know what I said when I receive the answer». It tells us that communication is about more than just the spoken word. Once we realise this, we can take steps to control many of the signs that we emit. Clear communication can be learned.*

*Communication plays a central role in the safety of nuclear facilities. Such facilities are constructed and operated by human beings. Experience has shown that human behaviour and organisational issues have a crucial impact on safety. We also know that unclear communication or a lack of communication is often the real cause of errors or incidents in nuclear facilities.*

*In the control room of a nuclear facility, the prime requirement is to convey clearly a given situation as identified by an individual together with the required human response. Clear communication de-*

*mands the following: individuals must know one another well, be conversant with a shared specialist vocabulary and trust one another. Communication in the control room is governed by well-defined parameters, which limit discretion in the decision-making process as well as opportunities for errors. In addition, communication is subject to a strict verification procedure, i.e. the recipient must confirm the message received before taking any action. In addition, most switching operations and the effect of them are displayed or depicted on screen so that the individual giving the command can also check that it has been carried out correctly.*

*Clear communication is also extremely important if work is required on technical systems and components. It is essential that the personnel doing the work know exactly what to do, what specific and general conditions apply and what to do if something unforeseen happens. As a result, considerable importance is given in all Swiss nuclear power plants to pre-job briefings. If the work involves external specialists, these briefings are even more important and of course external workers must be accompanied and briefed by competent internal personnel. This significantly reduces the potential for errors and also the complexity of the task. As the regulatory authority, we attribute great importance to action by licensees to promote clear communication as it is an essential element of safety-oriented cooperation.*

*If an error is committed in the way a regulated process is performed, this is known as faulty execution. This type of error is more common if the work is routine because repetitious tasks are often executed with less care and attention. Moreover, experienced personnel are more prone to such errors than newcomers. Particularly in the case of nuclear facilities, it is important, therefore, to train personnel in methods that encourage situation awareness and to provide regular opportunities to practice routine behaviour. In this way, personnel*

faced with difficult situations can focus on issues that require conscious decision-making skills. Simulators play an important role here. They display a realistic model of a control room allowing personnel to practice the behaviour of the plant in both normal and abnormal operation. In addition, simulators also make it possible to scrutinise and evaluate the way the team works together, particularly in terms of communication. The aim of emergency exercises is similar. They also allow personnel to practice agreed procedures to control or mitigate an accident so that the mind remains uncluttered and personnel can focus if necessary on the complex challenges often inherent in emergency situations and make the right decisions. In addition, communication between individual members of a team in a plant and between the internal team and external bodies is crucial during emergency exercises. We know from experience that the cooperation and communication required in emergencies must be practiced regularly in order to ensure that personnel respond correctly.

A mistake is a different type of error: it is based on a conscious decision. However, in this case, the action is the result of erroneous reasoning rather than faulty execution. There may be several reasons for this. For example, the action may be the result of incorrect or imprecise objectives. It may be the result of an inadequate or incorrect understanding of how something works. It may be that the wrong resources were used for the task in question. Alternatively, it may be that during execution of the action, its effects were wrongly interpreted. In order – wherever possible – to prevent these mistakes or to limit their impact, nuclear facilities seek to reduce the complexity of safety-related tasks, particularly where modifications are planned to a plant. Nuclear facilities in Switzerland are updated regularly throughout their service life in line with new developments. With any change, it is important, therefore, that it actually produces the desired effect and does not produce unintentional side effects. As a result, the consequences of any technical or organisational change must be carefully analysed in advance and this requires internal and external communication with experts and external authorities. Such analyses help limit the potential for mistakes and iden-

tify reliable solutions. Moreover, safety-related changes must be approved by the regulatory authority, which checks that applications comply with the regulations and evaluates the effect of changes on safety. This reduces even further the potential for mistakes and it is a *modus operandi* that has proved its value in practice.

However, it is impossible to exclude all errors. Human error cannot be factored out completely and so it is important that errors are discussed openly – not to apportion blame but to learn from them. What has to be prevented is not the error itself but its negative outcome. This is the purpose of an error management strategy and in the field of nuclear technology the design of the facility is part of this strategy. Important systems are duplicated or triplicated. Automatic monitoring systems identify deviations from the norm and if necessary trigger safety functions. In addition, open communication within the organisation is designed to identify errors, remedy them promptly and prevent them being repeated by the same and other individuals. In recent years, there has been a growing recognition of the importance of this latter aspect and its importance to plant safety. In Swiss nuclear power plants, the principles that underlie working practices are intended to encourage open communication. For example, greater importance is attached to the «what» than the «who» question and individuals are encouraged to make clear comments (feedback) rather than «seethe inside». Whenever an error is made, this prompts reflection. Personnel who are allowed to make errors are more innovative and have the courage to respond to new challenges. If man had not been allowed to make mistakes, there would have been no progress. The following story from the life of Thomas Edison is legendary: he was asked what it felt like to have failed so many times in his attempt to make a light bulb. Edison replied that he hadn't failed but had merely discovered a thousand ways how not to make a light bulb.

It is important that the environment allows mistakes. In the field of nuclear technology that means that we need to create a general framework – both in terms of technology and organisation – in which errors do not result in unacceptable risks. In terms of technology, this is largely met by design

*criteria. Similarly, much has been achieved in terms of human behaviour and organisation and the importance of an active safety culture is now recognised. Nevertheless a well-developed safety awareness demands that facilities work relentlessly on further improvements in both areas. Swiss nuclear facilities meet this requirement and it is something that the Inspectorate also monitors.*

# Zusammenfassung und Übersicht

## Allgemeines zur Aufgabe der HSK

Die HSK begutachtet und beaufsichtigt in der Schweiz als Aufsichtsbehörde des Bundes die Kernanlagen. Dazu gehören die Kernkraftwerke, die Zwischenlager bei den Kraftwerken, das Zentrale Zwischenlager in Würenlingen sowie die nuklearen Einrichtungen am Paul Scherrer Institut (PSI) und an zwei Hochschulen in Basel und Lausanne. Die HSK beurteilt die nukleare Sicherheit in diesen Anlagen. Mittels Inspektionen, Aufsichtsgesprächen, Prüfungen und Analysen sowie der Berichterstattung der Anlagebetreiber verschafft sich die HSK den notwendigen Überblick über die nukleare Sicherheit. Sie wacht darüber, dass die Vorschriften eingehalten werden und die Betriebsführung gesetzeskonform erfolgt. Zu ihrem Aufsichtsbereich gehören auch die Transporte radioaktiver Stoffe sowie die Vorbereitungen zur geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle.

Gemäss dem neuen Kernenergiegesetz, das seit dem 1. Februar 2005 in Kraft ist, ist der Bundesrat für die Erteilung von Rahmenbewilligungen zuständig. Für die übrigen Bewilligungen für Kernanlagen ist es das Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK). Bei seiner Entscheidungsfindung stützt sich die Bewilligungsbehörde im Wesentlichen auf die von der HSK verfassten Gutachten.

Die HSK unterhält eine eigene Notfallorganisation. Sie ist Bestandteil einer landesweiten Notfallorganisation. Diese käme im Fall eines schweren Störfalls in einer schweizerischen Kernanlage zum Einsatz.

Die gesetzliche Basis für die Aufsicht der HSK bilden das Kernenergiegesetz (KEG), die Kernenergieverordnung (KEV), das Strahlenschutzgesetz und die Strahlenschutzverordnung. Gestützt auf diese gesetzlichen Grundlagen erstellt die HSK eigene Richtlinien. Sie formuliert darin die Kriterien, nach denen sie die Tätigkeiten und Vorhaben der Betreiber von Kernanlagen beurteilt. Das bestehende Regelwerk wird kontinuierlich auf seine Aktualität überprüft. Eine tabellarische Übersicht über die Richtlinien der HSK findet sich in der Tabelle 10 des Anhangs dieses Aufsichtsberichts. Zudem sind alle gültigen Richtlinien auf der Website der HSK ([www.hsk.ch](http://www.hsk.ch)) im Internet aufgeschaltet.

Die HSK informiert periodisch über die nukleare Sicherheit der schweizerischen Kernanlagen. Sie nimmt ihre Informationspflicht sowohl im Normalbetrieb als auch bei Vorkommnissen in schweizerischen Kernanlagen wahr. Sie ist bestrebt, die Öffentlichkeit korrekt, rasch und offen zu informieren. Die HSK veröffentlicht ihre Information vor allem mit ihren jährlichen Berichten, mit Medienbulletins, an Veranstaltungen und im Internet.

## Jährliche Berichterstattung der HSK

Der vorliegende Aufsichtsbericht ist Teil einer umfassenden periodischen Berichterstattung der HSK. Daneben publiziert die HSK jährlich einen Strahlenschutzbericht, einen Erfahrungs- und Forschungsbericht sowie einen Geschäftsbericht. Diese vier Berichte erscheinen jeweils im Frühjahr. Die Originalsprache aller Berichte ist Deutsch. Die Vorworte, Einleitungen und Zusammenfassungen werden auf Französisch und Englisch übersetzt. Diese Berichte werden nach ihrem Erscheinen auch im Internet unter [www.hsk.ch](http://www.hsk.ch) aufgeschaltet.

## Inhalt des vorliegenden Berichts

Die HSK erläutert ihre Aufsicht über die Anlagen, den Betrieb, die Organisation, Revisions- und Stillstandsarbeiten der Kernkraftwerke Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt in den Kapiteln 1 bis 4 des vorliegenden Aufsichtsberichts.

Im Kapitel 5 wird über das Zentrale Zwischenlager der ZWILAG in Würenlingen berichtet. Die ZWILAG verarbeitet, verbrennt, konditioniert und lagert radioaktive Abfälle aus den schweizerischen Kernanlagen.

Kapitel 6 und 7 behandeln die Aufsicht über die nuklearen Anlagen am Paul Scherrer Institut sowie über die Forschungsreaktoren an der Universität von Basel und der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Lausanne (EPFL).

Kapitel 8 widmet sich der Aufsicht über die Transporte radioaktiver Stoffe von und zu den schweizerischen Kernanlagen. Kapitel 9 gibt Auskunft zur geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle.

## Beurteilung zu den Kernkraftwerken

Die HSK stellt zusammenfassend fest, dass im Berichtsjahr die nukleare Sicherheit aller schweizerischen Kernkraftwerke in Bezug auf die Auslegung und das Betriebsgeschehen gut war und die bewilligten Betriebsbedingungen eingehalten wurden, mit Ausnahme der im nächsten Abschnitt genannten, mit INES 1 bewerteten Situation. Die Betriebsführung und Organisation in allen Werken entsprachen mit wenigen Ausnahmen (siehe Detailangaben in den Kapiteln 1–4) den Vorschriften und Regelwerken.

Die HSK klassierte gemäss ihren Richtlinien 14 Vorkommnisse (im Vorjahr 8) in den Kernkraftwerken (KKW). Zwei dieser Vorkommnisse ereigneten sich im Block 2 des KKW Beznau, eines in Mühleberg, fünf in Gösgen und sechs in Leibstadt. Ein Vorkommnis im KKW Leibstadt wurde auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 1 zugeordnet (INES siehe Tabelle 4 im Anhang). Es handelt sich dabei um einen Fehler beim Einsetzen eines Brennelementes in den Reaktor Ende April 2005 während des Revisionsstillstands. Das Ereignis hatte keine radiologischen Auswirkungen.

Unter den weiteren Vorkommnissen sind zwei Reaktorschnellabschaltungen zu verzeichnen, die sich beide beim Wiederanfahren der Anlage nach der Jahresrevision ereigneten, am 1. September im KKW Leibstadt und am 10. September 2005 im Block 2 des KKW Beznau. Bei diesen weiteren Vorkommnissen wurde die nukleare Sicherheit nicht unzulässig beeinträchtigt.

## Beurteilung zum Zentralen Zwischenlager Würenlingen

Das Zentrale Zwischenlager der ZWILAG in Würenlingen umfasst mehrere Zwischenlagergebäude, eine Konditionierungsanlage sowie eine Verbrennungs- und Schmelzanlage. Die Lagerhallen stehen seit 2001 in Betrieb. Ende 2005 befanden sich in der Behälterlagerhalle 23 Transport- und Lagerbehälter mit abgebrannten Brennelementen und Glaskokillen sowie sechs Behälter mit Stilllegungsabfällen aus dem Versuchsatomkraftwerk Lucens. Die nukleare Sicherheit der Lagergebäude und der so genannten Heissen Zelle war in Bezug auf die Auslegung und das Betriebsgeschehen gut.

In der Verbrennungs- und Schmelzanlage wurden im Berichtsjahr zwei weitere Testkampagnen mit radioaktiven Abfällen durchgeführt. Beide Kampa-

gnen mussten wegen betrieblicher Störungen vorzeitig abgebrochen werden. Die HSK wird die weiteren Verbrennungskampagnen angesichts des immer noch nicht befriedigenden Betriebsverhaltens wie bisher einzeln freigeben.

## Beurteilung zum Paul Scherrer Institut und zu den Forschungsanlagen

Die Nuklearanlagen im Ost-Areal 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 der HSK.

Die Rückbauarbeiten an den beiden ehemaligen Forschungsreaktoren Diorit und Saphir erfolgten reibungslos. Diese Arbeiten sollen im Jahr 2007 abgeschlossen werden. Die Experimente am Forschungsreaktor Proteus verliefen bewilligungskonform.

In den Kernanlagen des PSI ereigneten sich zwei klassierte Vorkommnisse.

Die HSK beurteilt die nukleare Sicherheit der Kernanlagen des PSI in Bezug auf die Auslegung und das Betriebsgeschehen gesamthaft als gut. Die Arbeiten werden unter Einhaltung der Strahlenschutzvorschriften korrekt ausgeführt. Am PSI waren die Jahreskollektivdosen auch in diesem Berichtsjahr tief.

## Abgaben radioaktiver Stoffe

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

Im Berichtsjahr wurden 7 Transporte abgebrannter Brennelemente aus den schweizerischen Kernkraftwerken durchgeführt. Im Januar 2005 erfolgte die gleichzeitige Rückführung von zwei Transportbehältern mit verglasten hochaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung bei Cogéma in Frankreich zur ZWILAG. Bei all diesen Transporten

wurden die gefahrgutrechtlichen Grenzwerte und die Strahlenschutzvorgaben eingehalten.

## Geologische Tiefenlagerung

Die HSK hat die technische Überprüfung des von der Nagra im Dezember 2002 eingereichten Entsorgungsnachweises für abgebrannte Brennelemente sowie für hochaktive und langlebige mittelaktive Abfälle abgeschlossen. Das entsprechende Gutachten wurde am 12. September 2005 anlässlich einer Informationsveranstaltung in Marthalen (Kanton Zürich) veröffentlicht. Das Projekt der Nagra bezieht sich auf ein Modelllager im Opalinuston des Zürcher Weinlands. Es soll aufzeigen, dass die sichere Entsorgung und Endlagerung dieser Kategorien von Abfällen in der Schweiz möglich ist. Die HSK kommt zum Gesamturteil, dass der gesetzlich geforderte Entsorgungsnachweis mit dem vorgelegten Projekt erbracht worden ist. Ferner hat sie auf jene Fragen hingewiesen, die im Falle einer Fortführung des Projekts im Hinblick auf die Realisierung eines Tiefenlagers eingehender untersucht werden müssten.

Ans Technische Forum wurden insgesamt 82 Fragen zum Entsorgungsnachweis gestellt und beantwortet. Detaillierte Informationen dazu finden sich auch im Internet unter [www.technischesforum.ch](http://www.technischesforum.ch) sowie [www.entsorgungsnachweis.ch](http://www.entsorgungsnachweis.ch).

## Sicherheitsbewertung

Die HSK verfolgt das Ziel, ihre Aufsichtstätigkeiten laufend an die aktuellen gesetzlichen Anforderungen, den Stand von Wissenschaft und Technik und die Bedürfnisse der Öffentlichkeit anzupassen. Im Rahmen ihrer Strategie der Integrierten Aufsicht werden deshalb sämtliche Aufsichtsprozesse weiterentwickelt, insbesondere die Durchführung von Inspektionen, die Bearbeitung von Vorkommnissen, die Anlagebegutachtung, die periodische Berichterstattung der Kernanlagen und die Freigabe von Anlage- und Dokumentenänderungen.

Im Zentrum dieser Entwicklung steht ein neues System zur systematischen Bewertung der Sicherheit der Kernkraftwerke. Die HSK verfügt aus Inspektionen, Aufsichtsgesprächen, Lizenzprüfungen, Vorkommnisanalysen, Berichten der Kernanlagen, Gesuchsunterlagen und weiteren Datenquellen über eine grosse Zahl von Informationsbausteinen, von denen sich jeder auf einzelne Aspekte der nuklearen

Sicherheit bezieht. Mit Hilfe der neu entwickelten systematischen Sicherheitsbewertung fügt die HSK diese Fülle von Informationselementen zu einem umfassenden Gesamtbild zusammen. Dabei ordnet sie die Information nach mehreren Kriterien: Sie unterscheidet zwischen der Beurteilung der 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, wird zudem sichtbar gemacht, ob die Information die Anlage als technisches System betrifft oder Mensch und Organisation. Dies ergibt vier Bereiche, die systematisch zu beurteilen sind: 1. Auslegungs-Vorgaben, 2. Betriebs-Vorgaben, 3. das Verhalten der Anlage und 4. das Verhalten von Mensch und Organisation.

Die Sicherheit eines Kernkraftwerks baut auf dem Konzept der gestaffelten Sicherheitsvorsorge auf, der so genannten *Defence in Depth*. Dieses besteht aus mehreren hintereinander gestaffelten Ebenen von Vorkehrungen, von denen jeweils die nächst hintere 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. Schliesslich umfasst die gestaffelte Sicherheitsvorsorge für den noch unwahrscheinlicheren Fall, dass trotz allen Massnahmen auf den Ebenen 1 bis 4 grössere Mengen radioaktiver Stoffe freigesetzt werden sollten, auf einer 5. Ebene Vorkehrungen zur Linderung der Auswirkungen.

Zur gestaffelten Sicherheitsvorsorge gehört zudem, dass der Einschluss radioaktiver Stoffe durch drei hintereinander liegende Barrieren erfolgt: 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. Ebenfalls systematisch bewertet werden zudem die Vorkehrungen zur Begrenzung der Strahlenexposition



nach innen und nach aussen, also die Optimierung radioaktiver Abgaben und Abfälle sowie die Optimierung der Strahlenexposition des Personals. Schliesslich werden jene Aspekte bewertet, welche für alle Sicherheitsebenen von Bedeutung sind und somit das Gesamtrisiko des Kernkraftwerks betreffen. Für die Bewertung jedes einzelnen Informationsbausteins wird eine einheitliche Skala verwendet. Die Skala basiert auf der internationalen Ereignisskala (INES), ist aber nach unten – im Bereich «below scale» – erweitert worden. Dadurch deckt sie nicht nur Vorkommnisse ab, sondern auch den ungestörten Normalbetrieb und sogar Aspekte, die Vorbildcharakter für andere Anlagen haben. Die Skala umfasst folgende Kategorien: G (gute Praxis), N (Normalität), V (Verbesserungsbedarf), A (Abwei-

chung), 1 (Anomalie) und weiter gemäss INES-Skala (vgl. Tabelle 4 im Anhang).

Die HSK hat dieses Vorgehen für das Jahr 2005 erstmals im Rahmen eines Pilotprojekts umgesetzt und dabei alle Bewertungen aus Vorkommnissen und Inspektionen berücksichtigt, mit Ausnahme von Transporten. Weil in diesem Jahr die Information aus der Beurteilung von Anlage- und Vorschriftenänderungen noch nicht abgebildet ist, werden die positiven Auswirkungen von Nachrüstungen und Anlagemodernisierungen in der systematischen Sicherheitsbewertung erst im Aufsichtsbericht für das Jahr 2006 sichtbar. Zentrale Ergebnisse sind jeweils am Schluss der Kapitel über die einzelnen Kernkraftwerke unter dem Punkt «Erkenntnisse aus der Sicherheitsbewertung» dargestellt.

### Struktur der HSK-Sicherheitsbewertung

Bewertungsgegenstand	Anforderungen		Betriebsgeschehen	
	Auslegungs-Vorgaben	Betriebs-Vorgaben	Verhalten der Anlage	Verhalten von Mensch & Organisation
<b>Ziele</b>				
Begrenzung der Strahlenexposition	Optimierung radioaktiver Abgaben und Abfälle			
	Optimierung der Strahlenexposition des Personals			
Gestaffelte Sicherheitsvorsorge	<b>Ebene 1</b> Vermeidung von Abweichungen vom Normalbetrieb			
	<b>Ebene 2</b> Beherrschung von Abweichungen vom Normalbetrieb mittels Begrenzungs- und Schutzsystemen Entdeckung von Fehlern			
	<b>Ebene 3</b> Beherrschung von Auslegungstorfällen			
	<b>Ebene 4</b> Beherrschung auslegungsüberschreitender Anlagenzustände			
	<b>Ebene 5</b> Linderung der Auswirkungen bedeutender Freisetzungen			
Einschluss radioaktiver Stoffe	Integrität der 1. Barriere (Brennelemente)			
	Integrität der 2. Barriere (Primärkreis)			
	Integrität der 3. Barriere (Containment)			
Sicherheit allgemein	Ebenenübergreifende Aspekte			

# Résumé et aperçu

## **Les tâches de la DSN en général**

La DSN est l'instance de la Confédération chargée de la surveillance et de l'expertise des installations nucléaires en Suisse, soit des centrales nucléaires, des entrepôts situés dans les centrales, de l'entrepôt central pour déchets radioactifs de Würenlingen, ainsi que des installations nucléaires de l'Institut Paul Scherrer (IPS) et des Universités de Bâle et de Lausanne. La DSN est chargée d'apprécier la sûreté nucléaire dans ces installations. Les inspections, entretiens de surveillance, contrôles et analyses, ainsi que les rapports des exploitants permettent à la DSN d'acquiescer la vue d'ensemble nécessaire quant à l'état de la sûreté des installations. Par ailleurs, la DSN 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 et aux travaux préparatoires en vue du stockage géologique profond des déchets radioactifs.

Conformément à la nouvelle loi sur l'énergie nucléaire (LEnu), en vigueur depuis le 1er février 2005, le Conseil fédéral est habilité à remettre l'autorisation générale et le Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC) les autres autorisations pour les installations nucléaires. Les décisions de l'autorité chargée des autorisations se basent essentiellement sur les expertises réalisées par la DSN.

La DSN 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 (LEnu), l'ordonnance sur l'énergie nucléaire (OENU), la loi sur la radioprotection (LRaP) et l'ordonnance sur la radioprotection (OraP) constituent les bases légales de la surveillance de la DSN. La DSN élabore 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. L'actualité des directives en vigueur fait l'objet de contrôles continus. Un aperçu des directives de la DSN est donné 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 la DSN ([www.hsk.ch](http://www.hsk.ch)).

La DSN informe périodiquement sur la sûreté nucléaire des installations nucléaires suisses, tant pour le fonctionnement normal qu'en cas d'événements particuliers. Elle s'efforce d'offrir au public une information à la fois correcte, rapide et ouverte. La DSN publie ses informations surtout par le biais de ses rapports annuels, mais aussi par des communiqués de presse, sur Internet, ainsi qu'à l'occasion de manifestations.

## **Compte rendu annuel de la DSN**

Le présent rapport de surveillance de la DSN fait partie d'un compte rendu périodique complet de la DSN. Par ailleurs, la DSN publie chaque année un rapport sur la radioprotection, un rapport sur la recherche et le retour d'expérience ainsi qu'un rapport de gestion. Ces quatre rapports paraissent chaque année au printemps et sont publiés dans leur langue d'origine, l'allemand. Leurs préfaces, introductions et résumés sont traduits en français et en anglais.

Une fois publiés, ces rapports peuvent également être consultés sur Internet, à l'adresse [www.hsk.ch](http://www.hsk.ch).

## **Contenu du présent rapport**

Aux chapitres 1 à 4 du présent rapport de surveillance, la DSN commente la surveillance qu'elle exerce sur l'exploitation, l'organisation et sur les travaux effectués par les exploitants lors de révisions et d'arrêts de tranches des centrales nucléaires de Beznau, Mühleberg, Gösgen et Leibstadt.

Le chapitre 5 est consacré à l'Entrepôt central de ZWILAG à Würenlingen. ZWILAG s'occupe du traitement, de l'incinération, du conditionnement et du stockage des déchets radioactifs provenant des installations nucléaires suisses.

Les chapitres 6 et 7 traitent des activités de surveillance que la DSN exerce sur les installations nucléaires de l'Institut Paul Scherrer et sur les réacteurs de recherche de l'Université de Bâle et de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, EPFL.

Le chapitre 8 aborde la surveillance des transports de matières radioactives en provenance et à destination des installations nucléaires suisses. Le chap-

tre 9 enfin donne des informations sur le stockage géologique profond des déchets radioactifs.

### **Appréciation des centrales nucléaires**

Sur l'ensemble de l'exercice 2005, la DSN constate que la sûreté nucléaire de toutes les centrales nucléaires suisses est bonne tant au niveau de la conception et du dimensionnement, qu'à celui de la conduite de l'exploitation. En outre, les conditions d'exploitation autorisées ont été respectées, à l'exception de la situation classée au niveau 1 de l'échelle INES et mentionnée au prochain paragraphe. A quelques rares exceptions près (voir données détaillées aux chapitres 1 à 4), la gestion de l'exploitation et l'organisation de toutes les centrales ont été conformes aux prescriptions et réglementations en vigueur.

Conformément à ses directives, la DSN a notifié 14 événements (8 l'année précédente) survenus dans les centrales nucléaires (CN). Deux d'entre eux ont eu lieu dans la tranche 2 de la CN de Beznau, un s'est produit à Mühleberg, cinq à Gösgen et six à Leibstadt. Un des événements survenus dans la CN de Leibstadt a été classé au niveau 1 de l'échelle internationale de gravité des événements INES (échelle INES, voir tableau 4 en annexe). Il s'agit d'une défaillance survenue fin avril 2005, lors de la mise en place d'un assemblage combustible dans le réacteur pendant l'arrêt pour révision. Cet événement n'a pas eu de répercussion radiologique.

Parmi les autres événements, on signalera deux arrêts automatiques du réacteur au redémarrage de l'installation suivant la révision annuelle, un le 1er septembre dans la CN de Leibstadt, un autre le 10 septembre 2005 dans la tranche 2 de la CN de Beznau. Ces événements n'ont pas compromis la sûreté nucléaire.

### **Appréciation de l'Entrepôt central de Würenlingen**

L'Entrepôt central de ZWILAG à Würenlingen comprend plusieurs bâtiments d'entreposage, une installation de conditionnement, ainsi qu'une station d'incinération et de fusion. Les halles d'entreposage sont opérationnelles depuis 2001. Fin 2005, la grande halle d'entreposage abritait 23 conteneurs de transport et d'entreposage emplis d'assemblages combustibles usés et de coquilles de verre, en plus des six conteneurs de déchets de démantèlement provenant de la centrale nucléaire expérimentale de

Lucens. La sûreté nucléaire des bâtiments de stockage et des cellules chaudes en matière de conception et de dimensionnement ainsi que d'exploitation était bonne.

En 2005, deux nouvelles campagnes d'essais avec déchets radioactifs ont eu lieu dans la station d'incinération et de fusion. Il a fallu les interrompre plus tôt que prévu suite à des pannes d'exploitation. En raison d'un comportement d'exploitation encore insatisfaisant, la DSN continuera à autoriser chaque campagne d'incinération séparément.

### **Appréciation de l'Institut Paul Scherrer et des installations de recherche**

Les installations nucléaires du «site est» de l'Institut de recherche Paul Scherrer (IPS) sont placées sous la surveillance de la DSN; il s'agit du réacteur de recherche Proteus, du laboratoire chaud, du site de ramassage des déchets radioactifs provenant de la médecine, de l'industrie et de la recherche, ainsi que de l'entrepôt fédéral pour déchets radioactifs (BZL).

Les travaux de démantèlement des deux anciens réacteurs de recherche Diorit et Saphir se sont déroulés sans incident. Ils doivent se terminer en 2007. Les expériences réalisées sur le réacteur de recherche Proteus se sont déroulées dans le respect des autorisations octroyées.

Deux événements ont été notifiés dans les installations nucléaires de l'IPS.

La DSN juge la sûreté nucléaire des installations nucléaires de l'IPS globalement bonne au niveau de la conception et du dimensionnement, ainsi que du déroulement de l'exploitation. Les travaux y ont été réalisés correctement et dans le respect des prescriptions en vigueur pour la radioprotection. En 2005 aussi, les doses collectives annuelles sont restées basses à l'IPS.

### **Rejets de substances radioactives**

En 2005, les rejets de substances radioactives dans l'environnement via les eaux usées et l'air d'évacuation des centrales nucléaires, de l'Entrepôt central de ZWILAG et de l'IPS, ont enregistré des valeurs largement inférieures aux valeurs limites fixées dans les autorisations. Ils ont donné – 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**

Au cours de l'exercice sous revue, sept transports d'assemblages combustibles usés ont eu lieu au départ des centrales nucléaires suisses. En janvier 2005, le retour simultané de deux conteneurs de transport avec des déchets de haute activité vitrifiés provenant du retraitement à la Cogéma en France a été effectué vers ZWILAG. Tous ces transports se sont déroulés dans le respect des valeurs limites en vigueur en matière de transport de marchandises dangereuses et de protection contre le rayonnement.

## **Stockage géologique profond**

La DSN a terminé sa vérification technique de la démonstration de la faisabilité du stockage géologique pour assemblages combustibles usés, ainsi que déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue, démonstration présentée par la Nagra en décembre 2002. L'expertise correspondante a été publiée le 12 septembre 2005 lors d'une manifestation d'information qui s'est tenue à Marthalen (canton de Zurich). Le projet de la Nagra consiste en un dépôt modèle aménagé dans les Argiles à Opalinus du Weinland zurichois. Il doit démontrer que l'évacuation durable et sûre ainsi que le stockage final de ces catégories de déchets sont possibles en Suisse. Dans son appréciation globale, la DSN affirme que le projet présenté apporte la démonstration de la faisabilité du stockage géologique requise par la loi. Par ailleurs, elle a signalé les questions qui devraient être analysées plus en détail si le projet devait être poursuivi en perspective de la réalisation d'un dépôt profond.

Dans le cadre du Forum Technique, 82 questions sur la démonstration de la faisabilité du stockage géologique ont en tout été posées et traitées. Des informations détaillées à ce sujet figurent aussi sur Internet aux deux adresses suivantes: [www.technischesforum.ch](http://www.technischesforum.ch) et [www.entsorgungsnachweis.ch](http://www.entsorgungsnachweis.ch).

## **Evaluation de la sûreté**

La DSN a pour objectif d'adapter constamment ses activités de surveillance aux exigences légales en vigueur, à l'état de la science et de la technique et aux besoins du public. Dans le cadre de sa stratégie de surveillance intégrée, elle améliore de ce fait l'ensemble des processus de surveillance, no-

tamment la réalisation d'inspections, le traitement des événements, l'expertise des installations, le compte rendu périodique des installations nucléaires et l'autorisation des modifications d'installations et de documents.

Un nouveau système d'évaluation systématique de la sûreté des centrales nucléaires est au cœur de ce développement. Du fait d'inspections, d'entretiens de surveillance, d'examen des personnels porteurs de licences, d'analyses d'événements, de compte-rendus d'installations nucléaires, de documents de requête et autres sources de données, la DSN dispose de très nombreuses informations solides portant chacun sur certains aspects de la sûreté nucléaire. A l'aide de l'évaluation systématique de la sûreté récemment mise au point, la DSN regroupe ces nombreux éléments d'information en un large tableau. Ce faisant, elle ordonne l'information d'après plusieurs critères: elle fait une distinction entre l'appréciation des données fixées dans les documents d'une centrale nucléaire et le déroulement effectif de l'exploitation. Vu que la sûreté nucléaire dépend tant de facteurs techniques, qu'humains et d'organisation, on voit alors si l'information concerne l'installation en tant que système technique ou humain et d'organisation. Il en résulte quatre domaines devant être appréciés systématiquement: 1. Données de conception et de dimensionnement, 2. Données d'exploitation, 3. Comportement de l'installation et 4. Comportement humain et d'organisation.

La sûreté d'une centrale nucléaire repose sur le concept de la «prévention échelonnée de la sécurité», ladite «défense en profondeur», qui consiste en plusieurs niveaux successifs de mesures, le niveau précédent permettant chaque fois de parer aux points faibles du niveau d'après. Le niveau 1 comprend ainsi des mesures systématiques permettant d'éviter de s'écarter du fonctionnement normal. Si des écarts surviennent quand même, le niveau 2 offre des mesures en vue de maîtriser les écarts par rapport au fonctionnement normal au moyen de systèmes de régulation et de protection et de découvrir les erreurs. Au cas où ces mesures n'aboutissent pas, on passe au niveau 3 des mesures visant à maîtriser des défaillances envisagées lors de la conception et du dimensionnement de l'installation. Dans les rares cas où ces dernières s'avèrent d'une efficacité insuffisante, on passe au niveau 4 des mesures permettant de surmonter des défaillances dépassant la conception et le dimensionnement de l'installation. Enfin, la prévention échelonnée de la sécurité comprend, pour le

cas encore plus improbable où, malgré toutes les mesures des niveaux 1 à 4, des quantités importantes de matières radioactives seraient rejetées, le niveau 5 des mesures visant à atténuer les effets.

La prévention échelonnée de la sécurité est appliquée, entre autres, par le confinement des matières radioactives par le biais de trois barrières successives: la matrice du combustible et la gaine des crayons de combustible forment la première barrière, l'enceinte du circuit primaire la deuxième et l'enceinte de confinement la troisième. L'intégrité de ces barrières apparaît dans l'évaluation systématique de la sécurité. On évalue également de manière tout aussi systématique les mesures pour limiter la radio-exposition à l'intérieur et à l'extérieur du site, donc l'optimisation des rejets et des substances radioactives ainsi que l'optimisation de la radio-exposition du personnel. Enfin, on évalue les aspects touchant à tous les niveaux de sécurité et concernant ainsi le risque global de la centrale nucléaire. Pour l'évaluation de chaque élément d'information, on recourt à une échelle standard qui se base sur l'échelle internationale de gravité des événements INES, avec en plus une extension vers le bas de la zone «below scale». Cette échelle

couvre donc non seulement les événements et constats, mais aussi le fonctionnement normal non perturbé, et même des aspects positifs ayant un caractère de modèle pour d'autres installations. L'échelle comprend les catégories suivantes: G (bonne pratique), N (normalité), V (besoin d'amélioration), A (écart), 1 (anomalie) et ainsi de suite conformément à l'échelle INES (voir tableau 4 en annexe).

En 2005, la DSN a appliqué cette procédure pour la première fois dans le cadre d'un projet pilote. Elle a tenu compte de toutes les évaluations d'événements, de constats et d'inspections, à l'exception des transports. Comme les informations venant de l'appréciation de modifications d'installations et de prescriptions ne sont pas encore disponibles pour l'exercice sous revue, on ne se rendra compte des effets positifs de rééquipements et de modernisations d'installation dans l'évaluation systématique de la sécurité que dans le rapport de surveillance de 2006. Des résultats essentiels sont présentés à la fin de chacun des chapitres relatifs à une centrale nucléaire, sous le titre «Erkenntnisse aus der Sicherheitsbewertung» (résultats de l'évaluation de la sécurité).

# Summary and overview

## **General comments on work of Inspectorate (HSK)**

Acting as regulatory body in Switzerland, the Inspectorate assesses and monitors Swiss nuclear facilities, i.e. the nuclear power plants themselves, the plant-based interim storage facilities, the Central Interim Storage Facility at Würenlingen and the nuclear facilities at the Paul Scherrer Institute (PSI) and the University of Basel and the Federal Institute of Technology in Lausanne. The Inspectorate is responsible for assessing nuclear safety in these facilities. A mixture of inspections, regulatory meetings, examinations and analyses together with reports from individual plant licensees provides the Inspectorate with the necessary overview of nuclear safety. In addition, the Inspectorate monitors facilities to ensure they comply with regulations and also that operations are conducted in accordance with the legislative framework. Its regulatory role also includes the transport of radioactive materials and preparations for a geological repository for radioactive waste.

Under the new nuclear energy legislation, which took effect on 1<sup>st</sup> February 2005, the Swiss Federal Council is responsible for granting general licenses whereas the UVEK, the Swiss Federal Department for the Environment, Transport, Energy and Communications is responsible for the other licensing procedures associated with nuclear facilities. Decisions by the licensing authorities on whether to grant licenses are based primarily on reports compiled by the Inspectorate.

The Inspectorate maintains its own emergency organisation. It is an integral part of the national emergency structure and would be activated if there were a severe accident in a Swiss nuclear facility.

The legislative framework for the regulatory functions of the Inspectorate is the Nuclear Energy Act (KEG), the Nuclear Energy Ordinance (KEV) the Radiological Protection Act (StSG) and the Radiological Protection Ordinance (StSV) and it is on this framework that the Inspectorate bases its own regulatory guides. These cover the criteria by which the projects and activities of the licensees of nuclear plants are evaluated. They are reviewed regularly and revised as necessary. A full list of the Inspectorate's current regulatory guides and recommendations can be found in Table 10 of the appendix to this Sur-

veillance Report and are also available on the Inspectorate's website ([www.hsk.ch](http://www.hsk.ch)).

The Inspectorate issues regular information on issues relating to the nuclear safety of Swiss nuclear facilities. Its responsibilities in this respect cover both normal operations and any incident occurring in a Swiss nuclear facility. The Inspectorate seeks to provide the public with accurate, timely, transparent and understandable information distributing it primarily through its annual reports, media releases, public events and the Internet.

## **Annual reporting by the Inspectorate**

This Surveillance Report is a part of a comprehensive system of reporting by the Inspectorate. In addition to this report, the Inspectorate publishes a separate Radiological Protection Report, a Research and Experience Report and a Management Report. These four reports appear each spring. The original language for all reports is German but the prefaces, introductions and summaries are translated into French and English.

After publication, these reports are also available on the Inspectorate's website at [www.hsk.ch](http://www.hsk.ch).

## **Content of this report**

Chapters 1 – 4 of the Surveillance Report describe the Inspectorate's surveillance of the nuclear power plants at Beznau, Mühleberg, Gösgen and Leibstadt, their operation, organisation, repair and maintenance work.

Chapter 5 deals with the Central Interim Storage Facility (ZWILAG) at Würenlingen. ZWILAG processes, conditions, incinerates and stores radioactive waste from Swiss nuclear facilities.

Chapters 6 and 7 deal with the surveillance of 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 Inspectorate's surveillance of the transport of radioactive materials from and to nuclear facilities. Chapter 9 provides information on the deep geological disposal of radioactive waste.

## **Assessment of nuclear power plants**

The Inspectorate found that nuclear safety - in terms of the design and operation of facilities - in all Swiss nuclear power plants was generally good throughout 2005. Apart from one instance, facilities complied with their operating licenses (this incident is described in the next paragraph and was classed as Level 1 on the INES scale). With few exceptions (see detailed comments in Chapters 1 4), the operation and organisation of all plants complied with the relevant rules and regulations.

During the year, the Inspectorate recorded a total of 14 incidents (8 in 2004) in Swiss nuclear power plants classifiable under the system laid down in its own regulatory guides. Two of these incidents occurred in Unit 2 at Beznau, one at Mühleberg, five at Gösgen and six at Leibstadt. One of the incidents at Leibstadt was classed as Level 1 on the International Nuclear Event Scale (INES see Table 4 in the appendix). The incident resulted from an error during the installation of a fuel assembly in the reactor at the end of April 2005 during a refuelling shutdown. The incident had no effect on radiological safety.

In addition to the above incident, reference should be made to two reactor scrams, both of which occurred during a system restart following annual maintenance. The first occurred on 1 September at Leibstadt and the other on 10 September 2005 in Unit 2 at Beznau, neither of which had an inadmissible effect on radiological safety.

## **Assessment of the Central Interim Storage Facility at Würenlingen**

The Central Interim Storage Facility of ZWILAG at Würenlingen consists of several interim storage halls, a conditioning plant and an incineration/melting plant. The storage halls have been in use since 2001. At the end of 2005, the cask storage hall contained 23 transport/storage casks with spent fuel assemblies and vitrified waste containers plus six casks with decommissioning waste from the experimental nuclear power plant at Lucens. In terms of their design and operation, the nuclear safety of the storage buildings and what is known as the hot cell was good.

During 2005, the incineration/melting plant conducted two further test phases using radioactive waste. Because of operating problems, both tests had to be terminated before completion and so it has still not been possible to run the plant satisfac-

torily during such operations. For the time being therefore, the Inspectorate will continue its existing practice of only granting regulatory clearance for individual applications for incineration.

## **Assessment of the Paul Scherrer Institute and the research facilities**

The nuclear facilities at the East site of the Paul Scherrer Institute (PSI) such as the Proteus research reactor, the hot laboratory, the collection point for radioactive waste from medicine, industry and research together with the Federal Interim Storage Facility are also subject to surveillance by the Inspectorate.

The decommissioning work at the two former research reactors Diorit and Saphir continued smoothly with work due for completion in 2007. Experiments carried out on the Proteus research reactor were conducted in accordance with the appropriate rules and regulations.

There were two classified incidents at the PSI nuclear facilities.

In terms of the design and operations of the PSI nuclear facilities, the Inspectorate rated overall nuclear safety as good. Work at these facilities was carried out correctly in compliance with the regulations governing radiological protection. In 2005, the annual collective doses at PSI remained low.

## **Release of radioactive substances**

In 2005, the release of radioactive substances into the environment via waste water and exhaust air from the nuclear power plants, the Central Interim Storage Facility and PSI was considerably less than the limits specified in the operating licenses. The maximum dose calculation in respect of these releases – including those affecting individuals living in the immediate vicinity of a plant – was less than 1% of the annual exposure to natural radiation.

## **Transport of radioactive material**

During 2005, there were 7 transports of spent fuel assemblies from Swiss nuclear power plants. In January 2005, two transport casks containing vitrified high-level waste from the Cogéma reprocessing plant in France were also returned to ZWILAG. All transports complied with the limits in

the regulations governing the transport of hazardous material and the requirements of legislation on radiological protection.

## **Geological repository**

The Inspectorate completed its technical evaluation of the demonstration of disposal feasibility for spent fuel assemblies and high-level and long-life medium-level waste submitted by Nagra in December 2002. The associated report was published on 12 September 2005 at a public event at Marthalen (in the canton of Zurich). The Nagra Project relates to a demonstration storage facility in the Opalinus clay in the Zurich Weinland designed to show that it is possible to provide permanent and secure disposal and final storage in Switzerland for these categories of waste. The overall evaluation of the Inspectorate is that the Project has provided the required statutory demonstration of disposal feasibility. The Inspectorate also drew attention to issues that would require further in-depth investigation if the project to provide a geological repository were to be pursued.

The Technical Forum received and answered a total of 82 questions on the demonstration of disposal feasibility. Detailed information on this is also available from the following websites: [www.technischesforum.ch](http://www.technischesforum.ch) and [www.entsorgungsnachweis.ch](http://www.entsorgungsnachweis.ch).

## **Safety Evaluation**

The Inspectorate seeks to adapt its surveillance activities on a regular basis in order to comply with current legislation, the state of the art in science and technology and the needs of the public. As part of its strategy of integrated surveillance, it continues to refine its surveillance procedures, in particular those for the completion of inspections, incident handling, the review and assessment of individual facilities, periodic reporting on nuclear installations and the regulatory clearance of changes to facilities and plant documentation.

At the heart of such work is a new system for the systematic evaluation of the safety of nuclear power plants. The inspections, regulatory meetings, licensed operator examinations and incident analyses together with reports from nuclear facilities, documents submitted with applications and other data sources provide the Inspectorate with a large number of data sets, each relating to individual as-

pects of nuclear safety. Using this new system, the Inspectorate has been able to pull together information from these various sources and so develop an overall picture. The information is sub-divided into several categories. A distinction is made between the evaluation of the parameters specified in the power plant regulations and its actual operating history. As nuclear safety depends on both technical and human/organisational factors, the system clearly shows whether the information relates to the plant as a technical system or whether it relates to human/organisational issues. This produces four categories, which are then subject to systematic evaluation: 1. design parameters, 2. operating parameters, 3. plant behaviour and 4. human and organisational behaviour.

Safety at a nuclear power plant is based on the concept of safety layers, the so-called Defence in Depth. It consists of several layers, one behind the other, whereby the next in line serves to counter any weakness in the previous layer. Layer 1 includes systematic measures to avoid any deviation from normal operation. If – despite this – an incident does occur, Layer 2 consists of measures designed to control any deviation from normal operation using systems that limit, protect and also identify the cause of the deviation. If this is not successful, Layer 3 consists of measures to control a design-basis accident. In the rare event that measures contained in Layer 3 are not sufficiently effective, Layer 4 is invoked and this is designed to control a severe accident in a plant. The final layer is Layer 5, which is invoked in the very unlikely event that despite all the measures taken in Layers 1 – 4, large amounts of radioactive materials are released. Layer 5 is designed to mitigate the effects.

The concept of safety layers also includes a system of 3 barriers, also one behind the other, which are designed to confine any radioactive material: the first barrier consists of the fuel matrix and the fuel assembly cladding, the second is the enclosure of the primary circuit and the third is the containment. The integrity of these barriers is depicted in the systematic safety evaluation. Similarly, measures designed to limit exposure to radiation both on-site and off-site, i.e. the optimum management of radioactive releases and waste and the optimum management of any radiation exposure to personnel are also subject to the systematic evaluation. Finally, the system evaluates those aspects which are of importance for all safety layers and so affect the overall risk in the nuclear power plant. A standard scale is used for the evaluation of each individual data set.



The scale is based on the International Nuclear Event Scale but has been expanded to include "below scale" categories. As a result, the scale covers not only abnormal operation but also undisturbed normal operation and even aspects which may be used as examples of best practice for other facilities. It consists of the following categories: G (good practice), N (normal), V (in need of improvement), A (deviation), 1 (anomaly) and so on in accordance with the INES scale (see Table 4 in the appendix).

The Inspectorate implemented this procedure in 2005, initially as part of a pilot project and includ-

ed all evaluations from incidents and inspections, excluding transport. As data from the evaluation of changes to facilities and regulations is still to be incorporated in the systematic safety evaluation model, the positive effects of back-fitting measures and plant modernisation will not show up until the Surveillance Report for 2006 is published. However, the main results are shown at the end of the chapters on the individual nuclear power plants under the heading "Erkenntnisse aus der Sicherheitsbewertung" (Findings from safety evaluations).

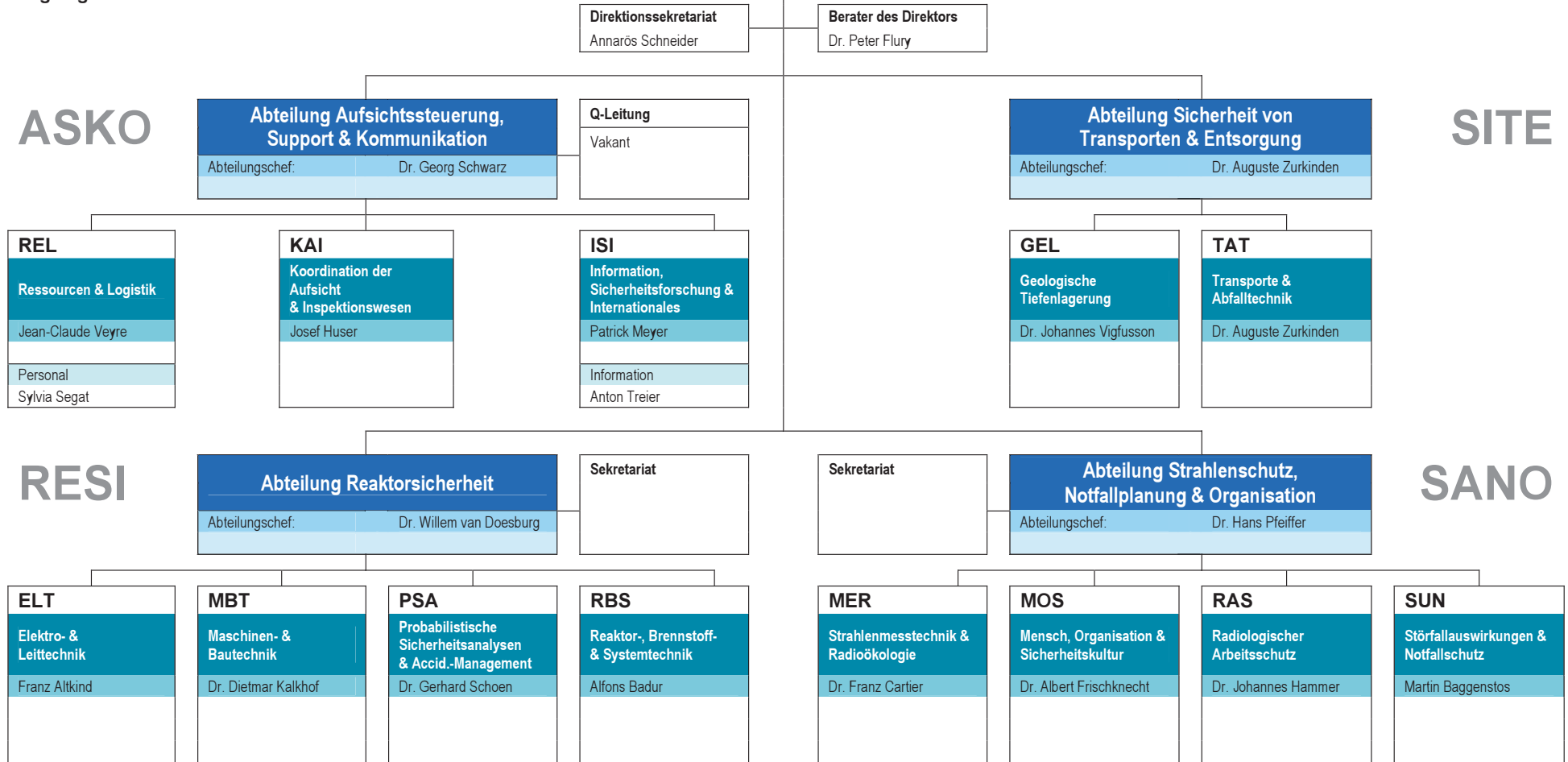


Die HSK berichtet jährlich in vier Berichten über ihre Tätigkeit und Aufsicht.



**Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen**  
 Direktor: Dr. Ulrich Schmocker    1. Stv: Dr. Hans Pfeiffer    2. Stv: Dr. Georg Schwarz    QMB: Jean-Claude Veyre

Januar 2006







Im August 2005 führte die Aare Hochwasser.  
Foto: KKB

# 1. Kernkraftwerk Beznau

## 1.1 Betriebsdaten und Betriebsergebnisse

Das Kernkraftwerk Beznau (KKB) der Nordostschweizerischen Kraftwerke AG (NOK) 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 1a und 1b im Anhang zusammengestellt. Die Figur 9a zeigt das Funktionsschema einer Druckwasserreaktoranlage. Die Blöcke KKB 1 und KKB 2 erreichten im Jahr 2005 eine Arbeitsausnutzung<sup>1</sup> von 96,9% bzw. 87,6% und eine Zeitverfügbarkeit<sup>2</sup> von 96,9% bzw. 88,2%, wobei der unproduktive Anteil jeweils im Wesentlichen auf den Revisionsstillstand zurückzuführen ist.

Die Zeitverfügbarkeiten und die Arbeitsausnutzungen der letzten 10 Jahre sind in Figur 1 dargestellt. Die ausgekoppelte Wärme für das regionale Fernwärmenetz (REFUNA) belief sich im Jahr 2005 auf insgesamt 163,3 GWh<sub>th</sub>.

Die Kühlwassertemperatur am Austritt des Kondensators bzw. Eintritt in die Aare darf 32 °C nicht überschreiten. Diese Anforderung kann bei hoher Kühlwasser-Eintrittstemperatur nur durch eine Verringerung der Blockleistung erfüllt werden. Wegen der heißen Witterung und entsprechend hoher Wassertemperaturen in der Aare mussten Ende Juni 2005 jeweils nachmittags Leistungsreduktionen um wenige Procente vorgenommen werden.

Im **Block 1** dauerte der Revisionsstillstand 11 Tage und diente primär dem Brennelementwechsel. Im **Block 2** dauerte der Revisionsstillstand zur Durch-

<sup>1</sup> Arbeitsausnutzung (in %): Produzierte Energie, bezogen auf die Nennleistung und eine hundertprozentige Zeitverfügbarkeit.

<sup>2</sup> Zeitverfügbarkeit (in %): Zeit, in der das Werk in Betrieb bzw. in betriebsbereitem Zustand ist.



Reinigungsarbeiten am oberen Rand des Reaktordruckbehälters.

Foto: KKB

führung des Brennelementwechsels und der Instandhaltungsarbeiten insgesamt 42 Tage.

Im **Block 1** erfolgte im Berichtsjahr keine ungeplante Reaktorschnellabschaltung.

Am 14. April 2005 wurde routinemässig die Umschaltung der im Jahre 2004 erneuerten Turbinenregler geprüft. Dabei kam es an einer Turbine zu einer gleichzeitigen Störung beider Regler. Dies führte auslegungsgemäss zu einer kurzzeitigen Lastreduktion und zum Öffnen von Frischdampf-Abblaseventilen. Die Ursache der Störung lag primär in einem Software-Fehler. Im Revisionsstillstand 2005 nahm das KKB entsprechende Anpassungen vor. Mit Tests, unter anderem einem Lastabwurf auf Eigenbedarf, wurde die Wirksamkeit der Änderungen verifiziert.

Im August 2005 führte die Aare Hochwasser. Der Durchfluss erreichte am 22. August 2005 mit rund 2300 m<sup>3</sup>/s ein Maximum. Das Hochwasser in der Aare beeinflusst den Kühlwasserstrom zum Kernkraftwerk sowie die Leistung der Notstromversorgung des Kernkraftwerkes durch das nahe gelegene Wasserkraftwerk. Eine Überprüfung hat ergeben, dass alle Vorgaben eingehalten wurden. Eine Betriebsvorschrift des Wasserkraftwerks stand in

einem Punkt im Widerspruch zur Technischen Spezifikation und wird angepasst.

Im **Block 2** erfolgte im Berichtsjahr eine ungeplante Reaktorschnellabschaltung.

## 1.2 Anlagensicherheit

### 1.2.1 Vorkommnisse

Entsprechend der HSK-Richtlinie R-15, Berichterstattung über den Betrieb von Kernkraftwerken, hat der Betreiber über die meldepflichtigen Vorkommnisse berichtet.

Im **Block 1** sind keine Vorkommnisse der Klasse B und höher gemäss HSK-Richtlinie R-15 und der Stufe 1 und höher der internationalen Ereignisskala INES aufgetreten.

Im **Block 2** ereigneten sich in diesem Jahr zwei Vorkommnisse der Klasse B gemäss HSK-Richtlinie R-15 und der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES.

Beim Wiederanfahren nach der Revisionsabstellung 2005 kam es aufgrund einer Störung im Bereich der Kondensatablaufregelung eines Niederdruckvorwärmers bei 17% Reaktorleistung zu einer automatischen Turbinenabschaltung. Da erst eine der beiden Turbogruppen in Betrieb war, führte dies auslegungsgemäss zu einer Reaktorschnellabschaltung. Nach der Überprüfung des Reglers wurde die Anlage wieder hochgefahren. Dabei zeigten sich dieselben Störungen erneut. Die Turbogruppe wurde ein zweites Mal abgestellt. Trotz umfangreichen Untersuchungen konnte jedoch die Ursache für die Störung nicht eindeutig identifiziert werden. Nach detaillierter Einzelprüfung der Teilsysteme der Kondensatablaufregelung des betroffenen Vorwärmers wurde die Turbogruppe nach Meldung an die HSK wieder hochgefahren. Die Anlage wird so angepasst, dass Störungen in der Kondensatablaufregelung im Kommandoraum nicht nur angezeigt werden, sondern eine Alarmmeldung auslösen.

Am 3. November 2005 wurde der monatliche Probelauf der Hilfsspeisewasserpumpen durchgeführt. Nach Auslösung des Startbefehls für die Hilfsspeisewasserpumpe lief wohl deren Schmierölpumpe an, nicht aber die Pumpe selbst. Auch eine Wiederholung des Startbefehls zeigte keinen Erfolg. Die Ursache für das Startversagen war ein fehlerhafter Leistungsschalter, welcher durch eine Reserveeinheit ersetzt wurde.

Die Anzahl klassierter Vorkommnisse der letzten zehn Jahre ist in der Figur 2 dargestellt.

## 1.2.2 Arbeiten während der Revisionsstillstände

Block 1 wurde vom 2. bis 13. Juli 2005 vom Netz getrennt und für den Kurzstillstand abgestellt. Der Kurzstillstand wurde aufgrund des defekten Generators im Kernkraftwerk Leibstadt um zwei Wochen gegenüber der ursprünglichen Planung hinausgeschoben. So konnte vermieden werden, dass im Juni gleichzeitig drei Anlagen (KKB 1, KKG und KKL) wegen Revision ausser Betrieb waren. Der Stillstand dauerte 11 Tage und diente primär dem Brennelementwechsel. Die übrigen Arbeiten konzentrierten sich auf die System- und Komponententests beim Abstellen sowie beim Wiederauffahren der Anlage. Nennenswert sind die ausserordentlichen Instandsetzungsarbeiten an einer Ladeleitungs-Rückschlagklappe. Die Klappe war leicht undicht. Teile der Klappe wurden durch vorgängig geprüfte Bauteile ersetzt.

Bei den Wiederholungsprüfungen sind die Dichtungsprüfungen an den Containment-Isolationsarmaturen sowie die visuellen Inspektionen am Reaktordruckbehälterdeckel und der Bodenkalotte des Reaktordruckbehälters hervorzuheben. Zudem wurden die Durchführungsrohre des Reaktordruckbehälterdeckels auf Risse geprüft. Erwähnenswerte Veränderungen oder Mängel, welche die sichere Funktion von Komponenten und Systemen gefährden könnten, wurden nicht festgestellt.

Nennenswert ist ferner der Austausch der thermischen Isolation an der Bodenkalotte des Reaktordruckbehälters und die Installation der Leckageüberwachung an den Dampf- und Speisewasserleitungen im Ringraum. Obwohl bei der Prüfung der Kernaustrittstemperatur-Messstellen nachgewiesen wurde, dass alle Messungen im vorgegebenen Genauigkeitsbereich lagen, wurde bei den Zuleitungen zu einzelnen Messfühlern zu tiefe Isolationswiderstände festgestellt. Dies wird als Indiz für die mögliche Alterung der Isolation gewertet. Die HSK hat eine Abklärung verlangt.

Im Revisionsstillstand des Blocks 2 vom 30. Juli bis 10. September 2005 wurden Routinetätigkeiten 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 (siehe dazu Kap. 1.2.3).

Nachfolgend sind die wichtigsten zerstörungsfreien wiederkehrenden Prüfungen an Behältern und

Wärmetauschern, Rohrleitungen, Pumpen, Armaturen und ihren Abstützungen aufgeführt:

- Der Zustand des Reaktordruckbehälters (RDB) wurde eingehend untersucht. Die Prüfung wurde mit einer verbesserten Prüfausrüstung durchgeführt. Am RDB-Deckel fanden Ultraschallprüfungen der Deckelschweissnähte und verschiedene Sichtprüfungen mit und ohne Deckelisolation statt. Zur Prüfung von zwölf Sacklochgewinden des RDB-Flansches setzte das KKB eine qualifizierte Wirbelstromtechnik ein. Schweissnähte und weitere ausgewählte Bereiche des RDB-Unterteils wurden mit Hilfe eines Manipulators mit Ultraschall geprüft und mit einem Kamerasystem inspiziert. Bei den Prüfungen wurden keine unzulässigen Werkstofffehler gefunden. Im Bereich des RDB-Bodens gab es eine starke Verschmutzung, welche die Sichtbarkeit des RDB-Bodens an einigen Stellen deutlich beeinträchtigte. Die Verschmutzung stand im Zusammenhang mit der später erwähnten Trübung des Reaktorwassers.

- Wie im Block 1 wurde auch im Block 2 die thermische Isolation an der Reaktorbodenkalotte durch eine abnehmbare Konstruktion ersetzt. Dies erleichtert künftig die Durchführung visueller Prüfungen in diesem Bereich. Bei der erstmalig durchgeführten visuellen Prüfung der Kalotte und der Bodendurchdringungen wurden keine Hinweise auf Leckagen gefunden. Das Grundmaterial der Bodenkalotte wies einen intakten Schutzanstrich auf. Die Bodenkalotte befand sich in einem einwandfreien Zustand.

- Die Kerneinbauten wurden mit einem mit Videokameras ausgerüsteten U-Boot umfassend geprüft. Die Prüfpositionen wurden systematisch angefahren und dokumentiert. Die Prüfungen der Kerneinbauten und deren Ergebnisse entsprachen den Anforderungen. Die im letzten Jahr festgestellten Mängel des Prüfverfahrens traten nicht mehr auf.

- In der diesjährigen Revision wurden austenitische Rohrleitungsschweissnähte des Hauptkühlkreislaufes, des Restwärmesystems und des Sicherheitseinspeisesystems erstmalig mechanisiert mit Ultraschall geprüft. Im Prüfumfang enthalten waren auch die Schweissnähte, die im Rahmen des Backing-Ring-Ersatzes (siehe 1.2.3) geschweisst wurden. Das Prüfsystem wurde im Vorfeld der Revisionsabstellung an Testkörpern mit wirklichkeitsnahen Rissen qualifiziert. Bei der Prüfung der neuen Engspalt-Schweissnähte und an der Schweissnaht B9 des Sicherheitseinspeisesystems wurden zwei be-

wertungspflichtige Anzeigen festgestellt, eine an der Aussenoberfläche und eine an der Innenseite von bestehenden Rohrleitungsteilen. Die anschliessende Bewertung der Befunde weist nach, dass ein sicherer Weiterbetrieb vorerst gewährleistet ist. Rechtzeitig vor dem nächsten Revisionsstillstand ist eine Schadensanalyse sowie ein Konzept für das weitere Vorgehen vorzulegen.

Für die Schweißarbeiten beim Entfernen der Backing-Ringe musste ein Rohrabschnitt mit Schutzgas gefüllt werden. Um das Schutzgas in diesem Rohrabschnitt einzuschliessen, wurde Cellulosepapier mit dem Holzleim Ponal im Rohr befestigt. Obwohl sich das Verfahren in anderen Anlagen bewährt hat, löste sich das mit dem Leim durchsetzte Papier nicht so leicht auf wie erwartet. Nach der Inbetriebnahme des Restwärmesystems wurde das Reaktorwasser trüb und es bildeten sich wasserunlösliche Flocken. Die Trübung des Wassers wurde durch Reinigungssysteme und Radiolyse (Zersetzung durch Strahlung) nach dem Einsetzen der ersten Brennelemente so weit reduziert, dass das sichere Beladen des Reaktors ohne Einschränkung möglich war. Der Betreiber hat nachgewiesen, dass keine Beeinträchtigung des sicheren Betriebs durch diese Verschmutzung zu erwarten ist. Die HSK kann sich dieser Einschätzung anschliessen.

Die gemäss den Wiederholungsprüfprogrammen und zugehörigen Vorschriften durchgeführten Prüfungen und Funktionskontrollen an elektrischen Ausrüstungen ergaben keine wesentlichen Befunde. Nennenswert sind insbesondere die Diagnose und Kontrolle der Schutzeinstellungen an Motorantrieben, die Kapazitätsprüfung der Notstrombatterien sowie die Integraltests des Reaktorschutz- und Regelsystems und des Notstandschutzsystems. Die während der Revision durchgeführten Prüfungen von Systemen waren umfangreich und deckten einige Mängel auf, z. B. die Stellungsanzeige eines Motorventils oder den Defekt an einer Leuchtdiodenanzeige, welche umgehend behoben wurden.

Wichtige präventive bzw. zustandsorientierte Instandhaltungsarbeiten waren: der Ersatz eines schadhaften Entleerungsventils auf der Saugseite der Pumpen des primären Nebenkühlwassersystems durch einen Kugelhahn, die Behebung einer Störung an der Weitbereichsmessung der Neutronenflussdichte sowie die Revision des Generators der Turbogruppe 22. Zudem wurden beim Blocktransformator der Turbogruppe 21 umfangreiche

Messungen durchgeführt, weil vorangegangene Ölproben auf eine mögliche Heissstelle hindeuteten. Es wurde jedoch kein Fehler gefunden. Zur Abklärung werden monatlich Ölanalysen vorgenommen. Der Transformator kann bei Bedarf kurzfristig ersetzt werden.

In der Anwendung der zerstörungsfreien Prüfverfahren, die zur frühzeitigen Risserkennung in den sicherheitsrelevanten Komponenten der Kernkraftwerke eingesetzt werden, traten in der Vergangenheit teilweise erhebliche Streuungen in den Messergebnissen auf. Durch eine Qualifizierung des Prüfverfahrens soll die Qualität der Prüfung und Auswertung verbessert werden. Dabei wird die Befähigung von Messsystem und Prüfpersonal, die Prüfaufgabe zu erfüllen, an einem bauteilähnlichen Teststück mit realistischen Fehlern demonstriert. Aufgrund des Kernenergiegesetzes und der Kernenergieverordnung verlangt die HSK von den heutigen Prüfungen in den Kraftwerken eine Qualifizierung der Prüfverfahren. Die Schweizer Kernkraftwerke haben eine Qualifizierungsstelle geschaffen, welche die notwendige Infrastruktur für die Qualifizierung aufbauen wird. Die HSK wird die gesetzlichen Anforderungen in einer Richtlinie konkretisieren.

### 1.2.3 Anlagenänderungen

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

- Bereits vor dem Brennelementwechsel wurde bei der Ladepumpe C der Zylinderblock wegen Haarrissen durch einen konstruktiv verbesserten ersetzt. Bei allen andern Ladepumpen der beiden Anlagen wurde der Austausch bereits vorher vollzogen. Die Haarrisse entstanden durch Materialermüdung, hervorgerufen durch die bei Kolbenpumpen immer vorhandenen Druckpulsationen und äusserten sich durch einen geringfügigen Eintrag von Primärkühlmittel ins Schmieröl der Ladepumpen. Die Funktion des Ladesystems wurde dadurch nicht beeinträchtigt.
- Die Druckpulsationen führten auch bei der Ladepumpe B zu einem Riss. Dieser trat an einer Schweißnaht an der Entlüftungsleitung der Ladepumpe auf, weil sie bei der Montage nicht entsprechend den Plänen ausgeführt worden war. Dieselbe Schweißnaht war bereits im Jahre 2000 von einem Riss betroffen, doch hat sich das damals angewandte Reparaturverfahren nicht bewährt. Vergleichbare Schäden sind schon vorher bei den andern Ladepumpen auf-

getreten. Die HSK hat eine Überprüfung und Sanierung aller entsprechender Schweissnähte verlangt. Dies ist inzwischen erfolgt.

- Das System zur Aufbereitung radioaktiver Abwässer der beiden Blöcke wurde mit einer Nanofiltrationsanlage ergänzt. Die Nanofiltrationsanlage wurde in der kontrollierten Zone installiert, und gegen Ende 2005 ist der Versuchsbetrieb aufgenommen worden. Sie bezweckt die Erfüllung der in der Auflage 3.5 der bundesrätlichen Verfügung vom 3. Dezember 2004 zur unbefristeten Betriebsbewilligung des Blocks 2 geforderten Reduktion der in die Aare abgeleiteten radioaktiven Stoffe.
- Anlässlich des Revisionsstillstandes im Jahr 2004 wurde die Turbinenleittechnik im Block 1 vollständig ersetzt. Aufgrund der seither gewonnenen Erkenntnisse sind vor und während des diesjährigen Stillstandes Änderungen an der Turbinenleittechnik durchgeführt worden. Damit konnten das ungenügende Runback-Verhalten und ein im letzten Jahr erkanntes fehlerhaftes Verhalten bei der Umschaltung der redundanten Regelungs-Rechner behoben werden. Mit verschiedenen Tests, einem Runback-Versuch mit geänderten Einstellwerten, einem Vollastabwurf und einem Lastabwurf von 60 MW auf Eigenbedarf, wurden die Richtigkeit und die Wirksamkeit der Änderungen verifiziert.
- Im Jahr 2004 wurde im Block 1 der Blitzschutz an den leittechnischen Nahtstellen zwischen Notstandgebäude und den übrigen Räumen wesentlich verbessert. Im Stillstand 2005 wurden noch einige zusätzliche Signalleitungen mit Überspannungsableitern beschaltet und ihre Funktionstüchtigkeit überprüft.
- Die Niveau-Anzeige des Reaktorkühlsystems für den Mitte-Loop-Betrieb wurde ersetzt und der zugehörige Niveau-Transmitter versetzt. Damit konnten die in der Vergangenheit immer wieder aufgetretenen Entlüftungsprobleme der Zuleitung zum Transmitter beseitigt werden.

Im Block 2 sind im Berichtsjahr folgende Anlagenänderungen durchgeführt worden:

- Wie bereits im Jahr 2004 im Block 1 wurde nun auch im **Block 2** die Turbinenleittechnik modernisiert. Dabei handelt es sich um die Regelung, den Schutz und die Steuerung der beiden Dampfturbogruppen. Hervorzuheben sind dabei der Ersatz der konventionellen Bedienung der Turbogruppen durch eine moderne bildschirmgestützte Steuerung sowie die redundant ausgeführte elek-

tronische Regelung. Zudem wurde die Turbinenüberwachung durch ein dem heutigen Stand der Technik entsprechendes System ersetzt. Mit diesem System werden die Schwingungen und Dehnungen der Turbogruppen sowie die Ölversorgung und die Temperatur der Turbinenlager überwacht. Die neue Anlage verbessert die Überwachung der Turbogruppen und ermöglicht bei Abweichungen eine genauere Analyse. Die HSK hat die Montage und die Inbetriebsetzung der neuen leittechnischen Einrichtungen der Turbinenanlage eingehend inspiziert und mitverfolgt.

- Um durch Blitzschlag mögliche induzierte Überspannungen in den leittechnischen Verbindungen zwischen Notstandgebäude und Nebengebäuderäumen zu verhindern, werden die betroffenen Leitungen in der Halonzone und im Hauptkommandoraum nun mit Überspannungsableitern geschützt. Die so beschalteten

Modernisierung und Ersatz der sekundären Leittechnik: Montage der neuen Steuerpulte im Kommandoraum.

Foto: KKB





Signalkreise wurden anschliessend auf korrekte Funktion überprüft.

- Zur schnellen Erkennung bzw. Lokalisierung all-fälliger Leckagen der Frischdampf- und Speisewasserleitungen im Ringraum wurden Sensor-kabel an den betreffenden Rohrleitungen montiert, geprüft und in Betrieb genommen.
- Die thermische Isolation an der RDB-Bodenkalotte wurde, wie im Block 1, durch eine abnehmbare Kassetten-Isolation ersetzt.
- Die im Rahmen des NANO-Projekts eingebauten Backing-Ringe an den Endschweissnähten der Surgeline, des Sicherheitseinspeise-Headers und der Restwärmeleitung wurden entfernt. Die betroffenen T-Stücke wurden durch gerade Rohrstücke ersetzt.
- Im Druckhalter wurden sechs Heizelemente ersetzt, welche infolge Trockenüberhitzung defekt waren. Der Einbau und insbesondere das Einschweissen der neuen Heizelemente waren anspruchsvoll, da die Arbeiten im Strahlenfeld und unter Kontaminationsgefahr ausgeführt werden mussten, was entsprechende Strahlenschutzmassnahmen erforderte.

Kontrollure der IAEA prüfen im KKB neue MOX-Brennelemente.  
Foto: KKB



■ Die elektrischen Zuleitungskabel von der 6-kV-Anlage zu den beiden Reaktorhauptpumpen im Containment wurden inklusive der dazugehörigen druckfesten und prüfbaren Durchdringungen aus Alterungsgründen ersetzt. Um die Festigkeit der Stahldruckschale nicht zu schwächen, musste ein neuer Containmentstutzen eingeschweisst werden.

■ Das ursprüngliche Einspeisekabel vom Wasserkraftwerk Beznau zur Versorgung einer Notstromschiene des Blocks 2 wurde aus Alterungsgründen ersetzt. Abschluss-tests bestätigten dessen einwandfreie Funktion.

■ Die Mauerwerkswände in den Batterieräumen und im Flutdieseltankraum wurden gegen Erdbebenbelastungen verstärkt. Einige Wände wurden abgebrochen und in Beton neu erstellt.

Einige dieser Anlagenänderungen waren von der HSK verlangt worden. Sie hat deren Durchführung im Rahmen ihrer Aufsichtstätigkeit verfolgt und sich von der korrekten Umsetzung überzeugt.

#### 1.2.4 Brennelemente und Steuerstäbe

Bei beiden Blöcken gab es im Berichtszeitraum keine Brennelement-Defekte.

Während des Brennelementwechsels im Block 1 wurden 16 neue Uranoxid-Brennelemente aus wiederaufgearbeitetem, angereichertem Uran (Enriched Reprocessed Uranium, ERU) und vier Uran/Plutonium-Mischoxid-Brennelemente (MOX-Brennelemente) in den Kern geladen. Der Reaktorkern von Block 1 enthält im Betriebszyklus 2005/2006 insgesamt 28 MOX-Brennelemente.

Während des Revisionsstillstands in Block 2 wurden 20 Brennelemente durch neue Uranoxid-(ERU-)Brennelemente ersetzt. Der Reaktorkern von Block 2 enthält im Betriebszyklus 2005/2006 insgesamt 28 MOX-Brennelemente.

Die HSK hat sich anhand von Protokollen davon überzeugt, dass die neuen Brennelemente in beiden Blöcken den Qualitätsanforderungen für einen sicheren Betrieb entsprechen.

Entsprechend den langfristigen Steuerstab-Inspektionsprogrammen für beide Blöcke war im Berichtszeitraum die Wirbelstromprüfung sämtlicher Steuerstäbe von Block 2 fällig. Die Prüfung ergab, dass sich nach einer Einsatzdauer von 13 bis 17 Jahren alle Stäbe in einem guten Zustand befinden und somit weiter eingesetzt werden können.

#### 1.2.5 Periodische Sicherheitsüberprüfung

Mit Verfügung vom 3. Dezember 2004 hatte der Bundesrat der Nordostschweizerischen Kraftwer-

ke AG (NOK) die unbefristete atomrechtliche Bewilligung zum Betrieb des Blockes 2 erteilt. Die Bewilligung stützte sich u. a. auf die von der NOK Ende 2002 eingereichten Unterlagen zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) für den **Block 2** und auf das Gutachten der HSK aus dem Jahr 2004. Mit der Bewilligung waren Auflagen und Forderungen verknüpft worden (vgl. Aufsichtsbericht 2004).

Die Umsetzung dieser Verbesserungsmassnahmen wird von der HSK beaufsichtigt. Die Bearbeitung durch das KKB erfolgt termingerecht und umfassend. Mit wenigen Ausnahmen, bei denen das KKB um einen Terminaufschub gebeten hat, wurden alle bis Ende 2005 verlangten Nachweise bzw. Untersuchungen durchgeführt und die Unterlagen der HSK eingereicht. Die HSK konnte bei mehr als der Hälfte dieser Forderungen deren Erfüllung bestätigen. Nennenswert sind:

- Die Strontiummessung in der Kaminabluft und Alpha-Aktivitätsmessung im Abwasser wurde gemäss der Forderung der HSK in das Analysenprogramm aufgenommen und in die Berichterstattung integriert.
- Die Störfallvorschriften für Kühlmittelverluststörfälle wurden überarbeitet und aktualisiert.
- Ausgehend von der Anzeige der RABE-Monitore kann die Aktivität im Containment abgeschätzt werden. Die dazu notwendige Umrechnungsanleitung wurde in die Notfalldokumentation aufgenommen.
- Das Wiederholungsprüfprogramm für die RDB-Deckel- und Bodendurchführungen wurde unter Berücksichtigung vorliegender weltweiter Erfahrungen dem Stand der Technik angepasst. Das Prüfintervall wird verkürzt und der Prüfumfang erweitert.
- Die nach dem Dampferzeugeraustausch in den Jahren 1993 und 1999 verbliebenen Teile der Hauptkühlmittleitungen aus austenitischem Stahlguss sind schwer zu prüfen. Repräsentative Prüfungen fanden daher an herausgetrennten Rohrabschnitten statt und ergaben keine Anzeichen für Risse.
- Mit dem Einbau einer zusätzlichen Reinigungsanlage (Nanofiltration) in den Block 1 zur Reinigung der Abwässer beider Blöcke soll die Aktivität der flüssigen Abgaben unter den Medianwert der europäischen Druckwasserreaktoren gesenkt werden (siehe Kap. 1.2.3).
- Die in den letzten zehn Jahren durchgeführten Notfallübungen wurden systematisch ausgewertet. Betrachtet wurden die Ziele der Übungen,

die Kriterien der Beurteilung, die Beurteilung pro Übung, die Gesamtbeurteilung und die Empfehlungen im Hinblick auf künftige Notfallübungen sowie realisierte Verbesserungsmassnahmen.

- Die Realisierbarkeit einer thermischen Behandlung der Ionenaustauscherharze und die Überführung der anfallenden Asche in eine chemisch stabile Form, mit anschliessender Konditionierung ohne Verwendung organischer Materialien, wurde untersucht und der geforderte Bericht fristgerecht der HSK eingereicht. Das KKB kommt zum Schluss, dass derzeit ohne erhebliche Änderungen an den Eigenschaften der beladenen Harze und damit der Betriebsweise im Kraftwerk, die Harze in keiner der weltweit existierenden Anlagen verarbeitet werden können. Die HSK hat die Analyse überprüft und die abgeleiteten Schlussfolgerungen akzeptiert.

### 1.3 Strahlenschutz

Im Kalenderjahr 2005 wurden im KKB folgende Kollektivdosen ermittelt:

Aktionen	KKB 1	KKB 2	KKB 1 und 2
Revisionsstillstand	152 Pers.-mSv	451 Pers.-mSv	603 Pers.-mSv
Leistungsbetrieb	50,5 Pers.-mSv	50,5 Pers.-mSv	101 Pers.-mSv
Jahreskollektivdosis	202,5 Pers.-mSv	501,5 Pers.-mSv	704 Pers.-mSv

In den beiden Blöcken des KKB wurden 2005 niedrige Kollektivdosen verzeichnet. Die höchste im KKB registrierte Individualdosis betrug 11,0 mSv. Der Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr wurde somit eingehalten. Es traten weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen auf.

Die Arbeiten beim Brennelementwechsel im Block 1 führten zu einer Kollektivdosis von 152 Pers.-mSv, geplant waren 188 Pers.-mSv. Erreicht wurde die niedrigere Kollektivdosis vor allem beim Austausch der RDB-Kalottenisolation. Bei der Montage der neuen Isolation im Strahlenfeld waren keine Nacharbeiten notwendig, da die vorgefertigten Teile gut gearbeitet waren. Die beteiligten Mitarbeiter verhielten sich strahlenschutzgerecht. Die Wirkung von zeitweise angebrachten Abschirmungen war deutlich besser als erwartet.

Die für die Arbeiten beim Revisionsstillstand im Block 2 registrierte Kollektivdosis betrug

451 Pers.-mSv, geplant waren 574 Pers.-mSv. Der radiologische Zustand in den aktiven Systemen und damit auch in der kontrollierten Zone war wegen des schadenfreien Brennstoffes sehr gut. Die Oberflächendosisleistungen an den Komponenten des Reaktorkühlkreislaufes waren im Vergleich mit den Vorjahren mit einer Ausnahme gleich geblieben. Am RDB-Deckel hatte die Dosisleistung um 40% abgenommen.

Die HSK stellte bei mehreren Inspektionen fest, dass in den beiden Blöcken ein guter 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 für Druckwasserreaktoren typischen Tritium-Abgaben des KKB betragen wie im Vorjahr rund 16% des Jahresgrenzwerts. Die quartalsweise von der HSK durchgeführten Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern zeigten Übereinstimmung mit den von KKB gemeldeten Analyseergebnissen. Aus den tatsächlich über die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnet die HSK die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKB unter konservativen, d.h. ungünstigen Annahmen. Die Dosen betragen 0,0017 mSv für Erwach-

sene und 0,0027 mSv für Kleinkinder und liegen somit deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv/Jahr gemäss der HSK-Richtlinie R-11.

Die Dosisleistungs-Messsonden des von der HSK betriebenen Messnetzes (MADUK) in der Umgebung des Werkes ergaben keine durch den Betrieb der Anlage erhöhten Werte. Die Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD), die an mehreren Stellen am Zaun des Kraftwerkareals die Dosis messen, zeigten keine nennenswerte Erhöhung gegenüber der Untergrundstrahlung. Bei den quartalsweise von der HSK zur Kontrolle durchgeführten Messungen an der Umzäunung des KKB wurden ebenfalls keine signifikanten Erhöhungen gegenüber der Untergrundstrahlung festgestellt. Die nach Art. 102 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung anzuwendenden Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerksareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche wurden eingehalten. Für detailliertere Angaben zur radiologischen Situation innerhalb und ausserhalb der Anlage Bezug auf den Strahlenschutzbericht 2005 der HSK verwiesen.

#### 1.4 Radioaktive Abfälle

Radioaktive Rohabfälle fallen im KKB regelmässig aus den Wasserreinigungssystemen sowie der



«Deckeldurchführungen»  
an einem der beiden  
Reaktordruckbehälter.

Foto: KKB

Abgas- und Fortluftreinigung an. Weitere Abfälle stammen vom Austausch von Komponenten bei Instandhaltungs-, Umbau- oder Nachrüstmassnahmen und den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien. Der Anfall an radioaktiven Rohabfällen (vgl. Tabelle 8) war im Berichtsjahr höher als im vergangenen Jahr. Bei gleich bleibender Menge an brennbaren Abfällen war die Menge an schmelzbaren Abfällen wegen des Austausches verschiedener maschinentechnischer Komponenten, wie etwa die Anlage zur Harzkonditionierung, höher. Der Volumenanteil des schmelzbaren Abfalls liegt im Berichtsjahr deutlich über 50%. Das erzeugte Abfallvolumen ist im internationalen Vergleich mit ähnlichen Anlagen auf einem niedrigen Niveau.

Die radioaktiven Rohabfälle werden gesammelt, kampagnenweise konditioniert und anschliessend zwischengelagert. Die im KKB vorhandenen unkonditionierten Abfälle bestehen mit wenigen Ausnahmen aus ausgedienten Ionentauscherharzen sowie aus brenn- und schmelzbaren Abfällen; sie sind in dafür vorgesehenen Räumlichkeiten der kontrollierten Zone (Nebenanlagegebäude) aufbewahrt. Brenn- und schmelzbare Abfälle wurden auch im Berichtsjahr für die Behandlung im Plasmaofen der ZWILAG vorbereitet, aber noch nicht abtransportiert.

Als Konditionierungsverfahren kommen im KKB die Einbindung von Harzen in Polystyrol sowie die Zementierung von Schlämmen zum Einsatz. Für alle bisherigen Verfahren liegen die gemäss Kernenergieverordnung und HSK-Richtlinie R-14 erforderlichen Typengenehmigungen der HSK vor. Die im Jahre 2004 in Betrieb genommene neue Konditionierungsanlage für Harze arbeitete bei den Kampagnen im Jahr 2005 störungsfrei. Weitere Konditionierungsarbeiten grösseren Umfangs wurden nicht durchgeführt.

Die konditionierten Abfallgebände werden routinemässig in die werkseigenen Zwischenlager (Rückstandslager und SAA-Halle des ZWIBEZ) eingelagert. Alle Abfälle sind in einem von allen schweizerischen Kernanlagen eingesetzten elektronischen Buchführungssystem erfasst, so dass die Information über Menge, Lagerort und radiologische Eigenschaften jederzeit verfügbar ist. Die Abfallgebände werden während der Lagerzeit inspiziert. Dabei wurden 21 Gebinde aus einer alten Konditionierungskampagne im PSI identifiziert, bei denen die Verpackung wegen Korrosionsschäden ertüchtigt werden muss. Diese Gebinde wurden zu diesem Zweck zum PSI verbracht.

Im Sinne der Minimierung radioaktiver Abfälle wurden im Jahr 2005 aus dem KKB erhebliche Mengen an Metallen sowie geringere Mengen an Isolationsmaterial, anorganischem Schutt, Elektronikschrott und Harzen gemäss den Vorgaben der HSK-Richtlinie R-13 freigesessen. Es handelte sich hierbei um insgesamt rund 18 t.

Das KKB plant, abgebrannte Brennelemente nach dem 1. Juli 2006 – dem Beginn des Moratoriums für die Wiederaufarbeitung – in Transport- und Lagerbehältern am Standort zwischenzulagern. Die hierfür notwendigen Gebäude wurden zwar seinerzeit im Rahmen des Projektes ZWIBEZ erstellt, aber noch nicht mit den erforderlichen Ausrüstungen ausgestattet. Der Lagerplatz wurde für die Aufbewahrung von früher ausgebauten Dampferzeugern verwendet. Das KKB hat im Berichtsjahr das Projekt ZWABEL (Zwischenlagerausbau Behälterlager) gestartet, mit dem Ziel, ab dem Jahr 2008 den Bereich für die Zwischenlagerung von Transport- und Lagerbehältern nutzen zu können.

## 1.5 Notfallbereitschaft

Die Notfallorganisation des KKB ist für die Bewältigung von Notfällen innerhalb des Werksareals zuständig. Mit einer zweckmässigen Führungsorganisation, geeigneten Führungsprozessen und angepassten Führungseinrichtungen zusammen mit einer entsprechenden Auslegung der Anlage hat das Werk die Notfallbereitschaft auf hohem Niveau sicherzustellen.

Die HSK hat im März an einer Werksnotfallübung, die im Rahmen der Gesamtnotfallübung «KRONOS I» des KKL stattfand, die Notfallorganisation beobachtet und beurteilt. Das Übungsszenario wurde mit einer «RABE-Warnung» aus dem KKL eingeleitet. Da das KKB und das KKL in der gemeinsamen Zone 1 liegen, war das KKB vom Szenario im KKL betroffen und hatte Vorbereitungen zu treffen, mit welchen bei einer weiteren Eskalation im KKL die notwendigen Schutzmassnahmen für Beznau rasch sichergestellt werden können. Zusätzlich postulierte KKB-interne Ereignisse wie Brand, Drohung, Eindringversuch und Personenunfall erschwerten die Notfallsituation im KKB. Die HSK kam aufgrund der Übungsbeobachtung zum Schluss, dass die Übungsziele erreicht worden sind. Im November löste die HSK ohne Voranmeldung im KKB einen Übungsalarm aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Notfallstabes überprüft wurde. Das KKB erreichte die Übungsziele.

Eine Inspektion der Notfallkommunikationsmittel zu externen Stellen hat gezeigt, dass die KKB-Einrichtungen betriebsbereit sind.

## 1.6 Probabilistische Sicherheitsanalyse und Accident Management

Mit der Probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) wird das Restrisiko, dass ein schwerer Unfall in einem Kernkraftwerk auftritt, berechnet. Als schwerer Unfall wird ein Störfall bezeichnet, bei dem der Reaktorkern nicht mehr gekühlt werden kann und in der Folge zu schmelzen beginnt. Erst ein schwerer Unfall kann dazu führen, dass grosse Mengen radioaktiver Stoffe in die Umgebung des KKW freigesetzt werden. Schwere Unfälle setzen den Ausfall zahlreicher Sicherheitseinrichtungen voraus und sind deshalb sehr unwahrscheinlich. Jedes Schweizer Kernkraftwerk hat eine anlagenspezifische PSA-Studie erstellt und aktualisiert diese regelmässig. Im Jahr 2005 wurden im Bereich PSA und Accident Management im Wesentlichen folgende Arbeiten durchgeführt:

- Die im Jahre 2005 erwarteten Arbeiten zu den HSK-Forderungen, welche aus der Periodischen Sicherheitsüberprüfung 2002 resultierten, wurden vom KKB zeitgerecht eingereicht. Diese Forderungen betrafen schwerpunktmässig die PSA-Studie für den Vollastbetrieb und konnten im Jahr 2005 von der HSK geprüft und mehrheitlich geschlossen werden. Die resultierenden Erkenntnisse werden in die nächste Aktualisierung des PSA-Modells eingehen.
- Das KKB reichte der HSK ein überarbeitetes PSA-Modell für den Vollastbetrieb ein. Unter Berücksichtigung der KKB-spezifischen Betriebserfahrung wurden darin die Komponentenzuverlässigkeitsdaten bis zum Jahr 2001 aktualisiert. Ferner wurde aufgrund der Erkenntnisse aus dem Projekt PEGASOS (Probabilistische Erdbebengefährdungsanalyse für die KKW-Standorte in der Schweiz) das Modell überarbeitet. Das von der HSK verlangte Projekt PEGASOS wurde im Auftrag der KKW-Betreiber unter Einbezug zahlreicher Wissenschaftler aus dem In- und Ausland durchgeführt. Da davon auszugehen ist, dass die Fachdiskussionen und Umsetzungsarbeiten zu dieser europäisch bislang einzigartigen Studie noch einige Zeit in Anspruch nehmen werden, verwendete das KKB im überarbeiteten PSA-Modell als Übergangslösung neue, verschärfte Erdbebengefährdungsannahmen. Ferner initiierte das KKB umfangrei-

che Arbeiten, damit das PSA-Modell künftig die Auswirkungen der aus einer fortschrittlichen Erdbebengefährdungsstudie resultierenden detaillierten Gefährdungsannahmen auf die Anlage adäquat abzubilden vermag und dann eine belastbare Abschätzung des seismisch bedingten Risikobeitrags ermöglicht. Parallel dazu führte das KKB ein Vorhaben zur seismischen Anlagenertüchtigung weiter, in welchem z. B. die Verankerungen von Kabeltrassen, Elektro-schränken und Dieselöltanks verstärkt wurden. Weiter verfeinerte das KKB das PSA-Modell so, dass verschiedene Anwendungen, wie zum Beispiel die Bestimmung der risikotechnischen Bedeutung einer Komponente, künftig einfacher möglich sind.

- Das KKB verfügt bereits seit einigen Jahren über ein von der HSK überprüftes und für zweckmässig befundenes SAMG-Programm für den Leistungsbetrieb. Bei SAMG («Severe Accident Management Guidance») handelt es sich um Entscheidungshilfen, welche der systematischen Bewältigung bzw. Milderung der Auswirkungen von schweren Unfällen dienen. Mit SAMG wird das System von Stör- und Notfallvorschriften erweitert auf Unfälle mit einem stark beschädigten Kern. Es ist das Ziel von SAMG, einen Kernschmelzvorgang zu beenden oder zumindest die Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung so gering wie möglich zu halten. Im Jahr 2005 führte das KKB SAMG für den Anlagenstillstand ein. Mit der Implementierung der SAMG für den Anlagenstillstand erreichte das KKB auf dem Gebiet des Unfallmanagements im internationalen Vergleich einen sehr hohen Stand, da solche SAMG bislang nur in wenigen Anlagen implementiert wurden. Damit decken die Notfallprozeduren im KKB alle wesentlichen Anlagenzustände ab. Im Zuge der SAMG-Entwicklungsarbeiten für den Anlagenstillstand wurde zusätzlich eine Revision der SAMG für den Leistungsbetrieb vorgenommen.
- Das KKB reichte auf Forderung der HSK erstmals eine probabilistische Ereignisanalyse ein, nachdem eine Pilotstudie der HSK im Jahre 2003 gezeigt hatte, dass die probabilistische Ereignisanalyse ein gutes Mittel ist, um die Betriebserfahrung zu bewerten. Mit der probabilistischen Ereignisanalyse wird anhand des PSA-Modells der Einfluss von Ereignissen auf das Anlagenrisiko bewertet. Der Ereignisbegriff umfasst hier ungeplante Reaktorabschaltungen und Unverfügbarkeiten von sicher-

heitsrelevanten Einrichtungen durch Reparaturen sowie geplante Arbeiten. Zwei in der probabilistischen Ereignisanalyse interessierende Indikatoren sind die Risikospitze und das akkumulierte Risiko. Darunter versteht man den Maximalwert des zeitlichen Verlaufs des Anlagenrisikos über ein Jahr (Risikospitze) bzw. die über das betrachtete Jahr integrierte Abweichung des Risikoverlaufs von einem Referenzverlauf, bei welchem keine Ereignisse auftreten (akkumuliertes Risiko).

■ In der vom KKB für den Zeitraum 1998 bis 2004 erstellten probabilistischen Ereignisanalyse waren die beiden bedeutendsten Risikospitzen in den Jahren 1999 und 2001 im Block 1 zu verzeichnen und jeweils auf die wartungsbedingte Freischaltung der 50-kV-Netzeinspeisung zurückzuführen. Erwartungsgemäss wurden für die Jahre 1998 bis 2004 keine extremen Risikospitzen identifiziert, und das akkumulierte Risiko blieb gering.

■ Bei einem Störfall in Block 1 oder 2 des KKB werden der HSK alle zwei Minuten 26 relevante Anlagenparameter (ANPA) via eigenes Übermittlungsnetz zugestellt. Die ANPA-Werte werden in der HSK vom ADAM-System (Accident Diagnostics, Analysis and Management) verarbeitet. Das Programm bereitet die ANPA-Werte grafisch so auf, dass sich die Notfallorganisation der HSK rasch über den Ablauf und das Ausmass des Störfalls ins Bild setzen kann und laufend über die weitere Störfallentwicklung informiert bleibt. Ausserdem können mit ADAM Simulationen zu einer Vielzahl von Störfällen durchgeführt werden. Im Jahr 2005 wurde die ADAM-Datenerfassung konzeptionell verbessert und im Rahmen verschiedener Werksaufschaltungen getestet. ADAM konnte dabei seine hohe Zuverlässigkeit unter Beweis stellen. Weitere Arbeiten am ADAM-System betrafen die Entwicklung eines Moduls, mit dem ein unfallspezifischer Quellterm (Menge der in die Umgebung freigesetzten radioaktiven Substanzen) berechnet wird.

Durch verschiedene Anlagenänderungen, insbesondere durch die seismischen Anlagenertüchtigungen (siehe auch 1.2.3) und die Erweiterung des SAMG-Programms, wurde das hohe Sicherheitsniveau der Anlage aus Sicht der PSA weiter verbessert. Die Ergebnisse der vom KKB im Jahr 2005 eingereichten PSA-Studie zeigen, dass das Anlagenrisiko des KKB deutlich tiefer ist als die von der IAEA empfohlenen Richtwerte.

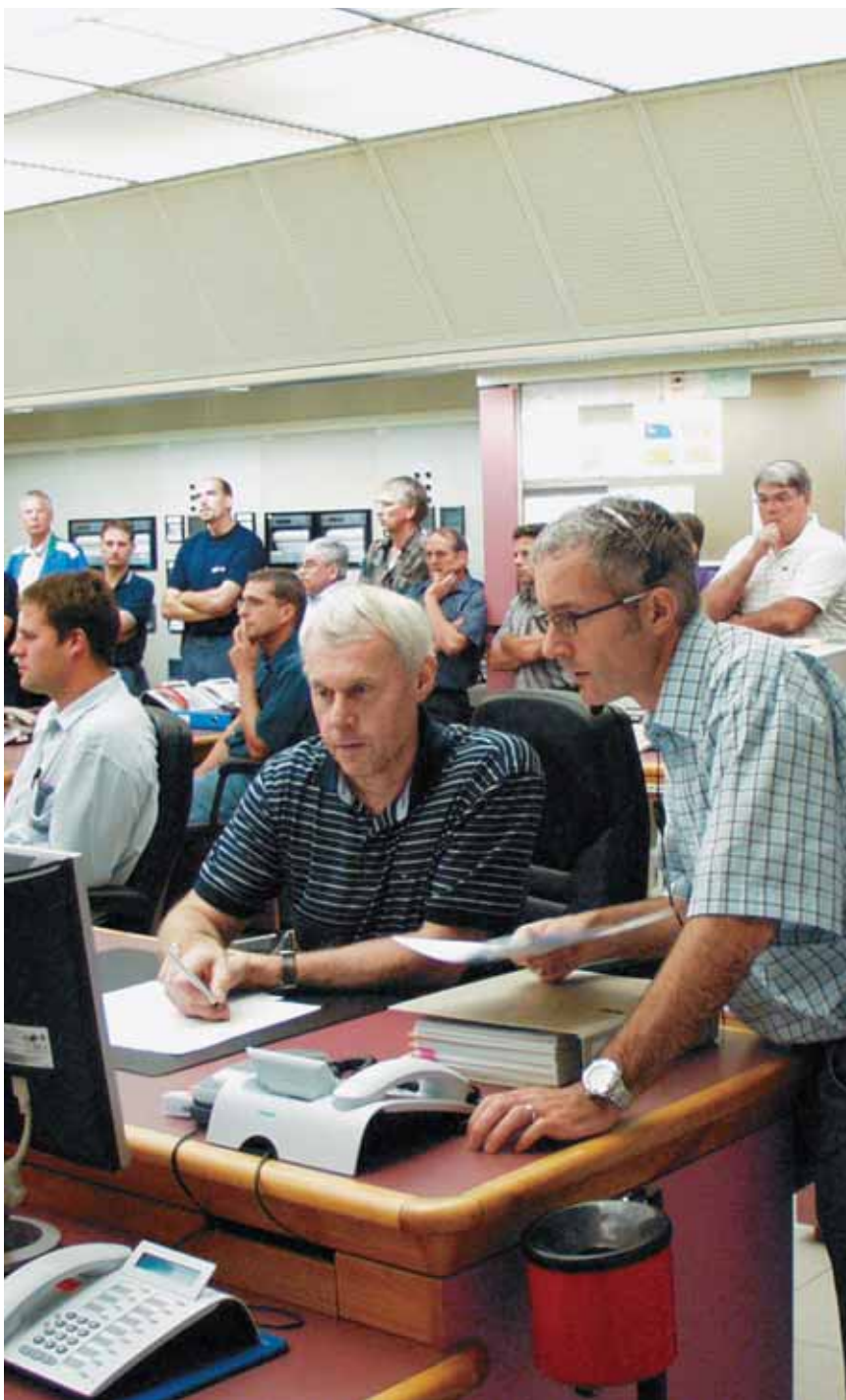
## 1.7 Personal und Organisation

### 1.7.1 Organisation und Betriebsführung

Die interne Organisation des KKB wurde im Berichtsjahr nicht verändert. Ende 2005 beschäftigte das KKB 504 Personen (2004: 499).

Im Berichtsjahr führte die HSK in allen Werken eine Schwerpunktsinspektion zum Thema «Fremdpersonal» durch. Fremdpersonal ist für spezielle Aufgaben während des Normalbetriebs und insbesondere während der Revisionsstillstände in sehr

Gespannte Gesichter beim so genannten Runback-Test.  
Foto: KKB



grosser Zahl in der Anlage tätig. Die HSK stellte fest, dass im KKB die Auswahl von Fremdfirmen wie auch die Einstellung, Schulung und Betreuung des Fremdpersonals gemäss einem bewährten und gut eingespielten Prozess erfolgt. Trotz der Überwachung durch das KKB ereignete sich ein unklassiertes Vorkommnis, bei welchem ein Mitarbeiter einer Fremdfirma von Vorgaben abwich und dadurch das Kabel der Stromversorgung einer Sicherheitseinspeisepumpe beschädigte.

Die Bearbeitung von Vorkommnissen aus der eigenen und aus fremden Anlagen ist ein wesentlicher Bestandteil des Lernens aus Betriebserfahrung. Diesem Thema war eine zweite Schwerpunktinspektion der HSK gewidmet. Das KKB hat etablierte Prozesse, um relevante Abweichungen zu erkennen, zu analysieren, zu bewerten und die erforderlichen Korrekturmassnahmen festzulegen und umzusetzen. Hierfür stehen genügend Ressourcen zur Verfügung. Zur Analyse von eigenen Vorkommnissen verwendet das KKB die SOL-Methode (Sicherheit durch Organisationales Lernen) und die dazu gehörende EDV-Anwendung. Neben den meldepflichtigen Vorkommnissen untersucht das KKB auch weitere Vorkommnisse, welche einen Bezug zur nuklearen Sicherheit haben oder für die Verfügbarkeit der Anlage von Bedeutung sind. Die in der HSK-Richtlinie R-15 festgelegten Meldepflichtkriterien für Ereignisse und Befunde lassen in Bezug auf die Abgrenzung zu nicht meldepflichtigen Ereignissen und Befunden einen Interpretationsspielraum zu. Das KKB setzt in der Praxis die Schwelle tief an und meldet der HSK auch kleine Abweichungen mit einem detaillierten Vorkommnisbericht.

### 1.7.2 Personal und Ausbildung

Im Berichtsjahr bestanden vier KKB-Mitarbeiter die Abschlussprüfung der kerntechnischen Grundlagenausbildung an der PSI-Technikerschule. Dies ist eine Voraussetzung für die spätere Lizenzierung als Reaktoroperateur. Ein weiterer Kandidat bestand die Prüfung in Kerntechnik an der Kraftwerksschule Essen, welche für Absolventen einer schweizerischen Technikerschule die notwendigen Ergänzungen zur kerntechnischen Grundlagenausbildung auf den Gebieten Reaktorphysik und Energietechnik bietet. Die HSK nahm an diesen Prüfungen teil und stimmte aufgrund der Leistungen der Kandidaten der Anerkennung dieses Ausbildungsteils zu. Ebenfalls unter Aufsicht und mit Zustimmung der HSK wurden ein Re-

aktoroperateur und ein Schichtchef lizenziert. Lizenzprüfungen bestehen aus einem umfangreichen mündlichen Teil, in welchem die Kandidaten ihre detaillierten theoretischen Kenntnisse der Anlage und Vorschriften nachweisen müssen, und aus einem praktischen Teil am Simulator. Die Ausbildung und Prüfung des lizenzierten Betriebspersonals richtet sich nach der HSK-Richtlinie R-27. Die Anzahl lizenzierten Personen ist in Tabelle 2 zusammengestellt.

Die HSK inspizierte die Ausbildung des Betriebspersonals und stellte fest, dass für die Aus- und Weiterbildung des Betriebspersonals den Anforderungen entsprechende Programme erstellt und umgesetzt wurden. Dabei wurde auch festgestellt, dass im KKB der Umfang der Wiederholungsschulung der Anlagenoperateure gross ist. Die Dauer des Simulatortrainings bei der Grundausbildung und der Wiederholungsschulung des lizenzierten Personals ist jedoch deutlich kürzer als bei den anderen Werken. Ein Grund dafür ist das Fehlen eines Grosssimulators im Werk. Das KKB führt das Simulatortraining im werkseigenen Kompaktsimulator und an einem Grosssimulator in den USA durch. Das KKB ist dabei, einen eigenen Grosssimulator auf dem Kraftwerksareal zu erstellen. Das Projekt verläuft nach Plan, so dass das Training am neuen Simulator voraussichtlich im Jahre 2007 aufgenommen werden kann. Die HSK stellte fest, dass die personellen Ressourcen im Instruktorenteam für die Ausbildung des KKB-Betriebspersonals knapp bemessen sind.

Eine zusätzliche Inspektion der HSK befasste sich mit den Präsenzvorschriften und der Personalplanung für das Schichtpersonal. Die HSK stellte fest, dass das KKB seine Planung weit vorausschauend betreibt und die lange Ausbildungsdauer des lizenzierten Personals berücksichtigt. Die von der HSK in den letzten Jahren festgestellte Reduktion des Schichtpersonalbestandes ist vorübergehender Natur. Der Schichtpersonalbestand wird in den nächsten Jahren wieder deutlich erhöht und auf einen Bedarf ausgerichtet, welcher der geplanten weiteren Betriebsdauer entspricht.

Das KKB führte auch im Berichtsjahr Massnahmen zur Weiterentwicklung der Sicherheitskultur durch. Die Division Kernenergie der NOK hat in Zusammenarbeit mit einem Unternehmen aus der Luftfahrt für das KKB und das KKL eine Reihe von Workshops zu Themen aus dem Bereich Sicherheitskultur durchgeführt. Im Jahr 2004 war das langjährige Programm SAFE zur Förderung des Sicherheitsbewusstseins überprüft worden. Die hie-

raus formulierten Massnahmen werden zurzeit zusammen mit den Massnahmen aus den erwähnten Sicherheitsworkshops konkretisiert und umgesetzt.

## 1.8 Erkenntnisse aus der Sicherheitsbewertung

Die HSK hat in ihrer Sicherheitsbewertung (vgl. Erläuterungen im Kapitel Übersicht) die in Inspektionen und bei der Vorkommisanalyse bewerteten Aspekte berücksichtigt. Die Mehrheit der Inspektionsbewertungen lag in den Kategorien gute Praxis und Normalität, aber bei einer Reihe von Bewertungen wurde ein Verbesserungsbedarf festgehalten. Die wichtigsten der betroffenen Punkte sind unter 1.1 bis 1.7 behandelt worden.

Im Block 1 des Kernkraftwerks Beznau wurden bezüglich des Schutzziels «Begrenzung der Strahlenexposition nach innen und nach aussen» keine Abweichungen festgestellt.

Bei der Beurteilung der gestaffelten Sicherheitsvorsorge bestand auf den Ebenen 1, 3 und 4 eine Abweichung. Im Bereich des Entlüftungsventils einer Ladepumpe trat aufgrund eines früheren Schweißfehlers ein Riss in einer Schweißnaht auf, der aber ohne Auswirkungen auf den Betrieb der Anlage repariert werden konnte. Weil diese Ladepumpe sowohl der Borierung des Reaktorwassers im Normalbetrieb als auch der Notborierung dient, betraf dieser Komponentenschaden drei Sicherheitsebenen. Eine zweite Abweichung lag auf den Ebenen 3 und 4 im Bereich der Betriebs-Vorgaben und betraf eine bei einer Inspektion festgestellte Diskrepanz zwischen den Anforderungen der Technischen Spezifikation an die Notstromversorgung durch das Wasserkraftwerk und der Betriebsvorschrift, welche diese Anforderungen konkretisiert.

In Bezug auf die Barrieren-Integrität identifizierte die HSK keine Abweichungen.

Im Block 2 kam es bezüglich des Schutzziels «Begrenzung der Strahlenexposition nach innen und nach aussen» zu keinen Abweichungen.

Bezüglich der gestaffelten Sicherheitsvorsorge wurden vier Abweichungen festgestellt: Eine Störung im Kondensatablauf eines Vorwärmers führte zu einer Reaktorschnellabschaltung. Diese Störung war eine Schwachstelle der Sicherheitsebene 1. Beim Bohren eines Schraubenloches während einer Änderung der Turbinenleittechnik beschädigte ein Mitarbeiter einer Fremdfirma das Kabel der Stromversorgung einer Sicherheitseinspeise-

pumpe. Der Fehler hatte Auswirkungen auf die Ebenen 1 und 3. Bei einer Schweißnaht an einer Druckspeichereinspeiseleitung wurde eine bewertungspflichtige Anzeige identifiziert. Da die betroffene Stelle sowohl für die Nachwärmeabfuhr bei abgestellter Anlage als auch für die Sicherheitseinspeisung von Bedeutung ist, hätte eine potenzielle Leckage eine Auswirkung auf die Ebenen 1 und 3 sowie die Integrität des Primärkreises. Eine Abweichung bestand im Ausfall einer Hilfsspeisewasserpumpe während eines Probelaufs. Diese Abweichung tangiert die Ebene 3.

## 1.9 Gesamtbeurteilung

Die nukleare Sicherheit des KKB war sowohl in Bezug auf die Auslegung als auch auf das Betriebsgeschehen gut. Im Jahr 2005 sind im Block 1 keine und im Block 2 zwei klassierte Vorkommnisse aufgetreten. Diese hatten eine geringe Bedeutung für die nukleare Sicherheit.

Durch verschiedene Anlagenänderungen, insbesondere durch die seismischen Anlagenertüchtigungen, wurde das hohe Sicherheitsniveau der Anlage weiter verbessert. Das Anlagenrisiko ist deutlich tiefer als die von der IAEA empfohlenen Richtwerte. Analog zum Block 1 (im Jahr 2004) wurden in diesem Jahr auch im Block 2 die Regelung, der Schutz, die Steuerung und die Überwachung der beiden Dampfturbogruppen durch ein modernes System ersetzt. Dies war ein wichtiger Schritt, um die Anlage auf dem aktuellen Stand der Technik zu halten. Hervorzuheben ist auch die Installation der Nanofiltrationsanlage. Mit dieser Nachrüstung wird die Aufbereitung der radioaktiven Abwässer beider Kraftwerksblöcke wesentlich verbessert.

Im Rahmen ihrer Aufsicht hat die HSK während des Betriebsjahres rund 80 Inspektionen durchgeführt, wovon etwa die Hälfte während des Revisionsstillstandes stattgefunden hat. Die Schwerpunkte der Inspektionen waren der Betrieb, der Strahlenschutz, die Prüfungen am Reaktordruckbehälter, die Wartungs- und Erneuerungsarbeiten sowie die Tests während der Inbetriebsetzungsphase der neuen Leittechnik der Dampfturbogruppen im Block 2. Die Ergebnisse der Inspektionen wurden dem Betreiber mitgeteilt. Er setzte die erforderlichen Verbesserungsmaßnahmen um.

Aus der Sicht des Strahlenschutzes wurden die Routinearbeiten und die Arbeiten im Rahmen der sicherheitstechnisch vorgeschriebenen Wiederho-



lungsprüfungen erfolgreich durchgeführt. Die Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung lagen deutlich unterhalb der behördlich festgelegten Grenzwerte. Damit ergab sich im Vergleich zur natürlich auftretenden Strahlenexposition eine nur unbedeutende zusätzliche Strahlendosis für die Bevölkerung.

Die HSK stellt insgesamt fest, dass in beiden Blöcken des KKB während des Jahres 2005 die bewilligten Betriebsbedingungen stets eingehalten wurden. Sie attestiert dem KKB eine hohe Betriebssicherheit.



Gesamtansicht  
des Kernkraftwerks  
Mühleberg.  
Foto: KKM

## 2. Kernkraftwerk Mühleberg

### 2.1 Betriebsdaten und Betriebsergebnisse

Das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) der BKW FMB Energie AG, welches seinen kommerziellen Betrieb im Jahr 1972 aufnahm, ist eine Siedewasserreaktoranlage mit 355 MW elektrischer Nettoleistung. Weitere Daten der Anlage sind in den Tabellen 1a und 1b des Anhangs dargestellt; Figur 9b zeigt das Funktionsschema einer Siedewasserreaktoranlage.

Das Kernkraftwerk Mühleberg erreichte im Jahr 2005 eine Arbeitsausnutzung von 90,9% und eine Zeitverfügbarkeit von 92,9%. Die Revisionsarbeiten mit dem Brennstoffwechsel dauerten 27 Tage und bestimmten wesentlich die Nichtverfügbarkeit der Anlage.

Am 9. Juni 2005 wurde die Leistung für eine Reparatur an der Niveaumessung eines Zwischenüberhitzers kurzzeitig reduziert. Da die Kühlwassertem-

peratur am Austritt des Kondensators bzw. am Eintritt in die Aare maximal 33 °C betragen darf, wurde zur Einhaltung der Vorgaben der kantonalen Gebrauchswasser Konzession die Anlagenleistung im Sommer 2005 an mehreren Tagen reduziert. Die Zeitverfügbarkeiten und die Arbeitsausnutzungen der letzten zehn Jahre sind in Figur 1 dargestellt.

Für die Heizung der Wohnsiedlung «Steinriesel» wurden 2,4 GWh thermische Energie geliefert. Im KKM erfolgte im Berichtsjahr keine ungeplante Reaktorschnellabschaltung.

### 2.2 Anlagensicherheit

#### 2.2.1 Vorkommnisse

Entsprechend der HSK-Richtlinie R-15, Berichterstattung über den Betrieb von Kernkraftwerken, wurde in diesem Betriebsjahr ein Vorkommnis der



Blick ins  
Maschinenhaus.  
Foto: KKM

Klasse B und auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 0 zugeordnet (Tabelle 4).

Nach dem Transport eines freigestellten Versandgutes einer an der Innenfläche leicht kontaminierten Abschirmung vom KKM zum KKL wurde bei der Ankunft im KKL eine erhöhte Dosisleistung an der Aussenfläche des Versandgutes gemessen. Das KKM mass vor dem Transport an der Aussenfläche eine maximale Dosisleistung von weniger als  $1 \mu\text{Sv}$  pro Stunde, weshalb es das Versandstück unter den Randbedingungen für freigestellte Versandstücke transportieren liess. Freigestellte Versandstücke dürfen an der Aussenfläche eine maximale Dosisleistung von  $5 \mu\text{Sv}$  pro Stunde aufweisen und verlangen vom Transporteur keine besonderen Strahlenschutzmassnahmen. Bei der Ankunft im KKL wurde auf einer kleinen Fläche eine Dosisleistung von 7 bis  $8 \mu\text{Sv}$  pro Stunde gemessen, was über dem für freigestellte Versandstücke geltenden Grenzwert liegt. Es wurde vermutet, dass die Grenzwertüberschreitung durch die während des Transportes erfolgte Mobilisierung eines schwach radioaktiven Teilchens innerhalb des verschlossenen Transportgutes verursacht wurde. Die Bedeutung für die Sicherheit des Personals und der Bevölkerung war sehr gering.

Die klassierten Vorkommnisse der letzten zehn Jahre sind in der Figur 2 dargestellt.

## 2.2.2 Arbeiten während des Stillstands zum Brennelementwechsel

Am 7. August 2005 wurde die Anlage zum Revisionsstillstand abgestellt, er dauerte 27 Tage. Während dieser Zeit wurden geplante Tätigkeiten wie Brennelementwechsel, Inspektionen elektrischer und mechanischer Einrichtungen, zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen, wiederkehrende Funktionsprüfungen an Komponenten und Systemen sowie Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten durchgeführt. Die Prüfungen der nuklearen Komponenten wurden durch die HSK und ihre Experten überwacht. Dabei wurden keine unzulässigen Befunde festgestellt. Die Revision endete mit dem Wiederanfahren der Anlage am 2. September 2005.

Folgende sicherheitsrelevante Arbeiten sind hervorzuheben:

- Im Revisionsstillstand 2005 wurden die Kernmantelschweissnähte mit einem Unterwasserkamerasystem und mittels mechanisierter Ultraschallprüfung untersucht. Die Messungen bestätigten die Ergebnisse früherer Jahre und zeigten keine Veränderung der Risswachstumsgeschwindigkeit. Die Risse sind bruchmechanisch gesehen zulässig, womit die Stabilität des Kernmantels nach wie vor gewährleistet ist. Die 1996 eingebauten Zuganker zur Sanierung des Kernmantels wurden planmässig inspiziert und befinden sich in einem guten Zustand.
- Die kombinierte Einspeisung von Wasserstoff und Edelmetallen (Pt und Rh) in den Reaktorwasserkreislauf hat bisher keinen Einfluss auf das Risswachstum gezeigt. Die im Labor gemessene Reduktion der Risswachstumsgeschwindigkeit hat sich in der Anlage bisher nicht bestätigt. Das Risswachstum an den horizontalen Schweissnähten des Kernmantels wird weiterhin systematisch beobachtet.
- Im Berichtsjahr konnten erstmalig die Schweissnähte der Kernabstützung im RDB unterhalb der Kerntagplatte systematisch visuell geprüft werden. Dazu wurden bei entladem Kern zwei Zellen in der Kerntagplatte geöffnet und so ein Zugang für ein Inspektions-U-Boot geschaffen. Der Zustand der geprüften Schweissnähte unterhalb der Kerntagplatte war einwandfrei. Der Bodenbereich war, soweit einsehbar, frei von Fremdkörpern.
- Bei den visuellen Prüfungen der übrigen Kerneinbauten wurden unter anderem Befunde aus früheren Revisionsabstellungen überprüft. Die

im letzten Jahr gefundenen Auffälligkeiten am Dampftrockner waren nicht mehr erkennbar. Die Befunde an Instrumentierungsleitungen der Jet-Pumpen und an den Ausströmlöchern der Speisewasserverteiler bestätigten die früheren Feststellungen und werden als unbedenklich eingestuft. An zwei Jet-Pumpen wurden vorsorglich Stabilisierungsklammern für die Instrumentierungsleitungen installiert. Weitere Auffälligkeiten wurden nicht festgestellt.

- Im Primärcontainment wurde die Wandstärke der Drywell-Schale an mehreren Stellen, insbesondere auch im Bereich der während der Revisionen durchfeuchteten Sandbettung (siehe dazu HSK-Jahresbericht 1997, Kapitel 2.2.3), mit Ultraschall gemessen. Es zeigten sich keine Anzeichen für signifikante Korrosionen.

Von den Prüfungen an elektrischen Ausrüstungen sind folgende erwähnenswert:

- Mit dem jährlichen Kapazitätstest von Notstrom-Batterien wurde deren einwandfreier Zustand nachgewiesen. Die Prüfungen der Leittechnik von Notstandseinrichtungen im SUSAN-Gebäude und des Reaktorschutzsystems verliefen ohne Beanstandungen. Bei mehreren Systemen wurden zudem Sensortests vorgenommen. Bei den durchgeführten Prüfungen wurden keine unzulässigen Abweichungen festgestellt. Ebenso ergaben die Kontrollen der Schutzrelais an den Transformatoren und die Kontrollen sämtlicher Gleich- und Wechselrichter der elektrischen Eigenbedarfsanlagen keine Befunde.
- Die Stillstandsarbeiten wurden unter Einhaltung einer hohen Qualität und unter Beachtung der Strahlenschutzvorgaben geplant und durchgeführt. Insgesamt haben die diesjährig durchgeführten Prüfungen den guten Zustand der mechanischen und elektrischen Einrichtungen gezeigt. Für alle Schweizer Kernkraftwerke geltende Aussagen zu zerstörungsfreien Prüfverfahren finden sich am Schluss des Abschnitts 1.2.2 im Kapitel zum KKB.

### 2.2.3 Anlagenänderungen

Folgende im Berichtsjahr durchgeführten und vorbereiteten Anlageänderungen sind erwähnenswert:

- In der Jahresrevision 2005 verlangte die HSK, dass die schadhafte Wärmeschutzhülse des RDB-Stutzens N9 zu entfernen und die Steuerstabantrieb (CRD)-Rückföhrleitung mit einer Kappe zu verschliessen ist (vgl. auch Aufsichtsbericht 2004): In der Wärmeschutzhülse und an der Frontplatte waren Umfangs- und Radialrisse so-

wie Axialrisse im Safe-End-Bereich aufgetreten. Die Risse waren durch thermische Ermüdung entstanden. Um ein weiteres Risswachstum zu verhindern, war bereits 2004 eine Systemmodifikation vorgenommen worden, wobei das bis dahin durch die CRD-Rückföhrleitung strömende kalte Wasser neu über im Moment nicht gefahrene Steuerstabantriebe in den RDB geleitet wird. Bei der geplanten Entfernung der Wärmeschutzhülse in der Jahresrevision 2005 mit einem mechanischen Schneidsystem kam es zu Schwierigkeiten. Wegen einer leichten Deformation des Wärmeschutzrohres war die Zugänglichkeit einer Schneidposition erschwert. Zunächst wurde nur die beschädigte Frontplatte abgetrennt, um später ein modifiziertes Verfahren zu entwickeln, das ein sicheres Entfernen der restlichen Wärmeschutzhülse im Revisionsstillstand 2006 gewährleisten soll. Dieses Vorgehen wurde vom Reaktorhersteller sicherheitstechnisch umfassend bewertet. Dieser zeigte, dass das Risiko hinsichtlich Risswachstum im Safe-End-Bereich, strömungsinduzierter Vibration, Kaltverformung und eventueller Abtrennung von losen Teilen an der Schnittkante durch den noch im N9-Stutzen verbleibenden Teil der Wärmeschutzhülse äusserst gering ist. Zudem zeigte das KKM durch Temperaturmessungen am Safe-End-Bereich, dass durch die Systemkonfiguration und Ausserbetriebnahme der CRD-Rückföhrleitung keine zyklische Temperaturbelastung am verbleibenden Teil der Wärmeschutzhülse mehr auftritt. Somit ist ein weiteres Risswachstum im Safe-End-Bereich des N9-Stutzens nicht mehr zu erwarten. Die HSK betrachtet die während der Revision 2005 durchgeführte Teilsanierung des Stutzens als vorläufige Reparatur und zeitlich befristete Massnahme. Die vollständige Entfernung der schadhaften Wärmeschutzhülse aus dem N9-Stutzen sowie der Verschluss der Leitung mit einer Kappe werden während der Jahresrevision 2006 durchgeführt.

- Die beiden Niederdruckturbinen wurden einer Totalrevision unterzogen. Dabei wurden auch umfangreiche Rissprüfungen an Schaufeln und Rotoren durchgeführt. Die Prüfungen zeigten einen guten Zustand beider Turbinenanlagen.
- Nachdem in der Revision 2004 bereits der Hochdruck-Vorwärmer der Turbogruppe A ausgetauscht wurde, konnte dieser Schritt nun auch für die Turbogruppe B vollzogen werden. Mit der erfolgreichen Umrüstung wird eine weitere Verbesserung des Anlagenwirkungsgrades und aufgrund der eingesetzten kobaltarmen Materialien

auch eine weitere Reduktion der Dosisleistung erwartet.

Im Bereich der elektrischen Ausrüstungen sind folgende Änderungen erwähnenswert:

- Die Leittechnik der Kreislauf-Strahlungsüberwachung wurde vollständig ersetzt, wobei die Messstellen nun fernbedient und automatisch prüfbar sind. Die bisher zweikanalige Messung der Ortsdosisleistung am Abluftkanal wurde auf vier Kanäle erweitert.
- An den Vordruckreglern der Turbogruppen A und B wurde die Funktionsweise des Vakuumbegrenzers verbessert.
- Der bisherige Druckluft-Generator-Lastschalter A2 wurde durch einen modernen SF<sub>6</sub>-Schalter ersetzt.
- Der Generator der Turbogruppe A wurde einer Totalrevision unterzogen. Das KKM baute den Rotor aus und führte Diagnosemessungen und eine partielle Neuverkeilung der Statornuten durch.
- Der Blocktransformator B wurde durch die Reserveeinheit ersetzt. Weitere Transformatoren der Eigenbedarfsanlage wurden revidiert.

#### 2.2.4 Brennelemente und Steuerstäbe

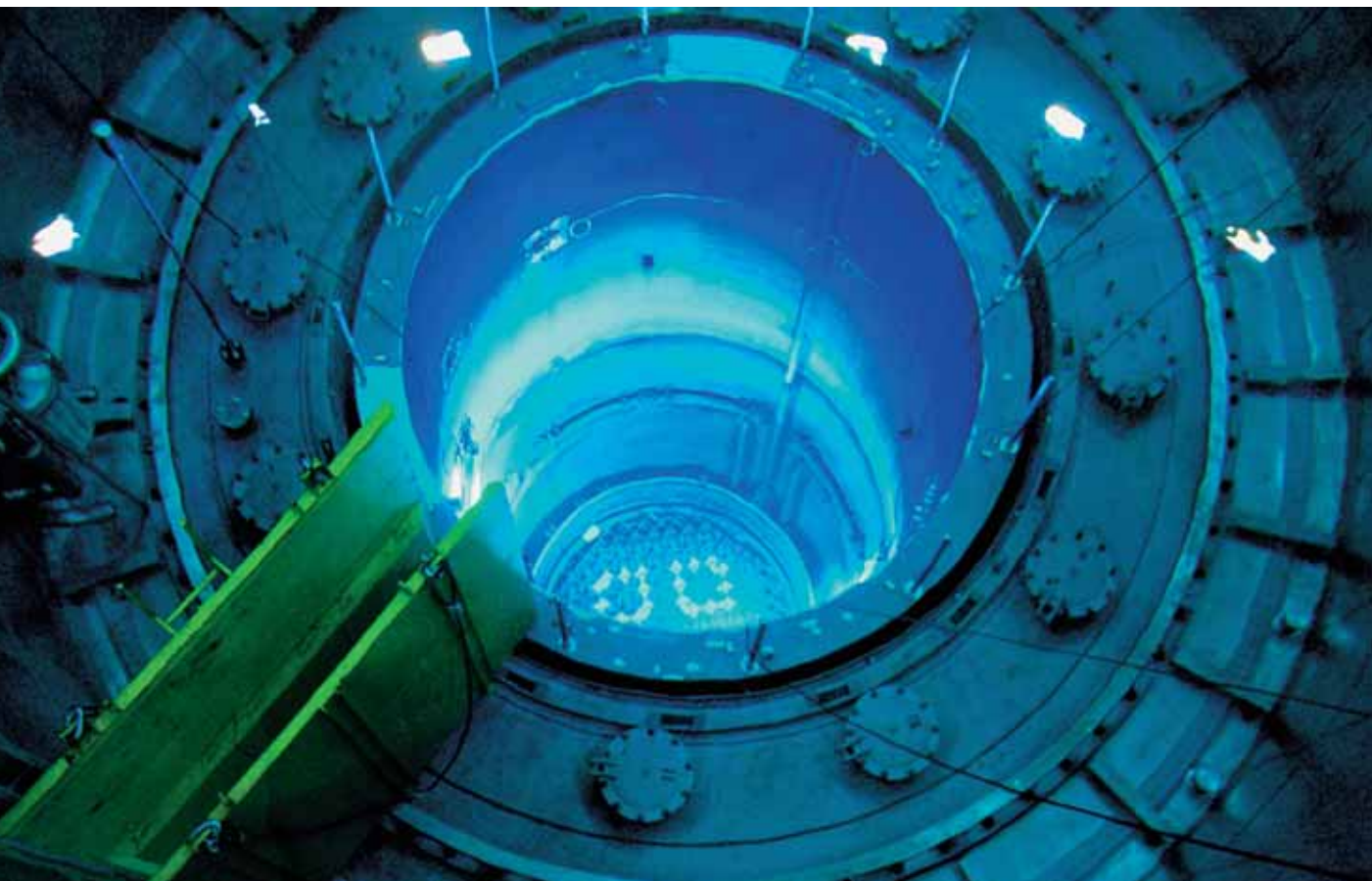
Geringe Aktivitätskonzentrationen im Reaktorwasser und im Abgas aus den Turbinenkondensa-

toren lassen den Schluss zu, dass im Berichtsjahr 2005 keine Brennstab-Hüllrohrdefekte aufgetreten sind. Für den 33. Zyklus (2005/06) wurden von den 240 Brennelementen des Kerns 40 durch neue Brennelemente (4 Vorläufer GNF2 und 36 GE14) mit einer 10×10-Brennstabanordnung ersetzt. Die HSK hat sich anhand von Protokollen davon überzeugt, dass die neuen Brennelemente den Qualitätsanforderungen für einen sicheren Betrieb entsprechen. Um das Betriebsverhalten der Brennelemente bei höherem Abbrand und den möglichen Einfluss der Edelmetallzugabe zum Reaktorwasser auf die Brennelemente zu prüfen, wurden im Revisionsstillstand acht Brennelemente mit unterschiedlichen Einsatzzeiten mit einer Unterwasserkamera inspiziert. An vier dieser Brennelemente wurden Oxiddickenmessungen vorgenommen. Alle inspizierten Brennelemente waren in einem guten Zustand.

Während des Revisionsstillstandes wurde ein Steuerstab ausgewechselt. Die im Zyklus 32 gemessenen Borkonzentrationen im Reaktorwasser bestätigen den guten Zustand der Absorberröhrchen in den Steuerstäben.

Bei einer Routineüberprüfung der Brennstoffhüllrohre wurde bei den Vorbereitungen zum Heraus-

Am geöffneten  
Reaktordruckbehälter.  
Foto: KKM



ziehen einzelner Brennstäbe aus einem Brennelement ein Tragstab am oberen Gewindeende so verbogen, dass das Brennelement nicht wieder in den Reaktorkern eingesetzt werden konnte. Der betroffene Brennstab blieb intakt, und der sichere Einschluss der radioaktiven Stoffe war gewährleistet. Der Lieferant hat beschlossen, den entsprechenden Mitarbeiter zu schulen.

Bei einer HSK-Inspektion zur rechnergestützten Kernüberwachung wurde eine wiederholte Abweichung vom erwarteten Verhalten bei der Auswertung von Messwerten festgestellt. Das KKM hat auf Verlangen der HSK den Sachverhalt abgeklärt, die Sicherheit des Kerns ist nicht betroffen. Die Argumente waren für die HSK nachvollziehbar und wurden akzeptiert.

### 2.2.5 Periodische Sicherheitsüberprüfung

In der HSK-Stellungnahme vom Dezember 2002 zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) wurden Verbesserungsmaßnahmen in verschiedenen Bereichen gefordert. Die Forderungen wurden durch das KKM bis zum Jahresende 2005 weitgehend erfüllt.

Der Stand der Massnahmen wird nachfolgend dargelegt:

- Im Bereich der Bautechnik konnten die Erdbebensicherung der Steuerstabantriebswerkstatt, die bauliche Sicherstellung der im Brandschutzkonzept definierten Brandabschnitte und das KKM-Befestigungskonzept abgeschlossen werden.
- Im Bereich der Elektrotechnik war zum Zeitpunkt der PSÜ die sicherheitsrelevante Leittechnik bereits weitgehend ersetzt und mehrere Modernisierungsprojekte beschlossen. Es wurden daher keine Verbesserungsmaßnahmen verlangt.
- Im Bereich der Maschinenteknik konnten die Massnahmen im Zusammenhang mit dem Alterungsüberwachungsprogramm (AÜP-M) abgeschlossen werden. Zur weiteren Verspödungsüberwachung des RDB wurde ein Konzept erarbeitet und mit der HSK abgestimmt. Die Aufzeichnung von Transienten zur Ermüdungsüberwachung von Rohrleitungen im Primärkreis erfolgt kontinuierlich und wird periodisch ausgewertet. Für das Primärcontainment wurde ein Wanddickenmessprogramm implementiert.
- Im Bereich der zerstörungsfreien Prüfungen wurde die Prüfbarkeit der Abstützkonstruktion des Kernmantels untersucht, die Einteilung der Komponenten in die Kategorien 2.1 und 2.2 ge-

mäss SVTI-Festlegung NE-14 sowie die zum Revisionsstillstand 2005 geplante Qualifizierung von Prüfsystemen abgeschlossen.

- Im Bereich der Raumluft-Überwachung ist der Ersatz von acht Aerosolmonitoren abgeschlossen worden. Deren einwandfreie Funktionieren konnte experimentell nachgewiesen werden. Die Ortsdosisleistungsmonitore im Maschinenhaus wurden gegen Umgebungseinflüsse unter Störfallbedingungen geschützt. Dadurch wurde auch der Nachweis zum geforderten Messbereich erbracht. Das Konzept für die temporäre Verbesserung der sanitären Einrichtungen in den Garderoben wurde verabschiedet. Zur Einhaltung der Vorgaben des Art. 59 StSV wurden die Abschirmungen im Maschinenhaus verbessert. Die Messungen von Kohlenstoff-14 und von Tritium in der Kaminfortluft werden weitergeführt.
- Im Bereich der Probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) wurden die Forderungen zu den Themen SAMG (vgl. Kap. 1.6), z. B. anlageninterner Brand, externe Überflutung und Extremwinde, erfüllt. Die restlichen, noch offenen Forderungen hat das KKM im Rahmen einer grundlegenden Überarbeitung der PSA behandelt. Die vollständig neu überarbeitete PSA ist Bestandteil der von der HSK zu prüfenden Dokumentation zur PSÜ 2005.

## 2.3 Strahlenschutz

Im Kalenderjahr belief sich die Kollektivdosis im KKM auf 1411 Pers.-mSv. Die höchste im KKM registrierte Individualdosis betrug 16,9 mSv. Der Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr wurde somit nicht überschritten. Der vergleichsweise hohe Wert ist die Folge von Dekontaminationsarbeiten nach der Konditionierung von Brennelementkästen. Es traten weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen auf. Die Arbeiten während des Revisionsstillstandes führten zu einer Kollektivdosis von 871 Pers.-mSv. Der Planungswert von 880 Pers.-mSv wurde somit eingehalten. Der radiologische Zustand der Anlage war aufgrund der schadenfreien Brennelemente sowie der frühzeitigen Abschaltung der Wasserstoff-Einspeisung vor dem Abfahren des Reaktors zum Revisionsstillstand gut. Die Schutz- und Überwachungsmaßnahmen bei den strahlen-

schutzrelevanten Arbeiten, insbesondere während der Revision, sowie die hierfür notwendigen personellen, organisatorischen und technischen Mittel waren genügend. Bezüglich des Zugangs zur kontrollierten Zone hat die HSK das KKM auf Mängel aufmerksam gemacht. Erwähnenswert sind innovative Optimierungsmassnahmen, wie z. B. der speziell konstruierte Sauger zur Dekontamination des Drywellsumpfes, der die Arbeiten erleichtert. Die Kontrollen der Luft und der Oberflächen in der kontrollierten Zone gaben keine Hinweise auf unzulässige Kontaminationen. Die HSK überprüfte in mehreren Inspektionen den Strahlenschutz im KKM. Dieser entsprach im Wesentlichen den Vorgaben, doch kritisierte die HSK den Umgang mit einigen betriebsinternen Strahlenschutzvorschriften und Checklisten. Bei einer unangemeldeten Inspektion fand die HSK in der kontrollierten Zone eine gute radiologische Situation vor, bemängelte aber die Infrastruktur in der Damen- und Besuchergarderobe.

Die Inspektion des Nachunfall-Probenahme-Systems PASS zeigte, dass das System einwandfrei funktioniert. Es wurden jedoch Verbesserungsmöglichkeiten in den Bereichen Instandhaltung, Prozessablauf, Schutz des Personals, Dokumentation und Verfügbarkeit von ausgebildetem Personal aufgezeigt.

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 inkl. Tritium. Die quartalsweise von der HSK durchgeführten Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern ergaben Übereinstimmung mit den vom KKM gemeldeten Analyseergebnissen.

Aus den tatsächlich über die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnet die HSK die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKM unter konservativen, d. h. ungünstigen Annahmen. Die berechneten Dosen betragen 0,0052 mSv für Erwachsene und 0,0050 mSv für Kleinkinder und liegen somit deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv/Jahr gemäss HSK-Richtlinie R-11.

Die Dosisleistungs-Messsonden des von der HSK betriebenen Messnetzes (MADUK) in der Umgebung des Werkes ergaben keine durch den Betrieb der Anlage erhöhten Werte. Im Nahbereich eines Siedewasserreaktors ist die Ortsdosisleistung durch Direkt-

und Streustrahlung aus dem Maschinenhaus erhöht. Die Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD), die an mehreren Stellen am Zaun des Kraftwerkareals die Dosis messen, zeigten mit einem Jahreshöchstwert von 1,8 mSv keine signifikante Veränderung gegenüber dem Vorjahr (Jahreshöchstwert 2004: 2,4 mSv inkl. natürlicher Untergrundstrahlung). Bei den quartalsweise von der HSK zur Kontrolle durchgeführten Messungen an der Umzäunung des KKM wurden ebenfalls keine signifikanten Veränderungen festgestellt. Die in Art. 102 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung vorgegebenen Immissionsgrenzwerte für Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerkareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche wurden eingehalten.

Für detailliertere Angaben wird auf den Strahlenschutzbericht 2005 der HSK verwiesen.

## 2.4 Radioaktive Abfälle

Radioaktive Rohabfälle fallen im KKM regelmässig aus den Wasserreinigungssystemen, der Abgas- und Fortluftreinigung an. Zudem sind auch verbrauchte Brennelementkästen radioaktive Rohabfälle. Weitere Abfälle stammen vom Austausch von Komponenten bei Instandhaltungs-, Umbau- oder Nachrüstmassnahmen und den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien. Der Anfall an radioaktiven Rohabfällen (vgl. Tabelle 8) war im Berichtsjahr ähnlich wie im Jahr 2004 und bewegt sich im internationalen Vergleich mit anderen Anlagen ähnlichen Typs und Baujahres 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. Deren Bestand ist gering und praktisch unverändert. Die für die Verarbeitung im Plasmaofen der ZWILAG bereitgestellten brenn- und schmelzbaren Rohabfälle wurden dorthin transportiert.

Als Konditionierungsverfahren kommt im KKM ausschliesslich die Zementierung zum Einsatz. Für alle aktuell angewendeten Verfahren liegen die gemäss Kernenergieverordnung und Richtlinie HSK-R-14 erforderlichen Typengenehmigungen der HSK vor. Im Betriebsjahr wurden im KKM mehrmals ausgediente Harze mit der Verfestigungsanlage CVRS konditioniert. Weiterhin wurden Brenn-

elementkästen, Filterkerzen und geringe Mengen sonstiger Kerneinbauten verarbeitet.

Die konditionierten Abfallgebinde werden routinemässig im werkseigenen Zwischenlager eingelagert. Das KKM plant für 2006 die Überführung von rund 1200 konditionierten Abfallgebänden aus seinem internen Abfalllager in das MAA-Lager der ZWILAG. Die HSK hat im Berichtsjahr die Voraussetzungen für die Lagerung dieser Abfallgebinde im MAA-Lager der ZWILAG überprüft und das Einlagern freigegeben. Alle Abfälle 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 kontrollierten Zonen. Im KKM wurden im Jahr 2005 rund 76 t Material gemäss den Vorgaben der HSK-Richtlinie R-13 freigemessen. Neben 7,4 t Beton und wenig Isolationsmaterial handelte es sich hierbei überwiegend um Metallschrotte.

## 2.5 Notfallbereitschaft

Die Notfallorganisation KKM ist für die Bewältigung aller Notfälle innerhalb des Werkareals zuständig. Mit einer zweckmässigen Führungsorganisation, geeigneten Führungsprozessen und angepassten Führungseinrichtungen zusammen mit einer entsprechenden Auslegung der Anlage hat das Werk die Notfallbereitschaft auf hohem Niveau sicherzustellen.

Die HSK hat im Oktober an der Werksnotfallübung «GAMMA» die Notfallorganisation beobachtet und beurteilt. Im Zentrum des Übungsszenarios stand ein grosser Brennstoffschaden mit entsprechenden radiologischen Folgen. Die HSK kam zum Schluss, dass die Übungsziele erreicht worden sind.

Im November löste die HSK im KKM ohne Voranmeldung einen Übungsalarm aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Notfallstabes überprüft wurde. Das KKM erreichte das Übungsziel.

Bei einer Inspektion der Notfalldokumentation waren die Dokumente aktuell und entsprachen mit einer Ausnahme den Anforderungen. Die Vorgaben zur Alarmierung der Bevölkerung in Störfällen mit Aktivitätsfreisetzung wurden nicht korrekt an die geänderten gesetzlichen Vorgaben angepasst, so dass es zu Verzögerungen bei der Alarmierung der Bevölkerung hätte kommen können.

## 2.6 Probabilistische Sicherheitsanalyse und Accident Management

Mit der Probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) wird das Restrisiko, dass ein schwerer Unfall in einem Kernkraftwerk auftritt, berechnet (vgl. Kap. 1.6). Im Jahr 2005 wurden in den Bereichen PSA und Accident Management im Wesentlichen folgende Arbeiten durchgeführt:

- Das KKM arbeitete an der grundlegenden Revision der PSA. Im Vordergrund stand dabei die Berücksichtigung der HSK-Stellungnahme vom Dezember 2002 zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung. Die Erkenntnisse aus der PSA wurden auch zur weiteren Verbesserung der Anlagensicherheit genutzt. So wurden weitere Komponenten und Mauerwerkswände seismisch ertüchtigt, und auf dem Maschinenhaus wurden Notüberläufe als zusätzliche Redundanz zur Verhinderung unzulässiger Dachwasserlasten angebracht. Mit Hilfe von Inspektionen und Fachsitzungen überprüfte die HSK die PSA-Arbeiten des KKM laufend.
- Im Jahr 2005 reichte das KKM eine probabilistische Ereignisanalyse (vgl. Kap. 1.6) für die Jahre 2003 und 2004 ein. Die dabei ermittelte bedeutendste Risikospitze war auf eine kurzzeitige Unverfügbarkeit des Kernisolationskühlsystems im Jahr 2004 zurückzuführen. Erwartungsgemäss wurden keine extremen Risikospitzen identifiziert, und das akkumulierte Risiko blieb gering.
- Nachdem das KKM im Jahr 2004 ein vollständiges SAMG-Programm (vgl. Kap. 1.6) für den Leistungsbetrieb fertig gestellt und im Rahmen einer Notfallübung die Anwendbarkeit und Zweckmässigkeit der neuen Entscheidungshilfen demonstriert hatte, folgte im Jahr 2005 die detaillierte Überprüfung der SAMG durch die HSK. Dabei wurden z.B. bei der Strategiewahl im Falle fehlender Messdaten Verbesserungsmöglichkeiten identifiziert, die bei der nächsten Aufdatierung der KKM-SAMG implementiert werden sollen.
- Bei einem Störfall im KKM werden der HSK alle zwei Minuten 16 relevante Anlagenparameter via eigenes Übermittlungsnetz zugestellt und bei der HSK mit dem Störfallanalyseprogramm ADAM (vgl. Kap. 1.6) verarbeitet. Im Jahr 2005 wurde die ADAM-Datenerfassung konzeptuell verbessert und im Rahmen verschiedener Werksaufschaltungen getestet. ADAM konnte dabei seine hohe Zuverlässigkeit unter Beweis stellen.



Die letzte detaillierte Überprüfung der PSA-Studie des Kernkraftwerks Mühleberg durch die HSK erfolgte im Jahr 2002 im Rahmen der Bewertung der vom KKM eingereichten Periodischen Sicherheitsüberprüfung. Bei dieser Überprüfung, bei welcher die HSK auch ihr eigenes werkspezifisches PSA-Modell einsetzte, konnte dem KKM ein internationaler Vergleich hohes Sicherheitsniveau bescheinigt werden. Das Risiko des KKM ist deutlich tiefer als die von der IAEA empfohlenen Richtwerte. Durch die inzwischen beim KKM realisierten Nachrüstungen und eingeführten SAMG wurde das Risiko weiter gesenkt.

## 2.7 Personal und Organisation

### 2.7.1 Organisation und Betriebsführung

Im KKM sind im Berichtsjahr keine organisatorischen Veränderungen vorgenommen worden. Ende 2005 umfasste die Belegschaft 303 Personen (2004: 302). Die HSK führte im Jahr 2005 in allen schweizerischen Kernkraftwerken eine Schwerpunkts-Inspektion zum Thema «Fremdpersonal» durch. Das KKM hat den Umgang mit Fremdfirmen zweckmässig im Managementsystem festgelegt und hält diese Vorgaben ein. Das Werk arbeitet mit Fremdfirmen langfristig zusammen und versucht damit, eine möglichst hohe Kontinuität der angebotenen Leistungen und Qualität zu erhalten. Dazu wird die Nachfolgefrage bei einzelnen Personen mit den Fremdfirmen besprochen.

Eine zweite Schwerpunkts-Inspektion war dem Thema «Vorkommnisbearbeitung» gewidmet. Das Lernen aus Betriebserfahrung bildet eine wichtige Grundlage für die Verbesserung der Sicherheit. Zur Betriebserfahrung gehören auch Betriebsstörungen in der eigenen und in fremden Anlagen. Das KKM hat die Vorgehensweise zur internen Meldung und Analyse von Vorkommnissen wie auch für das Herleiten und das Umsetzen von Verbesserungsmaßnahmen in einem internen Prozess beschrieben. Die personellen Ressourcen, welche hierfür zur Verfügung stehen, sind geringer als in anderen Werken. Die Auswertung der Vorkommnisursachen erfolgt technikzentriert. Menschliche Faktoren finden bisher wenig Beachtung. Die in der HSK-Richtlinie R-15 festgelegten Meldepflichtkriterien für Ereignisse und Befunde lassen in Bezug auf die Abgrenzung zu nicht meldepflichtigen Ereignissen und Befunden einen Interpretationsspielraum zu. Das KKM setzt in der Praxis die Schwelle eher hoch an und meldet der HSK kleine

Abweichungen nicht mit einem detaillierten Vorkommnisbericht, sondern im Monatsbericht.

### 2.7.2 Personal und Ausbildung

Im Berichtsjahr wurden zwei Reaktoroperateur und ein Schichtchef unter Aufsicht der HSK geprüft und lizenziert. Ein Kandidat absolvierte an der Fachhochschule Ulm eine kerntechnische Grundausbildung. Die HSK nahm an der Abschlussprüfung teil und stimmte aufgrund der Leistung des Kandidaten der Anerkennung dieses Ausbildungsteils zu. Die Anzahl lizenzierter Personen ist in Tabelle 2 zusammengestellt. Die Ausbildung des Betriebspersonals wurde von der HSK inspiert. Das KKM verwendet in der Ausbildung eine Darstellung der Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Störfallbedingungen, die es in einem Störfall erlauben, den Blick auf das für die Sicherheit Wesentliche zu konzentrieren. Vorkommnisse in der eigenen und in fremden Anlagen, wie auch Änderungen an der Anlage und an Vorschriften fliessen routinemässig in die Ausbildungsprogramme ein.

Das KKM führt Schulungen der Belegschaft zum Thema Sicherheitskultur in einem zweijährigen Turnus durch. Dabei arbeitet es regelmässig mit externen Organisationen, beispielsweise mit der Professur für Arbeitspsychologie der Universität Bern zusammen. In den einzelnen Abteilungen wird diskutiert, was die in diesen Kursen vermittelten Erkenntnisse für die eigene Arbeitssituation bedeuten. Sicherheitskultur ist ein Thema im Einführungskurs für neue Mitarbeitende und wird regelmässig in Gremien und Sitzungen innerhalb des KKM behandelt. Ein wichtiger und seit längerem etablierter Bestandteil der sicherheitskulturbezogenen Aktivitäten des KKM stellt das STAR (Stop Think Act Review)-Programm dar, welches eine Grundlage für die tägliche Arbeit bildet.

## 2.8 Erkenntnisse aus der Sicherheitsbewertung

Die HSK hat in ihrer Sicherheitsbewertung (vgl. Erläuterungen im Kapitel Übersicht) die in Inspektionen und bei der Vorkommnisanalyse bewerteten Aspekte berücksichtigt. Die Mehrheit der Inspektionsbewertungen lag in den Kategorien gute Praxis und Normalität. Es wurde zudem bei einer Reihe von Bewertungen ein Verbesserungsbedarf festgehalten. Die wichtigsten der betroffenen Punkte sind unter 2.1 bis 2.7 behandelt worden.

Im Kernkraftwerk Mühleberg wurden bezüglich des Schutzziels «Begrenzung der Strahlenexposition nach innen und nach aussen» keine Abweichungen festgestellt.

Bei der Beurteilung der gestaffelten Sicherheitsvorsorge stellte die HSK keine Abweichungen fest.

Auch in Bezug auf die Barrieren-Integrität identifizierte die HSK keine Abweichungen.

## 2.9 Gesamtbeurteilung

Die nukleare Sicherheit des KKM war sowohl in Bezug auf die Auslegung als auch auf das Betriebsgeschehen gut. Bei einem Transport aus dem KKM ist im Jahr 2005 ein klassiertes Vorkommnis aufgetreten.

Die Kontrollen der Schweissnähte am Kernmantel und an den Zugankern haben gezeigt, dass durch die vorhandenen Risse keine Einschränkung für einen weiteren sicheren Betrieb besteht.

Im Rahmen ihrer Aufsicht hat die HSK während des Betriebsjahres rund 50 Inspektionen durchgeführt, wovon etwa die Hälfte während des Revisionsstillstandes stattgefunden hat. Die Schwerpunkte der Inspektionen waren der Betrieb, der Strahlenschutz und die Wiederholungsprüfungen. Die Ergebnisse der Inspektionen wurden dem Betreiber mitgeteilt. Er setzte die erforderlichen Verbesserungsmaßnahmen um.

Der Strahlenschutz entsprach im Wesentlichen den Vorgaben. Die Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung lagen deutlich unterhalb der behördlich festgelegten Grenzwerte. Damit ergab sich im Vergleich zur natürlich auftretenden Strahlenexposition nur eine unbedeutende Strahlendosis für die Bevölkerung.

Die HSK stellt insgesamt fest, dass im KKM während des Jahres 2005 die bewilligten Betriebsbedingungen stets eingehalten wurden. Sie attestiert dem KKM eine hohe Betriebssicherheit.

Im Kommandoraum des  
KKW Mühleberg.  
Foto: KKM







Neue Kühlelemente werden in den Kühlturm von Gösgen eingebaut.  
Foto: KKG

## 3. Kernkraftwerk Gösgen

### 3.1 Betriebsdaten und Betriebsergebnisse

Das Kernkraftwerk Gösgen (KKG) ist eine Drei-Loop-Druckwasserreaktoranlage mit 970 MW elektrischer Nettoleistung. Es nahm den Betrieb im Jahre 1979 auf. Weitere technische Daten sind in den Tabellen 1a und 1b des Anhangs zusammengestellt; Figur 9a zeigt das Funktionsschema einer Druckwasserreaktoranlage.

Das KKG erreichte im Betriebsjahr 2005 eine Arbeitsausnutzung von 89,5% und eine Zeitverfügbarkeit von 88,5%. Der geplante Revisionsstillstand dauerte 41,5 Tage. Dieser aussergewöhnlich lange Revisionsstillstand war für den planmässig abgewickelten Austausch der Primärsicherheitsventile erforderlich. Die Nichtverfügbarkeit der Anlage war zum grössten Teil durch

den Revisionsstillstand bedingt. Im Berichtsjahr lieferte die Anlage 141,8 GWh Prozesswärme für die Versorgung der nahe gelegenen Kartonfabrik.

Am 4. Juli 2005 wurde die Generatorleistung infolge eines Fehlsignals aus der Sollwertführung des Turbinenreglers automatisch abgesenkt. Dadurch erfolgte ein sekundärseitiger Druckanstieg, wobei ein Sicherheitsventil im nichtnuklearen Teil der Anlage bei zu tiefem Druck ansprach und nichtradioaktiver Dampf ins Maschinenhaus austrat. Durch Abschalten der Turbine von Hand wurde der Dampfaustritt gestoppt. Nach der Revision des betroffenen Sicherheitsventils konnte die Anlage am 5. Juli 2005 wieder auf Volllast gefahren werden. Die nukleare Sicherheit der Anlage war dabei nicht unzulässig reduziert.

Zur Behebung der in Kap. 3.3 erwähnten Leckage an einem Messumformer mussten am 12. Okto-

ber 2005 drei Messumformer abgesperrt werden. Infolge des fehlenden Primärdrucksignals eines dieser Umformer wurde die Leistung auslegungsgemäss automatisch reduziert. Nach Abschluss der Reparatur erreichte die Anlage nach rund zwei Stunden wieder die volle Leistung. Die nukleare Sicherheit wurde nicht unzulässig beeinträchtigt. Bei der Normalisierung des Anlagezustands nach einer Reaktorschutzprüfung wurde am 9. November 2005 irrtümlicherweise eine Hauptkühlwasserpumpe abgeschaltet. Damit reduzierte sich die Kühlwasserversorgung auf die Hälfte des Normalwertes. Auslegungsgemäss erfolgte eine automatische Reduktion der Leistung. Nachdem die Pumpe wieder eingeschaltet worden war, erreichte die Anlage nach gut einer Stunde wieder die volle Leistung. Die nukleare Sicherheit der Anlage war nicht unzulässig reduziert. Die Zeitverfügbarkeiten und die Arbeitsausnutzungen der letzten zehn Jahre sind in Figur 1 dargestellt. Das Jahr 2005 war das fünfzehnte Jahr in Serie ohne ungeplante Reaktorschneidabschaltung, was im internationalen Vergleich eine herausragende Zeitspanne bedeutet.

## 3.2 Anlagensicherheit

### 3.2.1 Besondere Vorkommnisse

Im Berichtsjahr waren fünf Vorkommnisse zu verzeichnen, welche von der HSK gemäss Richtlinie R-15 der Klasse B zugeordnet wurden. Auf der internationalen Ereignisskala INES (siehe Anhang, Tabelle 4) wurden alle Vorkommnisse der Stufe 0 zugeordnet.

Während einer Funktionsprüfung kam es zu einem unbeabsichtigten Öffnen des Transformatorschalters, über den eine der vier 6-kV-Notstromschienen im Normalfall vom Netz gespeist wird. Der Prüfer hatte nicht berücksichtigt, dass ein von ihm durchgeführter Prüfschritt auch zum Öffnen des Transformatorschalters führt. Da gleichzeitig derjenige Notstromdieselgenerator für Revisionsarbeiten freigeschaltet war, welcher der betroffenen Notstromschiene zugeordnet ist, kam es zu einem Spannungsunterbruch. Mit dem Ausfall der 6-kV-Notstromschiene wurden auch die beiden von ihr versorgten 380-V-Schienen spannungslos. Nach 14 Minuten wurde die Spannungsversorgung vom Netz wieder zugeschaltet. Da das KKG über eine viersträngige Notstromversorgung verfügt, ist es zulässig, während des Betriebs an einem Strang während einer begrenzten

Zeit Revisionsarbeiten durchzuführen und dafür Komponenten vorübergehend freizuschalten. Die 6-kV-Notstromschiene kann somit während solcher Revisionsarbeiten absichtlich spannungslos geschaltet werden. Die Klassierung als Vorkommnis B erfolgte, weil es sich um einen unbeabsichtigten Spannungsunterbruch handelte.

Für die während sechs Volllasttagen nach dem Revisionsstillstand stattfindenden reaktorphysikalischen Messungen wurden die Steuerstäbe in die erforderliche Position gefahren. Dabei kam es zu einem Fehleinfall eines Steuerstabes. Die Anlage reagierte auslegungsgemäss mit einer automatischen Reduktion der Reaktorleistung auf 86%. Die Ursache konnte nicht gefunden werden. Vorsorglich wurde jedoch eine Baugruppe der Stabsteuerung ausgetauscht. Anschliessend wurde der eingefallene Steuerstab wieder ausgefahren und die Leistung auf 100% erhöht. Volllast wurde nach rund einer Stunde erreicht.

Während einer Reaktorschutzprüfung kam es zu einem Spannungsunterbruch an einer Notstandsschiene, als nach der Prüfung der Umschaltautomatik die Rückschaltung nicht funktionierte. Die 380-V-Anlage des Notstandsystems baut hauptsächlich auf zwei redundanten Verteilungen auf. Die betroffene Schiene wird alternativ von einer der beiden Verteilungen versorgt. Aufgabe der Umschaltautomatik ist es, bei einem Ausfall der Einspeisung die Versorgung dieser Schiene durch die andere Verteilung sicherzustellen und, wenn die bevorzugte Verteilung wieder verfügbar ist, auf diese wieder zurückzuschalten. Die Rückschaltung fand im vorliegenden Fall nicht statt. Der Spannungsunterbruch wurde nach 16 Minuten durch manuelles Zuschalten der Versorgung beendet. Nach dem Austausch von zwei Schaltvorrichtungen funktionierte die Umschaltautomatik wieder normal. Als Ursache wurde das Versagen eines mechanischen Relais im Abzweig der Einspeisung ermittelt. Die mechanischen Zeitrelais werden in Zukunft alle vier Jahre ausgetauscht.

Bei der Vorbereitung einer Reaktorschutzprüfung unterschritt die nukleare Nebenkühlwasserpumpe des vierten Strangs die in den Technischen Spezifikationen verlangte Mindestfördermenge um 8%. Die Pumpe förderte dabei Kühlwasser in den zweiten Strang des nuklearen Nebenkühlwassersystems. Die Pumpe des vierten Strangs dient generell als Reserve und kann bei Bedarf in jeden der Stränge eins bis drei einspeisen. Die Ursache für die ungenügende Förderung war eine nicht vollständig geöffnete Rückschlagklappe in der Einspeiselei-

tion in den zweiten Strang. Die Pumpe selbst funktionierte normal. Die Rückschlagklappe wurde durch einen verschobenen Bolzen, dessen Sicherungsschraube sich gelöst hatte, vor dem Erreichen der Offen-Position gestoppt. Der Bolzen verbindet den Dämpfer der Rückschlagklappe mit seinem Gegengewicht. Um eine Wiederholung des Vorkommnisses zu verhindern, wurden als Sofortmassnahme die Sicherungsschrauben aller Klappen dieser Bauart nachgezogen und mit Klebstoff gegen Lösen gesichert. Innert eines Jahres werden die Bolzen neu mittels Gewindestiften mit Zapfen anstelle der Sicherungsschrauben gesichert.

An einer vom KKG als freigestelltes Versandstück zum Paul Scherrer Institut (PSI) transportierten Metallkiste wurde bei der PSI-Eingangskontrolle an zwei Stellen eine Dosisleistung über dem für freigestellte Versandstücke gültigen Grenzwert von  $5 \mu\text{Sv/h}$  gemessen. Es handelte sich um eine von elf Kisten, in denen Werkzeuge und Vorrichtungen für die Handhabung eines Transportbehälters für einzelne Brennstäbe befördert wurden. Die Messungen ergaben Werte um  $50 \mu\text{Sv/h}$  in zwei auf wenige Quadratzentimeter begrenzten Bereichen, verursacht durch eine festsitzende Kontamination an der Oberfläche des Transportguts. Nach dem Abschleifen der Kontamination im Hotlabor des PSI wurde der Dosisgrenzwert eingehalten, und der Transport nach Karlsruhe konnte fortgesetzt werden. Für die Ausgangsmessung im KKG befand sich die Metallkiste auf einem Gabelstapler. Die unzulässige Dosisleistung wurde entweder infolge Abschirmung durch die Gabel oder aufgrund ihrer kleinen räumlichen Ausdehnung nicht erfasst. In Zukunft sollen kontaminierte Werkzeuge nicht mehr als freigestellte Versandstücke transportiert werden, was unüblich ist, sondern als oberflächenkontaminierte Gegenstände mit einem entsprechend höheren Grenzwert für die Dosisleistung. Das Vorkommnis wird dem KKG als Absender des Transportes zugeordnet.

Die klassierten Vorkommnisse der letzten zehn Jahre sind in der Figur 2 dargestellt.

### 3.2.2 Arbeiten während des Revisionsstillstands

Während des Revisionsstillstands vom 21. Mai bis 1. Juli 2005 wurden Routinetätigkeiten wie Brennelementwechsel, Inspektionen mechanischer und elektrischer Einrichtungen, zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen, wiederkehrende Funktionsprüfungen an Komponenten und Systemen sowie Instandhaltungsarbeiten durchgeführt. Zudem fand



Der neue Druckhalterdom mit den angeflanschten Sicherheitsventilen wird an seinen Platz gehievt.

Foto: KKG

der Austausch der Primärsicherheitsventile statt (vgl. Kap. 3.2.3), der die Dauer des Revisionsstillstands wesentlich bestimmte. Der Revisionsstillstand wurde auch genutzt, um Massnahmen zur Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades der Anlage umzusetzen und eine Grossrevision des Generators durchzuführen.

Beim Austausch der Sprühleitungen am Druckhalter wurden an der Innenseite von zwei Stützen im Schweissnahtbereich unzulässige Rissfelder gefunden. Da die betroffenen Stellen repariert wurden, bevor die Ursache der Risse umfassend untersucht und abschliessend analysiert worden war, ging möglicherweise Information über die Risse und damit Entscheidungsgrundlagen für die Art der Reparatur verloren. Auf Verlangen der HSK sind die betroffenen Stützen daher in verkürzten Intervallen und mit einem qualifizierten Prüfverfahren volumetrisch zu prüfen. Weiter ist die Schadensursache durch das KKG abzuklären.



Der revidierte Blocktransformator wird an seinen Platz geschoben.

Foto: KKG

Einige der im Revisionsstillstand durchgeführten Arbeiten sind nachfolgend aufgeführt:

- Der Reaktordruckbehälter und der gesamte Primärkreislauf bis zu den Erstsperrarmaturen wurden einer Wiederholungsdruckprobe bei 228 bar unterzogen. Alle Komponenten waren dicht. Die Abstützung des Reaktordruckbehälters wurde visuell geprüft. Es ergaben sich keine Befunde.
- Am Sicherheitsbehälter fand eine integrale Leckratenprüfung bei einem Prüfüberdruck von 0,5 bar statt. Sowohl die gemessene Leckrate beim Prüfdruck als auch die auf den bei einem

grossen Kühlmittelverlust zu erwartenden Störfalldruck umgerechnete Leckrate lagen unter dem zulässigen Maximalwert.

- Die Sprühvorrichtung im Druckhalter wurde ersetzt. Zusammen mit der Druckhalterheizung dient die Sprühvorrichtung zur Regelung des Drucks im Primärkreis. Beim Sprühen wird Wasser aus dem kalten Teil der Hauptkühlmittelleitung in das Dampfpolster im oberen Teil des Druckhalters eingespritzt, was den Druck reduziert. Im Unterschied zur bisherigen Sprühvorrichtung, deren Ventile entweder ganz offen oder ganz geschlossen waren, sind die neuen Sprühventile kontinuierlich regelbar, wodurch die Belastungen des Druckhalters durch Temperaturwechsel weitgehend entfallen.
- An den Hauptkühlmittelleitungen wurden umfassende Prüfungen von Schweisssnähten vorgenommen. Neben routinemässigen Ultraschallprüfungen und Prüfungen auf Oberflächenrisse wurden spezielle Ultraschallprüfungen im Rahmen des Projekts Bruchausschluss durchgeführt. Mit diesem aus der PSÜ resultierenden Projekt wird aufgezeigt, dass die Wahrscheinlichkeit für den Bruch einer Hauptkühlmittelleitung unter  $10^{-6}$  pro Jahr liegt. Die Ultraschallprüfungen ergaben keine Befunde.
- Der Motor der Hauptkühlmittelpumpe 20 wurde einer Grossrevision unterzogen und der Lüfter zur Kühlung der Ständerwicklung ausgetauscht. Damit sind alle drei Hauptkühlmittelpumpen mit dem verbesserten Lüfter ausgerüstet.
- Von den 151 geprüften mechanischen Stossbremsen erfüllten 30 die Anforderungen nicht und wurden ersetzt. 30 Rohrhalterungen und 151 hydraulische Stossbremsen wurden ohne wesentliche Befunde geprüft.
- Zur Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades der Anlage wurden sekundärseitig umfangreiche Verbesserungen vorgenommen. Im Vordergrund stand der Ersatz des Läufers und des Innengehäuses der Hochdruckturbine. Die im Herbst 2005 durchgeführten Messungen ergaben eine um etwa 13 MW höhere elektrische Leistung bei unveränderter thermischer Reaktorleistung.
- Mit dem Ersatz der Kühlelemente wurde der Umbau des Kühlturms abgeschlossen. Die verbesserte Kühlwirkung führt zu einer tieferen Temperatur des Hauptkühlwassers, was den thermischen Wirkungsgrad der Anlage erhöht. Alle Kühlturmeinbauten sind jetzt astbestfrei.
- Die Schutzeinrichtungen für die 10-kV- und

6-kV-Verbraucher der elektrischen Eigenbedarfsversorgung wurden in einem Strang durch neue, digital arbeitende Geräte ausgetauscht.

- In zwei Strängen der elektrischen Eigenbedarfsanlage wurden die Batterien der Gleichstromversorgung ersetzt. Damit ist der altersbedingte Austausch der Batterien abgeschlossen.
- Am Generator wurde eine Grossrevision mit Ausbau des Läufers vorgenommen. Dabei wurde auch die ursprünglich für die nächste Grossrevision vorgesehene Neuverkeilung des Ständers vorgezogen, da sich die Verkeilung vereinzelt gelockert hatte. Der Lagerbock des Erregers wurde ersetzt, was zu einer starken Reduktion der Schwingungen führte.
- Am Eigenbedarfstransformator 1 fand eine Grossrevision statt, wie sie im Vorjahr bereits am Eigenbedarfstransformator 2 durchgeführt worden war. Der Transformator wurde entleert, das Öl aufbereitet. Eine stationäre Öltrocknungsanlage wurde installiert. Das offene Expansionsgefäss wurde durch ein geschlossenes ausgetauscht. Die Instrumentierung und sämtliche Dichtungen wurden ersetzt. Eine Grossrevision mit vergleichbarem Umfang wurde auch am Fremdnetztransformator 2 durchgeführt. Über die beiden Fremdnetztransformatoren können die 10-kV-Schienen der elektrischen Eigenbedarfsversorgung bei Anforderung aus dem 220-kV-Fremdnetz angespiessen werden.
- Einer der drei Pole des Blocktransformators wurde im Hinblick auf die durchzuführende Revision auf den Revisionsplatz verschoben. An seiner Stelle wurde der frisch revidierte Reservepol eingesetzt.
- Im Rahmen des Projekts ANTIKE zum Austausch von nicht ausreichend qualifizierten oder nicht qualifizierbaren Komponenten der Elektrotechnik wurde das zweite von insgesamt fünf Austauschpaketen umgesetzt. Bestehende Kabel wurden ersetzt und zum Teil neu verlegt. An mehreren Unterverteilern wurden die Klemmen ersetzt. Vier neue Unterverteiler wurden montiert. Elf Temperatur-Messeinrichtungen und eine Neutronenflussdichte-Messeinrichtung wurden ersetzt. Mit dem Projekt ANTIKE werden im Rahmen der PSÜ festgestellte Nachweislücken bezüglich Kühlmittelverlust-Störfallfestigkeit und Ringraumleckfestigkeit geschlossen.

Insgesamt zeigten die durchgeführten Prüfungen und Kontrollen gute Ergebnisse. Es ergaben sich keine Befunde, die den sicheren Betrieb der Anlage im Betriebszyklus 2005/06 beeinträchtigen würden.

Die Arbeiten während des Revisionsstillstands wurden mit hoher Qualität und unter Einhaltung der Vorgaben des Strahlenschutzes vorbereitet und durchgeführt.

Für alle Schweizer Kernkraftwerke geltende Aussagen zu zerstörungsfreien Prüfverfahren finden sich am Schluss des Abschnitts 1.2.2 im Kapitel zum KKB.

### 3.2.3 Anlagenänderungen

Von den im Berichtsjahr ganz oder teilweise durchgeführten Anlagenänderungen seien folgende speziell erwähnt:

- Der Austausch der Primärsicherheitsventile (Projekt PISA) wurde vorgenommen. Neu ist der Druckhalter mit drei statt wie bisher mit zwei Sicherheitsventilen ausgerüstet. Neben der klassischen Funktion des Öffnens beim Erreichen des Ansprechdrucks besteht neu die Möglichkeit einer gezielten Druckentlastung. Damit kann der Druck im Primärkreislauf auch dann kontrolliert abgesenkt werden, wenn dies nicht durch Wärmeabfuhr über die Dampferzeuger möglich ist. So könnte bei einem Totalausfall der Wechselspannungsversorgung (Station Blackout) der Druck im Primärkreislauf unter den Einspeisedruck der Druckspeicher gesenkt werden. Auch

Die Rohrleitungen für die Nachrüstung der Druckentlastung des Reaktorkühlsystems werden sorgfältig zusammengesweisst.  
Foto: KKG





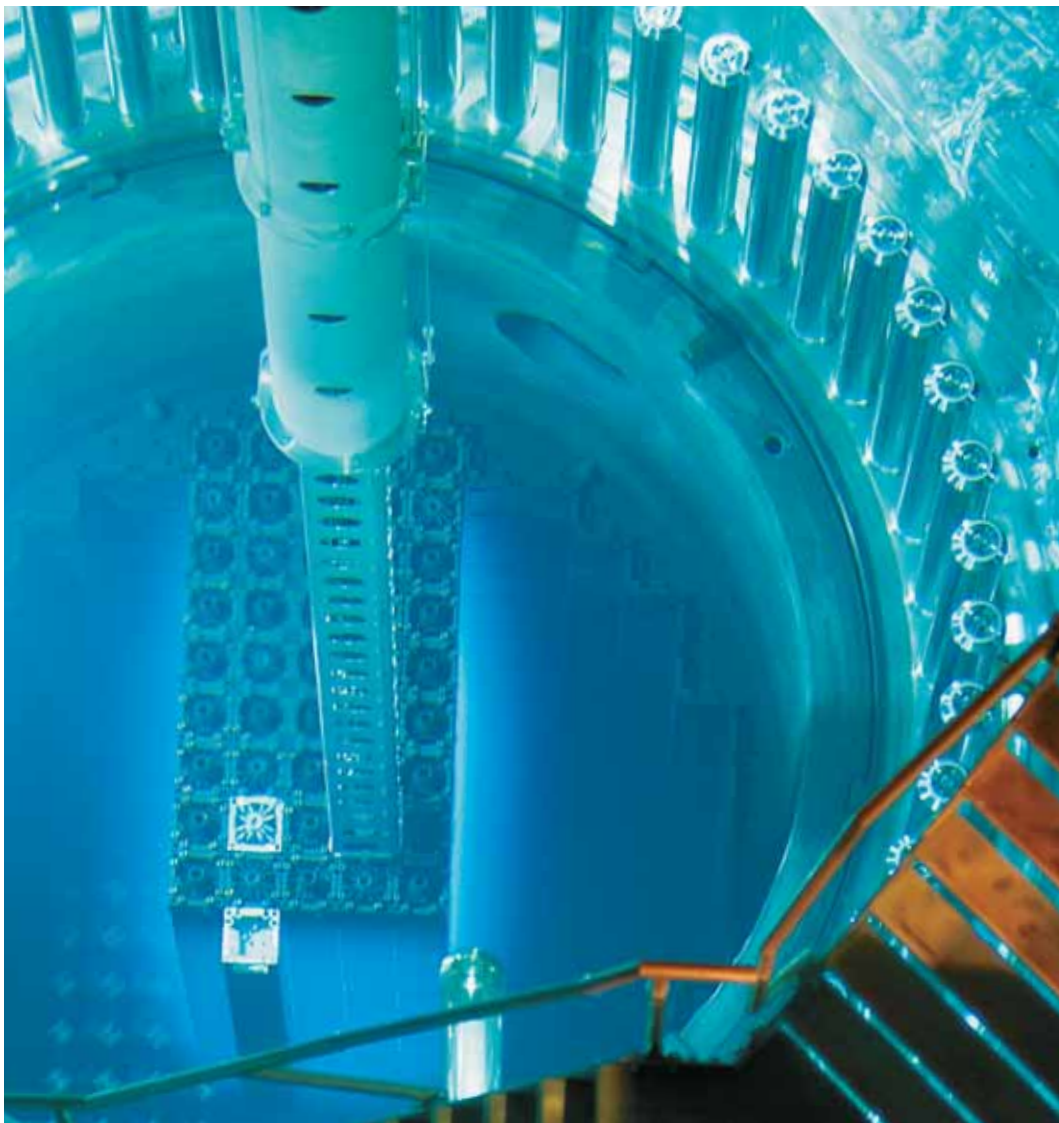
bei der Begrenzung der Folgen eines Kernschmelzens lässt sich die gezielte Druckentlastung einsetzen. Sie verhindert ein Hochdruckversagen des Reaktordruckbehälters, das die Integrität der Sicherheitshülle gefährden würde. Mit dem Ersatz der Primärsicherheitsventile waren zahlreiche Änderungen in den Steuerstellen verbunden. Die nach der Montage durchgeführten Inbetriebsetzungstests zeigten die Einsatzbereitschaft der neuen Sicherheitsventile.

- Der Bau des externen Nasslagers für abgebrannte Brennelemente wurde fortgesetzt. Auf Verfügung der HSK wurde die Armierung der Aussenwände des Lagergebäudes gegenüber der ursprünglichen Planung verstärkt, um den Schutz gegen Flugzeugabsturz zu erhöhen. Damit wird sichergestellt, dass die eingelagerten Brennelemente in gleichem Mass wie im Reaktorgebäude geschützt sind. Auf Verlangen der HSK wur-

de die Qualitätssicherung im Bereich Bautechnik verstärkt, nachdem die eingereichten Dokumente sowie eine Inspektion durch die HSK Verbesserungsbedarf gezeigt hatten.

- Nach umfangreichen Abklärungen zur Beschaffenheit des Baugrunds wurde mit der Erweiterung des Hilfsanlagengebäudes begonnen. Die erste Bauetappe umfasst die Pfahlfundation, welche den Anbau im Baugrund verankert.
- Zur Einspeisung von Zink in den Primärkreislauf in Form einer an Zink-64 angereicherten Zinkacetatlösung wurde ein Dosiersystem installiert. Zink beeinflusst die Verteilung des im Primärkreislauf abgelagerten Kobalt-60 im Sinne der radiologischen Optimierung. Kobalt-60 ist dasjenige Radionuklid, welches den höchsten Bei-trag zur Kollektivdosis liefert. Insbesondere wird dadurch die Dosis bei Arbeiten an den Dampferzeugern reduziert.

Brennelemente werden aus dem Reaktordruckbehälter entladen.  
Foto: KKG



### 3.2.4 Brennelemente und Steuerstäbe

Geringe Aktivitätskonzentrationen im Primärkühlmittel liessen den Schluss zu, dass im 26. Betriebszyklus (2004/2005) keine Brennstab-Hüllrohrdefekte aufgetreten sind. Für den neuen Zyklus wurden während des Revisionsstillstandes 40 von insgesamt 177 Brennelementen durch Brennelemente mit wiederaufgearbeitetem Uran (WAU-Brennelemente) als Brennstoff ersetzt. Im 27. Betriebszyklus sind im Kern 96 WAU- und 36 MOX-Brennelemente eingesetzt. Die HSK hat sich anhand von Protokollen überzeugt, dass die neuen Brennelemente den Qualitätsanforderungen für einen sicheren Betrieb entsprechen.

Zur Untersuchung des Brennstabverhaltens bei höherem Abbrand wurden wiederum Testbrennstäbe mit verschiedenen Hüllrohrmaterialien eingesetzt und inspiziert. Zudem wurden an der Struktur von abgebrannten Brennelementen Dimensions- und Oxiddickenmessungen vorgenommen. Die untersuchten Brennelemente zeigten ein gutes Betriebsverhalten.

Die Hüllrohre aller 48 Steuerstäbe wurden während des Revisionsstillstandes mittels Wirbelstromprüfung auf Wandschwächungen und Hüllrohrbeschädigungen untersucht. Da es Hinweise auf Rissbildung an Hüllrohren gab, wurden drei Steuerstäbe der Erstausrüstung ersetzt. Im laufenden 27. Zyklus sind noch 24 Steuerstäbe der Erstausrüstung im Einsatz.

Erhöhte Aktivitäten im Primärkühlmittel deuten ab Ende November 2005 auf einen Hüllrohrschaden ohne Brennstoffauswaschung im 27. Betriebszyklus (2005/06) hin. Insbesondere die Aktivitätskonzentrationen von Iod-131 und Xenon-133 waren deutlich angestiegen. Der in den Technischen Spezifikationen festgelegte Grenzwert für Iod-131 wurde zu keinem Zeitpunkt überschritten.

### 3.2.5 Periodische Sicherheitsüberprüfung

Die Massnahmen aus der Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) 1999 sind weitgehend abgeschlossen. Im Berichtsjahr wurden die Bearbeitung der noch offenen Punkte und die Umsetzung der aufgrund der Resultate von Abklärungen erforderlich gewordenen Folgemaassnahmen weitergeführt. Speziell genannt seien die folgenden Tätigkeiten:

- Das KKG tauschte die Primärsicherheitsventile aus (siehe 3.2.3).
- Der Surgeline-Stutzen, bei dem 1995 und in den Folgejahren durchgeführte Ultraschallprüfungen nicht abschliessend interpretierbare, aber zeitlich

unveränderliche Resultate ergeben hatten, wurde ausgetauscht. Die Surgeline verbindet den Druckhalter mit dem Primärkreislauf. Es zeigte sich, dass die Geometrie der Wärmefalle nicht den Erwartungen entsprach, was zu schwer analysierbaren Prüfergebnissen führte.

- Im Notspeisegebäude wurden die baulichen Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit fortgesetzt. Die Deionatbecken wurden in drei Strängen verstärkt, womit nun alle Becken nachgerüstet sind.
- Mit der Erstellung einer zu den Technischen Spezifikationen gehörenden Liste von Ausfallskriterien wurde die in der PSÜ enthaltene Forderung nach Überarbeitung des Betriebshandbuchs abgeschlossen. Für die sicherheitstechnisch wichtigen Komponenten und Systeme sind damit eindeutige Kriterien definiert, wann eine Komponente oder ein System als nicht verfügbar gilt.

## 3.3 Strahlenschutz

Im Kalenderjahr 2005 belief sich die Kollektivdosis im KKG auf 1266 Pers.-mSv. Die höchste im KKG registrierte Individualdosis betrug 14,2 mSv. Der Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr wurde somit nicht überschritten. Es traten keine Inkorporationen auf. Während des Revisionsstillstands hatte sich eine Person leicht kontaminiert. Nach der Dekontamination konnte die betroffene Person am nächsten Tag ihre Arbeit in der kontrollierten Zone wieder aufnehmen. Bei der Ermittlung der Personendosen registrierte die HSK im Mai 2005 eine Abweichung von den Vorgaben zur Auswerteperiode, die aber keine Folgen auf die Ermittlung der Personendosen hatte.

Die Arbeiten während des Revisionsstillstandes führten zu einer Kollektivdosis von 1146 Pers.-mSv, davon wurden 594 Pers.-mSv bei Arbeiten im Rahmen des Projekts PISA akkumuliert. Geplant waren 2300 Pers.-mSv, davon 1550 Pers.-mSv für das Projekt PISA. Die niedrige Kollektivdosis kann auf den temporären Einsatz einer Systemdekontaminationsanlage zurückgeführt werden. Dieser führte zu einer deutlichen Dosisleistungs-Reduktion an wichtigen Komponenten. Der radiologische Zustand in den aktiven Systemen und damit auch in den kontrollierten Zonen war während der Revisionsarbeiten wegen des schadenfreien Brennstoffes gut. Die Kontrollen der Luft und der Ober-

flächen in der Anlage gaben keine Hinweise auf unzulässige Kontaminationen.

Bei der Suche nach der Ursache einer kleinen Leckage an einem Messumformer wurden die möglichen Konsequenzen eines Handeingriffs nicht genügend beachtet. Unter Primärkreisdruck stehendes Wasser trat dabei plötzlich in einem scharfen Strahl aus einer kleinen Entlastungsbohrung aus. Eine Person wurde geringfügig an einem Finger verletzt und leicht kontaminiert. Anschliessend wurden der Situation angepasste Sicherheitsvorkehrungen getroffen und die Leckage behoben.

Die HSK stellte bei mehreren Inspektionen fest, dass im KKG ein guter Strahlenschutz praktiziert wird.

Die Anerkennung einer Dosimetriestelle ist gemäss Art. 46 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung fünf Jahre gültig. Mit Verfügung vom Mai 2005 hat die HSK die Anerkennung der Personendosimetriestelle des KKG erneuert. Grundlage dafür waren eine Inspektion unter Beizug eines externen Experten des Institut de Radiophysique Appliquée (IRA), Lausanne, und die eingereichten technischen Dokumente.

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 17% des Jahresgrenzwertes. Die quartalsweise von der HSK durchgeführten Kontrollmessungen von Abwasserproben sowie Iod- und Aerosolfiltern ergaben Übereinstimmung mit den vom KKG gemeldeten Analyseergebnissen.

Aus den tatsächlich über die Abluft und das Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffen berechnet die HSK die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKG unter konservativen, d. h. ungünstigen Annahmen. Die Dosen sind kleiner als 0,0010 mSv für Erwachsene und für Kleinkinder und liegen damit deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv/Jahr gemäss der HSK-Richtlinie R-11.

Die Dosisleistungs-Messsonden des von der HSK betriebenen Messnetzes (MADUK) in der Umgebung des Werkes ergaben keine durch den Betrieb der Anlage erhöhten Werte. Die Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD), die an mehreren Stellen am Zaun des Kraftwerkareals die Dosis messen, zeigten keine signifikante Erhöhung gegenüber der Untergrundstrahlung. Bei den quartalsweise von der HSK zur Kontrolle durchgeführten Messungen

an der Umzäunung des KKG wurden ebenfalls keine signifikanten Erhöhungen gegenüber der Untergrundstrahlung festgestellt. Die nach Art. 102 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung vorgegebenen Immissionsgrenzwerte für Direktstrahlung ausserhalb des Kraftwerkareals 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 Gösgen wird auf den Strahlenschutzbericht 2005 der HSK verwiesen.

### 3.4 Radioaktive Abfälle

Radioaktive Rohabfälle fallen im KKG regelmässig aus den Wasserreinigungssystemen sowie der Abgas- und Fortluftreinigung an. Weitere Abfälle stammen vom Austausch von Komponenten bei Instandhaltungs-, Umbau- oder Nachrüstmassnahmen und den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien. Der Anfall an radioaktiven Rohabfällen (vgl. Tabelle 8) war im Berichtsjahr deutlich höher als im Vorjahr, bedingt durch umfangreiche Austauscharbeiten an Armaturen und Rohrleitungen im Rahmen des Projekts PISA. Auch der Anfall von Verbrauchsmaterial war deutlich höher.

Die radioaktiven Rohabfälle werden gesammelt, kampagnenweise konditioniert und anschliessend zwischengelagert. Der Bestand an unkonditionierten Abfällen im KKG ist stets sehr gering, war allerdings nach dem Revisionsstillstand vorübergehend deutlich höher. Im Anschluss an die Revision wurden diese Rohabfälle rasch für die weitere Konditionierung vorbereitet. Hilfreich waren hierbei die günstigen räumlichen Verhältnisse im internen Abfalllager, aus welchem 942 Gebinde mit konditionierten Abfällen in das MAA-Lager der ZWILAG transportiert worden waren. In Zusammenhang mit diesem Vorgang hat die HSK die betroffenen Gebindetypen mit bituminierten und mit zementierten Abfällen hinsichtlich ihrer Vor-aussetzungen für die Lagerung im MAA-Lager der ZWILAG überprüft und das Einlagern freigegeben. Im Jahr 2005 wurden 72 für die Verarbeitung im Plasmaofen der ZWILAG bereitgestellte Fässer mit brennbaren Rohabfällen 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 erforderlichen Typengenehmigungen der HSK vor. Im Jahr 2005 wurde allerdings keine derartige Konditionierungskampagne durchgeführt. Dagegen wurden von der HSK drei neue Abfallgebindetypen für aktivierte Bauteile aus dem Reaktorkern überprüft und genehmigt. Das Volumen dieser Teile ist in Druckwasser-Anlagen gering, weshalb sie zunächst über mehrere Jahre im Lagerbecken gesammelt werden. Die genehmigten Gebindetypen beinhalten erstmalig auch die Verwendung von dickwandigen Metallbehältern als Abschirm- und Lagerbehälter, die gleichzeitig auch für den Transport qualifiziert sind, so dass bis zur Anlieferung im geologischen Tiefenlager keine weiteren Umkonditionierungs- oder Verpackungsschritte erforderlich werden. Von einem dieser Typen, für den konventionelle 200-l-Fässer verwendet werden, wurden im Berichtsjahr acht Gebinde mit Zement vergossen.

Zur Minimierung radioaktiver Abfälle wurden im Jahr 2005 aus dem KKG rund 33 t Material gemäss den Vorgaben der HSK-Richtlinie R-13 freigesessen. Es handelte sich überwiegend um Beton.

### 3.5 Notfallbereitschaft

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

Die HSK hat im November an der Stabsnotfallübung GEO die Stabsarbeit beobachtet und beurteilt. Das KKG demonstrierte im Rahmen der Übung, dass das für das mitigative Notfallmanagement überarbeitete Notfallhandbuch unter den Bedingungen eines schweren Unfalls einen Beitrag zur Verminderung des Anlagenrisikos leisten kann. Die HSK kam zum Schluss, dass die Übungsziele erreicht wurden.

Im November löste die HSK im KKG ohne Voranmeldung einen Übungsalarm aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Notfallstabes überprüft wurde. Das KKG erreichte die Übungsziele.

Die Inspektion der Bereitschaft der Notfallkommunikationsmittel zu externen Stellen hat gezeigt, dass die KKG-Einrichtungen betriebsbereit sind.

### 3.6 Probabilistische Sicherheitsanalyse und Accident Management

Mit der Probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) wird das Restrisiko, dass ein schwerer Unfall in einem Kernkraftwerk auftritt, abgeschätzt (vgl. Kap. 1.6). Im Jahr 2005 wurden in den Bereichen PSA und Accident Management im Wesentlichen folgende Arbeiten durchgeführt:

- Das KKG reichte Ende des Jahres 2005 eine überarbeitete PSA-Studie für den Vollastbetrieb ein. Aufgrund der Erkenntnisse aus dem Projekt PE-GASOS (vgl. Kap. 1.6) verwendete das KKG im überarbeiteten PSA-Modell als Übergangslösung neue, verschärfte Erdbebengefährdungsannahmen. Ferner initiierte das KKG umfangreiche Arbeiten, damit das PSA-Modell künftig die Auswirkungen der aus einer fortschrittlichen Erdbebengefährdungsstudie resultierenden detaillierten Gefährdungsannahmen auf die Anlage adäquat abzubilden vermag und so eine belastbare Abschätzung des seismisch bedingten Risikobeitrags ermöglicht. Ferner berücksichtigt das aktualisierte Modell die neue primärseitige Druckentlastung (vgl. Kap. 3.2.3). Mit dieser Nachrüstung wird das Anlagenrisiko weiter gesenkt.
- Infolge einer kompletten Überarbeitung des Notfallhandbuchs hat das KKG ebenfalls das PSA-Modell für den Anlagenstillstand überar-

Die Anschlüsse der neuen Batteriezellen werden überprüft.  
Foto: KKG



beitet. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die neuen, im Notfallhandbuch vorgesehenen Accident-Management-Massnahmen die Brennelementschadenshäufigkeit und damit das Risiko des Anlagenstillstands weiter reduzieren.

- Das KKG reichte eine probabilistische Ereignisanalyse (vgl. Kap. 1.6) für das Jahr 2004 ein. Die geplanten Revisionen der Notstand-Stränge 5 und 6 verursachten die höchsten Risikospitzen. Erwartungsgemäss wurden keine extremen Risikospitzen identifiziert, und das akkumulierte Risiko blieb gering.
- Das KKG reichte der HSK im Jahr 2005 Unterlagen zum «integrierten Notfallmanagement» ein. Das Konzept ist im Notfallhandbuch festgehalten. Es umfasst einen präventiven, auf die Verhinderung des Kernschadens ausgerichteten, und einen der Milderung der Auswirkungen dienenden Teil.

den Teil. Letzterer wird im internationalen Sprachgebrauch häufig als «Severe Accident Management Guidance» (SAMG, vgl. Kap. 1.6) bezeichnet. Im Zuge der SAMG-Entwicklung identifizierte das KKG auch kleinere Anlageänderungen zur Verbesserung des Accident Management, beispielsweise die Schaffung der Möglichkeit der Einspeisung von Feuerlöschwasser ins Reaktorkühlsystem. Zur Validierung der SAMG führte das KKG eine Stabsnotfallübung durch, bei welcher ein schweres Erdbeben unterstellt wurde. Die Überprüfung der KKG-SAMG und die Auswertung der Validierungsübung durch die HSK zeigten, dass die neuen Notfallunterlagen des KKG grundsätzlich geeignet sind, dem Notfallstab wichtige Hilfestellungen bei einem schweren Unfall zu geben und einen Beitrag zur Reduktion des Anlagenrisikos leisten. Die Überprüfung identifizierte auch Verbesserungsmöglichkeiten verschiedener Strategien und ergonomischer Aspekte von Unterlagen.

- Bei einem Störfall im KKG werden der HSK alle zwei Minuten 27 relevante Anlagenparameter über ein eigenes Übermittlungsnetz zugestellt und bei der HSK mit dem Störfallanalyseprogramm ADAM (vgl. Kap. 1.6) verarbeitet. Im Jahr 2005 wurde die ADAM-Datenerfassung konzeptionell verbessert und im Rahmen verschiedener Werksaufschaltungen getestet. ADAM konnte dabei seine hohe Zuverlässigkeit unter Beweis stellen.

Durch verschiedene Anlageänderungen, insbesondere durch die neue primärseitige Druckentlastung und die Einführung von SAMG wurde das hohe Sicherheitsniveau der Anlage aus Sicht der PSA weiter verbessert. Die Ergebnisse der vom Betreiber des Kernkraftwerks Gösgen bis Ende 2005 eingereichten PSA-Studie zeigen, dass das KKG ein im internationalen Vergleich sehr geringes Risikoniveau aufweist. Das Risiko des KKG ist deutlich tiefer als die von der IAEA empfohlenen Richtwerte.

## 3.7 Personal und Organisation

### 3.7.1 Organisation und Betriebsführung

Die Organisation des KKG wurde im Berichtsjahr nicht verändert. Ende 2005 arbeiteten im KKG 403 Personen (2004: 395).

Im Rahmen einer Schwerpunktsinspektion zum Einsatz von Fremdpersonal stellte die HSK fest, dass das KKG hierfür geeignete Vorgehensweisen festgelegt hat. Das Fremdpersonal wird gut einge-

Der revidierte  
Blocktransformator steht  
wieder an seinem Platz.  
Foto: KKG



führt und bei seinen Aufgaben angemessen überwacht. Das KKG ist dafür besorgt, dass mit den Lieferanten langfristige Abkommen getroffen werden und möglichst dieselben Personen wieder eingestellt werden können. Dies fördert die Kontinuität der Arbeitsqualität und erleichtert den Umgang mit Fremdpersonal.

Auch die Vorkommnisbearbeitung war Thema einer Schwerpunktsinspektion. Die HSK stellte fest, dass das KKG zur Meldung und Analyse von Störungen und zur Erarbeitung und Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen über geeignete Prozesse verfügt. Die Vorkommnisanalyse ist stark auf technische Aspekte ausgerichtet. Menschliche und organisatorische Faktoren werden selten tiefer untersucht. Im Bereich von Beinahe-Ereignissen dokumentiert das KKG wenig, setzt die erforderlichen Massnahmen aber rasch um. Die in der HSK-Richtlinie R-15 festgelegten Meldepflichtkriterien für Ereignisse und Befunde lassen in Bezug auf die Abgrenzung zu nicht meldepflichtigen Ereignissen und Befunden einen Interpretationsspielraum zu. Das KKG setzt in der Praxis die Schwelle eher hoch an und meldet der HSK kleine Abweichungen nicht mit einem detaillierten Vorkommnisbericht, sondern im Monatsbericht.

### 3.7.2 Personal und Ausbildung

Im Berichtsjahr bestanden acht Anlagenoperateure die unter Aufsicht der HSK durchgeführten Prüfungen zum Abschluss ihrer kerntechnischen Grundausbildung an der Technikerschule des Paul Scherrer Instituts. Dies ist eine Voraussetzung für die spätere Lizenzierung als Reaktoroperateur. Die HSK nahm an diesen Prüfungen teil und stimmte aufgrund der Leistungen der Kandidaten der Anerkennung dieses Ausbildungsteils zu. Im Berichtsjahr wurden im KKG keine neuen Lizenzen für das Betriebspersonal erteilt, hingegen stellte das KKG als Vorbereitung auf erwartete Pensionierungen von Schichtpersonal mehrere Personen an. Die Anzahl lizenzierter Personen ist in Tabelle 2 zusammengestellt.

Bei einer Inspektion zum Schichtbetrieb wurden die Präsenzvorschriften und die Planung des Einsatzes von Schichtpersonal überprüft. Das KKG hat einen langen Planungshorizont und berücksichtigt damit die lange Ausbildungsdauer des lizenzierten Schichtpersonals. Bei der Schichtbesetzung sorgt das KKG für eine genügende Reserve. Für jede Schicht wird eine lizenzierte Person mehr eingeplant, als dies nach Kraftwerksreglement notwendig ist.

Die HSK hat im KKG eine unangemeldete Inspektion der Schichtübergabe im Kommandoraum durchgeführt. Sie hat dabei die Schichtübergabe beobachtet und die Einhaltung der Präsenzvorschriften überprüft. Sie stellte fest, dass die Schichtübergabe vorschriftsgemäss erfolgte und dass die notwendigen Eintragungen im Schichtbuch korrekt vorgenommen wurden. Im Kommandoraum war für die zu diesem Zeitpunkt laufenden Revisionsarbeiten wesentlich mehr lizenziertes Personal anwesend als es die Präsenzvorschriften erfordern. Die HSK inspizierte die Ausbildung des Betriebspersonals des KKG. Im Ausbildungsprogramm hat das KKG festgelegt, in welchen Abständen welche Inhalte repetiert und welche Betriebs- und Störfallsituationen am Simulator geübt werden. Zur Bedarfsabschätzung und Planung von Ausbildungsveranstaltungen wird der Wissensstand des KKG-Personals regelmässig systematisch überprüft. Zudem werden Erfahrungen aus der eigenen und aus fremden Anlagen in das Programm aufgenommen. Anlagenänderungen und Änderungen im Betriebshandbuch werden gezielt geschult.

Auch im Jahr 2005 setzte sich das KKG für die Weiterentwicklung der Sicherheitskultur ein. Die Fachkommission Sicherheitskultur, welche im KKG seit mehreren Jahren tätig ist und aus Vertretern aller Fachabteilungen besteht, organisierte insbesondere ein Seminar zum Thema Sicherheitskultur, welches auf Einladung durch das KKG von der WANO (World Association of Nuclear Operators, Paris Centre) für das gesamte Kader durchgeführt wurde. Die Fachkommission überarbeitete zudem ein im Jahr 2004 neu eingeführtes Dokument für Mitarbeitende von Fremdfirmen, welches Information zum KKG als Organisation, zu seiner Kultur, zu den Arbeitsabläufen und zur Sicherheit enthält. Das KKG nutzt auch das Intranet, um Information zur Sicherheitskultur allen Mitarbeitenden zugänglich zu machen.

### 3.8 Erkenntnisse aus der systematischen Sicherheitsbewertung

Die HSK hat in ihrer Sicherheitsbewertung (vgl. Erläuterungen im Kapitel Übersicht) die in Inspektionen und bei der Vorkommnisanalyse bewerteten Aspekte berücksichtigt. Die Mehrheit der Inspektionsbewertungen lag in den Kategorien gute Praxis und Normalität. Es wurde zudem bei einer Reihe von Bewertungen ein Verbesserungsbedarf festge-

halten. Die wichtigsten der betroffenen Punkte sind unter 3.1 bis 3.7 behandelt worden.

Im KKG wurden bezüglich des Schutzziels «Begrenzung der Strahlenexposition nach innen und nach aussen» keine Abweichungen festgestellt. Bei der Bewertung der gestaffelten Sicherheitsvorsorge beurteilte die HSK acht Situationen als Abweichung. Drei davon betrafen die Notstromversorgung: Aufgrund des falschen Vorgehens beim Test des Normalnetz-Einspeiseschalters kam es im Bereich einer von vier Redundanzen zum Ausfall von Notstromschienen. In einem zweiten Fall führte die irrtümliche Abschaltung eines Notstromdiesels während eines Tests ebenfalls zum Ausfall von Notstromschienen einer Redundanz. Beide Fälle betrafen die Sicherheitsebene 3. In einem dritten Fall verursachte ein Komponentenfehler einen Spannungsunterbruch an einer Notstandsschiene, was die Ebene 4 tangierte. Bei einer vierten Situation führte ein Fehler der Turbinenregelung zu einer Leistungsabsenkung. Dabei sprach ein Sicherheitsventil im Sekundärkreislauf vorzeitig an. Diese zwei Fehler betrafen die Sicherheitsebene 1. In einer fünften Situation kam es durch eine lose Schraube zu einer Reduktion des Durchsatzes an einer Nebenkühlwasserpumpe. Weil das Nebenkühlwassersystem als Wärmesenke für Betriebssysteme und Sicherheitssysteme dient, waren die Ebenen 1 und 3 betroffen. In einer sechsten Situation führte ein unbekannter Fehler zum Einfall eines Steuerstabes, was die Wirksamkeit der Ebenen 1 bis 3 leicht tangierte. Im siebten Fall wurde beim Bau des Nasslagers für abgebrannte Brennelemente von Vorgaben zur Qualitätssicherung abgewichen, was mehrere Sicherheitsebenen betreffen kann. Die achte Situation trat während des Revisionsstillstands auf. Bei Materialprüfungen an der Innenseite zweier Druckhalterstützen traten Rissanzeigen auf. Entgegen den Vorgaben wurden diese weggeschliffen und repariert, bevor die Aufsichtsbehörde diese inspizieren konnte. Dadurch war es nicht möglich, die Grundursache dieser Risse vorschriftsgemäss abzuklären. Diese Abweichungen sind von Bedeutung für die Integrität des Primärkreises.

### 3.9 Gesamtbeurteilung

Die nukleare Sicherheit des KKG war sowohl in Bezug auf die Auslegung als auch auf das Betriebsgeschehen gut. Alle fünf klassierten Vorkommnisse hatten eine geringe Bedeutung für die nukleare Sicherheit. In allen Fällen hat das KKG angemessene Sofort- und Folgemassnahmen getroffen. Ein Ende November aufgetretener Brennstab-Hüllrohrdefekt führte zu einem Aktivitätsanstieg im Primärkühlmittel, der jedoch während des Berichtsjahres innerhalb des zulässigen Grenzwertes lag.

Die HSK hat im Rahmen ihrer Aufsicht rund 60 Inspektionen in allen Fachgebieten durchgeführt, wobei der Revisionsstillstand einen Schwerpunkt bildete. Die Ergebnisse der Inspektionen wurden dem Betreiber mitgeteilt, der die erforderlichen Verbesserungsmaßnahmen umsetzte.

Der Revisionsstillstand stand im Zeichen des Austauschs der Primärsicherheitsventile, die neu neben der Grundfunktion von Sicherheitsventilen auch eine kontrollierte Druckentlastung ermöglichen. Bedingt durch diesen Austausch dauerte der Revisionsstillstand rund doppelt so lang wie normal, was eine entsprechend verminderte Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung zur Folge hatte. Trotz den umfangreichen Arbeiten am Primärkreislauf gelang es, die Kollektivdosis im Revisionsstillstand weit unter dem geplanten Wert zu halten, was die wirkungsvolle Arbeit des Strahlenschutzes belegt.

Die Jahreskollektivdosis für das Eigen- und Fremdpersonal lag zwar über den Werten der Vorjahre, kann aber absolut betrachtet angesichts der speziellen Arbeiten im Revisionsstillstand als sehr tief bewertet werden. Die Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung lagen weit unterhalb der behördlich festgelegten Grenzwerte. Damit sind die zusätzlichen Strahlendosen für die Bevölkerung verglichen mit der natürlichen Strahlenexposition unbedeutend.

Die HSK stellt insgesamt fest, dass im KKG während des Jahres 2005 die bewilligten Betriebsbedingungen stets eingehalten wurden. Sie attestiert dem KKG eine gute Betriebssicherheit.



Gesamtansicht  
des Kernkraftwerks  
Leibstadt.  
Foto: KKL

## 4. Kernkraftwerk Leibstadt

### 4.1 Betriebsdaten und Betriebsergebnisse

Das Kernkraftwerk Leibstadt (KKL) ist eine Siedewasserreaktoranlage. Es nahm seinen kommerziellen Betrieb im Jahr 1984 auf. Die elektrische Nettoleistung beträgt 1165 MW. Weitere Daten des Werkes sind in den Tabellen 1a und 1b des Anhangs zu finden. Die Figur 9b zeigt das Funktionsschema einer Siedewasserreaktoranlage.

Das KKL verzeichnete in seinem 21. Betriebsjahr eine Arbeitsausnutzung von 56,7 % und eine Zeitverfügbarkeit von 57,1 %. Die Zeitverfügbarkeiten und die Arbeitsausnutzungen der letzten zehn Jahre sind in Fig. 1 dargestellt.

Am 28. März 2005 führte ein Erdschluss am Generator zu einer automatischen Reaktorleistungsreduktion auf 42%. Dies hatte keine unzulässigen Auswirkungen auf die nukleare Sicherheit. Die Anlage wurde anschliessend abgefahren. Für die Reparatur des Generators war ein Stillstand bis zum 30. August 2005 erforderlich. Dieser wurde auch für die im Jahr 2005 erforderlichen Revisionsarbeiten und weitere umfangreiche Instandhaltungsarbeiten genutzt.

Das Anfahrprogramm wurde am 1. September 2005 durch eine ungeplante Reaktorschnellabschaltung unterbrochen (siehe 4.2.1).

Im weiteren Verlauf des Anfahrprogramms kam es am 5. September 2005 aus 85% Leistung zu einer



Leistungsreduktion infolge einer irrtümlichen Abschaltung der Kühlung der Generatorableitung (siehe 4.7.1).

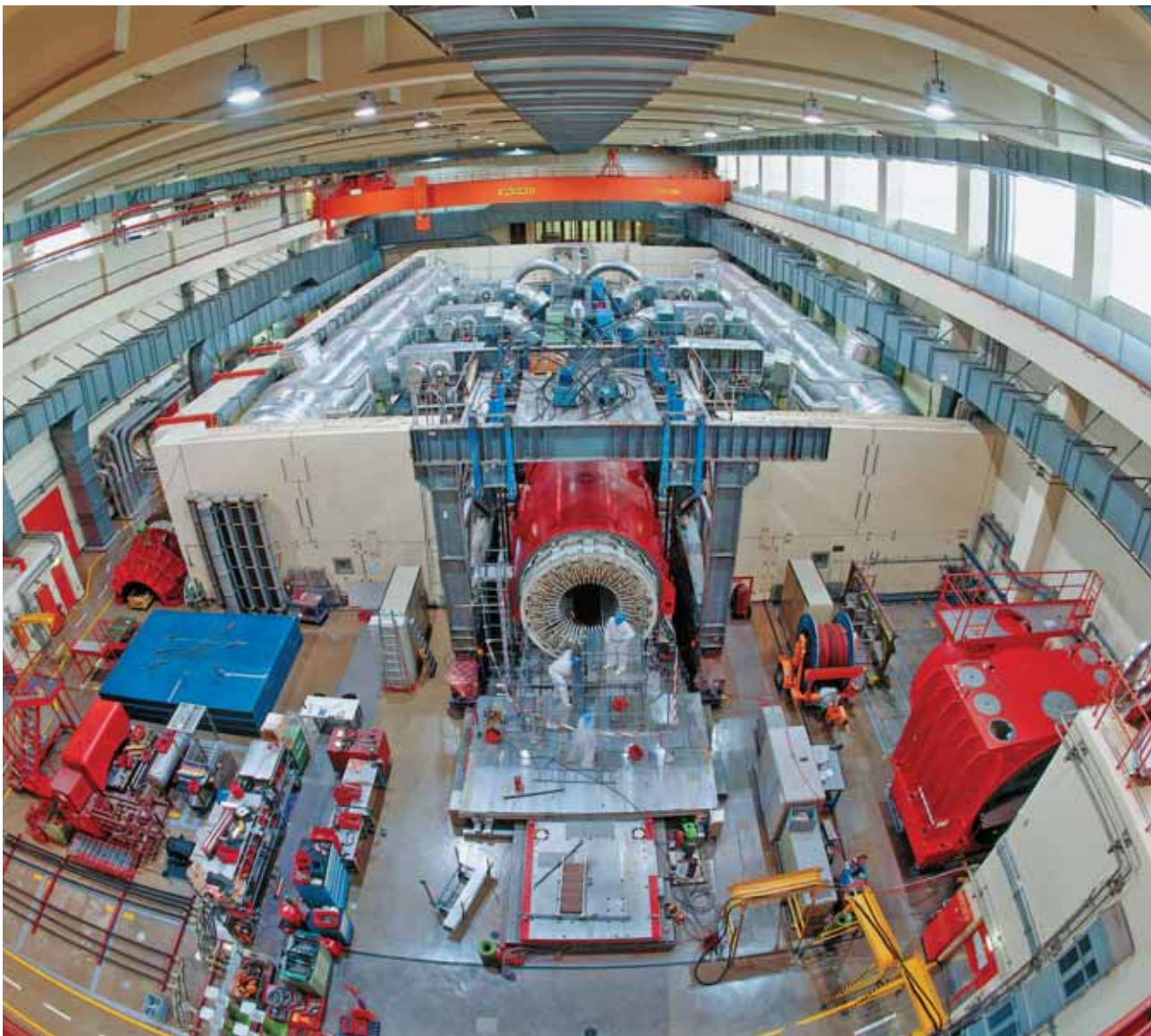
## 4.2 Anlagensicherheit

### 4.2.1 Vorkommnisse

Gemäss HSK-Richtlinie R-15, Berichterstattung über den Betrieb von Kernkraftwerken, hat die HSK sechs Vorkommnisse der Klasse B zugeordnet. Eines davon wurde der Stufe 1 und fünf der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala INES zugeteilt (siehe Anhang Tabelle 4). Im Folgenden werden diese Vorkommnisse näher beschrieben. Für eine visuelle Inspektion der Innenseite des Reaktordruckbehälters musste vorübergehend ein Teil der Brennelemente aus dem Kern ausgeladen und anschliessend wieder in den Kern eingesetzt

werden. Hierfür mussten im inspizierten Bereich die Steuerstäbe aus dem Kern ausgefahren werden. Am 23. April 2005 wurde begonnen, die Brennelemente wieder einzusetzen, als zwei Steuerstäbe noch nicht eingefahren waren. Dies widerspricht einer Bestimmung der Technischen Spezifikation, welche vorschreibt, dass vor dem Einsetzen von Brennelementen alle Steuerstäbe vollständig in den Reaktorkern eingefahren sein müssen. Beim beschriebenen Ablauf musste die Arbeit der Schichtgruppe im Kommandoraum, welche die Steuerstabbewegungen vornahm, mit der Arbeit der Brennelementhandhabungsgruppe im Reaktorgebäude koordiniert werden. Bei dieser Koordination sind Fehler passiert. Die Vorschrift, wonach Brennelemente nur in den Kern eingesetzt werden dürfen, wenn alle Steuerstäbe eingefahren sind, dient dazu sicherzustellen, dass der Reaktor unter keinen Umständen kritisch wird, es

Blick ins Maschinenhaus, wo der Generator (im Vordergrund) repariert wurde.  
Foto: KKL



also zu einer selbsterhaltenden Kettenreaktion im offenen Reaktordruckbehälter kommt. Gemäss Nachrechnungen bestand im vorliegenden Fall keine Gefahr, dass der Reaktor hätte kritisch werden können. Selbst beim Erreichen der Kritikalität hätte die strahlungsabschirmende Wirkung des Wassers über dem Kern verhindert, dass die Operateure auf der Brennelementlademaschine unzulässig bestrahlt worden wären. Weil die Technische Spezifikation nicht eingehalten wurde, hat die HSK das Vorkommnis auf der internationalen Ereignisskala der Stufe 1 sowie der Klasse B zugeordnet. Die HSK verlangte vom KKL umfassende Verbesserungen der Abläufe von Arbeiten am Reaktorkern. Das KKL hat diese umgesetzt.

Am 24. April 2005 musste für einen Funktionstest ein Strang des Abfahrkühlsystems vorübergehend ausser Betrieb genommen werden. Bei der Wiederinbetriebnahme nach Abschluss des Tests wurde Wasser aus der Druckabbaukammer in die Reaktorgrube gepumpt. Weil die Arbeitsvorschriften diese Situation nicht abdeckten, wurde durch ungeeignete Schaltheandlungen die Reaktorgrube überfüllt und das Wasser lief in den umliegenden Rohrkanal. Die darin vorhandenen Abläufe vermochten den Wasseranfall nicht abzuleiten. Der Rückstau überflutete die angeschlossenen Kanäle der Becken-Lüftung. Da die Lüftungskanäle nicht wasserdicht sind, lief das Wasser ins Containment. Dies führte zu einer leichten, aber grossflächigen Kontamination im Containment, die anschliessend wieder entfernt werden konnte. Die HSK ordnete das Vorkommnis der Klasse B zu und der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala.

Bei der jährlichen Bewegungskontrolle der Vorsteuerkolben zu den Sicherheits- und Abblaseventilen (SRV) wurde an den pneumatischen Antrieben von 4 der 16 SRV im betätigten, ausgefahrenen Zustand eine Luftleckage festgestellt. Die gemäss Technischer Spezifikation zulässige Leckrate im aktivierten Zustand wurde überschritten. Die ungenügende Dichtheit war auf ausgehärtete Elastomerdichtringe zwischen Kolben und Zylinderlauffläche im Pneumatikzylinder zurückzuführen, die seit dem Jahr 2002 eine andere Werkstoffzusammensetzung aufweisen. Die Leckage hätte nur im wenig wahrscheinlichen Fall, dass bei einer Anforderung der SRV gleichzeitig das Steuerluftsystem ausgefallen wäre, eine Auswirkung gehabt. Die gesteuerte Abblasefunktion und die Druckabbau-Funktion für das Einspeisen mit Niederdruck-Kernnotkühlsystemen hätten weniger

lang zur Verfügung gestanden als vorgesehen. Die auf Federkraft basierende mechanische Sicherheitsabblasefunktion hätte uneingeschränkt funktioniert. Nach dem Ersatz der Dichtungen wurde die Dichtheit aller Ventile nachgewiesen. Die HSK ordnete das Vorkommnis der Klasse B zu und der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala.

Im Rahmen des Wiederanfahrprogramms nach dem verlängerten Revisionsstillstand wurde eine Reaktorschutzprüfung durchgeführt. Ein Reaktoroperator bereitete sich darauf vor, ein Frischdampfisolationsventil zu betätigen und berührte dabei auf dem Bedienpult im Kommandoraum, ohne es zu merken, eine Taste, welche ein Sicherheitsabblaseventil öffnete. Dadurch wurde Dampf aus dem Reaktor in die Druckabbaukammer geleitet, was aufgrund der Temperaturerhöhung des darin enthaltenen Wassers eine automatische Reaktorschnellabschaltung auslöste. Die nukleare Sicherheit wurde dadurch nicht unzulässig beeinträchtigt. Die HSK ordnete das Vorkommnis der Klasse B und der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala zu. Das KKL hat diverse Massnahmen ergriffen, die eine Wiederholung analoger Vorkommnisse verhindern sollen. Nicht am Test beteiligte Schalter sollen im betroffenen Bedienpultbereich noch konsequenter abgedeckt werden. Das Bedienverhalten der Reaktoroperateure wird beim Simulatortraining stärker beachtet.

Während der monatlichen Funktionsprüfung eines Dieseldieselgenerators am 8. September 2005 erbrachte dieser die erforderliche Nennleistung nicht. Die Abklärungen ergaben, dass die Schwergängigkeit von einem der 20 Einspritzkolben zum Blockieren des Reguliergestänges und dadurch zum Blockieren der Motorleistungsregelung führte. Weil die nach Technischer Spezifikation vorgeschriebene Anzahl Notstromdiesel-Generatoren verfügbar waren, wurde die nukleare Sicherheit nicht unzulässig beeinträchtigt. Die HSK ordnete das Vorkommnis der Klasse B und der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala zu.

Beim zweimonatlichen Systemfunktionstest des Reaktorkernisolations-Kühlsystems vom 20. Oktober 2005 erreichte dessen Turbine die geforderte Drehzahl nicht. Die Steuerung, welche das Hochfahren der Turbine regelt, funktionierte nicht korrekt. Nach dem Austausch einer fehlerhaften Baugruppe konnte die Funktionsprüfung ordnungsgemäss durchgeführt werden. Die Baugruppe wurde zur näheren Untersuchung an den Lieferanten gesandt. Weil die Notkühlsysteme verfügbar waren, wurde die nukleare Sicherheit nicht unzulässig beeinträchtigt. Die

HSK ordnete das Vorkommnis der Klasse B und der Stufe 0 der internationalen Ereignisskala zu.

Weil in den Jahren 2004 und 2005 im KKL mehrere Vorkommnisse auf Ursachen oder beitragende Faktoren in den Bereichen Arbeitsvorbereitung und Umgang mit Vorschriften zurückzuführen waren, forderte die HSK vom KKL eine Verstärkung der personellen Ressourcen zur systematischen Überprüfung der nuklearen Sicherheit, insbesondere in den Bereichen Mensch und Organisation.

Das KKL setzt aufgrund dieser Vorkommnisse bei der Vorbereitung und Durchführung besonders sicherheitsrelevanter Funktionsprüfungen verstärkt das Vier-Augen-Prinzip ein. Eine zweite qualifizierte Person verfolgt und überprüft die einzelnen Arbeitsschritte. Für alle Bereiche des Anlagenbetriebs und der Instandhaltung werden überdies die Arbeiten im Team noch konsequenter vorbesprochen.

Die klassierten Vorkommnisse der letzten zehn Jahre sind in der Figur 2 dargestellt.

#### **4.2.2 Arbeiten während des verlängerten Revisionsstillstands**

Der rund fünfmonatige Stillstand vom 28. März bis 30. August 2005 war durch einen Generatorschaden bedingt und konnte somit im Gegensatz zu einem normalen Revisionsstillstand nicht vorher geplant werden. Hingegen gelang es, die ursprüngliche Planung des Revisionsstillstands so anzupassen, dass der verlängerte Stillstand für die im Jahr 2005 erforderlichen und für ursprünglich später vorgesehene Instandhaltungsarbeiten genutzt werden konnte. Als Vorsorge gegen Stillstands-schäden infolge des verlängerten Anlagestillstands wurden Schutz- und Konservierungsmassnahmen für Systeme und Komponenten ergriffen.

Die Ortsdosisleistungen sanken dank der langen Stillstandszeit auf ein niedrigeres Niveau als während anderer Revisionsstillstände und erlaubten Instandhaltungsarbeiten unter strahlenschutz-technisch günstigen Bedingungen.

Vor der Reparatur des Generators musste dessen Zustand ermittelt werden. Hierfür waren aufwändige Demontearbeiten erforderlich. Die Befunde zeigten, dass es durch Überhitzung des Stator-eisens zum lokalen Schmelzen einer Pressplatte gekommen war. Die Überhitzung konnte schliesslich vorwiegend auf die zum Vorkommniszeitpunkt angewandte Fahrweise des Generators im untererregten Blindlastbereich zurückgeführt werden. Bei der Herstellung der neuen Pressplatten wurden konstruktive Verbesserungen bezüglich

Wärmedehnung vorgenommen. Weitere Verbesserungen betreffen die Generatorüberwachung durch neu eingebaute Feldspulen und optische Temperatursensoren. Weitere Parameter wie Nut-Temperaturen, Kühlwasser-Austrittstemperaturen, aber auch der H<sub>2</sub>-Gasstrom werden nun umfassender und ständig überwacht. Bei einer Grenzwertüberschreitung wird die Betriebsmannschaft im Hauptkommandoraum optisch und akustisch alarmiert.

Die im Jahre 2004 eingebauten Vibrationssensoren zeigten an den Isolierhülsen der Statorwickelköpfe teilweise erhöhte Vibrationswerte an. Daher plante das KKL zur Reduktion der Vibration den Einbau einer zusätzlichen Wickelkopfverkeilung, welcher im Rahmen dieser ausserordentlichen Generatorreparatur realisiert wurde. Erste Messergebnisse während und nach der Wiederinbetriebnahme des Generators zeigten generell geringere Schwingungen als bisher. Somit sollte sich diese zusätzliche Massnahme positiv auf die Zuverlässigkeit und Lebensdauer des Generators auswirken.

Die HSK beaufsichtigte die Reparaturmassnahmen am Generator und stellte fest, dass diese entsprechend den Anforderungen ausgeführt wurden.

Während des Stillstands wurden der Brennelementwechsel, Inspektionen an elektrischen und mechanischen Einrichtungen, zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen, wiederkehrende Funktionsprüfungen an Komponenten und Systemen sowie Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten durchgeführt.

Die visuelle Inspektion der Kerneinbauten erfolgte gemäss Wiederholungsprüfprogramm. Die Prüfungen wurden mit Unterwasserkameras durchgeführt und auf Videoband aufgezeichnet. Vom Kernmantel wurden drei horizontale Schweissnähte stichprobenartig geprüft. Es wurden keine Auffälligkeiten gefunden, die auf Rissbildungen hindeuten. Für die Prüfungen an den Jetpumpen wurde vorgängig ein vollständiges Modell gefertigt, das für die Qualifizierung der Prüfungen und die Ausbildung verwendet wird. Die Jetpumpen werden in der Halterung jeweils von zwei gegen Verdrehen gesicherten Fixierschrauben und einem beweglichen Keil eingespannt. An einer Jetpumpe wurden ein kleiner Spalt und ein eingeklemmtes Partikel festgestellt. Beide Befunde wurden als unbedenklich bewertet. An den anderen Pumpen waren keine Spalte auffindbar.

Aufgrund der während des Betriebs gemessenen Schwingungen an einer von zwei Reaktorwasser-

Reinigungspumpen wurde der Pumpenläufer ausgetauscht. Bei der Demontage der Pumpe war die Gegenseibe des Leitkranzes lose, weil die Befestigungsschrauben zum Teil abgebrochen waren. Die Funktionsfähigkeit der Pumpe war dadurch jedoch nicht beeinträchtigt. Es wurde eine Modifikation der Befestigung der Gegenseibe mit zwei zusätzlichen Führungsstiften vorgenommen. Die zweite Reaktorwasser-Reinigungspumpe war in gutem Zustand.

Beim Hochdruck-Kernsprühsystem wurde eine Grossrevision der Hauptpumpe durchgeführt. Dabei wurden auch die Sicherheitsventile und das Mindestmengenventil revidiert.

In einem Speisewasserstrang wurde die periodische Leckratenmessung durchgeführt. Alle drei in den Jahren 2001 bis 2004 sanierten gedämpften Speisewasserrückschlagventile erfüllten die Dichtheitsanforderungen. Zusammen mit den im Revisionsstillstand 2004 in diesem Strang gemessenen Leckraten resultierte eine Strangleckage weit unterhalb der Limiten der Technischen Spezifikation. Die Sanierung der Rückschlagventile im Speisewassersystem war somit erfolgreich.

Bei einem Strang des Nachwärmeabfuhrsystems wurde ein Sicherheitsventil zur Revision ausgebaut. Die Leitung wurde dabei nicht wie vorgeschrieben mit einem Blindflansch abgedichtet. Daher strömte Reaktorwasser in den Gebäudesumpf. Die Leckage löste im Kommandoraum einen Alarm aus und wurde gestoppt. In der näheren Umgebung der Leckage kam es zu einer leichten Oberflächenkontamination. Die Ursache für dieses Ereignis liegt in einer ungenügenden Arbeitsvorbereitung. Wie bereits an anderer Stelle beschrieben, hat das KKL mit der konsequenteren Vorbesprechung von Arbeiten adäquate Massnahmen ergriffen, die eine Wiederholung solcher Vorkommnisse verhindern sollte.

Bei der jährlichen Überprüfung der hydraulischen Stossbremsen im Drywell wurden an drei Bremsen leichte Beschädigungen festgestellt. Die Stossbremsen wurden ausgetauscht. Die HSK verlangte vom KKL, bis Ende März 2006 abzuklären, ob die Beschädigungen Auswirkungen auf die Funktionsfähigkeit hatten.

Die wichtigsten wiederkehrenden Prüfungen bestanden in manuellen Ultraschallprüfungen, Durchstrahlungs-, Magnetpulver- und Farbeindringprüfungen von Stutzen- und Rohrleitungsschweißnähten der Sicherheitsklassen 1 und 2. Es ergaben sich keine bewertungspflichtigen Befunde.

Im Bereich der Sekundäranlage wurde eine Niederdruck-Turbine einer grossen Revision unterzogen.

Alle drei Turbinenrotoren wurden auf Rissanzeigen überprüft, wobei sich keine Befunde ergaben.

Die Inneninspektionen von Rohrleitungen auf Erosionsschäden sowie die Kontrollen an Rohrsträngen in der Sekundäranlage zeigten keine Wandstärkenschwächungen.

Die im Bereich Elektro und Leittechnik vorgeschriebenen Transmitterkalibrierungen wurden ordnungsgemäss durchgeführt. Das vom KKL entwickelte Messwert-Erfassungssystem mit den zugehörigen Druckaufnehmern ermöglicht ein korrektes und effizientes Vorgehen und eine sichere Datenarchivierung.

Aufgrund der beim Neutronenflussdichte-Messsystem für den Anfahrbereich vereinzelt aufgetretenen Störungen an Anzeigen der Detektorposition erfolgte präventiv ein Austausch von insgesamt sieben Detektor-Antriebsmodulen. Die Zuverlässigkeit der Detektorantriebe ist damit gewährleistet.

Die HSK hat im Zusammenhang mit dem Revisionsstillstand die durchgeführten Arbeiten und den Zustand der Anlage mit über 50 Inspektionen und Fachgesprächen sowie der Prüfung der vom KKL eingereichten Dokumente beaufsichtigt. Sie kommt zum Schluss, dass sich die Anlage in einem guten Zustand befindet.

Für alle Schweizer Kernkraftwerke geltende Aussagen zu zerstörungsfreien Prüfverfahren finden sich am Schluss des Abschnitts 1.2.2 im Kapitel zum KKB.

#### **4.2.3 Anlagenänderungen**

Im Bereich der Primär- und Sekundäranlage wurden zahlreiche Änderungen durchgeführt, welche die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Anlage erhöhen und in Zukunft teilweise auch den Instandhaltungsaufwand und die damit verbundenen Personendosen reduzieren.

Im Hinblick auf zukünftige Massnahmen zum Korrosionsschutz von Komponenten wurde die Möglichkeit in Betracht gezogen, Wasserstoff in den Primärkreislauf einzuspeisen. Dadurch sind höhere Strahlendosisleistungen in der näheren Umgebung des Maschinenhauses zu erwarten. Deshalb wurden die Ostfenster des Maschinenhauses verschlossen. Während der Arbeiten wurde das Strahlenschutz-Zonenkonzept eingehalten. Der Unterdruck im Maschinenhaus war stets gewährleistet. In der Abgasanlage wurde das Wasserstoff-Messsystem in Übereinstimmung mit den Vorgaben ersetzt. Mit diesen Massnahmen wird dank dem verringerten Instandhaltungsaufwand die Strah-



Reparatur-Arbeiten  
am Generator: Der  
Rotor wird aus dem  
Stator ausgefahren.  
Foto: KKL

lendosis des Personals verringert. Die HSK stellte fest, dass die Abklärungen und Detailüberprüfungen zur Gewährleistung einer hohen Zuverlässigkeit des Messsystems sorgfältig vorgenommen wurden.

Im Folgenden wird auf Anlagenänderungen im Bereich der elektrischen und leittechnischen Ausrüstung eingegangen:

Da die in der Notstromversorgung des Hochdruck-Kernsprühsystems eingesetzte 24-V-Batterie ihre Lebensdauer erreicht hatte und der bisherige Batterielieferant die Produktion dieses Batterietyps einstellte, evaluierte das KKL ein für das Werk neues Batterieprodukt. Der Ersatz der restlichen 24-V-Batterien wird beim Erreichen der entsprechenden Lebensdauer erfolgen.

Als Folge eines Vorkommnisses im Jahr 2004, bei dem es bei vorbereitenden Arbeiten im Bereich der Generatorerregung zu einer Reaktorschnellabschaltung gekommen war, implementierte das KKL eine Änderung der Steuerungslogik. Dadurch soll verhindert werden, dass eine Störung der Generatorerregung wie bei diesem Vorkommnis zu einer Abschaltung beider redundanter elektrischer Eigenbedarfsversorgungen führen kann.

Im Rahmen des langfristigen Projekts der Leitanlagen-Modernisierung konnte in diesem Jahr die zweite Teilimplementierung, die Ablösung des Prozessrechners inklusive seiner Schnittstellen, vollzo-

gen werden. Nebst dem notwendigen An- bzw. Umschluss von insgesamt 703 Signalen wurden auch zusätzliche Messwerte zur Generatorüberwachung erfasst.

#### 4.2.4 Brennelemente und Steuerstäbe

Im Berichtszeitraum gab es keine Brennelementschäden.

Da der 21. Betriebszyklus (2004/2005) wegen eines Generatorschadens vorzeitig beendet wurde, mussten während des Brennelementwechsels lediglich 76 frische Brennelemente nachgeladen werden. Die Nachladung besteht aus 72 Brennelementen des Typs SVEA-96 Optima2 und 4 Vorläufer-Brennelementen des Typs ATRIUM 10XM. Alle nachgeladenen Brennelemente sind mit besonders wirksamen Fremdkörperfiltern ausgestattet. Die HSK hat sich anhand von Protokollen überzeugt, dass die neuen Brennelemente den Qualitätsanforderungen für einen sicheren Betrieb entsprechen.

Die Borsäurekonzentration im Reaktorwasser war auch in diesem Berichtszeitraum noch immer erhöht, was auf Undichtheit von Steuerstäben zurückzuführen ist. Ergänzend zu seiner Steuerstab-Austauschstrategie hat der Betreiber deshalb während des Brennelementwechsels 54 stark bestrahlte Steuerstäbe durch neue ersetzt. Nachdem nunmehr etwa zwei Drittel aller Steuerstäbe er-

setzt worden sind, verringert sich die Borsäurekonzentration merklich. Die HSK lässt sich vom Betreiber weiterhin regelmässig über den Verlauf der Borsäurekonzentration im Reaktorwasser informieren. Trotz Undichtheiten ist eine ausreichende Abschaltwirksamkeit der Steuerstäbe gewährleistet.

Wie die HSK im Berichtsjahr in einem Aufsichtsgespräch erfuhr, war es während des Anfahrens der Anlage nach dem Revisionsstillstand 2004 zum Ansprechen eines Alarms des Kernüberwachungssystems gekommen, weil die berechnete Leistungsdichte über dem betrieblichen Grenzwert lag. Die HSK verlangte vom KKL einen Vorkommnisbericht. Die Analyse zeigte, dass der vom Kernüberwachungssystem berechnete Wert Reserven enthält und die thermische Limite in Wirklichkeit nicht überschritten worden war.

### 4.3 Strahlenschutz

Im Kalenderjahr belief sich die Kollektivdosis im KKL auf 570 Pers.-mSv. Die höchste im KKL registrierte Individualdosis betrug 13,0 mSv. Der Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr wurde somit nicht überschritten. Es traten weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen auf.

Bedingt durch einen Erdschluss im Generator musste das KKL die Anlage früher als geplant abfahren. Die Reparaturarbeiten am beschädigten Generator wurden in der kontrollierten Zone unter Beobachtung des Betriebsstrahlenschutzes ausgeführt und erforderten eine Verlängerung des Stillstandes auf insgesamt 153 Tage. Durch den verlängerten Stillstand konnten radioaktive Nuklide in den Komponenten abklingen. Dies führte zu einer Reduktion der Dosisleistung an diesen Orten und damit zu einer geringeren Kollektivdosis des betroffenen Personals. Die Kollektivdosis für den Revisionsstillstand betrug 463 Pers.-mSv und war damit geringer als die geplante Kollektivdosis von 500 mSv. Die Kontrollen der Luft und der Oberflächen in der Anlage gaben keine Hinweise auf unzulässige Kontaminationen.

Wie unter 4.2.3 dargelegt, wurden die Fenster auf der Ostseite des Maschinenhauses entfernt und durch Betonmauern ersetzt. Die ausgebauten Fenster und der anfallende Bauschutt wurden freigemessen und entsorgt. Die zusätzliche Abschir-

mung verringert die Dosisleistung ausserhalb des Maschinenhauses um bis zu einem Faktor zwei.

Im Rahmen eines von der HSK verlangten Überprüfungsprogramms identifizierte das KKL in der Fahrzeugschleuse zum Brennelementlager einen nicht vorgesehenen Abgabepfad. Aufgrund eines Fehlers bei der Auslegung der Entwässerung der Fahrzeugschleuse führte diese über die Regenwasserleitung in den Nebenkühlwasser-Rücklauf. Dennoch kam es nie zur unkontrollierten Abgabe radioaktiver Stoffe, weil der Nebenkühlwasser-Rücklauf durch einen Aktivitätsmonitor überwacht wird. Das KKL hat die Entwässerung nun so verändert, dass sie über das System zur Reinigung radioaktiver Abwässer geleitet wird.

Ein irrtümliches Überfüllen der Reaktorgrube während des Revisionsstillstandes (siehe 4.2.1), wodurch eine erhebliche Menge Primärkühlwasser über Lüftungskanäle ins Containment gelangte, wurde vom Strahlenschutz adäquat behandelt. Zum Zeitpunkt des Vorkommnisses war die Aktivität des Kühlwassers gering, da im vorherigen Zyklus keine Brennelementschäden vorgekommen waren. Untersuchungen durch das KKL zeigten, dass es zu keinen bleibenden Kontaminationen kam.

Die HSK stellte bei mehreren Inspektionen fest, dass im KKL ein guter 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 16% des Jahresgrenzwertes. Die quartalsweise von der HSK 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 die HSK die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des KKL unter konservativen, d.h. ungünstigen Annahmen. Die Dosen betragen 0,0018 mSv für Erwachsene und 0,0031 mSv für Kleinkinder und liegen damit deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv/Jahr gemäss der HSK-Richtlinie R-11.

Die Dosisleistungs-Messsonden des von der HSK betriebenen Messnetzes (MADUK) in der Umgebung des Werkes zeigten keine durch den Betrieb der Anlage erhöhten Werte an. Im Nahbereich eines Siedewasserreaktors ist die Ortsdosisleistung

durch Direkt- und Streustrahlung aus dem Maschinenhaus erhöht. Die Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD), die an mehreren Stellen am Zaun des Kraftwerkareals die Dosis messen, zeigten mit einem Jahreshöchstwert von 1,2 mSv tiefere Werte als im Vorjahr, da die Anlage wegen des Schadens am Generator fünf Monate nicht in Betrieb war (Jahreshöchstwert 2004: 3,3 mSv inkl. natürlicher Untergrundstrahlung). Bei den quartalsweise von der HSK durchgeführten Messungen an der Umzäunung des KKL wurden keine signifikanten Veränderungen festgestellt. Die in Art. 102 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung vorgegebenen Immissionsgrenzwerte für Direktstrahlung ausserhalb des Betriebsareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn- und Aufenthaltsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche wurden eingehalten.

Detailliertere Angaben zur radiologischen Situation innerhalb und ausserhalb der Anlage Leibstadt finden sich im Strahlenschutzbericht 2005 der HSK.

#### 4.4 Radioaktive Abfälle

Radioaktive Rohabfälle fallen im KKL regelmässig aus den Wasserreinigungssystemen, der Abgas- und Fortluftreinigung sowie als verbrauchte Brennelementkästen und Steuerstäbe an. Weitere Abfälle stammen vom Austausch von Komponenten bei Instandhaltungs-, Umbau- oder Nachrüstmassnahmen sowie den dabei verwendeten Verbrauchsmaterialien. Der Anfall an radioaktiven Rohabfällen (vgl. Tabelle 8) war im Berichtsjahr niedriger als im Jahr 2004, er bewegt sich jedoch in der Schwankungsbreite des mehrjährigen Mittelwertes. Dieser liegt im internationalen Vergleich mit anderen Anlagen ähnlichen Typs seit Jahren auf einem niedrigen Niveau. Wegen des langen Betriebsunterbruchs durch den Generatorschaden fiel vor allem das Volumen der verbrauchten Harze deutlich niedriger aus.

Die radioaktiven Rohabfälle werden gesammelt, kampagnenweise konditioniert und anschliessend zwischengelagert. Der Bestand an unkonditionierten Abfällen ist im KKL sehr gering und praktisch unverändert. Diese Abfälle sind in dafür vorgesehenen Räumlichkeiten der kontrollierten Zone aufbewahrt. Die für die Verarbeitung im Plasmaofen der ZWILAG bereitgestellten brenn- und schmelzbaren Rohabfälle wurden dorthin abtransportiert.

Als Konditionierungsverfahren kommt im KKL ausschliesslich die Zementierung zum Einsatz. Für alle angewendeten Verfahren liegen die gemäss Kern-

energieverordnung und Richtlinie HSK-R-14 erforderlichen Typengenehmigungen der HSK vor. Im Berichtsjahr wurden lediglich in einer Kampagne 79 Fässer mit ausgedienten Harzen in der Verfestigungsanlage zementiert. Weitere Konditionierungsarbeiten grösseren Umfangs wurden nicht durchgeführt.

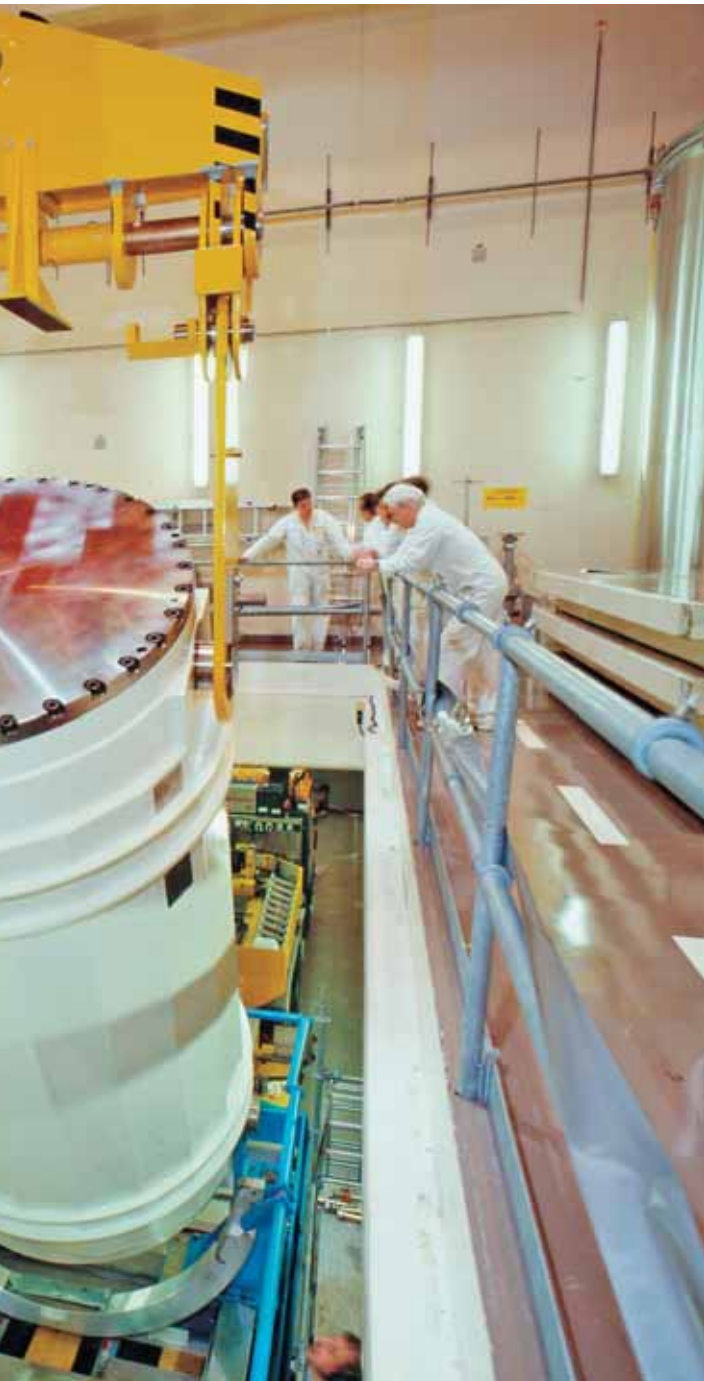
Die konditionierten Abfallgebinde werden routinemässig in das werkseigene Zwischenlager eingelagert. Alle Abfälle sind in einem von allen schweizerischen Kernanlagen eingesetzten elektronischen Buchführungssystem erfasst, so dass die Information über Menge, Lagerort und radiologische Eigenschaften jederzeit verfügbar ist.



Ein Transport- und Lagerbehälter wird umgeladen.

Foto: KKL

Wie in den Vorjahren ist vom KKL auch im Jahr 2005 zur Abfallminimierung die Inaktiv-Freimesung von Materialien aus den kontrollierten Zonen gemäss den Vorgaben der Richtlinie HSK-R-13 angewendet worden. Die Mengen waren im Zusammenhang mit der umfangreichen Reparatur des Generators wesentlich höher. Von total rund 133 t Material entfielen rund 82 t auf Öle. Die restliche Menge bestand aus diversen Schrotten, Glas, Strahlmittel und Gummi.



## 4.5 Notfallbereitschaft

Die Notfallorganisation des KKL ist für die Bewältigung von Notfällen innerhalb des Werkareals zuständig. Mit einer zweckmässigen Führungsorganisation, geeigneten Führungsprozessen und angepassten Führungseinrichtungen zusammen mit einer entsprechenden Auslegung der Anlage hat das KKL die Notfallbereitschaft auf hohem Niveau sicherzustellen.

Die HSK hat im März an der Gesamtnotfallübung KRONOS I die Notfallorganisation beobachtet und beurteilt. Die Übung stand unter Leitung der eidgenössischen Kommission für ABC-Schutz. Als externe Teilnehmer wirkten auch der HSK-Notfallstab und Notfallorgane des KKB, des Bundes, der Kantone Aargau und Zürich sowie deutsche Stellen mit. Das Szenario postulierte eine als Folge mehrerer unabhängiger Fehler aufgetretene Kernbeschädigung, welche die Auslösung der RABE-Warnung notwendig machte. Die Übungsleitung kam aufgrund der Beobachtung zum Schluss, dass die Übungsziele erreicht worden sind.

Im November löste die HSK im KKL ohne Voranmeldung einen Übungsalarm aus, bei welchem die Verfügbarkeit des Notfallstabes überprüft wurde. Das KKL erreichte die Übungsziele.

## 4.6 Probabilistische Sicherheitsanalyse und Accident Management

Mit der Probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) wird das Restrisiko berechnet, dass ein schwerer Unfall in einem Kernkraftwerk auftritt (vgl. Kap. 1.6). Im Jahr 2005 wurden in den Bereichen PSA und Accident Management im Wesentlichen folgende Arbeiten durchgeführt:

- Das KKL aktualisierte verschiedene Bereiche der PSA und nahm einige Verfeinerungen an den Rechenverfahren vor. Aufgrund der Erkenntnisse aus dem Projekt PEGASOS (vgl. Kap. 1.6) verwendete das KKL im aktualisierten PSA-Modell als Übergangslösung neue, verschärfte Erdbebengefährdungsannahmen. Ferner überarbeitete das KKL die probabilistische Bewertung von abhängigen Komponentenausfällen. Im Rahmen dieser Überarbeitung wurden alle Ereignisse des KKL betrachtet und die internationale Betriebserfahrung miteinbezogen.
- Die vom KKL überarbeitete Analyse der Wahrscheinlichkeit des Ausbleibens von für die Beherrschung von Störfällen erforderlichen Opera-



teurhandlungen wurde von der HSK überprüft und als transparent und angemessen beurteilt.

■ Das KKL reichte erstmals probabilistische Ereignisanalysen (vgl. Kap. 1.6) ein. In diesen Analysen wurden für den Zeitraum 1998 bis 2004 alle im KKL aufgetretenen Ereignisse systematisch analysiert. Gemäss dem KKL war die bedeutendste Risikospitze im Jahr 2003 zu verzeichnen und auf eine kurzzeitige Unverfügbarkeit eines Ventils in der Steuerluftversorgung während der geplanten Revision eines Stranges des Notstandssystems zurückzuführen. Zum akkumulierten Risiko trugen vor allem Reaktor-schnellabschaltungen und Unverfügbarkeiten des Reaktorkernisoliations-Kühlsystems bei. Erwartungsgemäss traten keine extremen Risikospitzen auf, und das akkumulierte Risiko blieb gering.

■ Bei einem Störfall im KKL werden der HSK alle zwei Minuten 22 relevante Anlagenparameter via eigenes Übermittlungsnetz zugestellt und bei der HSK mit dem Störfallanalyseprogramm ADAM (vgl. Kap. 1.6) verarbeitet. Im Jahr 2005 wurde die ADAM-Datenerfassung konzeptionell verbessert und im Rahmen verschiedener Werksaufschaltungen getestet. ADAM konnte dabei seine hohe Zuverlässigkeit unter Beweis stellen.

Die Ergebnisse der vom Betreiber des KKL bis Ende 2005 eingereichten PSA-Studie zeigen, dass dieses ein im internationalen Vergleich sehr geringes Risiko aufweist, das deutlich tiefer als die von der IAEA empfohlenen Richtwerte ist.

## 4.7 Personal und Organisation

### 4.7.1 Organisation und Betriebsführung

Die Aufbauorganisation des KKL wurde im Jahr 2005 nicht verändert. Ende 2005 beschäftigte das Werk 417 Personen (2004: 416).

Die HSK führte im Jahr 2005 in allen schweizerischen Kernkraftwerken eine Schwerpunktsinspektion zum Thema Fremdpersonal durch. Die Inspektion zeigte, dass das KKL den Einsatz von Fremdpersonal sorgfältig plant und möglichst Firmen und Personen beauftragt, die sich im KKL bereits früher bewährt haben. Dies fördert die Kontinuität der Arbeitsqualität. Das KKL hat in der Instandhaltung systematische Vor- und Nachbesprechungen der Arbeiten eingeführt, durch welche Fehlerrisiken minimiert und Erfahrungen für die künftige Durchführung vergleichbarer Arbeiten genutzt werden sollen.

Eine zweite Schwerpunktsinspektion erfolgte zum Thema Vorkommnisbearbeitung. Diese umfasst

alle Prozesse, um systematisch aus der in der eigenen und in fremden Anlagen gemachten Betriebs Erfahrung zu lernen. Das KKL hat sich bei der Entwicklung von Verfahren zur Analyse menschlicher und organisatorischer Vorkommnisursachen als Vordenker engagiert. Das unter Mitwirkung des KKL an der Technischen Universität Berlin entwickelte SOL-Verfahren wird heute in allen Schweizer Kernkraftwerken eingesetzt. Die HSK stellte fest, dass menschliche und organisatorische Faktoren bei der Ursachenanalyse im KKL hohe Beachtung finden. Die HSK machte darauf aufmerksam, dass die Umsetzung der aufgrund von Vorkommnisanalysen festgelegten Verbesserungs massnahmen in vielen Fällen lange dauert und wird überprüfen, ob entsprechende organisatorische Verbesserungen erfolgen. Die in der HSK-Richtlinie R-15 festgelegten Meldepflichtkriterien für Ereignisse und Befunde lassen in Bezug auf die Abgrenzung zu nicht meldepflichtigen Ereignissen und Befunden einen Interpretationsspielraum zu. Das KKL setzt in der Praxis die Schwelle tief an und meldet der HSK auch kleine Abweichungen mit einem detaillierten Vorkommnisbericht.

Wie unter 4.2.1 dargelegt, forderte die HSK aufgrund von Vorkommnissen vom KKL eine Verstärkung der personellen Ressourcen zur systematischen Überwachung der nuklearen Sicherheit, insbesondere in den Bereichen Mensch und Organisation. Das KKL hat im Berichtsjahr entsprechende organisatorische Änderungen vorbereitet, welche ab 2006 wirksam werden. Die Ressourcen für die Vorkommnisbearbeitung werden aufgestockt, und die Zuständigkeit für die Analyse von Vorkommnissen geht an die von der Betriebsführung unabhängige Organisationseinheit «Nukleare Sicherheit» über.

Der durch den Generatorschaden verursachte lange Stillstand des KKL stellte hohe Anforderungen an das Personal und die Organisation des KKL. Die HSK inspizierte, wie das KKL die Revisionsplanung an die veränderte Situation anpasste. Sie stellte fest, dass das KKL über geeignete Prozesse und Instrumente zur Planung und Umpassung des Revisionsstillstandes verfügte und dass dabei die Sicherheit die erforderliche Aufmerksamkeit erfuhr.

Neben den unter 4.2.1 dargestellten klassierten Vorkommnissen ist aus organisatorischer Sicht ein weiteres Ereignis erwähnenswert: Im Verlauf des Anfahrprogramms kam es am 5. September 2005 aus 85% Leistung zu einer Leistungsreduktion infolge einer irrtümlichen Abschaltung der Kühlung der Generatorableitung. Zum Austausch eines

Messfühlers am Generator musste ein Anlagenoperator die Druckluftversorgung umschalten. Da bei der Arbeitsvorbereitung aufgrund einer Verwechslung eine ähnliche, aber für einen anderen Fall vorgesehene Vorschrift kopiert worden war, enthielten die Vorgaben an den Operateur für diese Situation unpassende Arbeitsschritte. So schaltete er die Kühlung der Generatorableitung ab, was zum Schutz vor Überhitzung zu einer automatischen Leistungsreduktion führte. Der Fehler hatte keine unzulässigen Auswirkungen auf die nukleare Sicherheit.

#### 4.7.2 Personal und Ausbildung

Im Berichtsjahr bestanden drei Anlagenoperateur die unter Aufsicht der HSK durchgeführten Prüfungen zum Abschluss ihrer kerntechnischen Grundausbildung an der Kraftwerksschule Essen. Dies ist eine Voraussetzung für die spätere Lizenzierung als Reaktoroperateur. Die HSK nahm an diesen Prüfungen teil und stimmte aufgrund der Leistungen der Kandidaten der Anerkennung dieses Ausbildungsteils zu. Unter Aufsicht und mit Zustimmung der HSK wurden sechs Reaktoroperateure lizenziert. Die Anzahl lizenzierter Personen ist in Tabelle 2 zusammengestellt.

Die HSK inspizierte das Ausbildungsprogramm für das Betriebspersonal. Wie sie feststellte, erfüllte das Programm die Anforderungen. Die Dauer der Wiederholungsschulung war ausreichend. Wichti-

ge Normalbetriebs- und Störfallsituationen, Änderungen der Anlage und der Vorschriften sowie Vorkommnisse in der eigenen Anlage und in fremden Anlagen wurden angemessen berücksichtigt. Die HSK wies darauf hin, dass aus probabilistischen Sicherheitsanalysen stammende Erkenntnisse über kritische Operateurhandlungen bisher nicht systematisch in das Ausbildungsprogramm einfließen. Weil mehrere in den Jahren 2004 und 2005 aufgetretene Vorkommnisse auf Fehler bei der Arbeitsvorbereitung und der Anwendung von Arbeitsanweisungen und Vorschriften zurückzuführen waren, setzte das KKL in den Bereichen Arbeitsverhalten, Abweichen von Regeln, Sicherheitsprinzipien und Kommunikation in der Schulung einen Schwerpunkt. Es zog hierfür auch die Erfahrungen der Kraftwerksschule in Essen bei. Die Schulung dieser Themen ist eine wichtige Massnahme zur Weiterentwicklung der Sicherheitskultur im Betriebsalltag.

#### 4.8 Erkenntnisse aus der systematischen Sicherheitsbewertung

Die HSK hat in ihrer Sicherheitsbewertung (vgl. Erläuterungen im Kapitel Übersicht) die in Inspektionen und bei der Vorkommnisanalyse bewerteten Aspekte berücksichtigt. Die Mehrheit der Inspektionsbewertungen lag in den Kategorien gute Pra-

Blick in den Kommandoraum.  
Foto: KKL



xis und Normalität. Es wurde zudem bei einer Reihe von Bewertungen ein Verbesserungsbedarf festgehalten. Die wichtigsten der betroffenen Punkte sind unter 4.1 bis 4.7 behandelt worden. Im Kernkraftwerk Leibstadt wurde bezüglich des Schutzziels «Begrenzung der Strahlenexposition nach innen und nach aussen» eine Abweichung festgestellt. Das KKL identifizierte in der Fahrzeugschleuse zum Brennelementlager einen nicht vorgesehenen Abgabepfad aufgrund eines Fehlers bei der Auslegung der Entwässerung. Dennoch war es nie zur unkontrollierten Abgabe radioaktiver Stoffe gekommen, da der Pfad durch einen Aktivitätsmonitor überwacht wird.

Bei der Beurteilung der gestaffelten Sicherheitsvorsorge stellte die HSK in elf Situationen eine Abweichung fest: Bei der Beladung des Reaktors wurde ein Brennelement in den Reaktorkern eingesetzt, bevor alle Steuerstäbe eingefahren waren. Dies steht im Widerspruch zur Technischen Spezifikation und wurde von der HSK mit INES 1 bewertet. Die Abweichung bedeutete eine Schwächung der Sicherheitsebene 1. Sicherheitstechnisch geringere Abweichungen mit Bedeutung für die Ebene 1 waren ein Erdschluss am Generator, welcher zum mehrmonatigen Stillstand der Anlage führte, ein kurzer Ausfall eines Strangs des Nachwärmeabfuhrsystems und eine kurze Überschreitung einer Betriebsgrenze für die Neutronenflussdichte. Zwei Abweichungen hatten eine Bedeutung für die Ebene 3, nämlich eine defekte Kraftstoffeinspritzpumpe an einem Notstromdiesel und ein Defekt an der Steuerung des Reaktorkernisoliations-Kühlsystems. Eine Schalterstörung beeinträchtigte eine Grundwasserpumpe des Notstands-Kühlsystems, was die Ebenen 3 und 4 betraf. Vier Abweichungen hatten einen Bezug zur Integrität des Primärkreises: An einer Stossbremse wurden Schäden festgestellt, deren Auswirkungen auf die Funktionstüchtigkeit im Falle starker Leitungsbewegungen bei Störfällen und Erdbeben abgeklärt werden. Bei einem Test während des Revisionsstillstandes wurde aufgrund falscher Armaturenstellungen die Reaktorgrube überfüllt, so dass das Containment durch Kühlwasser leicht kontaminiert wurde. Personen waren keine betroffen. Beim Umpumpen von Reaktorwasser während der Revision wurde ein Raum des Nachwärmeabfuhrsystems leicht kontaminiert. Auch in diesem Falle kam es zu keiner Kontamination von Personen. Bei einer wiederkehrenden Prüfung zeigten Pneumatikzylinder an 4 von 16 Sicherheitsabblaseventilen nicht die ge-

forderte Dichtheit, was deren Funktionstüchtigkeit allerdings erst beeinträchtigt hätte, wenn in einem Anforderungsfall zusätzlich noch das Steuerluftsystem ausgefallen wäre.

## 4.9 Gesamtbeurteilung

Die nukleare Sicherheit des KKL war sowohl in Bezug auf die Auslegung als auch das Betriebsgeschehen gut, mit Ausnahme des mit INES 1 bewerteten Fehlers beim Beladen des Reaktorkerns, bei dem die nukleare Sicherheit geringfügig vermindert war. Die anderen aufgetretenen Vorkommnisse hatten eine geringe Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Da deren Ursachen bei mehreren Vorkommnissen in den Bereichen Arbeitsvorbereitung und Umgang mit Vorschriften lagen, forderte die HSK mehrere Verbesserungsmassnahmen, die teilweise bereits umgesetzt sind. Eine wichtige organisatorische Massnahme zur Verstärkung der systematischen Überwachung der nuklearen Sicherheit wurde im Berichtsjahr vorbereitet und wird im Jahr 2006 wirksam.

Der Berichtszeitraum 2005 war dominiert durch den fünfmonatigen Stillstand wegen eines Generatorschadens. Das KKL bewältigte diese unvorhergesehene Situation gut.

Die HSK führte rund 60 Inspektionen durch. Die Ergebnisse der Inspektionen wurden dem Betreiber mitgeteilt, der die erforderlichen Verbesserungsmassnahmen umsetzte.

Die radioaktiven Abgaben über die Abluft und über das Abwasser lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Grenzwerte. Damit ergab sich im Vergleich zur natürlich auftretenden Strahlenexposition nur eine unbedeutende zusätzliche Strahlendosis für die Bevölkerung.

Aus Sicht des Strahlenschutzes wurden die Routinarbeiten und die Arbeiten im Rahmen des verlängerten Revisionsstillstandes der veränderten Situation angepasst und gut durchgeführt. Die Jahreskollektivdosis für das Eigen- und Fremdpersonal lag unter dem Mittelwert der Vorjahre.

Die HSK stellt insgesamt fest, dass im KKL während des Jahres 2005 die bewilligten Betriebsbedingungen stets eingehalten wurden, mit Ausnahme des mit INES 1 bewerteten Vorkommnisses. Sie attestiert dem KKL eine gute Betriebssicherheit.



Gebinde mit konditionierten schwachaktiven Abfällen.  
Foto: ZWILAG

## 5. Zentrales Zwischenlager Würenlingen

Das Zentrale Zwischenlager (ZZL) der Zwischenlager Würenlingen AG (ZWILAG) umfasst mehrere Zwischenlagergebäude, eine Konditionierungsanlage sowie eine Verbrennungs- und Schmelzanlage. Der Stand der Inbetriebsetzung bzw. des Betriebs dieser Anlagenteile, der Strahlenschutz, die Notfallbereitschaft sowie personelle und organisatorische Aspekte werden dargelegt und bewertet. Zusätzlich wird auch die Rückführung von Wiederaufarbeitungsabfällen und die Beschaffung von Transport- und Lagerbehältern behandelt.

### 5.1 Zwischenlagergebäude

Die Zwischenlagergebäude des ZZL dienen der Lagerung von abgebrannten Brennelementen und von radioaktiven Abfällen aller Kategorien über mehrere Jahrzehnte hinweg. Sie umfassen die Behälterlagerhalle für abgebrannte Brennelemente und verglaste hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (Glaskokillen), das Lagergebäude für mittelaktive Abfälle und die Lagerhalle

für schwach- und mittelaktive Abfälle. Zum Zwischenlagerteil gehören auch das Empfangsgebäude und die so genannte Heisse Zelle. Der Einlagerungsbetrieb wurde 2001 aufgenommen.

Ende 2004 standen 18 Transport- und Lagerbehälter (TL-Behälter) in der Behälterlagerhalle. Im Berichtsjahr wurden weitere fünf TL-Behälter eingelagert. Der Lagerbestand an TL-Behältern per Ende 2005 betrug somit 23 Behälter:

- 4 Behälter des Typs CASTOR HAW 20/28 CG mit je 28 Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung von KKB-Brennelementen bei COGEMA
- 1 Behälter des Typs CASTOR HAW 20/28 CG und 2 Behälter des Typs TN81CH mit je 28 Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung von KKG-Brennelementen bei COGEMA
- 9 Behälter des Typs TN97L mit je 97 abgebrannten Brennelementen aus dem Betrieb des KKL
- 4 Behälter des Typs TN24G mit je 37 abgebrannten Brennelementen aus dem Betrieb des KKG
- 2 Behälter des Typs TN24BH mit je 69 abgebrannten Brennelementen aus dem Betrieb des KKM

- 1 Behälter des Typs CASTOR 1c DIORIT mit den abgebrannten Brennelementen aus dem stillgelegten Forschungsreaktor DIORIT des PSI

Die HSK hat die entsprechenden Einlagerungsanträge zwecks Freigabe geprüft und während der Einlagerungsarbeiten mehrere Inspektionen durchgeführt. Dabei stellte die HSK fest, dass die Arbeiten vorschriftsgemäss ausgeführt wurden.

Neben den erwähnten Transport- und Lagerbehältern mit abgebrannten Brennelementen und Glasokillen befinden sich seit September 2003 auch die sechs Grossbehälter mit Stilllegungsabfällen aus dem ehemaligen Versuchsatomkraftwerk Lucens in der Behälterlagerhalle. Im Berichtsjahr hat die ZWILAG Untersuchungen und Ausbesserungsarbeiten an diesen Behältern durchgeführt. Um die Behälter hinsichtlich ihrer Konstruktion und einer allfälligen korrosionsbedingten inneren Schädigung zu überprüfen, wurden sämtliche Behälterhüllen mit Ultraschall ausgemessen. Dabei konnte festgestellt werden, dass der allgemeine Zustand der Behälter gut ist. Zur Erhaltung dieses Zustandes und als Vorbereitung für eine zukünftige Endkonditionierung der Abfälle wurden an allen Behältern die Farbanstriche erneuert. Anschliessend wurden die Behälter zu den vorgesehenen Lagerstandorten in der Behälterlagerhalle verschoben.

Per Ende 2004 befanden sich insgesamt 151 Abfallgebinde im Lagergebäude für mittelaktive Abfälle (MAA-Lager): 134 Abfallgebinde mit Betriebsabfällen des KKM, 13 Abfallgebinde mit schwachaktiven Abfällen aus der Stilllegung des Versuchsatomkraftwerkes Lucens und 4 Abfallgebinde mit Abfällen aus dem ersten aktiven Testbetrieb der Verbrennungs- und Schmelzanlage (siehe 5.3). 2005 hat das KKG insgesamt 942 Gebinde mit zementierten und bituminierten schwachaktiven Abfällen zum MAA-Lager des ZZL transportiert. Von den während des zweiten Testbetriebs von 2004 und des ersten Testbetriebs von 2005 in der Verbrennungs- und Schmelzanlage produzierten endkonditionierten Gebinden wurden 33 ins MAA-Lager transferiert. Der Lagerbestand des MAA-Lagers per Ende 2005 betrug somit 1126 Gebinde.

Die ZWILAG will die Lagerhalle für schwach- und mittelaktive Abfälle zunächst während mehrerer Jahre als konventionelles Lager für nichtradioaktive Ausrüstungen und Materialien nutzen. Der Ausbau ist deshalb wie in früheren Jahren auf die für diese Nutzung erforderlichen Einrichtungen beschränkt. In diesem Lager werden ca. 3000 leere, vom PSI nicht mehr gebrauchte und im Rahmen einer Vereinbarung von der ZWILAG übernommene Fässer aufbewahrt. Diese Fässer wer-

Blick in die Behälterlagerhalle der ZWILAG.  
Foto: ZWILAG



den in den nächsten Jahren mit schwachaktiven Abfällen gefüllt und für die Beschickung der Verbrennungs- und Schmelzanlage verwendet.

## 5.2 Konditionierungsanlage

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

Im Berichtsjahr wurde die Konditionierungsanlage wie folgt genutzt:

- Das Hochregallager der Konditionierungsanlage wurde als Eingangslager für Rohabfälle benutzt, die zu einem späteren Zeitpunkt ins Hochregallager der Verbrennungs- und Schmelzanlage transferiert und von dort der Verbrennung zugeführt werden.
- Sekundärabfälle aus dem Betrieb der Lager sowie der Verbrennungs- und Schmelzanlage wurden im Hinblick auf eine spätere Endkonditionierung verarbeitet und verpackt.
- Teile aus den Revisionsarbeiten der Verbrennungs- und Schmelzanlage nach der Testkampagne vom Frühjahr 2005 wurden im Hinblick auf deren Wiedereinbau dekontaminiert und gereinigt.
- Die Reparaturarbeiten am Deckel des Ofens der Verbrennungs- und Schmelzanlage (siehe 5.3) wurden vorbereitet. Diese Reparaturarbeiten sind im Januar und Februar 2006 in der Mehrzweckhalle der Konditionierungsanlage durchgeführt worden.

Die Arbeiten in der Konditionierungsanlage wurden vorschriftsgemäss durchgeführt.

## 5.3 Verbrennungs- und Schmelzanlage

Der Bau der Verbrennungs- und Schmelzanlage des ZZL wurde vom Bundesrat am 21. August 1996 und deren Betrieb am 6. März 2000 bewilligt. Die Anlage ist auf das Verbrennen und Schmelzen von schwachaktiven Abfällen aus dem Betrieb der schweizerischen Kernkraftwerke sowie aus Medizin, Industrie und Forschung ausgelegt. Die Rohabfälle werden dabei unter Volumenreduktion in eine zwischen- und endlagerfähige Abfallform ohne organische Stoffanteile überführt. Die HSK hat den Bau und die Montage der

sicherheits- und strahlenschutztechnisch relevanten Anlagenteile beaufsichtigt.

Inaktive Testbetriebe in den Jahren 2000 bis 2003 hatten verschiedene Mängel an der Anlage gezeigt, zu deren Behebung die ZWILAG die entsprechenden technischen Anpassungen vorgenommen hat. 2004 hatte die HSK nach einem letzten erfolgreichen inaktiven Testbetrieb zwei Testbetriebe mit radioaktiven Abfällen freigegeben. Während und nach diesen aktiven Testbetrieben wurde die Anlage radiologisch ausgemessen und die Ergebnisse analysiert. Es konnte bestätigt werden, dass über 85% der Radioaktivität im verglasten Abfallprodukt eingebunden wird. Der Grossteil der übrigen Radioaktivität wird in Filtern und Harzen aufgefangen, die später der Verbrennung im Ofen zugeführt werden. Die grundsätzliche Eignung des Verfahrens konnte damit bestätigt werden. Die durchgeführten Messungen zeigten im Übrigen, dass die Raumluft der Ofenhalle, des Hochregallagers und des Kokillenkühltunnels wie erwartet kontaminationsfrei blieb. Weder in der Beschickungskammer noch in der Abgusskammer wurden Oberflächenkontaminationen von mehr als 1 Richtwert festgestellt. Der zweite aktive Testbetrieb im Herbst 2004 musste aber wegen betrieblicher Probleme, namentlich eines Defekts am Abgussstein, frühzeitig abgebrochen werden.

Nach der Reparatur des Abgusssteins gab die HSK einen dritten aktiven Testbetrieb frei, der von Mitte Februar bis Ende März 2005 stattfand. Während dieses Testbetriebs wurden 184 Rohabfallgebinde verarbeitet; daraus resultierten 29 voll gefüllte und 4 zwecks Probenahme und Charakterisierung teilweise gefüllte Kokillen. Infolge von Schwierigkeiten bei der Unterdruckhaltung in der Abgasstrecke musste dieser Testbetrieb vorzeitig abgebrochen werden. Es stellte sich heraus, dass der Abhitzeessel und der Quenchkopf modifiziert werden mussten.

Nach erfolgtem Einbau dieser modifizierten Komponenten erteilte die HSK die Freigabe für einen vierten aktiven Testbetrieb, der vom 31. Oktober bis zum 2. Dezember 2005 stattfand. Dabei wurden weitere 103 Rohabfallgebinde zu 20 voll gefüllten Kokillen und zu 1 zwecks Probenahme und Charakterisierung teilweise gefüllten Kokille verarbeitet. Infolge eines Wasserverlustes im Kühlwasserkreislauf des Ofens musste auch dieser vierte Testbetrieb frühzeitig abgebrochen werden. Die ZWILAG stellte fest, dass umfangreiche Reparaturarbeiten am Ofendeckel erforderlich waren, einschliesslich des Ersatzes der Deckelauklei-

dung. Zu diesem Zweck wurde der Ofendeckel demontiert und in die Mehrzweckhalle der Konditionierungsanlage gebracht. Die ZWILAG hat die notwendigen Arbeiten bis Ende Februar 2006 durchgeführt.

Das Betriebsverhalten der Verbrennungs- und Schmelzanlage ist noch nicht zufrieden stellend. Trotz den aufgetretenen Schwierigkeiten gelang es aber der ZWILAG, im Berichtsjahr nahezu 300 Rohabfallgebinde zu verarbeiten, was etwa dem durchschnittlichen jährlichen Anfall an brenn- und schmelzbaren Abfällen in der Schweiz entspricht. Somit ist keine weitere Anhäufung der für die Behandlung in dieser Anlage vorgesehenen Abfallfässer aus den Kernkraftwerken und aus Medizin, Industrie und Forschung zu verzeichnen. Gemäss der Planung der ZWILAG soll der nächste Testbetrieb in den Monaten März und April 2006 stattfinden; auch dieser Testbetrieb bedarf einer Einzelfreigabe der HSK.

## 5.4 Strahlenschutz

Im Kalenderjahr 2005 wurde im ZZL eine Kollektivdosis von 15,0 Pers.-mSv ermittelt. Damit wurde der von der ZWILAG aufgestellte Planwert von 11,5 Pers.-mSv überschritten. Der Hauptgrund für die Überschreitung war die Arbeit an den Behältern mit Stilllegungsabfällen aus dem ehemaligen Versuchatomkraftwerk Lucens. Diese Arbeit war in der Planung für das Jahresdosisziel nicht berücksichtigt worden. Der Jahresgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen wurde für die Berichtsperiode nicht überschritten. Personenkontaminationen wurden keine festgestellt. Es trat kein Fall von Inkorporation auf. Die Kontrollen der Atemluft und der Oberflächen in der Anlage gaben keine Hinweise auf unzulässige Kontaminationen. Weitere strahlenschutztechnisch relevante Arbeiten, die während der Berichtsperiode im ZZL durchgeführt wurden, waren die Verbrennungskampagnen. Ferner wurden Abfallgebinde aus dem KKG und fünf Transport- und Lagerbehälter von COGEMA resp. vom KKL angeliefert und eingelagert. Bei allen im Berichtsjahr durchgeführten Inspektionen hat die HSK Übereinstimmung mit den Strahlenschutz-Vorgaben festgestellt.

Die radioaktiven Abgaben über die Abluft und das Abwasser des ZZL lagen deutlich unterhalb der in der Betriebsbewilligung festgelegten Grenzwerte und z.T. sogar unterhalb der Nachweisgrenzen. Die aufgrund der Abgaben unter ungünstigen An-

nahmen berechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung des ZZL ist vernachlässigbar. Da das ZZL und das PSI einen gemeinsamen Standort teilen und die Umgebungsüberwachung für den gesamten Standort durchgeführt wird, wird für diesbezügliche Resultate auf das Kapitel 6 zum PSI verwiesen.

Gesamthaft wird festgestellt, dass im ZZL der Strahlenschutz für das Personal, die Anlage, die Bevölkerung und die Umgebung stets gewährleistet war. Detailliertere Angaben finden sich im Strahlenschutzbericht 2005 der HSK.

## 5.5 Notfallbereitschaft

Die Notfallorganisation der ZWILAG ist für die Bekämpfung von Notfällen innerhalb des Werkareals zuständig. Mit einer zweckmässigen Führungsorganisation, geeigneten Führungsprozessen und angepassten Führungseinrichtungen zusammen mit einer optimalen Auslegung der Anlage haben die Betreiber die Notfallbereitschaft auf hohem Niveau sicherzustellen.

Die HSK hat im Juni 2005 an der Werksnotfallübung GALILEO die Notfallorganisation der ZWILAG beobachtet und beurteilt. Gemäss Szenario galt es einerseits, Evakuierung, Alarmierung, Verstärkung des Personals sowie die Zusammenarbeit mit der Polizei zu üben. Andererseits waren auch ein Brand mit Aktivitätsfreisetzung und ein Personenunfall zu beherrschen. Die HSK kam zum Schluss, dass die Übungsziele erreicht worden sind. Im November 2005 wurde im ZZL ferner eine Alarmierungsnotfallübung durchgeführt, bei welcher die Verfügbarkeit des Notfallstabes gemäss Notfallreglement überprüft wurde. Die HSK löste die Übung ohne Voranmeldung aus. Die ZWILAG hat die Übungsziele erreicht.

## 5.6 Personal und Organisation

Die ZWILAG hat ihre Aufbauorganisation im Jahr 2005 nicht verändert. Ende 2005 beschäftigte sie 32 Personen (2004:33). Der Personalbestand ist nach Ansicht der HSK weiterhin knapp. Die HSK wird dessen Entwicklung in Aufsichtsgesprächen und anlässlich von Inspektionen aufmerksam verfolgen.

Die Prozesse des Qualitätsmanagementsystems der ZWILAG werden zusätzlich zu den regelmässigen stattfindenden Überwachungsaudits durch die Zer-

tifizierungsstelle auch intern regelmässig auditiert. Die HSK hat festgestellt, dass die Verbesserungsmöglichkeiten umgesetzt werden. Die ZWILAG führt bei ihren Abfalllieferanten regelmässig Audits durch, damit die Kompatibilität der Abfälle mit den Annahmebedingungen sichergestellt wird. Ausbildungsveranstaltungen der ZWILAG werden der HSK in den Quartalsberichten gemeldet. Im Jahre 2005 wurden die Mitglieder des Notfallstabs speziell in Stabsarbeit geschult. Die HSK konnte sich bei ihren Beobachtungen anlässlich der jährlichen Notfallübung vom Erfolg der Schulung überzeugen (siehe 5.5).

## 5.7 Rücknahme von Wiederaufarbeitungsabfällen

In La Hague (Frankreich) und in Sellafield (Grossbritannien) werden abgebrannte Brennelemente aus schweizerischen Kernkraftwerken durch die Firmen COGEMA und BNGS (ehemals BNFL) im Rahmen der abgeschlossenen Verträge wiederaufgearbeitet. Die dabei entstehenden Abfälle müssen gemäss den Verträgen in die Schweiz zurückgeholt werden. Verglaste hochaktive Abfälle (Glaskokillen) aus der Wiederaufarbeitung bei COGEMA stehen für die Rückführung bereit, andere Abfallsorten, insbesondere von BNGS, noch nicht. Die erste Rückführung von Glaskokillen von COGEMA fand 2001 statt. Bis Ende 2004 erfolgten insgesamt fünf Transporte von La Hague zur ZWILAG. Im Herbst 2004 wurden ferner zwei Transport- und Lagerbehälter (TL-Behälter) in Frankreich beladen, die im Januar 2005 in das ZZL transportiert und eingelagert worden sind. Vertreter bzw. Experten der HSK begleiteten stichprobenweise die Auslagerung und die Kontrolle der zurückzunehmenden Glaskokillen sowie die Beladung der TL-Behälter. Dabei konnte in allen Fällen Übereinstimmung mit den Vorgaben festgestellt werden.

## 5.8 Beschaffung von Transport- und Lagerbehältern

Das bewilligte Konzept der Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen und von Glaskokillen besteht darin, diese Abfälle in massiven Transport- und Lagerbehältern (TL-Behältern) einzuschliessen. Diese Behälter werden von den Kernkraftwerken bzw. von den Wiederaufarbeitungsanlagen zum ZZL transportiert und dort in

der Behälterlagerhalle aufgestellt. Die TL-Behälter müssen die Sicherheit der Zwischenlagerung gewährleisten. Die HSK hat die Anforderungen an die Auslegung von TL-Behältern und an das Aufsichtsverfahren während Konstruktion und Fertigung dieser Behälter in der HSK-Richtlinie R-52 festgelegt.

Die Aufsicht über die Beschaffung von TL-Behältern erfolgt in zwei Schritten: In einem ersten Schritt beurteilt die HSK die Wahl (Spezifikation) des Behältertyps und in einem zweiten die Erfüllung der Referenzanforderungen aufgrund des einzureichenden Sicherheitsberichts. Im Anschluss an diese Prüfschritte wird die Herstellung der von den KKW-Betreibern bestellten TL-Behälter stichprobenweise kontrolliert.

Hinsichtlich des ersten Prüfschrittes hatte die HSK bis 2003 der Wahl von insgesamt fünf Behältertysen (drei für abgebrannte Brennelemente und zwei für Glaskokillen) zugestimmt. Zwei Behälter weiterer Typen sind inzwischen zur Zwischenlagerung im ZZL eingesetzt worden: der CASTOR 1c DIORIT, der die abgebrannten Brennelemente aus dem ehemaligen Forschungsreaktor DIORIT des PSI enthält, und der Behälter TN52L, der für die Transporte von abgebrannten Brennelementen von KKL zur Wiederaufarbeitung verwendet wurde. Da diese Behälter bereits vorhanden waren, fand keine Prüfung der Spezifikation gemäss HSK-Richtlinie R-52 statt. Hingegen musste die Erfüllung der Referenzanforderungen wie für andere TL-Behälter nachgewiesen werden (zweiter Prüfschritt). Die schweizerischen KKW-Betreiber haben im Betriebsjahr mit Zustimmung der HSK weitere Behälter der TN24-Reihe für abgebrannte Brennelemente bestellt. Es handelt sich dabei um Behälter des bereits genehmigten Typs TN24BH für das KKM sowie der neuen Typen TN24BHL für das KKL und TN24GB für das KKB. Diese Behältertypen unterscheiden sich nur hinsichtlich der für jedes KKW spezifischen Brennstoffeigenschaften, weshalb der erste Prüfschritt für die beiden neuen Typen entfallen konnte.

Hinsichtlich der Erfüllung der Referenzanforderungen (zweiter Prüfschritt) hatte die HSK bis Ende 2004 die Prüfung von sechs Behältertypen abgeschlossen. Die Prüfung des siebten Behältertyps (TN52L) war noch im Gange; sie konnte im Berichtsjahr abgeschlossen werden. Daraufhin hat die HSK dem KKL die Beladung des einzigen Exemplars dieses Typs freigegeben. Der Behälter wurde Anfang 2006 zum ZZL transportiert und dort eingelagert. Die HSK hat somit bis Ende 2005



für sieben Behältertypen die Erfüllung der Referenzanforderungen geprüft und die Eignung zur Zwischenlagerung im ZZL gutgeheissen: Davon stammen fünf Behältertypen aus Frankreich (Typen TN24G, TN52L, TN97L, TN24BH und TN81CH der Firma COGEMA Logistics) und zwei aus Deutschland (Typen CASTOR HAW 20/28 CG und CASTOR 1c DIORIT der Firma GNS). Die Prüfung der Sicherheitsberichte (zweiter Prüfschritt) der Behältertypen TN24BHL und TN24GB ist noch im Gange.

Die HSK verfolgte im Berichtsjahr die Auslegung, die Konstruktion und die Herstellung der bestellten TL-Behälter weiter. Der Schweizerische Verein für Technische Inspektionen (SVTI) hat im Auftrag der HSK Herstellungsdokumente geprüft und Abnahmeprüfungen verfolgt. Es wurden keine Mängel festgestellt.

## 5.9 Gesamtbeurteilung

In die Behälterlagerhalle werden Transport- und Lagerbehälter routinemässig eingelagert. Der Zustand dieses Lagers und des ebenfalls in Betrieb stehenden Lagergebäudes für mittelaktive Abfälle sowie des zugehörigen Empfangsgebäudes und der Heissen Zelle ist im Hinblick auf die nukleare Sicherheit und den Strahlenschutz gut. Die Betriebsführung erfolgt vorschriftsgemäss.

Die ZWILAG hat im Berichtsjahr in der Konditionierungsanlage zum ersten Mal Dekontaminations- und Reinigungsarbeiten ausgeführt sowie eigene Abfälle verarbeitet bzw. im Hinblick auf eine spätere Endkonditionierung verpackt. Diese Tätigkeiten erfolgten ebenfalls vorschriftsgemäss.

Bei der Verbrennungs- und Schmelzanlage sind im Berichtsjahr anlässlich der beiden durchgeführten aktiven Testkampagnen betriebliche Störungen aufgetreten, welche die Sicherheit zwar nicht gefährdeten, jedoch zum vorzeitigen Abbruch des Testbetriebs führten. Es wurde etwa der durchschnittliche jährliche Anfall an Rohabfallgebinden verarbeitet. Die betriebliche Zuverlässigkeit der Verbrennungs- und Schmelzanlage ist noch nicht zufrieden stellend, so dass 2006 weitere Testbetriebe von der HSK einzeln freigegeben werden müssen.

Die ZWILAG verfügt im operationellen Strahlenschutz über Personalressourcen, die an die wechselnden Aufgabenstellungen angepasst werden können. Die HSK beurteilt die Erfüllung der Strahlenschutzaufgaben als gut. Für die Inbetriebsetzung der Verbrennungs- und Schmelzanlage und den gleichzeitigen Einlagerungsbetrieb sind die personellen Ressourcen nach wie vor knapp bemessen. Die erforderliche Notfallbereitschaft ist gegeben. Das Qualitätsmanagementsystem ist etabliert, und die notwendigen Personalausbildungen finden statt.



Die Aare trennt das Areal des PSI in den West- (Vordergrund) und den Ost-Teil. Im Hintergrund ist das Zentrale Zwischenlager der ZWILAG erkennbar.  
Foto: PSI

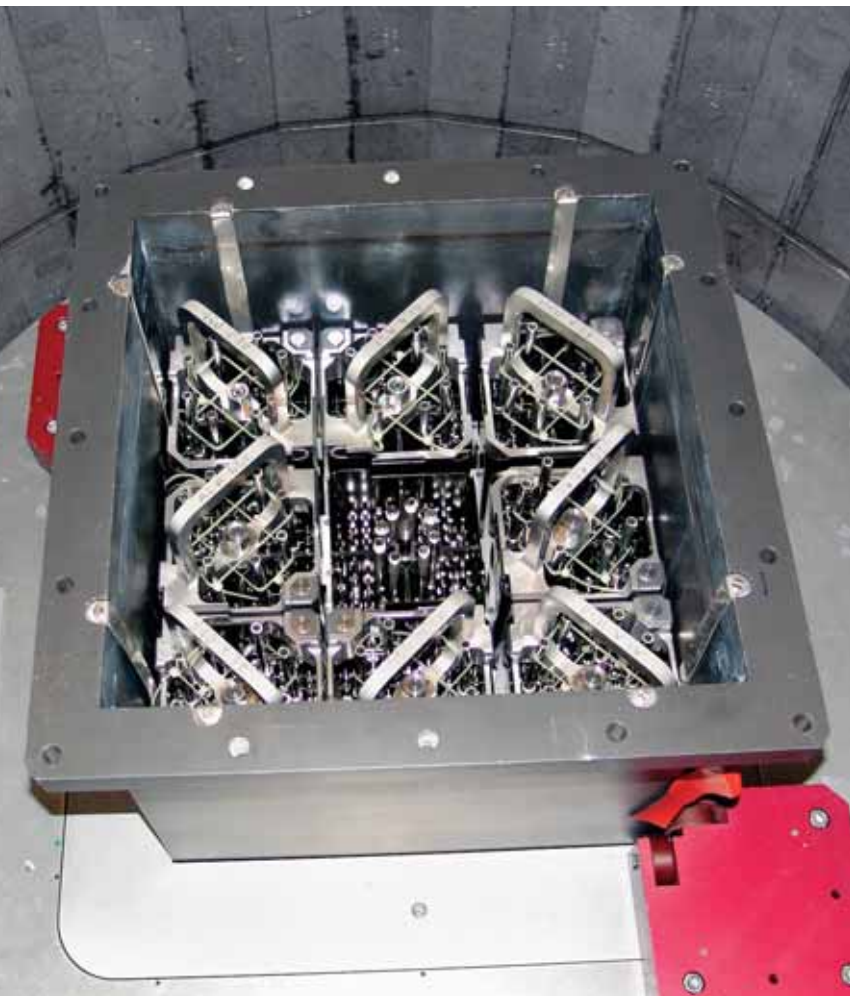
## 6. Paul Scherrer Institut (PSI)

### 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 das PSI in den Bereichen Materialwissenschaften, Elementarteilchen-Physik, Umwelt- und Energieforschung sowie Biowissenschaften. Der Nullleistungs-Forschungsreaktor PROTEUS, das zur Untersuchung von Kernbrennstoffen und radioaktiven Werkstoffen spezialisierte Hotlabor, die Anlagen für die Behandlung und Lagerung radioaktiver Abfälle sowie die im Rückbau befindlichen Forschungsreaktoren SAPHIR und DIORIT sind Kernanlagen und werden durch die HSK beaufsichtigt.

### 6.2 Forschungsreaktor PROTEUS

Der PROTEUS ist eine seit 1968 in Betrieb stehende, flexible Reaktorphysik-Forschungsanlage, deren Reaktorkern aus drei Zonen besteht. In der innersten dieser Zonen, der Testzone, können unterschiedliche Kernbrennstoff-Konfigurationen eingesetzt und deren reaktorphysikalische Eigenschaften ermittelt werden. Die seit Oktober 2004 laufende Phase III des Experimentierprogramms mit einer Testzone aus unbestrahlten Leichtwasserreaktor-Brennelementen (LWR-PROTEUS) wurde im Jahr 2005 in drei unterschiedlichen Konfigurationen erfolgreich weitergeführt. Dazu wurde der verschiebbare Tank in drei unterschiedlichen Höhen innerhalb der Kernzone des PROTEUS-Reaktors positioniert. Die HSK hat diese drei Kern-



Blick in die zentrale  
Testzone des  
Forschungsreaktors  
PROTEUS.  
Foto: PSI

konfigurationen einzeln freigegeben. Der Schwerpunkt der Phase III liegt auf reaktorphysikalischen Untersuchungen, die mittels unterschiedlicher  $D_2O/H_2O$ -Moderatormischungen simuliert werden. Ende Dezember 2005 gab die HSK auch die vierte Kernkonfiguration mit einer Brennstabanordnung frei, wie sie charakteristisch für den «High-Performance LWR» ist.

Neben dem Reaktorbetrieb wurden im Jahr 2005 Tomographie-Messungen an den in Phase II eingesetzten hoch abgebrannten Kernbrennstoffproben durchgeführt. Da es sich dabei um eine strahlenschutzrelevante Änderung des Experimentierbetriebs handelte, musste die Tomographie-Messung von der HSK freigegeben werden. Dazu wurde auch die Messeinrichtung mit der ebenfalls in Phase II eingesetzten ferngesteuerten Wechselflasche und deren Handhabung inspiziert. Dieses Experiment wurde strahlenschutztechnisch gut geplant und durchgeführt.

Im Jahr 2004 wurde von der HSK der Austausch der teilweise korrodierten Hüllrohre der Treiberbrennstoffstäbe durch neue Hüllrohre freigege-

ben. Die Neuummhüllung von insgesamt 542 Stäben mit jeweils 15 Paketen zu je sechs  $U_2O$ -Pellets wurde in mehreren Kampagnen durchgeführt und konnte im Kalenderjahr 2005 abgeschlossen werden. Bei der Neuummhüllung wurde der mechanische und radiologische Zustand der alten Hüllrohre und der Pakete untersucht und dokumentiert. Aufgrund des PSI-Abschlussberichts von Ende Dezember 2005 ergaben sich einige sicherheitsrelevante Fragen. Die HSK hat deshalb zur Brennstoffbuchhaltung und zur Korrosion der Brennstoffstäbe Inspektionen angekündigt.

Die ebenfalls von der HSK freigegebenen Verbesserungen in der Notstromversorgung konnten im Kalenderjahr 2005 abgeschlossen werden.

Der Reaktor wurde im Jahr 2005 während 70 h betrieben (2004: 179 h; 2003: 647 h; 2002: 713 h; 2001: 416 h).

Die Kollektivdosis des Betriebspersonals (9 Personen) betrug 1,4 Pers.-mSv (2004: 6 Personen mit 0,9 Pers.-mSv; 2003: 7 Personen mit 1,3 Pers.-mSv). Unter Aufsicht und mit Zustimmung der HSK wurde ein Reaktortechniker für den PROTEUS lizenziert. Der Bestand an lizenziertem Personal blieb mit 5 Personen gleich wie im Vorjahr.

Das im Jahr 2004 der HSK eingereichte Konzept für die zukünftige Experimentierphase am PROTEUS wurde im Jahr 2005 durch das PSI weiter konkretisiert. Die HSK hat nach ausführlicher Beurteilung der Rechtsgrundlagen und nach Absprache mit dem BFE entschieden, dass für dieses Vorhaben ein Freigabeverfahren nach KEV nicht ausreicht.

### 6.3 Rückbau des Forschungsreaktors SAPHIR

Im Kalenderjahr 2005 begann ein weiterer Teilschritt des SAPHIR-Rückbaus, in welchem die restlichen Strukturen des Reaktorbeckens, bestehend aus den Beckenwänden aus Stahlbeton, den statisch wichtigen Zwischenwänden und der biologischen Abschirmung aus Barytbeton, zerschnitten und hydraulisch gesprengt werden. Dieser Teilschritt wurde in mehrere Phasen unterteilt, von denen einige wegen des Einflusses auf die Gebäudestatik von der HSK als freigabepflichtig deklariert wurden. Aufgrund der eingereichten Berichte, von Fachgesprächen und Inspektionen konnten diese Rückbauphasen freigegeben werden. Das bei den Rückbauarbeiten angefallene Abbruchmaterial (145 t) konnte nach einer



Überprüfung mit Handmessgeräten oder mit einer modernen Freimessanlage ohne Befund auf Radioaktivität entsprechend der Festlegungen in der HSK-Richtlinie R-13 konventionell entsorgt werden. Die HSK überprüfte anlässlich mehrerer Inspektionen die Freimessungen des PSI. Das Volumen der in diesem Teilschritt angefallenen radioaktiven Abfälle belief sich auf rund 1 m<sup>3</sup> (Beton und Stahlplatten). Mit Hilfe der im Jahr 2003 eingerichteten Grundwasser-Überwachungsanlage konnte auch im Kalenderjahr 2005 nachgewiesen werden, dass der frühere Reaktorbetrieb und die laufenden Rückbauarbeiten zu keiner unkontrollierten Freisetzung von Radioaktivität aus dem Gebäude geführt haben.

Die Kollektivdosis für diesen Teilschritt, bei dem 8 Personen beteiligt waren, betrug 5,2 Pers.-mSv.

#### 6.4 Rückbau des Forschungsreaktors DIORIT

Die seit Anfang November 2004 laufenden Rückbauarbeiten an der biologischen Abschirmung wurden im Kalenderjahr fortgeführt. Diese Phase des DIORIT-Rückbauprojekts ist wegen der gerin-

gen Aktivität des dabei entstehenden Abbruchmaterials nicht freigabepflichtig. Das PSI musste die seither angefallenen rund 100t Material, hauptsächlich Betonschutt und Altmetall, nach radioaktiven und inaktiven Teilen untersuchen und separieren. Bei den inaktiven Chargen wurde zusätzlich mit einem durch die HSK freigegebenen Messverfahren nachgewiesen, dass dieses Material im Sinne der Gesetzgebung konventionell entsorgt werden kann. Die bei den Abbruch- und Separationsarbeiten eingesetzten 6 Personen erhielten eine Kollektivdosis von 2,0 Pers.-mSv.

#### 6.5 Hotlabor

Das Hotlabor ist das einzige Laborgebäude in der Schweiz, in dem mit hoch radioaktiven Substanzen experimentiert werden kann. Hauptsächlich werden in Reaktoren oder Beschleunigern bestrahlte Werkstoffe und Kernbrennstoffe mit einer Vielzahl unterschiedlicher Methoden makro- und mikroskopisch untersucht. Die Kollektivdosis des im Hotlabor beschäftigten Eigenpersonals (insgesamt 57 Personen) betrug 13,6 Pers.-mSv.

Im Kalenderjahr 2005 wurde mit der Planung bzw. mit dem Bau von vier neuen Experimentier- und Infrastrukturanlagen begonnen. Dabei handelt es sich um eine Probenpräparationsbox, eine Prüfmaschinenbox für mechanische Versuche bei Temperaturen bis zu 400 °C, eine Handschuhbox für eine Laserablationsanlage und eine Verfestigungs-

**Nachweismessungen an nicht aktivierten Betonblöcken aus dem Rückbau des Forschungsreaktors SAPHIR.**  
Foto: PSI  
(links)

**Abgeschirmte Materialprüfeinrichtungen im Hotlabor.**  
Foto: PSI  
(unten)



box für flüssige radioaktive Abfälle. Die Laserablationsanlage wurde im Kalenderjahr 2005 in Betrieb genommen. Alle Boxen verfügen über Abschirmungen und sind direkt an der Abluftanlage des Hotlabors angeschlossen, wodurch ein stetiger Unterdruck garantiert und eine Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umwelt verhindert wird.

Die HSK hat sich bei zwei Inspektionen und anlässlich mehrerer Fachgespräche über die neuen Experimentier- und Infrastruktureinrichtungen im Hotlabor informiert. Daneben wurden die Lüftungs- und Filteranlagen sowie deren Kontrolle und Wartung inspiziert. Die Inspektionen gaben keinen Anlass für Beanstandungen.

Anfang 2005 reichte das PSI beim UVEK das Gesuch um eine neue Betriebsbewilligung für das Hotlabor ein und legte dazu einen Sicherheitsbericht vor. Eine erste Prüfung durch die HSK führte zur Nachforderung von Dokumenten.

Im Kalenderjahr 2005 konnte das PSI den neuen Bürotrakt beziehen, der über eine Passerelle mit dem Hotzellentrakt verbunden ist. Im Unterschied zum im Jahr 2004 abgerissenen Büropavillon weist der Neubau keine kontrollierte Zone mehr auf. Wegen der Nähe zum Hotzellentrakt war der Neubau bezüglich Brandschutz und Sicherheit freigabepflichtig. Die gleichzeitig errichtete Materialschleuse am Radiochemietrakt wurde von der HSK inspiziert und freigegeben.

## 6.6 Behandlung radioaktiver Abfälle

Radioaktive Rohabfälle fallen im PSI aus verschiedenen Bereichen an:

- Anwendungen radioaktiver Isotope in Forschungsprojekten, insbesondere bei Brennstoffuntersuchungen
- in Beschleunigeranlagen aktivierte Materialien
- Rückbau der beiden Forschungsreaktoren SAPHIR und DIORIT
- Betrieb der nuklearen Infrastruktur (z. B. LüftungsfILTER)

Das PSI ist ferner die schweizerische Sammelstelle für radioaktive Abfälle aus den übrigen Forschungseinrichtungen des Bundes und der Kantone sowie aus Medizin und Industrie. Im Berichtsjahr betrug der Anfall an eigenen Rohabfällen 103 m<sup>3</sup>. Im Rahmen der jährlichen Sammelaktionen aus Medizin, Industrie und Forschung sowie durch Sicherstellung von Funden wurden rund 7 m<sup>3</sup> Rohabfälle angenommen (vgl. Tabelle 8).

Diese Rohabfälle sind sowohl chemisch als auch

physikalisch sehr verschieden, so dass vor ihrer Endkonditionierung oft umfangreiche Vorbehandlungen notwendig sind. Es sind auch unterschiedliche Konditionierungs- und Verpackungsmethoden erforderlich, was ein im Vergleich zu den Kernkraftwerken umfangreicheres Spektrum an Abfallgebindetypen (AGT) bedingt. Im Berichtsjahr hat das PSI an mehreren Spezifikationen neuer oder modifizierter AGT sowie Nachdokumentationen gearbeitet. Freigaben für AGT des PSI schliessen meist die Zwischenlagerung im Bundeszwischenlager ein. Auf Basis der neuen Bewilligung vom 3. Dezember 2004 hat die HSK im Berichtsjahr Freigaben für 17 AGT erteilt. Diese Zahl schliesst sowohl neue Typen als auch Änderungen und Nachdokumentationen ein. Durch die erfolgten Nachdokumentationen von in früheren Jahren konditionierten Abfällen, die keiner freigegebenen Abfallspezifikation entsprachen, wurden auf diesem Gebiet deutliche Fortschritte erzielt.

Die laufenden Konditionierungsarbeiten betrafen sowohl die aktuell angefallenen eigenen Betriebsabfälle als auch die gesammelten Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung sowie Material aus den Rückbauprojekten des PSI. Es wurden insbesondere die im Jahr 2004 vorbereiteten Gebinde des Typs FIXBOX1-B endkonditioniert. Brenn- und schmelzbare Abfälle wurden ausserdem für die Verarbeitung im Plasmaofen der ZWILAG bereitgestellt. Im Herbst 2005 wurden 21 Gebinde mit verfestigten Abfällen aus dem KKB angeliefert. Die Verpackungen dieser Abfallgebände, die vor vielen Jahren im PSI konditioniert worden sind, weisen Korrosionsschäden auf und werden im PSI ertüchtigt.

Im Berichtsjahr wurden im PSI rund 620 t diverser Materialien als inaktiv freigemessen. Der grösste Teil davon stammt aus dem Rückbau der beiden Forschungsreaktoren DIORIT und SAPHIR. Mehrere Inaktiv-Freimessungen wurden von der HSK inspiziert, wobei stets Übereinstimmung mit den Vorschriften festgestellt wurde.

## 6.7 Lagerung radioaktiver Abfälle

Im Bundeszwischenlager (BZL) werden seit 1992 radioaktive Abfälle eingelagert. Die am 3. Dezember 2004 unter Auflagen vom Bundesrat erteilte geänderte Betriebsbewilligung für das BZL beinhaltet insbesondere eine grössere Flexibilität bei den Annahmebedingungen und ein höheres Aktivitätsinventar. Sie berücksichtigt die in den zurückliegenden Jahren gemachten Erfahrungen so-

wie die Prognosen für das noch zur Verfügung stehende freie Nutzvolumen des Lagers.

Im BZL werden vorwiegend Standard-Fässer (Inhalt 200 Liter) mit konditionierten Abfällen und Klein-Container (bis 4,5 m<sup>3</sup>) eingelagert. Die Klein-Container enthalten unkonditionierte und endkonditionierte Komponenten, vorwiegend aus dem DIORIT-Reaktor und dem PSI-West. In beschränktem Umfang und mit Auflagen hat die HSK ferner die Aufbewahrung weiterer nicht konditionierter Abfälle zugelassen, sofern dies dem Optimierungsgebot (Art. 6 StSV) entspricht. Der mit Standard-Fässern belegte Raum war Ende 2005 zu 78% gefüllt.

Die Lagerhallen AB und C des PSI werden für die kurz- und mittelfristige Lagerung von schwach- und mittelaktiven Abfällen vor oder nach deren Konditionierung benutzt. Unkonditionierte radioaktive Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung werden bis zu ihrer Verarbeitung in der Lagerhalle AB aufbewahrt. Neben den Sonderabfällen, die nicht mit bereits freigegebenen Methoden konditioniert werden können, handelt es sich um Abfälle aus den Sammelaktionen im Aufsichtsbe- reich des BAG in den Jahren 1999 bis 2005.

In der Lagerhalle C werden gegenwärtig Gebinde mit zementierten plutoniumhaltigen Abfällen, DIORIT-Abfälle und abgeschirmte Quellen bis zu deren Endkonditionierung aufbewahrt. Auf dem Stapelplatz werden vorübergehend unkonditionierte Abfälle aufbewahrt, darunter Material aus dem Rückbau DIORIT und SAPHIR sowie eine Reihe von endkonditionierten, seit 2005 spezifizierten Gebinden, die zur Abschirmung in Betonfässer hineingestellt sind. Am Umschlagplatz werden gegenwärtig sieben ausgebaute Abwassertanks bis zu einer späteren Dekontamination oder Konditionierung aufbewahrt.

Trotz den starken Schwankungen beim Inventar der Lagerhallen AB und C wird seit dem Berichtsjahr hierfür das gleiche Buchführungssystem eingesetzt, wie es im BZL, in der ZWILAG und in den Kernkraftwerken verwendet wird.

## 6.8 Vorkommnisse

Im Kalenderjahr 2005 waren zwei Vorkommnisse zu verzeichnen, die gemäss HSK-Richtlinie R-25 der Klasse B zugeordnet wurden. Auf der internationalen Ereignisskala INES wurden beide Vorkommnisse der Stufe 0 zugeordnet.

Beim ersten Vorkommnis handelte es sich um eine Überschreitung des Grenzwertes der Dosisleistung



Austausch der 100-Tonnen-  
Presse zur Konditionierung  
radioaktiver Abfälle.

Foto: PSI

an einem freigestellten Versandstück des PSI. Die Dosisleistung betrug an der Aussenseite 12  $\mu\text{Sv/h}$  statt der zulässigen 5  $\mu\text{Sv/h}$ . Dies führte aber weder für das Personal noch für die Bevölkerung zu einer unzulässigen Strahlendosis. Die Überschreitung ist auf eine falsche Beschriftung des Transportbehälters zurückzuführen.

Das zweite, der Klasse B zugeordnete Vorkommnis betrifft eine Leckage im radioaktiven Abwassersystem des PSI und die dadurch erfolgte unkontrollierte Abgabe über einen nicht erlaubten Abgabepfad an die Aare. Aus dem zum Abwassersystem gehörenden Rückhaltebecken «Wald» gelangte Wasser wegen eines unüblich hohen Füllstands über ein nicht verschlossenes Rohr in den Gebäudesumpf. Von dort floss das Wasser über die Kontrollkammer in die Aare. Es handelte sich hierbei um sehr schwach radioaktives Kühlwasser, welches bei Schneid- und Bohrarbeiten von Beton während der Rückbauprojekte DIORIT und SAPHIR anfiel und im Rückhaltebecken gesammelt wurde. Nach konservativen Schätzungen des abgegebenen Wasservolumens und radioanalytischen Messungen des restlichen Wassers konnte nachgewiesen werden, dass die Abgabelimiten nicht überschritten wurden. Dennoch zeigte dieses Vorkommnis organisatorische Lücken, da das Rohr anlässlich eines Um-

baus unbeachtet offen geblieben war. Das PSI hat mit einer Vor-Ort-Überprüfung der technischen Anlagen des Abwassersystems reagiert und auf Verlangen der HSK die Aktualisierung der gesamten Dokumentation veranlasst. Das in den Gebäudsumpf führende Rohr wurde verschlossen, so dass die unkontrollierten Abgaben aus dem betroffenen Rückhaltebecken gestoppt sind.

## 6.9 Strahlenschutz

Im Jahr 2005 akkumulierten die 1313 als beruflich strahlenexponierte Personen eingestuftes Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und Fremdpersonal am gesamten PSI (Aufsichtsbereiche des BAG und der HSK) eine Kollektivdosis von 177,7 Pers.-mSv (2004: 228,0 Pers.-mSv). Da die Dosisleistungen bei den Rückbauprojekten wesentlich geringer als im Vorjahr waren, ist die Kollektivdosis im Aufsichtsbereich der HSK von 62,1 Pers.-mSv im Jahr 2004 auf 22,2 Pers.-mSv im Berichtsjahr deutlich gesunken. Weitere Angaben zu den Personendosen des PSI sind im Strahlenschutzbericht der HSK zu finden.

Aus den bilanzierten Abgaben radioaktiver Stoffe über die Fortluftanlagen und über das Abwassersystem des PSI wurde unter konservativen Annahmen für den ungünstigsten Aufenthaltsort ausserhalb des überwachten PSI-Areals eine Personendosis von weniger als 0,005 mSv/Jahr berechnet. Diese Dosis liegt deutlich unterhalb des quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,15 mSv/Jahr gemäss PSI-Abgabereglement.

## 6.10 Notfallbereitschaft

Die Notfallorganisation des PSI ist für die Bewältigung aller Notfälle innerhalb des Werkareals zuständig. Mit einer zweckmässigen Führungsorganisation, geeigneten Führungsprozessen und angepassten Führungseinrichtungen zusammen mit einer entsprechenden Auslegung ihrer Anlagen im Aufsichtsbereich der HSK hat das PSI die Notfallbereitschaft auf hohem Niveau sicherzustellen.

Die HSK hat im September an der Stabsnotfallübung IGNIS den Bereich der Stabsarbeit beobachtet und beurteilt. Das Szenario postulierte, dass in einem Betriebsgebäude ein Fass mit leicht radioaktivem, brennbarem Abfall barst und zu einem Brand führte. Die HSK kam zum Schluss, dass die Übungsziele erreicht wurden.

## 6.11 Organisation, Personal und Ausbildung

Im Kalenderjahr 2005 erstellte das PSI auf Verlangen der HSK ein einheitliches Qualitätsmanagement-System im Transportbereich. Zudem beauftragte das PSI eine neu formierte Gruppe von drei Personen mit der Überwachung sämtlicher Transporte radioaktiver Materialien. Die HSK konnte sich bei einem Audit über die verbesserte Fachkompetenz der Beteiligten und die nachvollziehbare Dokumentation aller Arbeitsschritte überzeugen. Zur Anerkennung des Qualitätsmanagement-Systems fehlt jedoch noch eine klare Darlegung der Verantwortungsstrukturen innerhalb des Transportbereichs.

Im Kalenderjahr 2005 wurden die Funktionen des bevollmächtigten Strahlenschutzsachverständigen, des Abteilungsleiters Strahlenschutz und Sicherheit sowie des Sicherheitsdelegierten personell getrennt. Das PSI hat mit der Anstellung einer erfahrenen Strahlenschutzfachkraft dem Hinweis der HSK entsprochen, die personellen Ressourcen im Betriebsstrahlenschutz in ihren Kernanlagen zu verbessern. Das Ausscheiden eines erfahrenen Strahlenschutzsachverständigen konnte durch die Anerkennung von zwei weiteren Personen als Strahlenschutzsachverständige ausgeglichen werden.

## 6.12 Strahlenschutz-Schule

Im Berichtsjahr wurde neben zahlreichen Kursen im medizinischen und forschungstechnischen Bereich der von der HSK anerkannte Ausbildungskurs für Strahlenschutzfachkräfte durchgeführt. Die HSK hat dabei die Qualität des Unterrichts überprüft und die Prüfungen beaufsichtigt. Anlässlich einer Inspektion der Weiterbildungskurse für das vollamtliche Strahlenschutzpersonal hat die HSK der Schule eine hohe Qualität der Kurse bescheinigt.

## 6.13 Gesamtbeurteilung

Die nukleare Sicherheit war sowohl in Bezug auf die Auslegung der Kernanlagen des PSI als auch auf das Betriebsgeschehen gut. Die unkontrollierte Abgabe aus dem PSI-Abwassersystem und die weiteren Vorkommnisse zeigten jedoch Lücken vorwiegend in der Verantwortungsdelegation und im Wissenstransfer auf.

Die Rückbauarbeiten an den ehemaligen Forschungsreaktoren SAPHIR und DIORIT erfolgten reibungslos. Die Experimente am Forschungsreaktor PROTEUS verliefen aus der Sicht der HSK bewilligungskonform. Insbesondere ist durch die Änderungen in der Notstromversorgung und die Neuumhüllung der Treiberstäbe die Sicherheit weiter verbessert worden. Der Betrieb des Hotlabors ist mit den neuen Experimentier- und Infrastrukturanlagen störungsärmer geworden. Die Sicherheit der am PSI gelagerten radioaktiven Abfälle wurde durch weitere Konditionierungsarbeiten und Einlagerungen in das Bundeszwischenlager verbessert.

Vielfalt und Komplexität der PSI-Anlagen fordern von der Abteilung für Strahlenschutz und Sicher-

heit eine hohe Kompetenz in vielen unterschiedlichen Bereichen: Dazu gehören die Unterstützung bei der Planung und Vorbereitung neuer Projekte, die Umsetzung praktikabler Schutzmassnahmen, die radiologische Überwachung und die Beratung externer Stellen. Durch organisatorische und personelle Veränderungen wurde die diesbezügliche Kompetenz der Abteilung erhöht.

Die HSK stellt insgesamt fest, dass in den Kernanlagen des PSI während des Jahres 2005 die bewilligten Betriebsbedingungen stets eingehalten wurden, mit Ausnahme der unkontrollierten Abgabe aus dem Abwassersystem, wobei die Abgabelimiten nicht überschritten wurden. Sie attestiert den Kernanlagen des PSI eine gute Betriebssicherheit.





# 7. Weitere Kernanlagen

## 7.1 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

Die Kernanlagen der EPFL umfassen den Forschungsreaktor CROCUS, das Neutronenexperiment CARROUSEL, die Neutronenquelle LOTUS und die angegliederten Labors. Diese Anlagen sind dem LRS (Laboratoire de physique des réacteurs et de comportement des systèmes) zugeteilt, das dem Institut de physique de l'énergie et des particules (IPEP) angehört. Im Jahr 2005 stand der CROCUS-Reaktor Ingenieur- und Physikstudenten der EPFL, Kursteilnehmern der Reaktorschule des PSI sowie Studenten der Ingenieurschule Genf während 125 Stunden bei kleiner Leistung (unter 100 W) für Ausbildungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 140 Wh thermische Energie erzeugt. Am Experiment CARROUSEL wurden Praktika zur Wirkung von Wasser als Moderator auf den Neutronenfluss durchgeführt. Die Neutronenquelle LOTUS wurde nicht in Betrieb genommen. Während des Jahres traten keine gemäss HSK-Richtlinie R-25 meldepflichtigen Vorkommnisse von sicherheitstechnischer Bedeutung auf. Die Dosen des Personals lagen unterhalb der Nachweisgrenze. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend. Anlässlich einer Inspektion im Oktober 2005 überzeugte sich die HSK davon, dass sich die Anlagen in einem ordentlichen, sauberen sowie sicherheitstechnisch einwandfreien Zustand befinden und die Vorschriften betreffend Strahlenschutz für das Personal und die Umwelt eingehalten werden.

## 7.2 Universität Basel

Der Forschungsreaktor der Universität Basel dient ebenfalls dem Unterricht. Aufgrund der Aufrüstungsarbeiten betreffend die Sicherung und den Brandschutz konnte der AGN-211-P-Reaktor der Universität Basel im Jahr 2005 nur beschränkt für den Lehrbetrieb eingesetzt werden. Neben dem reaktorphysikalischen Praktikum für Physikstudenten wurde der Reaktor für Schüler der PSI-Reaktorschule benutzt. Für Kurse einer Strahlenschutzschule sowie für das kantonale Laboratorium Basel-Stadt wurden Proben bestrahlt.

Im August 2005 wurde der Reaktor für die oben erwähnten Arbeiten sicherungs- und strahlenschutztechnisch vorbereitet. In Zusammenarbeit der Universität und dem Baudepartement der Stadt Basel wurden die Aufrüstungsarbeiten mit Verspätung im Oktober 2005 gestartet. Die HSK wurde hierüber rechtzeitig informiert. Bis auf den Einbau feuerfester Türen wurden alle Forderungen der HSK bezüglich des Brandschutzes bis Ende Jahr 2005 realisiert. Der Einbau der Türen soll im März 2006 fertig gestellt werden. Nach Absprache mit der Polizei und der Feuerwehr wurde ein Alarmkonzept unter Einbezug der neuen Sicherheits- und Alarmanlage erarbeitet und in die Betriebsvorschriften eingebunden.

Der Reaktor wurde im Jahr 2005 während 18 h bei einer thermischen Leistung von 1 kW störungsfrei betrieben. Die Individualdosen sowie die Kollektivdosen lagen unterhalb der Nachweisgrenze. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war sehr gering.

Anlässlich der Jahresinspektion der HSK wurde eine Forderung bezüglich Kalibrierung und Funktionskontrolle aller Strahlenmessgeräte entsprechend der HSK-Richtlinie R-47/d ausgesprochen. Dieser wurde mittlerweile nachgekommen. In einer Kontrollliste werden die Daten der Kalibrierungen und Funktionskontrollen nun laufend eingetragen.



# 8. Transport von radioaktiven Stoffen

## 8.1 Genehmigungen nach Gefahrgutgesetzgebung

Die schweizerischen Vorschriften für den Transport radioaktiver Stoffe auf Strasse und Schiene basieren u. a. auf den internationalen Regelwerken über den Transport gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR<sup>1</sup>) bzw. mit der Eisenbahn (RID<sup>2</sup>). Bei allen Verkehrsträgern kommen die IAEA-Empfehlungen (TS-R-1<sup>3</sup>) 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 gelten die SDR<sup>4</sup> und die RSD<sup>5</sup>.

Hauptverantwortlich für die Einhaltung der Transportvorschriften und für die Sicherheit ist der Absender. Bei Transporten von Kernbrennstoffen oder anderen radioaktiven Stoffen mit hoher Aktivität wird verlangt, dass der Absender vorgängig ein Genehmigungszeugnis von der zuständigen Behörde einholt. Die Genehmigungen betreffen je nach Fall die Versandstücke oder die Beförderung. Sie bilden eine Voraussetzung für die kernenergierechtlichen Bewilligungen.

Die HSK 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. Bei der Genehmigung von Versandstücken, die in der Schweiz zum Einsatz kommen, geht es um die Anerkennung der von der zuständigen Behörde des Ursprungslands ausgestellten Zulassung des Versandstückmusters. Dabei prüft die HSK die Vollständigkeit des zum Versandstückmuster erstellten 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 den Transport spezielle Massnahmen getroffen werden, die von der HSK festgelegt werden. Zudem wird anhand der eingereichten Dokumente jeweils geprüft, dass Verpackung und Inhalt den Vorschriften entsprechen.

Im Berichtsjahr hat die HSK 13 Gesuche nach Gefahrgutgesetzgebung beurteilt und die entsprechende Genehmigung ausgestellt. Davon betrafen 11 Gesuche die Anerkennung der Zulassung von Versandstücken (2 Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung bei der ZWILAG, 1 Transportbehälter für abgebrannte Brennelemente, 5 Transportbehälter für frische Brennelemente sowie 3 Spezialbehälter für Kernmaterialien und andere radioaktive Stoffe). Zwei weitere Gesuche bezogen sich auf die Genehmigung von Beförderungen: eines für die Beförderung von unbestrahlten MOX-Brennelementen und eines für eine Beförderung aufgrund einer Sondervereinbarung.

## 8.2 Bewilligungen nach Strahlenschutzgesetzgebung

Gemäss Artikel 2 des Strahlenschutzgesetzes vom 22. März 1991 ist das Transportieren von radioaktiven Stoffen bewilligungspflichtig. Die Voraussetzungen für die Erlangung einer Bewilligung sind im Strahlenschutzgesetz und in der Strahlenschutzverordnung vom 22. Juni 1994 festgehalten. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE) ist die HSK zuständig für die Erteilung solcher Bewilligungen im Bereich der Kernanlagen.

Im Berichtsjahr erteilte die HSK 20 entsprechende Bewilligungen. Zwölf wurden an in- und ausländische Beförderer erteilt und betrafen den Transport radioaktiver Stoffe. Acht weitere Bewilligungen wurden zur Ein- oder Ausfuhr von radioaktiven Stoffen für die schweizerischen Kernkraftwerke und das PSI erteilt.

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

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

<sup>3</sup> IAEA Safety Standards Series: Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 1996 Edition (Revised)

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

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

### 8.3 Bewilligungen nach Kernenergiegesetzgebung

Nach den Artikeln 6 und 34 des Kernenergiegesetzes (KEG) vom 21. März 2003 bedarf der Umgang mit Kernmaterialien und mit radioaktiven Abfällen aus Kernanlagen einer Bewilligung des Bundes. Artikel 3 des KEG präzisiert den Umgang als Forschung, Entwicklung, Herstellung, Lagerung, Transport, Einfuhr, Ausfuhr, Durchfuhr und Vermittlung. Gemäss Art. 13 der Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004 ist das BFE zuständig für die Erteilung solcher Bewilligungen. Im Hinblick auf die kernenergierechtliche Bewilligung von Transporten prüft die HSK jeweils, dass alle Voraussetzungen zur Gewährleistung der nuklearen und radiologischen Sicherheit gegeben sind und die Vorschriften über die Beförderung gefährlicher Güter eingehalten werden. Das BFE erteilt die Bewilligung erst aufgrund einer zustimmenden Beurteilung durch die HSK. Im Berichtsjahr

hat die HSK 28 Beurteilungen für kernenergierechtliche Transportbewilligungen abgegeben. Eine Beurteilung betraf die Ausfuhr von abgebrannten Brennelementen zur Wiederaufarbeitung. Vier Beurteilungen wurden für den Transport von abgebrannten Brennelementen zum Zentralen Zwischenlager (ZZL) der ZWILAG erstellt. Sieben Beurteilungen bezogen sich auf die Einfuhr von frischen Brennelementen zu Kernkraftwerken, und eine Beurteilung betraf den Transport von unbestrahlten Brennelementen vom PSI zum KKL. Acht Beurteilungen wurden für Transporte von radioaktiven Abfällen erstellt. Vier weitere Beurteilungen betrafen Transporte von Kernmaterialien zum und vom PSI. Zwei Beurteilungen betrafen die Durchfuhr von bestrahlten Brennelementen aus Italien nach Deutschland. Eine letzte Beurteilung erfolgte im Zusammenhang mit der Ausfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen vom KKG nach Deutschland.



Umladen eines Transport- und Lagerbehälters von der Eisenbahn auf ein Strassenfahrzeug  
Foto: ZWILAG

## 8.4 Transport abgebrannter Brennelemente und verglaster hochaktiver Abfälle

Im Berichtszeitraum fanden sieben Transporte abgebrannter Brennelemente von den schweizerischen Kernkraftwerken statt. Von diesen gingen drei vom KKG per Bahntransport und einer vom KKM auf der Strasse zur Wiederaufarbeitungsanlage der COGEMA in Frankreich. Drei weitere Transporte erfolgten vom KKL auf der Strasse zur Zwischenlagerung im ZZL. Bei allen diesen Brennelement-Transporten wurden die gefahrgutrechtlichen Grenzwerte für Kontamination und Dosisleistung eingehalten.

Im Januar 2005 erfolgte die gleichzeitige Rückführung von zwei Transportbehältern mit verglasten hochaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitungsanlage der COGEMA. Beide Transportbehälter wurden an der Umladestation der ZWILAG vom Bahnwagen auf spezielle Transportfahrzeuge umgeladen und anschliessend zum Betriebsareal der ZWILAG transportiert. Auch bei diesem Doppeltransport wurden keine Überschreitungen der gefahrgutrechtlichen Grenzwerte festgestellt.

## 8.5 Inspektionen und Audits

Bei der Beförderung radioaktiver Stoffe müssen zur Sicherheit des Transportpersonals und der Bevölkerung die Strahlenschutz- und Transportvorschriften eingehalten werden. Die Qualitätssicherungsprogramme der Konstrukteure und Hersteller von Verpackungen sowie jene der Spediteure, Absender, Beförderer und Empfänger von radioaktiven Stoffen sollen die Einhaltung der Vorschriften gewährleisten.

Alle schweizerischen Kernkraftwerke, das Zentrale Zwischenlager und das PSI verfügen über Qualitätssicherungsprogramme für den Transport radioaktiver Stoffe, die von der HSK anerkannt bzw. von einer akkreditierten Stelle zertifiziert wurden. Zur Aufrechterhaltung bzw. Erneuerung der Anerkennung werden in diesen Kernanlagen periodisch Audits durchgeführt. Im Berichtsjahr erfolgte ein solches Audit beim PSI, welches im Juli 2005 ein neues QS-Programm für den Transport radioaktiver Stoffe einführte. Die Erneuerung der Anerkennung konnte jedoch nicht erteilt werden, da Verbesserungen insbesondere bei der organisatorischen Struktur sowie bei der Regelung der funktionsbezogenen Aufgaben und Verantwort-

lichkeiten nötig sind. Das PSI hat die entsprechenden Anpassungen in Angriff genommen. Bis zur Anerkennung des neuen QS-Programmes übt die HSK eine intensivierete Aufsicht über die vom PSI durchgeführten Transporte aus.

Erstmals wurde im Berichtsjahr auch ein Audit bei einem schweizerischen Spediteur durchgeführt. Das eintägige Audit, welches in Zusammenarbeit mit der Suva erfolgte, zeigte, dass das Qualitätsmanagementsystem dieser Firma in der täglichen Arbeit angewendet sowie laufend weiterentwickelt und verbessert wird.

Neben den Kontrollen der Transporte abgebrannter Brennelemente inspizierte die HSK im Berichtsjahr auch einzelne Antransporte von frischen Brennelementen zu den Kernkraftwerken sowie mehrere Transporte von radioaktiven Abfällen und übrigen radioaktiven Stoffen von und zu den schweizerischen Kernanlagen. Bei den Inspektionen wurde keine Überschreitung von Kontaminations-Grenzwerten festgestellt. Die HSK verzeichnete aber Abweichungen von den Vorschriften, die in den meisten Fällen formaler Natur waren (z.B. fehlerhafte Eintragungen in den Beförderungspapieren oder mangelhafte Bezeichnungen). Bei Transporten radioaktiver Stoffe ereigneten sich im Berichtsjahr drei klassierte Vorkommnisse. In allen Fällen wurde der gefahrgutrechtliche Dosisleistungsgrenzwert für freigestellte Versandstücke von 5 mikroSv/h überschritten. Betroffen waren je ein Transport vom KKM zum KKL, vom PSI zum KKG und vom KKG zum PSI. Die Gründe für die Vorkommnisse lagen im ersten Fall in der Mobilisierung von radioaktiven Verunreinigungen innerhalb der Verpackung. Beim zweiten betroffenen Transport versäumte der Absender die Versandkategorie der gemessenen erhöhten Dosisleistung anzupassen und so einen vorschriftskonformen Transport durchzuführen. Beim dritten Transport wurden die radiologischen Ausgangskontrollen nicht sorgfältig genug ausgeführt. Alle drei Ereignisse wurden von der HSK als Vorkommnisse der Kategorie B (Vorkommnis von geringer sicherheitstechnischer Bedeutung) eingestuft. Bei keinem der genannten Fälle waren die Sicherheit und der Strahlenschutz für Personal, Bevölkerung und Umwelt beeinträchtigt.



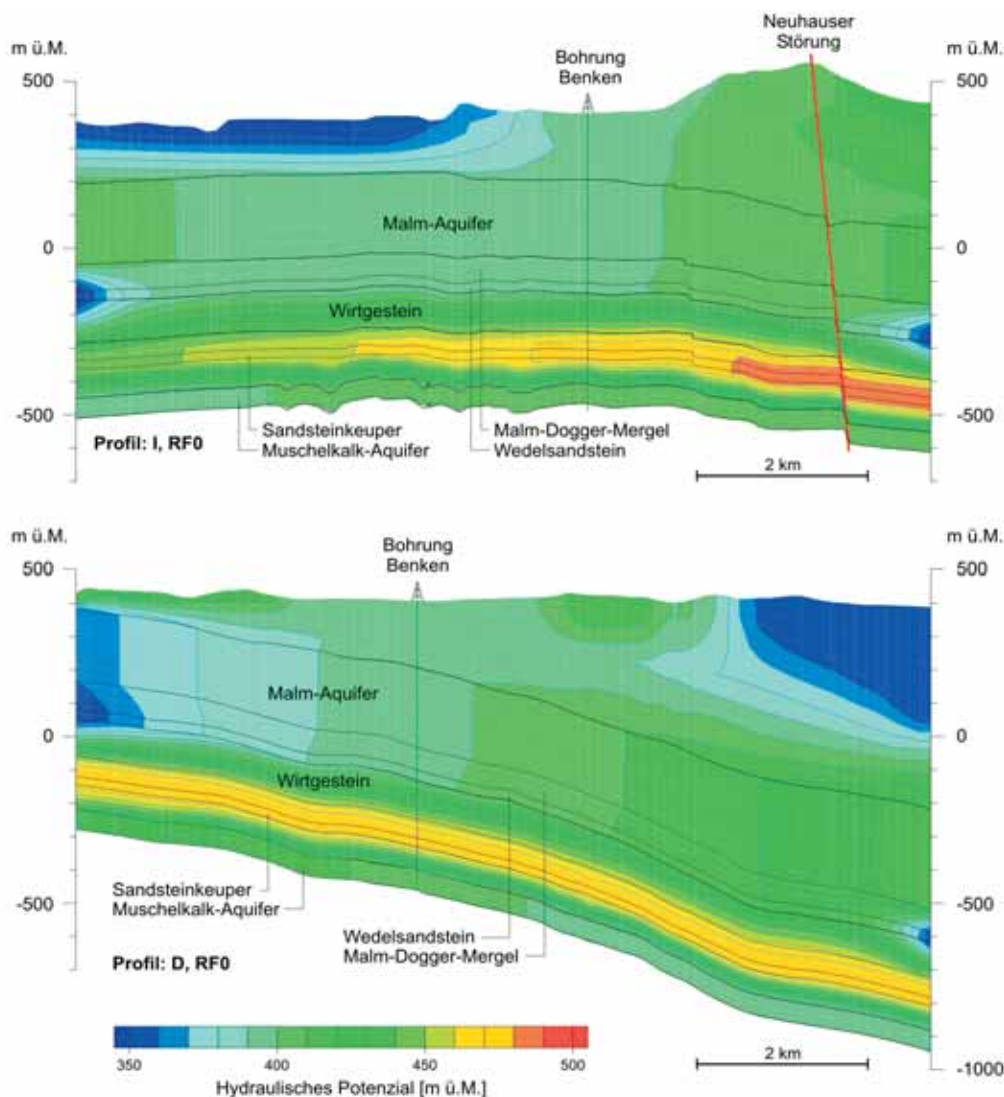
# 9. Geologische Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle

## 9.1 Tiefenlagerung allgemein

Die Gesetzgebung erlegt den Abfallverursachern, also in erster Linie den Betreibern der Kernkraftwerke, die Pflicht zur Entsorgung auf. Die radioaktiven Abfälle sind in geologische Tiefenlager zu verbringen. Im Auftrag der Betreiber ist die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) für die wissenschaftliche und technische Vorbereitung dieser Tätigkeit, insbesondere die Entwicklung von Projekten zur Tiefenlagerung und die entsprechende Standortsuche, verantwortlich. Das Entsorgungskonzept der Nagra

umfasst zwei Tiefenlager, eines für schwach- und mittelaktive Abfälle (Programm SMA) und ein zweites für alphanotoxische und hochaktive Abfälle (Programm HAA).

Am 1. Februar 2005 sind das neue Kernenergiegesetz (KEG) und die zugehörige Kernenergieverordnung (KEV) in Kraft getreten. Am Verursacherprinzip wird dabei nichts geändert. Mit der KEV ist neu eine offizielle Kategorisierung der radioaktiven Abfälle im Hinblick auf die Entsorgung festgelegt worden: Es wird unterschieden zwischen hochaktiven (HAA), alphanotoxischen (ATA) sowie schwach- und mittelaktiven (SMA) Abfällen.



Projekt Opalinuston  
Zürcher Weinland:  
Ergebnisse hydro-  
dynamischer  
Modellrechnungen.  
Quelle: Nagra



In der KEV wird zudem ein Sachplan Geologische Tiefenlager nach Raumplanungsgesetz verlangt. Der Sachplan Geologische Tiefenlager hat zum Ziel, Vorgehen und Kriterien für die Standortauswahl zu definieren und den frühzeitigen Einbezug betroffener Kantone, Gemeinden und anderer Interessengruppen sicherzustellen und zu koordinieren. Mit dem Sachplan soll eine sicherheitsgerichtete, mit den Raumplanungszielen des Bundes und der Kantone abgestimmte Wahl von Standorten für geologische Tiefenlager erreicht werden. Der Entwurf des Sachplanes wird zurzeit vom Bundesamt für Energie (BFE) vorbereitet. Der HSK als Sicherheitsbehörde kommt dabei die Aufgabe zu, die im Auswahlverfahren anzuwendenden sicherheitstechnischen Kriterien festzulegen. Das UVEK hat im September 2005 einen fünfköpfigen Beirat mit Vertretern aus Politik und Wirtschaft eingesetzt, der die Entwicklung des Sachplans begleitet.

## 9.2 Programm SMA

Der mögliche Standort Wellenberg für die Realisierung des geologischen Tiefenlagers für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) musste aufgrund der negativen Entscheide des Nidwaldner Volkes im Juni 1995 und September 2002 zu Gesuchen um die damals erforderlichen kantonalen bergrechtlichen Konzessionen aufgegeben werden. Es muss eine neue, breit angelegte Standortsuche unter Anwendung des Auswahlverfahrens gemäss dem Sachplan Geologische Tiefenlager (siehe Abschnitt 9.1) durchgeführt werden. Die Nagra bereitet sich auf diese Aufgabe vor.

## 9.3 Programm HAA

### 9.3.1 Entsorgungsnachweis

Im Vordergrund der Arbeiten im Jahre 2005 für die geologische Tiefenlagerung stand die behördliche Überprüfung des Entsorgungsnachweises für abgebrannte Brennelemente, hochaktive und langlebige mittelaktive Abfälle. Der Entsorgungsnachweis beruht auf dem Bundesbeschluss zum Atomgesetz von 1978, wo festgehalten wird, dass eine Rahmenbewilligung für neue Kernkraftwerke nur erteilt wird, wenn die dauernde sichere Entsorgung und Endlagerung der radioaktiven Abfälle gewährleistet ist. Das neue Kernenergiegesetz verlangt, dass dieser Nachweis innert zehn Jahren zu erbringen ist. Ein entsprechendes Projekt wurde von der Nagra

Ende 2002 eingereicht. Es bezieht sich auf ein modellartiges geologisches Tiefenlager im Zürcher Weinland. Als Wirtgestein dient der Opalinuston, der in diesem Gebiet eine rund 110 m mächtige Schicht bildet.

Der Entsorgungsnachweis beinhaltet drei Teilnachweise:

- Der Sicherheitsnachweis muss zeigen, dass im gewählten Wirtgestein mit den aufgrund von Sondierbefunden nachgewiesenen geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften und mit den technischen Barrieren die Langzeitsicherheit des Tiefenlagers gewährleistet ist.
- Der Standortnachweis muss aufgrund dokumentierter Untersuchungsergebnisse zeigen, dass ein genügend grosser Wirtgesteinskörper mit den im Sicherheitsnachweis verwendeten Eigenschaften existiert, so dass die Realisierung eines Tiefenlagers im besagten Standortgebiet mit Aussicht auf Erfolg in Angriff genommen werden könnte.
- Der Machbarkeitsnachweis muss zeigen, dass im gewählten Wirtgestein ein Tiefenlager unter Einhaltung der Sicherheitsvorschriften mit den heute vorhandenen technischen Mitteln gebaut, betrieben und langfristig sicher verschlossen werden kann.

Der Entsorgungsnachweis ist klar zu unterscheiden von der Standortwahl für ein geologisches Tiefenlager. Der Entsorgungsnachweis bestätigt die grundsätzliche Möglichkeit der Errichtung eines Tiefenlagers für die beschriebenen Abfallkategorien. Er dient der Sicherstellung, dass in der Schweiz nicht routinemässig radioaktive Abfälle entstehen, deren Entsorgung im Inland technisch nicht möglich wäre. Dies bedeutet nicht, dass in der im Entsorgungsnachweis genannten Region ein entsprechendes Tiefenlager realisiert wird.

Die HSK schloss ihre mehr als zweijährige Überprüfung des umfangreichen Projekts mit dem Gutachten von August 2005 ab, das am 12. September 2005 in Marthalen anlässlich einer Informationsveranstaltung der Öffentlichkeit vorgestellt wurde. Darin wird der Entsorgungsnachweis anhand der im Voraus festgelegten Beurteilungskriterien bewertet. Bei der Beurteilung stützte sich die HSK auch auf das Fachwissen externer Experten, deren Berichte für die HSK erstellt wurden und öffentlich zugänglich sind. In erdwissenschaftlichen Belangen liess sich die HSK insbesondere von der Kommission Nukleare Entsorgung (KNE) beraten, deren Mitglieder vornehmlich im akademischen Bereich tätig sind. Der Expertenbericht der KNE vom Februar 2005 zuhanden der HSK wurde im April 2005 veröffentlicht.

Aufgrund ihrer eingehenden Überprüfung des vorgelegten Projekts macht die HSK folgende Feststellungen:

- Die Nagra hat nachvollziehbar aufgezeigt, dass im Zürcher Weinland in geeigneter Tiefe ein genügend grosser Gesteinsbereich des Opalinustons mit den für die Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers erforderlichen Eigenschaften vorliegt.
- Die technische Machbarkeit des vorgelegten Lagers im Opalinuston des Zürcher Weinlands ist für die angegebene Referenztiefe von rund 650 m gegeben.
- Die Nagra hat nachvollziehbar aufgezeigt, dass der geforderte langfristige Schutz von Mensch und Umwelt mit dem beschriebenen Lagersystem erbracht werden kann; die errechneten Strahlendosen bleiben weit unter dem behördlichen Schutzziel von 0,1 mSv pro Jahr.

Die HSK kommt zum Gesamturteil, dass der gesetzlich geforderte Entsorgungsnachweis erbracht worden ist. Sie gibt dem Bundesrat eine entsprechende Empfehlung ab. Auch die Eidgenössische Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen (KSA) kommt zu einem positiven Gesamturteil des Entsorgungsnachweises.

Sowohl das Gutachten der HSK wie die Stellungnahme der KSA bezeichnen verschiedene technische Fragestellungen, die im Falle der Weiterentwicklung des beschriebenen Projekts im Hinblick auf eine Realisierung näher zu untersuchen sind. Diese noch zu klärenden Punkte stellen die grundsätzliche Machbarkeit einer sicheren Tiefenlagerung der genannten Abfallkategorien nicht in Frage.

Die Hauptberichte der Nagra zum Entsorgungsnachweis, das Gutachten der HSK sowie die verschiedenen weiteren Stellungnahmen lagen in der Zeit vom 13. September bis 12. Dezember 2005 öffentlich auf. Es ergaben sich fast 7000 meist gleich lautende Eingaben, die bei der Vorbereitung des Bundesratsentscheids zum Entsorgungsnachweis berücksichtigt werden.

### 9.3.2 Öffentlichkeitsarbeit

Um den Informations- und Wissensaustausch mit den vom Entsorgungsnachweis direkt betroffenen Kantonen und dem benachbarten Ausland sicherzustellen, hat das BFE im Jahre 2003 drei Gremien eingesetzt: einen Ausschuss von Regierungsvertretern, ein technisches Forum und eine Arbeitsgruppe Information und Kommunikation.

Der Ausschuss besteht aus Regierungsvertretern der betroffenen Kantone (Aargau, Schaffhausen, Thur-



Expertenberichte und Gutachten der HSK zum Entsorgungsnachweis.  
Foto: HSK

gau und Zürich) und des deutschen Bundeslandes Baden-Württemberg sowie aus Vertretern des BFE und der HSK. Als Gäste sind Vertreter des deutschen Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) zu den Sitzungen eingeladen. Der Ausschuss traf sich im vergangenen Jahr zu zwei Sitzungen, an denen nebst Informationen über den Stand der Arbeiten vor allem politische Aspekte des Vorgehens diskutiert wurden.

Die Arbeitsgruppe Information und Kommunikation unter der Leitung des BFE koordiniert die Öffentlichkeitsarbeit. In der Gruppe vertreten sind die oben genannten Kantone, das Forum Opalinus (eine Vereinigung von Gemeinden des Zürcher Weinlands), das Regierungspräsidium Freiburg (D) und das Landratsamt Waldshut (D) sowie die HSK. Die Gruppe traf sich im Berichtsjahr zu drei Sitzungen, an denen der gegenseitige Informationsaustausch sowie die Koordination von Informationsveranstaltungen erfolgten.

Dem Technischen Forum Entsorgungsnachweis, das unter der Leitung der HSK steht, gehören Fachleute des Bundes, der betroffenen Kantone, des Landes Baden-Württemberg, des Landkreises Waldshut, des Forums Opalinus, der Organisation KLAR! Schweiz sowie der Nagra an. In diesem Gremium werden technische und wissenschaftliche Fragen sowie Hinweise und Anregungen aus der Öffentlichkeit diskutiert. Im Berichtsjahr fanden vier Sitzungen statt. Bis Ende 2005 sind im Techni-

schen Forum 82 Fragen eingereicht, diskutiert und beantwortet worden. Weitergehende Angaben hierzu sind im Internet unter [www.technischesforum.ch](http://www.technischesforum.ch) zu finden.

In der Folge der Veröffentlichung der Dokumente zum Entsorgungsnachweis haben verschiedene öffentliche Informationsveranstaltungen in der Schweiz und im benachbarten Ausland stattgefunden, so z. B. in Marthalen, Andelfingen und Waldshut im September sowie in Konstanz und Blumberg im November 2005. Anlässlich dieser Veranstaltungen hat die HSK die Ergebnisse ihrer Überprüfung erläutert.

Zur Information der Öffentlichkeit über den aktuellen Stand der Entsorgung radioaktiver Abfälle hat das BFE die Website [www.entsorgungsnachweis.ch](http://www.entsorgungsnachweis.ch) eingerichtet.

### 9.3.3 Sondierbohrung Benken

In der Sondierbohrung Benken wurden die Langzeitbeobachtungen der Grundwasserpegel weitergeführt. Die Koordinationskommission, die seinerzeit die Bohrarbeiten begleitete, wird erst wieder aktiv werden, wenn die Bohrung dereinst verfüllt wird.

### 9.3.4 Standortsuche

Die Standortsuche für ein Tiefenlager für hochaktive Abfälle soll im Rahmen des Sachplans Geologische Tiefenlager durchgeführt werden, der noch in Vorbereitung ist (siehe Abschnitt 9.1). Die Nagra hat auf Aufforderung des UVEK die bisher von ihr untersuchten Wirtgesteine und möglichen Standortgebiete in einem Bericht (NTB 05-02) dokumentiert, der im September 2005 zusammen mit den Berichten zum Entsorgungsnachweis veröffentlicht wurde. Dieser Optionenbericht dient dem Bundesrat als Grundlage für die Festlegung des weiteren Vorgehens im Programm HAA. Die HSK hat die Überprüfung des Berichts begonnen und wird ihre Stellungnahme dazu im Jahr 2006 abschliessen.

Eines der möglichen Standortgebiete ist das Zürcher Weinland, das als Referenz für den Entsorgungsnachweis gedient hat. Das Forum Opalinus (eine Vereinigung von Gemeinden des Zürcher Weinlands) veröffentlichte im September 2005 eine Studie zu den sozio-ökonomischen Auswir-

kungen eines allfälligen geologischen Tiefenlagers für hochaktive Abfälle im Zürcher Weinland auf Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt. Eine weitere sozio-ökonomische Studie im Auftrag des BFE vergleicht die Auswirkungen von Entsorgungsanlagen in verschiedenen Ländern; diese Studie soll 2006 veröffentlicht werden.

## 9.4 Felslaboratorien

In der Berichtsperiode wurden die Forschungsarbeiten in den beiden Felslaboratorien Mont Terri (Opalinuston) und Grimsel (Kristallingestein) weitergeführt. Die Ergebnisse, die in den beiden Felslaboratorien gewonnen werden, liefern wichtige Grundlagen für die Beurteilung der Sicherheit und der bautechnischen Machbarkeit eines geologischen Tiefenlagers.

Im Felslabor Mont Terri laufen gegenwärtig 24 Experimente, mit welchen die hydraulischen, geochemischen und felsmechanischen Eigenschaften des Opalinustons und das Verhalten des Lagersystems untersucht werden. Die HSK beteiligt sich an diesen Forschungsarbeiten; Angaben hierzu sind im Erfahrungs- und Forschungsbericht der HSK zu finden. Als wichtigste Experimente im Mont Terri sind Untersuchungen über thermisch-hydraulisch-mechanisch gekoppelte Prozesse (Auswirkungen einer Wärmequelle), über den Stofftransport (Diffusionsversuche) sowie über die Ausbreitung von Gas (Zweiphasenfluss) zu erwähnen.

Im Felslabor Grimsel konzentrierten sich die Arbeiten im Berichtsjahr auf Versuche, mit welchen einerseits das Insitu-Verhalten von technischen Barrieren und andererseits das Migrations- und Sorptionsverhalten von Radionukliden sowie Gestein-Wasser-Zement-Wechselwirkungen unter endlagerähnlichen Bedingungen untersucht wurden.

Die HSK ist die zuständige Behörde für die Erteilung der strahlenschutzrechtlichen Bewilligungen für Versuche mit radioaktiven Stoffen in den Felslaboratorien und für die Aufsicht über solche Versuche. Sie erteilte 2005 die Bewilligung für einen Laborraum für die Untersuchung radioaktiver Gesteinsproben im Felslabor Grimsel. In diesem Zusammenhang führte sie zur Kontrolle eine Inspektion durch.

# Anhang

Tabelle 1a	Hauptdaten der schweizerischen Kernkraftwerke	100
Tabelle 1b	Betriebsdaten der schweizerischen Kernkraftwerke 2005	100
Tabelle 2	Bestand an lizenziertem Personal und Gesamtbelegschaft in den Kernkraftwerken Ende 2005	101
Tabelle 3	Klassierte Vorkommnisse 2005	101
Tabelle 4	Internationale Ereignisskala (INES)	102
Tabelle 5	Kollektivdosen in den schweizerischen KKW im Berichtsjahr	104
Tabelle 6a	Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2005 und der daraus berechneten Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung	105
Tabelle 6b	Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2005 und der daraus berechneten Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung	106
Tabelle 6c	Fussnoten	107
Tabelle 7	Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke in den letzten fünf Jahren im Vergleich mit den Abgabelimiten	108
Tabelle 8	Radioaktive Abfälle in den Kernkraftwerken und im PSI	109
Tabelle 9	Radioaktive Abfälle im Zentralen Zwischenlager der ZWILAG	109
Tabelle 10	Liste der schweizerischen Richtlinien	110
Figur 1	Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung, 1996–2005	113
Figur 2	Meldepflichtige, klassierte Vorkommnisse, 1996–2005	114
Figur 3	Ungeplante Reaktorschnellabschaltungen (Scrams), 1996–2005	115
Figur 4	Brennstabschäden (Anzahl Stäbe), 1995–2005	116
Figur 5	Jahreskollektivdosen (Personen-Sv/Jahr) der Kernanlagen, 1973–2005	117
Figur 6	Berechnete Dosen für die meistbetroffenen Personen (Erwachsene) in der Umgebung der schweizerischen KKW	118
Figur 7a	Funktionsschema eines Kernkraftwerks mit Druckwasserreaktor	119
Figur 7b	Funktionsschema eines Kernkraftwerks mit Siedewasserreaktor	119
	Verzeichnis der Abkürzungen	121

**Tabelle 1a**

Hauptdaten der schweizerischen Kernkraftwerke

	KKB 1	KKB 2	KKM	KKG	KKL
Thermische Leistung [MW]	1130	1130	1097	3002	3600
Elektrische Bruttoleistung [MW]	380	380	372	1020	1220
Elektrische Nettoleistung [MW]	365	365	355	970	1165
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 1b**

Betriebsdaten der schweizerischen Kernkraftwerke 2005

	KKB 1	KKB 2	KKM	KKG	KKL
Thermisch erzeugte Energie [GWh]	9584	8715	8707	23 255	17 886
Abgegebene elektrische Nettoenergie [GWh]	3096	2800	2855	7529	5739
Abgegebene thermische Energie [GWh]	157,6	5,7	2,37	141,8	–
Zeitverfügbarkeit <sup>1</sup> [%]	96,9	88,2	92,9	88,5	57,1
Nichtverfügbarkeit durch Jahresrevision [%]	3,1	11,8	7,1	11,5	42,9
Arbeitsausnutzung <sup>2</sup> [%]	96,9	87,6	90,9	89,5	56,7
Anzahl ungeplanter Schnellabschaltungen (Scrams)	0	1	0	0	1
Unvorhergesehenes Abfahren der Anlage	0	0	0	0	0
Störungsbedingte Leistungsreduktionen (>10% P <sub>N</sub> )	1	0	1	4	2

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

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

## Tabelle 2

Bestand an lizenziertem Personal und Gesamtbelegschaft in den Kernkraftwerken Ende 2005  
(in Klammern Werte von 2004)

Funktion	KKB 1+2	KKM	KKG	KKL
Reaktoroperateur	30 (30)	18 (18)	19 (20)	24 (19)
Schichtchef und Stellvertreter	25 (24)	9 (8)	21 (21)	17 (17)
Pikettingenieur	13 (14)	7 (7)	12 (13)	12 (12)
Strahlenschutzfachkraft	5 (5)	7 (4)	8 (6)	9 (10)
Strahlenschutztechniker	5 (5)	5 (6)	4 (4)	5 (5)
Gesamtbelegschaft (Personen)	504 (499)	300 (302)	403 (395)	417 (416)

## Tabelle 3

Klassierte Vorkommnisse 2005

Datum	Anlage	Vorkommnis	Einstufung INES
11.1.2005	KKG	Unbeabsichtigter Spannungsunterbruch an einer Notstromschiene bei einer Funktionsprüfung	0
25.2.2005	PSI	Nicht bilanzierte Abgabe von radioaktivem Abwasser	0
12.4.2005	KKM	Ortsdosisleistungsüberschreitung beim Transport von radioaktivem Material	0
23.4.2005	KKL	Reaktorkernbeladung bei zwei nicht eingefahrenen Steuerstäben	1
24.4.2005	KKL	Überfüllen der Reaktorgrube bei der Inbetriebnahme der Abfahrkühlung	0
27.4.2005	KKL	Luftleckage an Pneumatikantrieben von Sicherheitsabblaseventilen beim Funktionstest	0
7.7.2005	KKG	Fehleinfall eines Steuerelementes im Leistungsbetrieb	0
8.7.2005	PSI	Ortsdosisleistungsüberschreitung beim Transport von radioaktiven Proben	0
31.8.2005	KKG	Spannungsunterbruch an einer Notstandsschiene bei einer Funktionsprüfung	0
1.9.2005	KKL	Reaktorschnellabschaltung verursacht durch Fehlbetätigung bei einer Funktionsprüfung	0
8.9.2005	KKL	Störung der Leistungsregelung eines Notstromdiesels bei einer Funktionsprüfung	0
10.9.2005	KKB2	Reaktorschnellabschaltung wegen Störung an einer Turbine	0
12.10.2005	KKG	Reduzierte Durchflussmenge an einem Strang der Nebenkühlwasserversorgung bei einer Funktionsprüfung	0
20.10.2005	KKL	Störung an der Turbine des Kernisoliationskühlsystems bei einer Funktionsprüfung	0
26.10.2005	KKG	Ortsdosisleistungsüberschreitung beim Transport von radioaktivem Material	0
3.11.2005	KKB2	Startversagen einer Hilfsspeisewasserpumpe bei einer Funktionsprüfung	0

**Tabelle 4**

**Internationale Ereignisskala (INES)**

Die Internationale Skala für den Schweregrad von nuklearen Störfällen (International Nuclear Event Scale INES der International Atomic Energy Agency IAEA und der OECD Nuclear Energy Agency NEA), seit Anfang 1990 in Probeanwendung und seit 1992 definitiv in Funktion, informiert Medien und Bevölkerung bei Störfällen nach einem gemeinsamen Bewertungsmassstab (IAEA INES User Manual). Damit wird die Bedeutung von Störfällen in eine international gemeinsame Perspektive gesetzt. Die Meldungen werden durch die nuklearen Aufsichtsbehörden bzw. deren Vertreter überprüft oder herausgegeben.

Nun ist über Internet ein Zugriff auf die wichtigen Informationen bei Störfällen unter der Internetadresse «[www-news.iaea.org/news/](http://www-news.iaea.org/news/)» möglich. Es werden jeweils die Ereignisse der letzten 6 Monate angezeigt. Die Skala unterscheidet sieben Stufen, 1 bis 7, von Vorkommnissen nach ihrer Sicherheitsbedeutung (Stufe 0 sind Ereignisse ohne Sicherheitssignifikanz):

Stufe	Bezeichnung	Kriterien	Beispiele
7	Schwerwiegender Unfall	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Freisetzung eines grossen Teiles des Kerninventars in die Umgebung in Form einer Mischung kurz- und langlebiger Aktivstoffe (mehr als 10 000 TBq Iod-131-Äquivalent).</li> </ul> <p><b>Bemerkung:</b> Akute Gesundheitsschäden möglich. Späte Gesundheitsschäden über grosse Gebiete, wahrscheinlich über die Landesgrenze hinaus. Langfristige Beeinträchtigung der Umwelt.</p>	Tschernobyl, UdSSR, 1986
6	Ernsthafter Unfall	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Freisetzung von Spaltprodukten in die Umgebung (1000 bis 10 000 TBq Iod-131-Äquivalent).</li> </ul> <p><b>Bemerkung:</b> Voller Einsatz lokaler Notfallschutzmassnahmen höchstwahrscheinlich notwendig, um Gesundheitsschäden in der Bevölkerung zu begrenzen.</p>	
5	Unfall mit Gefährdung der Umgebung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Freisetzung von Spaltprodukten in die Umgebung (100 bis 1000 TBq Iod-131-Äquivalent).</li> </ul> <p><b>Bemerkung:</b> Teilweiser Einsatz von Notfallschutzmassnahmen in einigen Fällen notwendig, um die Wahrscheinlichkeit von Gesundheitsschäden zu verringern.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Schwere Kernschäden mit Freisetzung einer grossen Menge Radioaktivität innerhalb der Anlage.</li> </ul>	<p>Windscale, England, 1957</p> <p>Three Mile Island, USA 1979</p>
4	Unfall ohne signifikante Gefährdung der Umgebung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Freisetzung von radioaktiven Stoffen, die für die meistexponierte Person ausserhalb der Anlage eine Dosis von wenigen Millisievert ergibt.</li> </ul> <p><b>Bemerkung:</b> Notfallschutzmassnahmen im Allgemeinen nicht notwendig, ausser möglicherweise lokale Lebensmittelkontrollen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Teilweise Beschädigung des Reaktorkerns wegen mechanischer Einwirkungen und/oder Schmelzen.</li> <li>■ Bestrahlung von Personal derart, dass ein akuter Todesfall wahrscheinlich ist.</li> </ul>	<p>Saint Laurent, Frankreich, 1980</p> <p>Tokaimura, Japan, 1999</p>

**Tabelle 4 (Fortsetzung)**

Internationale Störfall-Bewertungsskala für Kernanlagen (INES)

Stufe	Bezeichnung	Kriterien	Beispiele
3	Ernsthafter Zwischenfall	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Freisetzung radioaktiver Stoffe über bewilligten Grenzwerten, die zu einer Dosis in der Grössenordnung von einigen Zehntel Millisievert für die meistexponierte Person führen kann.</li> <li>■ Bestrahlung von Personal derart, dass eine akute Strahlenerkrankung zu erwarten ist. Schwerwiegende Kontamination in der Anlage.</li> <li>■ Störfälle, bei denen ein zusätzliches Versagen von Sicherheitseinrichtungen zu Unfällen führen könnte, oder eine Situation, in welcher Sicherheitseinrichtungen einen Unfall nicht verhindern könnten, falls bestimmte auslösende Vorkommnisse eintreten würden.</li> </ul>	Vandellos, Spanien, 1989
2	Zwischenfall	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Vorkommnisse mit wesentlichen Versagen von Sicherheitseinrichtungen, aber mit ausreichender Sicherheitsvorsorge, um auch mit zusätzlichen Fehlern fertig zu werden. Vorkommnisse der Stufe 1 mit signifikanten Mängeln in der Sicherheitskultur<sup>1</sup>.</li> <li>■ Vorkommnisse mit Bestrahlung von Personal höher als die jährliche Dosislimite. Signifikante Verbreitung von Radioaktivität innerhalb der Anlage, welche auslegungsgemäss nicht zu erwarten war.</li> </ul>	
1	Anomalie	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Anomalie ausserhalb der vorgeschriebenen Betriebsbedingungen. Sie kann auf Versagen von Ausrüstungen, menschliche Fehlhandlungen oder Verfahrensmängel zurückzuführen sein. Vorkommnis ohne direkte Sicherheitsbedeutung, das Mängel in der Sicherheitskultur aufzeigt.</li> </ul>	
0	Nicht sicherheits-signifikante Vorkommnisse	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Hierher gehören Vorkommnisse ohne Überschreitung von betrieblichen Grenzwerten und Bedingungen, welche mit geeigneten Verfahren beherrscht werden.</li> </ul> <p><b>Beispiele:</b> Bei periodischen Prüfungen festgestellter Einzelfehler in einem redundanten System. Automatische Reaktorabschaltung mit normalen Anlageverhalten. Leckagen innerhalb Betriebslimiten Alle Beispiele ohne grösseren Zusammenhang mit der Sicherheitskultur.</p>	

<sup>1</sup> Unter Mängel in der Sicherheitskultur werden im IAEA INES User Manual folgende Beispiele zum Verständnis angegeben:

- eine Verletzung der Technischen Spezifikation (d. h. Bedingung für den sicheren Betrieb)
- die Verletzung einer wichtigen Vorschrift ohne Rechtfertigung
- ein systematischer Mangel im Qualitätsmanagementsystem
- eine Anhäufung von menschlichen Fehlern
- ein Versagen, die radioaktiven Materialien unter ausreichender Kontrolle zu halten
- die Wiederholung eines bedeutsamen Ereignisses (Lektionen wurden nicht gelernt, korrigierende Massnahmen wurden nicht ergriffen).



## Tabelle 5

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

	KKB 1		KKB 2		KKL		KKM		KKG	
	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004
Aktionen										
BE-Wechsel	152			68						
Revisionsstillstand		443	451		399	1522	871	634	1146	721
Zwischenabstellung										
Leistungsbetrieb	51	53	51	53	171	269	540	458	120	113
Total	203	496	502	121	570	1791	1411	1092	1266	834

**Tabelle 6a**

Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2005 für die Kernkraftwerke und das Zentrale Zwischenlager Würenlingen und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung (Fussnoten am Ende der Tabelle)

Anlage	Medium	Art der Abgaben <sup>4</sup>	Abgabelimiten <sup>1</sup> Bq/Jahr	Tatsächliche Abgaben <sup>2, 4</sup>			Berechnete Jahresdosis <sup>3</sup>	
				Äquivalentabgaben (Vergleich mit den Limiten)			Erwachsener mSv/Jahr	Kleinkind mSv/Jahr
				Bq/Jahr	Prozent der Limite	Bq/Jahr		
<b>KKB 1 + KKB 2</b>	Abwasser (3700 m <sup>3</sup> )	Nuklidgemisch (ohne Tritium)	4·10 <sup>11</sup>	–	<0,1%	8,7·10 <sup>9</sup>	<0,001	<0,001
		Tritium	7·10 <sup>13</sup>	1,1·10 <sup>13</sup>	16%	1,1·10 <sup>13</sup>	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	1·10 <sup>15</sup>	7,5·10 <sup>12</sup>	0,8%	7,3·10 <sup>12</sup>	<0,001	<0,001
		Aerosole	6·10 <sup>9</sup>	–	<0,1%	3,8·10 <sup>5</sup>	<0,001	<0,001
		Iod: <sup>131</sup> I Kohlenstoff (CO <sub>2</sub> ): <sup>14</sup> C	4·10 <sup>9</sup> –	8,1·10 <sup>6</sup> –	0,2% –	8,1·10 <sup>6</sup> 5,0·10 <sup>10</sup>	<0,001 0,0015	<0,001 0,0025
Gesamtdosis						0,0017	0,0027	
<b>KKM</b>	Abwasser (5415 m <sup>3</sup> )	Nuklidgemisch (ohne Tritium)	4·10 <sup>11</sup>	3,3·10 <sup>9</sup>	0,8%	2,6·10 <sup>10</sup>	<0,001	<0,001
		Tritium	2·10 <sup>13</sup>	2,2·10 <sup>11</sup>	1,1%	2,2·10 <sup>11</sup>	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	2·10 <sup>15</sup>	–	<0,1%	1,8·10 <sup>11</sup>	<0,001	<0,001
		Aerosole	2·10 <sup>10</sup>	3,3·10 <sup>7</sup>	<0,2%	3,3·10 <sup>7</sup>	0,0042	0,0036
		Iod: <sup>131</sup> I Kohlenstoff (CO <sub>2</sub> ): <sup>14</sup> C	2·10 <sup>10</sup> –	– –	<0,1% –	1,1·10 <sup>7</sup> 3·10 <sup>11</sup>	<0,001 0,0011	<0,001 0,0018
Gesamtdosis						0,0054	0,0054	
<b>KKG</b>	Abwasser (7297 m <sup>3</sup> )	Nuklidgemisch (ohne Tritium)	2·10 <sup>11</sup>	–	<0,1%	2,1·10 <sup>6</sup>	<0,001	<0,001
		Tritium	7·10 <sup>13</sup>	1,3·10 <sup>13</sup>	17%	1,3·10 <sup>13</sup>	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	1·10 <sup>15</sup>	<8,6·10 <sup>12</sup>	<0,9%	<7,8·10 <sup>12</sup>	<0,001	<0,001
		Aerosole	1·10 <sup>10</sup>	–	<0,1%	–	<0,001	<0,001
		Iod: <sup>131</sup> I Kohlenstoff (CO <sub>2</sub> ): <sup>14</sup> C	7·10 <sup>9</sup> –	– –	<0,1% –	1,8·10 <sup>5</sup> 6,3·10 <sup>10</sup>	<0,001 <0,001	<0,001 <0,001
Gesamtdosis						<0,001	0,001	
<b>KKL</b>	Abwasser (13 525 m <sup>3</sup> )	Nuklidgemisch (ohne Tritium)	4·10 <sup>11</sup>	–	<0,1%	1,3·10 <sup>8</sup>	<0,001	<0,001
		Tritium	2·10 <sup>13</sup>	1,2·10 <sup>12</sup>	6%	1,2·10 <sup>12</sup>	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	2·10 <sup>15</sup>	–	<0,1%	5,9·10 <sup>11</sup>	<0,001	<0,001
		Aerosole	2·10 <sup>10</sup>	–	<0,1%	2,7·10 <sup>6</sup>	<0,001	<0,001
		Iod: <sup>131</sup> I Kohlenstoff (CO <sub>2</sub> ): <sup>14</sup> C	2·10 <sup>10</sup> –	6,8·10 <sup>7</sup> –	0,3% –	6,8·10 <sup>7</sup> 3,4·10 <sup>11</sup>	<0,001 0,0018	0,001 0,0031
Gesamtdosis						0,0018	0,0031	
<b>ZZL</b>	Abwasser (276 m <sup>3</sup> )	Nuklidgemisch (ohne Tritium)	2·10 <sup>11</sup>	–	<0,1%	1,7·10 <sup>8</sup>	<0,001	<0,001
		Tritium	–	–	–	1,2·10 <sup>10</sup>	<0,001	<0,001
	Abluft	β-/γ-Aerosole	1·10 <sup>9</sup>	–	<0,1%	1,9·10 <sup>5</sup>	<0,001	<0,001
		α-Aerosole	3·10 <sup>7</sup>	–	<0,1%	1,6·10 <sup>4</sup>	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff (CO <sub>2</sub> ): <sup>14</sup> C Tritium	1·10 <sup>12</sup> 1·10 <sup>14</sup>	– –	<0,1% <0,1%	5,2·10 <sup>7</sup> 3,8·10 <sup>8</sup>	<0,001 <0,001	<0,001 <0,001
Gesamtdosis						<0,001	<0,001	

**Tabelle 6b (Fortsetzung)**

Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2005 und der daraus berechneten Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung.

	Hochkamin (PSI Ost)	Saphir, Proteus (PSI Ost)	Forschungslabor (PSI Ost)	Betriebsgebäude für radioaktive Abfälle Ost	Bundeszwischenlager	Zentrale Fortluftanlage (PSI West)	Injektor II (PSI West)	C-Labor (PSI West)	Abwasser PSI (2975 m <sup>3</sup> )	Gesamtanlage des PSI <sup>2,4</sup>	
										Gesamtsumme	Äquivalentabgaben
<b>Abgaben im Abwasser</b> <sup>2,4</sup> [Bq] Nuklidgemisch ohne Tritium Tritium	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	3,6·10 <sup>7</sup> 1,1·10 <sup>10</sup>	1,2·10 <sup>7</sup> -	
<b>Abgaben über die Abluft</b> <sup>2,4</sup> [Bq] Edelgase und andere Gase β/γ-Aerosole (ohne Iod, Halbwertszeit >8 Std.) α-Aerosole Iod Tritium (tritiertes Wasser, HTO) Kohlenstoff (CO <sub>2</sub> ): <sup>14</sup> C	2,5·10 <sup>9</sup> 5,7·10 <sup>5</sup> - 2,3·10 <sup>8</sup> 6,2·10 <sup>10</sup> -	- - - 8,3·10 <sup>8</sup> -	- - 9,7·10 <sup>4</sup> - -	- - - 6,0·10 <sup>9</sup> -	- - - 3,1·10 <sup>9</sup> -	9,2·10 <sup>13</sup> 2,8·10 <sup>10</sup> - 7,9·10 <sup>7</sup> 6,1·10 <sup>11</sup> -	5,9·10 <sup>10</sup> 3,1·10 <sup>6</sup> - 2,3·10 <sup>4</sup> -	- - - - -	- - - - -	9,2·10 <sup>13</sup> 2,8·10 <sup>10</sup> - 3,1·10 <sup>8</sup> 6,8·10 <sup>11</sup> -	2,0·10 <sup>14</sup> - - 2,4·10 <sup>8</sup> - -
<b>Jahresdosis</b> <sup>3</sup> [mSv/Jahr] für: Erwachsene Kleinkinder	<0,00015 <0,00015	<0,00015 <0,00015	<0,00015 <0,00015	<0,00015 <0,00015	<0,00015 <0,00015	0,0030 0,0031	<0,00015 <0,00015	<0,00015 <0,00015	<0,00015 <0,00015	<0,004 <0,004	
<b>Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert</b> <sup>1</sup>	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	2,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<3%	

## Tabelle 6c (Fussnoten)

- <sup>1</sup> **Abgabelimiten** gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die Abgabelimiten wurden für die Kernkraftwerke und das Zentrale Zwischenlager in Würenlingen (ZZL) so festgelegt, dass die Jahresdosis für Personen in der Umgebung (vgl. Fussnote 3) unter 0,2 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.
- <sup>2</sup> 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 ZZL oder PSI. Die Messgenauigkeit beträgt ca.  $\pm 50\%$ . Abgaben unterhalb 0,1% der Jahresabgabelimite werden von der HSK als nicht relevant betrachtet.
- <sup>3</sup> 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 HSK-Richtlinie R-41 angegebenen Modellen und Parametern ermittelt.  
Dosiswerte kleiner als 0,001 mSv – entsprechend einer Dosis, die durch natürliche externe Strahlung in etwa zehn Stunden akkumuliert wird – werden in der Regel nicht angegeben. Beim PSI wird die Jahresdosis der Gesamtanlage als Summe über die Abgabestellen gebildet.
- <sup>4</sup> Bei der **Art der Abgaben** resp. den **Tatsächlichen 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 einer weiteren Spalte 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/m<sup>3</sup> angegeben. Die CA-Werte für die Edelgasnuklide sind dem Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Ein CA-Wert von  $2 \cdot 10^5$  Bq/m<sup>3</sup> entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Immersions-Dosisfaktor von  $4,4 \cdot 10^{-7}$  (Sv/Jahr)/(Bq/m<sup>3</sup>). Die unnormierte Summe der Edelgasabgaben ist in einer weiteren Spalte angegeben.

Beim KKG wird für die Bilanzierung der Edelgase eine  $\beta$ -total-Messung durchgeführt; für die Äquivalent-Umrechnung wurde in diesem Fall ein Gemisch von 80% <sup>133</sup>Xe, 10% <sup>135</sup>Xe und 10% <sup>88</sup>Kr angenommen.

**Gas:** Beim PSI handelt es sich dabei vorwiegend um die Nuklide <sup>11</sup>C, <sup>13</sup>N, <sup>15</sup>O und <sup>41</sup>Ar. 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/m<sup>3</sup> normierten 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 <sup>131</sup>I limitiert; somit ist bei den tatsächlichen Abgaben auch 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 <sup>131</sup>Iod-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 <sup>131</sup>I 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 <sup>133</sup>I berücksichtigt.

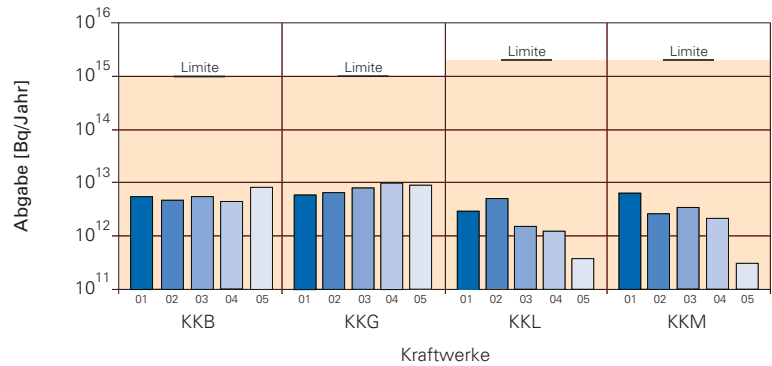
**Kohlenstoff <sup>14</sup>C:** In den Tabellen ist der als Kohlendioxid vorliegende Anteil des <sup>14</sup>C, der für die Dosis relevant ist, angegeben. Die für <sup>14</sup>C angegebenen Werte basieren bei allen Werken auf aktuellen Messungen.

**Tabelle 7**

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

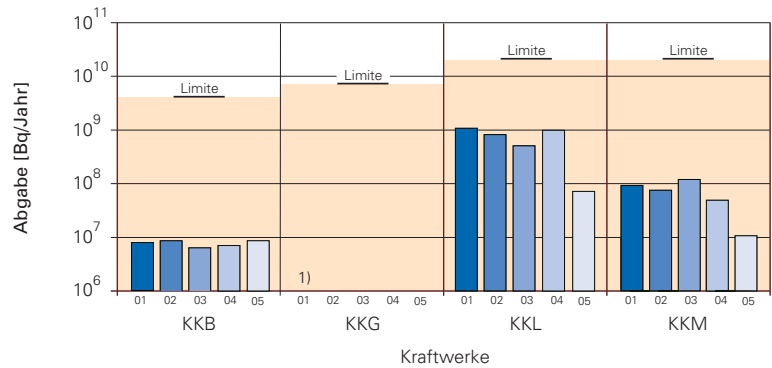
**Abluft**

Edelgase



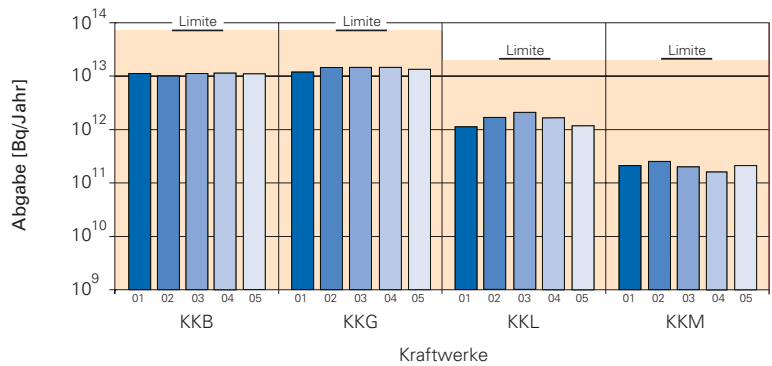
**Abluft**

Iod



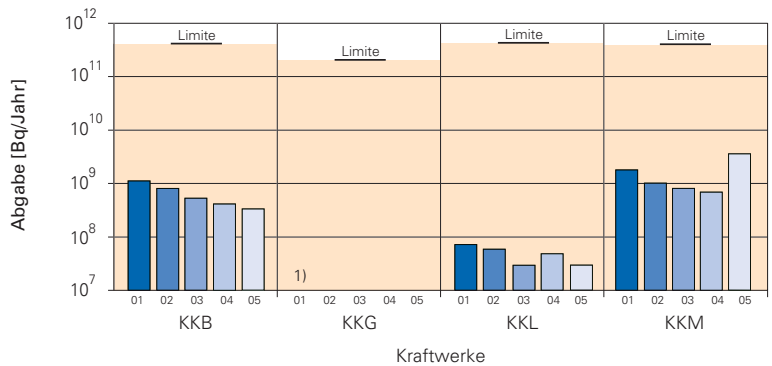
**Abwasser**

Tritium im Abwasser



**Abwasser**

übrige flüssige Abgaben



1) Werte liegen unterhalb des untern Grafik-Bereichs

**Tabelle 8**

Radioaktive Abfälle in den Kernkraftwerken und im PSI per 31.12.2005  
(inklusive Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung), Volumina gerundet in m<sup>3</sup>

	unkonditioniert <sup>1</sup>		Bestand <sup>5</sup>	konditioniert <sup>2</sup>		Bestand <sup>7</sup>
	Anfall <sup>3</sup>	Auslagerung <sup>4</sup>		Produktion <sup>6</sup>	Auslagerung	
PSI	110	–	459	25	–	1104+5 <sup>8</sup>
KKB	31	–	121	24	5 <sup>8</sup>	1084
KKM	20	21	71	36	–	1036
KKG	25	14	31	–	189 <sup>9</sup>	168
KKL	28	30	38	16	–	1445
Total	214	65	720	101	194	4837+5 <sup>8</sup>

<sup>1</sup> Unkonditionierte Abfälle umfassen Instandhaltungsabfälle und Prozessabfälle sowie Sammelabfälle aus Medizin, Industrie und Forschung.

<sup>2</sup> Bei der Konditionierung brennbarer und pressbarer Abfälle findet eine Volumenreduktion statt.

<sup>3</sup> Bruttovolumen im Berichtsjahr (abgeleitet aus der Anzahl Rohabfallfässer; für KKM: Nettovolumen des Rohabfalls; für PSI: Rohabfallfässer + Abschirmcontainer + Sperrgut).

<sup>4</sup> Bruttovolumen der im Berichtsjahr zur ZWILAG transferierten brennbaren und schmelzbaren Abfälle zwecks Konditionierung in der dortigen Verbrennungs- und Schmelzanlage (für KKM: Nettovolumen des Rohabfalls).

<sup>5</sup> Bruttovolumen in den Kernanlagen (abgeleitet aus der Anzahl Rohabfallfässer; für KKM: Nettovolumen des Rohabfalls; für PSI: Rohabfallfässer + Abschirmcontainer + Sperrgut).

<sup>6</sup> Bruttovolumen im Berichtsjahr (für KKB und KKM wurden die exakten Gebindevolumina berücksichtigt).

<sup>7</sup> Bruttovolumen in den Lagern der Kernanlagen (für KKB und KKM wurden die exakten Gebindevolumina berücksichtigt; für PSI werden durch fortschreitende Nachdokumentation von alten Gebinden zunehmend die exakten Volumina berücksichtigt, so wurde der für das Jahr 2004 ausgewiesene Bestand von 1083 auf 1078 m<sup>3</sup> korrigiert).

<sup>8</sup> 21 Gebinde von KKB am PSI zur Sanierung.

<sup>9</sup> Transfer konditionierter Abfälle zur Zwischenlagerung bei der ZWILAG.

**Tabelle 9**

Radioaktive Abfälle in den Anlagen der ZWILAG per 31.12.2005

	unkonditioniert			konditioniert		
	Anfall	Annahme	Bestand	Produktion	Auslagerung	Bestand
Geb. V+K <sup>1</sup> [m <sup>3</sup> ]	14 <sup>2</sup>	72 <sup>3</sup>	237 <sup>4</sup>	10	8	4
Lagergebäude (konditionierte Abfälle)					Einlagerung	Bestand
MAA-Lager [m <sup>3</sup> ]					213	256
HAA-Lager – Anzahl Behälter mit Brennelementen					3	16
HAA-Lager – Anzahl Behälter mit Glaskokillen					2	7
HAA-Lager – Anzahl Behälter mit Lucens-Abfällen					–	6

<sup>1</sup> Einschliesslich Hochregallager und Empfangsgebäude.

<sup>2</sup> Eigene Sekundärabfälle aus allen Betriebsbereichen der ZWILAG.

<sup>3</sup> Die Differenz zum ausgelagerten Volumen von den Werken (65 m<sup>3</sup> vgl. Tabelle 8) ergibt sich aus der Berücksichtigung durch ZWILAG der exakten Gebindevolumina.

<sup>4</sup> Hierin enthalten sind 38 Gebinde (8 m<sup>3</sup>) mit leicht angereichertem uranhaltigem Material aus dem Versuchatomkraftwerk Lucens.

## Tabelle 10

Liste der schweizerischen Richtlinien

Hinweis: Alle Richtlinien sind zusätzlich auch auf dem Internet der HSK abrufbar.

Richtlinie	Titel der Richtlinie	Datum der gültigen Ausgabe
R-04/d	Aufsichtsverfahren beim Bau von Kernkraftwerken; Projektierung von Bauwerken	Dezember 1990
R-05/d	Aufsichtsverfahren beim Bau von Kernkraftwerken; mechanische Ausrüstungen	Oktober 1990
R-06/d	Sicherheitstechnische Klassierung, Klassengrenzen und Bau- vorschriften für Ausrüstungen in Kernkraftwerken mit Leichtwasser- reaktoren	Mai 1985
R-07/d	Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts	Juni 1995
R-08/d	Sicherheit der Bauwerke für Kernanlagen, Prüfverfahren des Bundes für die Bauausführung	Mai 1976
R-11/d	Strahlenschutzziele im Normalbetrieb von Kernanlagen	Mai 2003
R-12/d	Erfassung und Meldung der Dosen des strahlenexponierten Personals der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts	Oktober 1997
R-13/d	Inaktivfreigabe von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen (Freimessrichtlinie)	Februar 2002
R-14/d	Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle	März 2004
R-15/d	Berichterstattung über den Betrieb von Kernkraftwerken	November 2004
R-16/d	Seismische Anlageninstrumentierung	Februar 1980
R-17/d	Organisation von Kernkraftwerken	Juni 2002
R-17/e	Organisation of Nuclear Power Plants	June 2002
R-18/d	Aufsichtsverfahren bei Reparaturen, Änderungen und Ersatz von mechanischen Ausrüstungen in Kernanlagen	Dezember 2000
R-21/d	Schutzziele für die Endlagerung radioaktiver Abfälle	November 1993
R-21/e	Protection Objectives for the Disposal of Radioactive Waste	November 1993
R-21/f	Objectifs de protection pour le stockage final des déchets radioactifs	Novembre 1993
R-23/d	Revisionen, Prüfungen, Ersatz, Reparaturen und Änderungen an elektrischen Ausrüstungen in Kernanlagen	Januar 2003

## Tabelle 10 (Fortsetzung)

Liste der schweizerischen Richtlinien

Hinweis: Alle Richtlinien sind zusätzlich auch auf dem Internet der HSK abrufbar.

Richtlinie	Titel der Richtlinie	Datum der gültigen Ausgabe
R-25/d	Berichterstattung über den Betrieb der Kernanlagen des Bundes und der Kantone	Mai 2005
R-27/d	Auswahl, Ausbildung und Prüfung des lizenzpflichtigen Betriebspersonals von Kernkraftwerken	Mai 1992
R-29/d	Anforderung an die Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle	März 2004
R-30/d	Aufsichtsverfahren beim Bau und Betrieb von Kernanlagen	Juli 1992
R-31/d	Aufsichtsverfahren beim Bau und dem Nachrüsten von Kernkraftwerken, 1E klassierte elektrische Ausrüstungen	Oktober 2003
R-32/d	Richtlinie für die meteorologischen Messungen an Standorten von Kernanlagen	September 1993
R-35/d	Aufsichtsverfahren bei Bau und Änderungen von Kernkraftwerken, Systemtechnik	Mai 1996
R-37/d	Anerkennung von Strahlenschutz-Ausbildungen und -Fortbildungen im Aufsichtsbereich der HSK	Juli 2001
R-39/d	Erfassung der Strahlenquellen und Werkstoffprüfer im Kernanlagenareal	Januar 1990
R-40/d	Gefilterte Druckentlastung für den Sicherheitsbehälter von Leichtwasserreaktoren, Anforderungen für die Auslegung	März 1993
R-41/d	Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung auf Grund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen	Juli 1997
R-42/d	Zuständigkeiten für die Entscheide über besondere Massnahmen bei einem schweren Unfall in einer Kernanlage	Februar 2000
R-42/e	Responsibility for decisions to implement certain measures to mitigate the consequences of a severe accident at a Nuclear Power Plant	July 2003
R-45/d	Planung und Durchführung von Notfallübungen im Bereich der schweizerischen Kernanlagen	Januar 2004
R-45/e	Planning and Execution of Emergency Exercises in Swiss Nuclear Installations	October 2004
R-45/f	Planification et exécution d'exercices d'urgence dans le domaine des installations nucléaires suisses	Janvier 2004
R-46/d	Anforderungen für die Anwendung von sicherheitsrelevanter, rechnerbasierter Leittechnik in Kernkraftwerken.	April 2005



**Tabelle 10 (Fortsetzung)**

Liste der schweizerischen Richtlinien

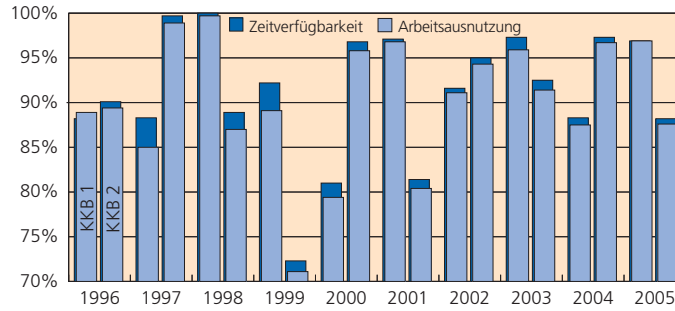
Hinweis: Alle Richtlinien sind zusätzlich auch auf dem Internet der HSK abrufbar.

Richtlinie	Titel der Richtlinie	Datum der gültigen Ausgabe
R-47/d	Prüfungen von Strahlenmessgeräten	Oktober 1999
R-48/d	Periodische Sicherheitsüberprüfung von Kernkraftwerken	November 2001
R-49/d	Sicherheitstechnische Anforderungen an die Sicherung von Kernanlagen	Dezember 2003
R-50/d	Sicherheitstechnische Anforderungen an den Brandschutz in Kernanlagen	März 2003
R-51/d	Alterungsüberwachung für mechanische und elektrische Ausrüstungen sowie Bauwerke in Kernanlagen	November 2004
R-52/d	Transport- und Lagerbehälter (T/L-Behälter) für die Zwischenlagerung	Juli 2003
R-52/e	Transport and Storage Casks (T/S-Casks) for interim storage	November 2003
R-60/d	Überprüfung der Brennelementherstellung	März 2003
R-61/d	Aufsicht beim Einsatz von Brennelementen und Steuerstäben in Leichtwasserreaktoren	Juni 2004
R-100/d	Nachweis ausreichender Vorsorge gegen Störfälle in Kernkraftwerken (Störfall-Richtlinie)	Dezember 2004
R-101/d	Auslegungskriterien für Sicherheitssysteme von Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren	Mai 1987
R-101/e	Design Criteria for Safety Systems of Nuclear Power Plants with Light Water Reactors	May 1987
R-102/d	Auslegungskriterien für den Schutz von sicherheitsrelevanten Ausrüstungen in Kernkraftwerken gegen die Folgen von Flugzeugabsturz	Dezember 1986
R-102/e	Design Criteria for the Protection of Safety Equipment in Nuclear Power Stations against the Consequences of Airplane Crash	December 1986
R-103/d	Anlageinterne Massnahmen gegen die Folgen schwerer Unfälle	November 1989

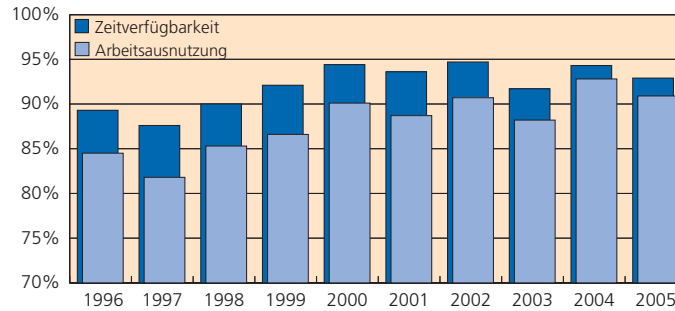
**Figur 1**

Zeitverfügbarkeit und Arbeitsausnutzung, 1996–2005

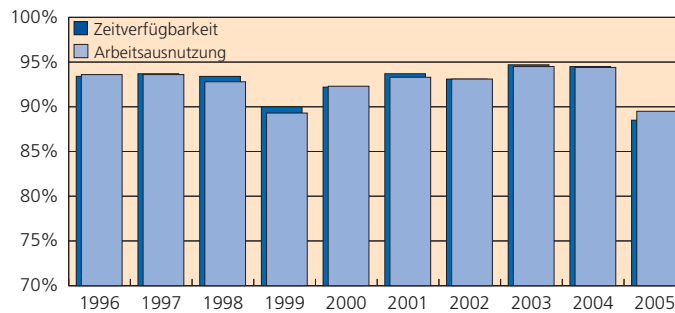
**KKB 1, 2**



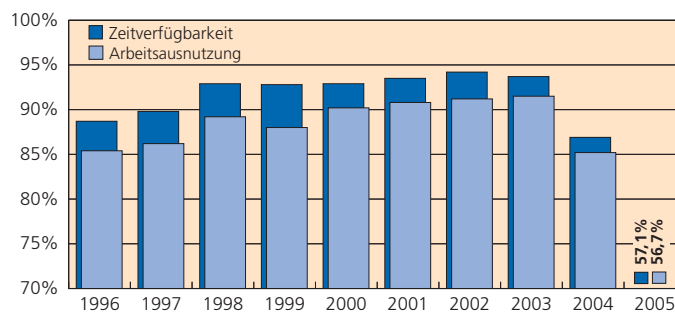
**KKM**



**KKG**



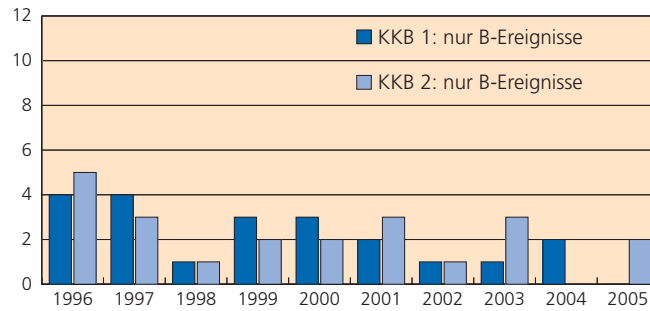
**KKL**



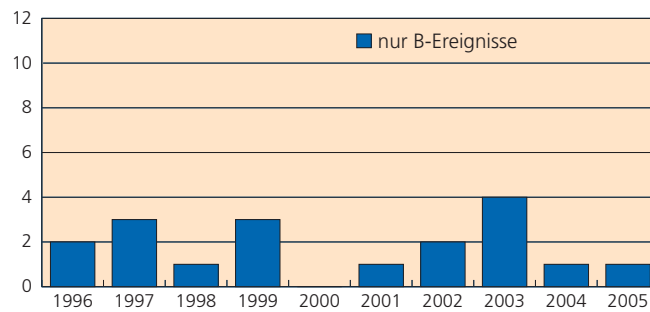
**Figur 2**

Meldepflichtige, klassierte Vorkommnisse, 1996–2005

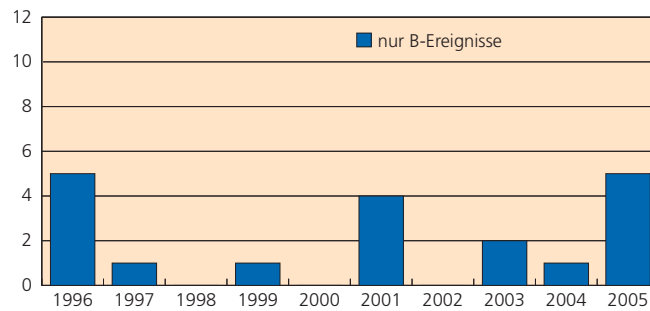
**KKB 1, 2**



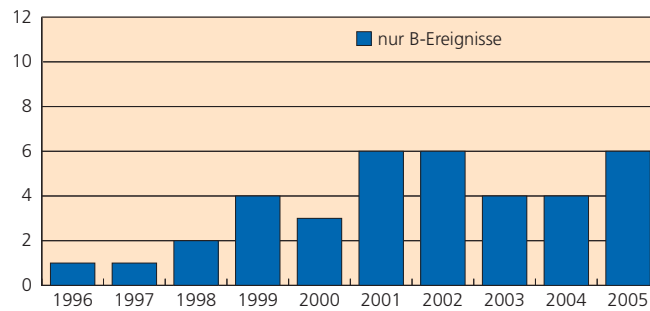
**KKM**



**KKG**



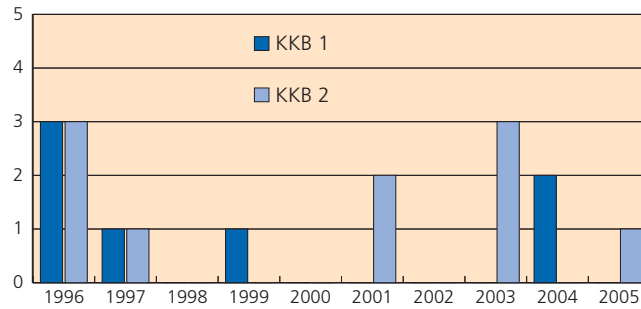
**KKL**



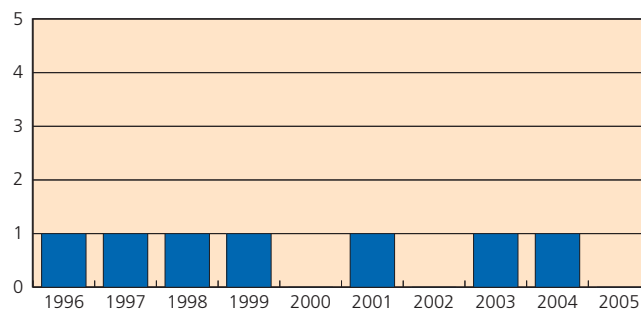
**Figur 3**

Ungeplante Reaktorschnellabschaltungen (Scrams), 1996–2005

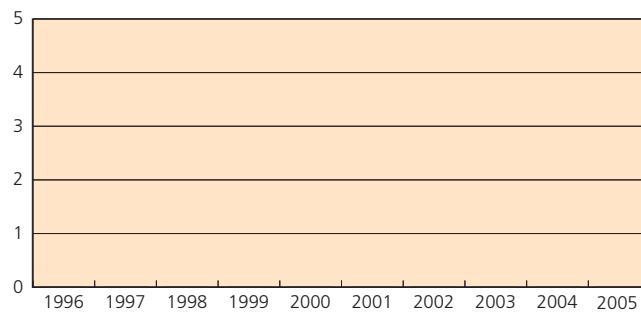
**KKB 1, 2**



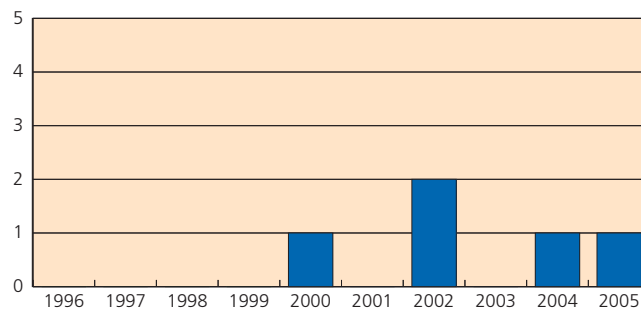
**KKM**



**KKG**



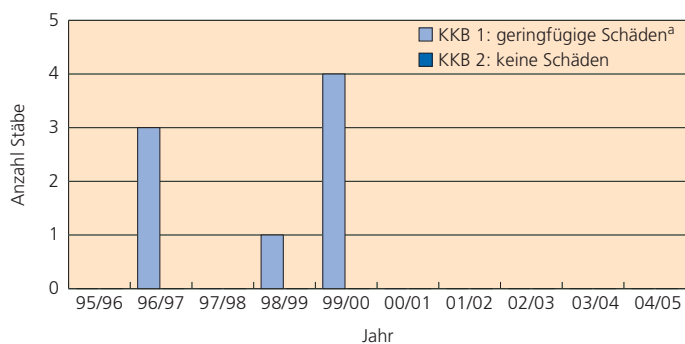
**KKL**



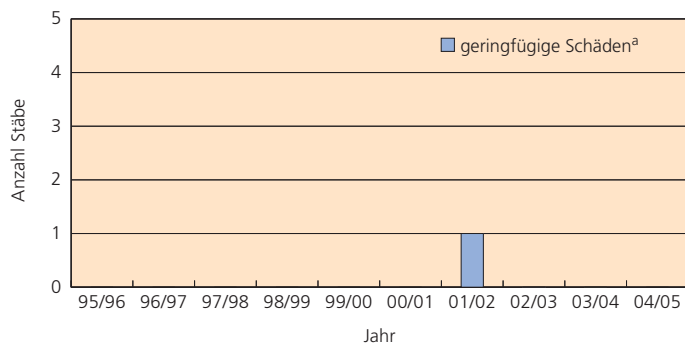
**Figur 4**

Brennstabschäden (Anzahl Stäbe), 1995–2005

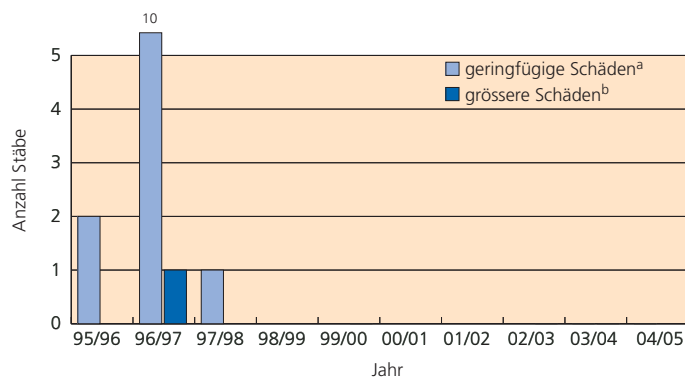
**KKB 1, 2**



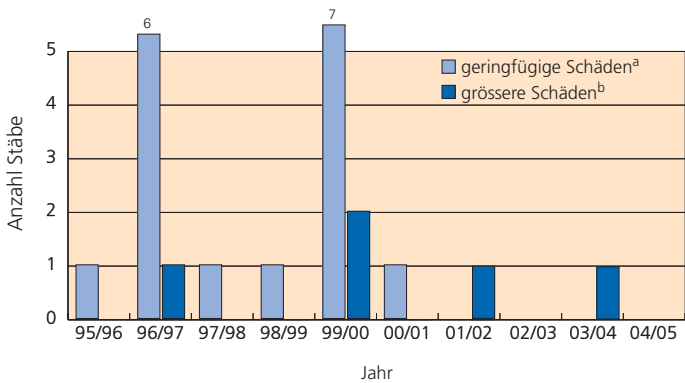
**KKM**



**KKG**



**KKL**

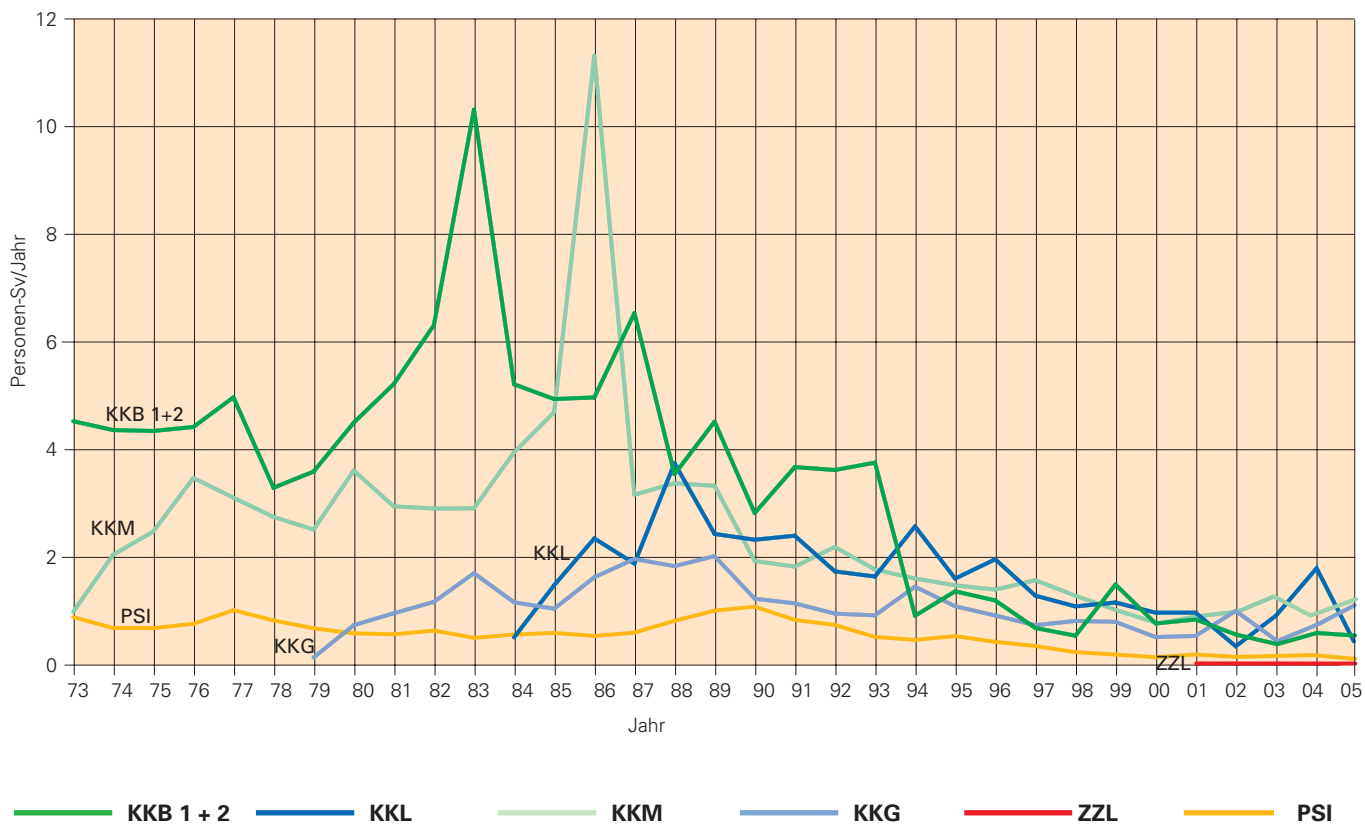


<sup>a</sup> z.B. Haarrisse im Hüllrohr

<sup>b</sup> z.B. grosser Riss oder Bruch des Hüllrohrs mit Brennstoffauswaschung

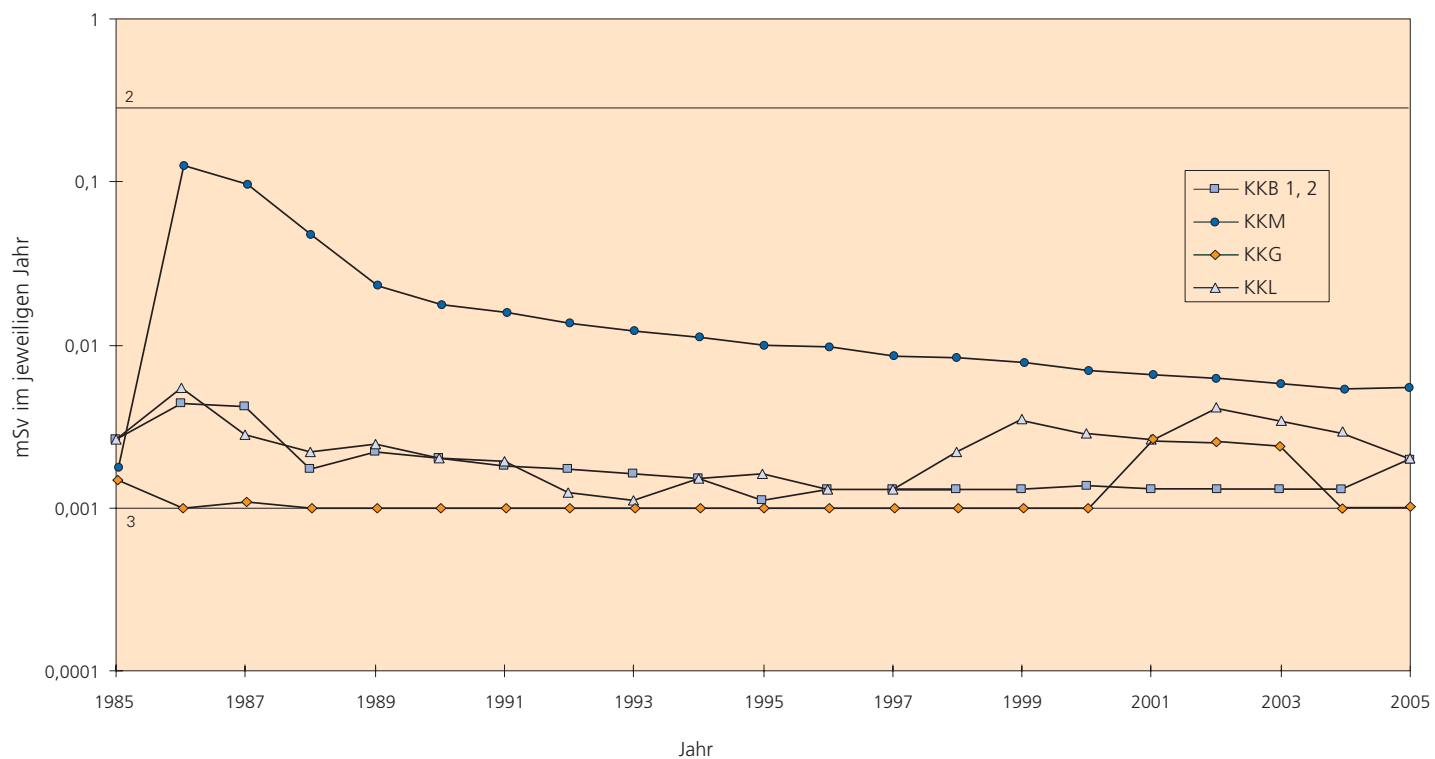
**Figur 5**

Jahreskollektivdosen (Personen-Sv/Jahr) der Kernanlagen, 1973–2005



**Figur 6**

Berechnete Dosen für die meistbetroffenen Personen<sup>1</sup> (Erwachsene) in der Umgebung der schweizerischen KKW



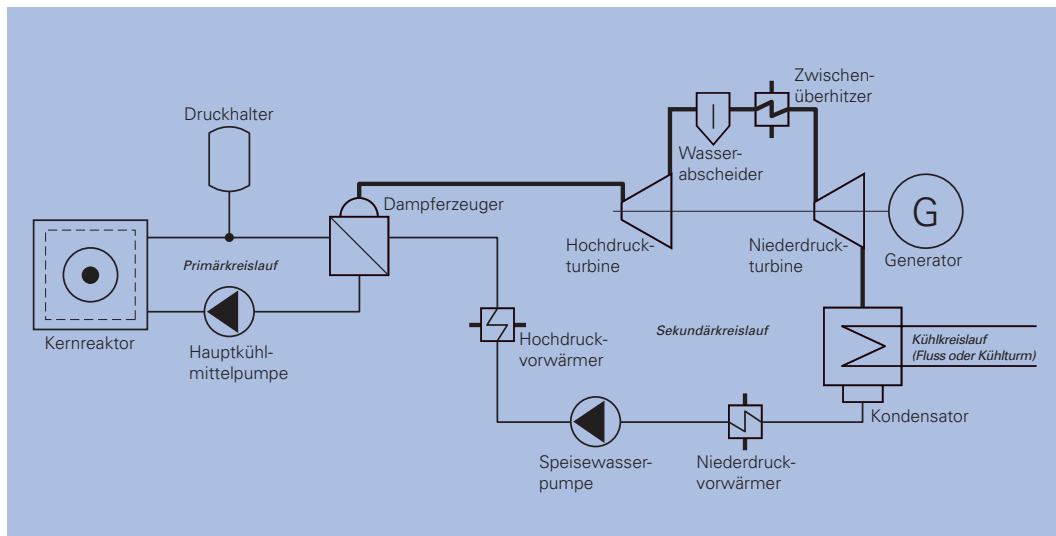
<sup>1</sup> Fiktive Person, die sich dauernd am kritischen Ort aufhält, ihre gesamte Nahrung von diesem Ort bezieht und nur Trinkwasser aus dem Fluss unterhalb des jeweiligen Kernkraftwerkes konsumiert. An diesem Ort ist der Dosisbeitrag durch die Direktstrahlung aus den Kernanlagen vernachlässigbar.

<sup>2</sup> Quellenbezogener Dosisrichtwert von 0,3 mSv pro Jahr (StSV Art. 7, HSK-Richtlinie R-11).

<sup>3</sup> Werte kleiner als 0,001 mSv werden in der Figur nicht dargestellt.

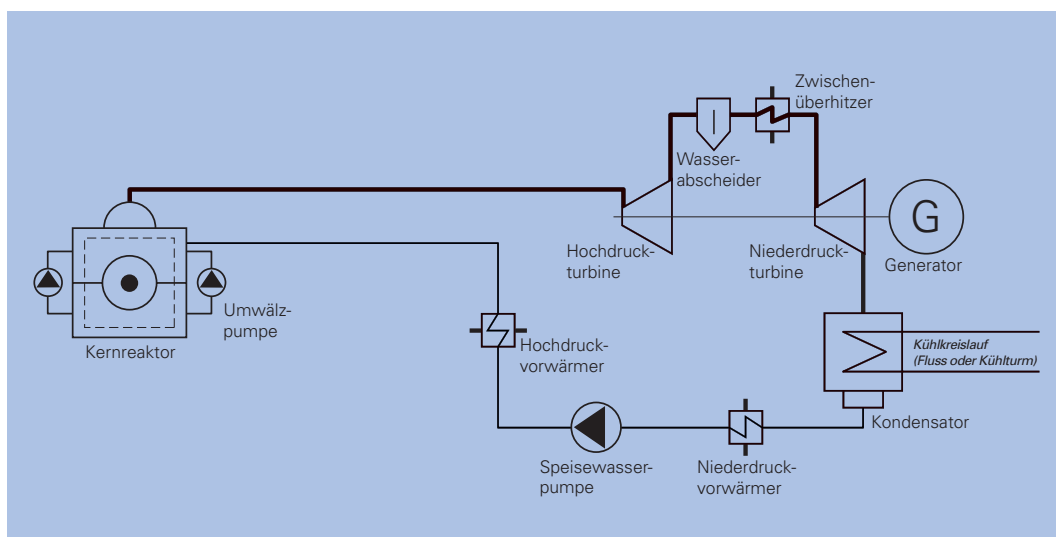
Figur 7a

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
AGT	Abfallgebindetypen
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 zur HSK
AÜP	Alterungsüberwachungsprogramm
<hr/>	
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BFE	Bundesamt für Energie
Bq	Becquerel
BZL	Bundeszwischenlager
BE	Brennelement
<hr/>	
CFS	Commission Franco-Suisse de Sûreté des Installations Nucléaires
CIS/DAISY	Chemie Informationssystem/Daten-Analyse- und Informationssystem
COGEMA	Compagnie Générale des Matières Nucléaires, La Hague
<hr/>	
DSK	Deutsch-Schweizerische Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Anlagen
DWR	Druckwasserreaktor
<hr/>	
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, Würenlingen
<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
KOMABC	Eidgenössische Kommission für ABC Schutz
KSA	Eidgenössische Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen
KSR	Eidgenössische Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität
kV	Kilovolt = $10^3$ Volt, Spannungseinheit

---

LAR	Leitender Ausschuss Radioaktivität
LMA	Langlebige mittelradioaktive Abfälle
LOCA	Loss of coolant accident
LWR	Leichtwasserreaktor

---

MAA	Mittelradioaktive Abfälle
MADUK	Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernanlagen
MeV	Mega-Elektronenvolt = $10^6$ Elektronenvolt
MGy	Mega-Gray = $10^6$ Gray (1 Gray = 100 rad)
MIF	Medizin, Industrie und Forschung
MOX	Mischoxid (Uran-Plutonium-Gemisch)
mSv	Millisievert = $10^{-3}$ Sievert
$\mu$ Sv	Mikrosievert = $10^{-6}$ Sievert
MW	Megawatt = $10^6$ Watt, Leistungseinheit
MWe	Megawatt elektrische Leistung
MWth	Megawatt thermische Leistung

---

NADAM	Netz für automatischen Dosis-Alarm und Messung
Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
NAZ	Nationale Alarmzentrale, Zürich
NEA	Nuclear Energy Agency
NFO	Notfallorganisation
NOK	Nordostschweizerische Kraftwerke AG
NRC	Nuclear Regulatory Commission, USA
NSC	Convention on Nuclear Safety
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
SK	Sicherheitsklasse
SMA	Schwach- und mittelradioaktive Abfälle
SOL	Sicherheit durch organisationales Lernen
StSG	Strahlenschutzgesetz
StSV	Strahlenschutzverordnung
SUeR	Sektion Überwachung der Radioaktivität, Freiburg
SUVA	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Luzern
Sv	Sievert = Strahlendosisäquivalent (1 Sv = 100 rem)
SVTI	Schweizerischer Verein für Technische Inspektionen
SWR	Siedewasserreaktor
TBq	Terabecquerel (1 TBq = 10 <sup>12</sup> 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
ZZL	Zentrales Zwischenlager Würenlingen

**Impressum**

HSK Aufsichtsbericht 2005

**Herausgeber**

Hauptabteilung für die Sicherheit  
der Kernanlagen HSK

CH-5232 Villigen-HSK

Telefon ++41(0)56 310 38 11

Telefax ++41(0)56 310 39 95

**zu beziehen bei**

Hauptabteilung für die Sicherheit  
der Kernanlagen HSK

Informationsdienst

CH-5232 Villigen-HSK

oder per E-Mail

Infodienst@hsk.ch

**Übersetzungen**

Dieser Aufsichtsbericht enthält das Vorwort  
und die Zusammenfassung in den Sprachen  
Deutsch, Französisch und Englisch.

**Zusätzlich zu diesem Aufsichtsbericht...**

...informiert die HSK in drei weiteren  
jährlichen Berichten aus ihrem Arbeits-  
und Aufsichtsgebiet.

**abrufbar unter**

[www.hsk.ch](http://www.hsk.ch)

ISSN 1661-2876

HSK-AN-5800

© HSK, April 2006