

INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE (IRSN)  
BP 17  
F-92262 FONTENAY-AUX-ROSES CEDEX

GESELLSCHAFT FÜR ANLAGEN-  
UND REAKTORSICHERHEIT (GRS) mbH,  
SCHWERTNERGASSE 1  
D-50667 KÖLN

FÜR WEITERE INFORMATIONEN:  
[www.eurosafe-forum.org](http://www.eurosafe-forum.org)

E U R O S A F E

GRS

IRSN

E U R O S A F E T R I B U N E

#0002  
OKTOBER  
2002

# DIE SICHERHEIT VON KERNKRAFTWERKEN IM NICHT-LEISTUNGSBETRIEB

- Probabilistische Sicherheitsbewertung
- Internationale Betriebserfahrung
- Strahlenschutzaspekte
- Organisatorische und menschliche Einflussfaktoren
- Auswirkungen wirtschaftlicher Zwänge



Daniel Quéniart und Lothar Hahn

**W**ir freuen uns, Ihnen die zweite Ausgabe der Eurosafe Tribune zu präsentieren, einer Zeitschrift, die sich der nuklearen Sicherheit widmet. Sie richtet sich an eine Leserschaft, die sich aus den verschiedenen Teilnehmern an der Diskussion um die kerntechnische Sicherheit zusammensetzt: Wissenschaftler, Forscher, Ingenieure, Betreiber, Manager, Aufsichtsbehörden, Nichtregierungsorganisationen, Meinungsführer und politische Entscheidungsträger. Die vorliegende Ausgabe befasst sich mit der Sicherheit von Kernreaktoren im Nicht-Leistungsbetrieb. Dies ist im vergangenen Jahrzehnt ein wichtiges Thema auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit gewesen. Die Ergebnisse der Forschung zum Thema Nicht-Leistungsbetrieb werden jetzt in Regeln und Richtlinien umgesetzt, wie z. B. in die PSA-Richtlinie, KTA-Regeln oder in die Definition von Kriterien für die Meldung von Standortnotfällen. Dies führt auf kurze Sicht zur besonderen Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten im Zusammenhang mit dem Nicht-Leistungsbetrieb und hat in einigen Ländern bereits zu einer eingehenden Untersuchung des Nicht-Leistungsbetriebs als Teil der periodischen Sicherheitsüberprüfung in Betrieb befindlicher KKW geführt. Andere Länder werden diese Untersuchungen in Kürze als Teil der periodischen Sicherheitsüberprüfung einführen. Die Behandlung des Nicht-Leistungsbetriebs ist auch ein gutes Beispiel für die wachsende Harmonisierung verschiedener nuklearer Sicherheitsansätze. Seit den Anfängen der Untersuchungen besteht eine enge Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Experten, entweder in Arbeitsgruppen der IAEA und der OECD oder in anderen internationalen Arbeitsgruppen wie COOPRA (Cooperative Probabilistic Risk Assessment). Dies hat sich in Synergieeffekten während der Untersuchungen und in einer Harmonisierung von Sicherheitsansätzen niedergeschlagen. Die Harmonisierung technischer Sicherheitspraktiken ist als Thema des nächsten Eurosafe-Forums gewählt worden, das am 4. und 5. November 2002 in Berlin stattfindet. Wir würden uns freuen, eine große Anzahl von Experten auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit bei dieser Konferenz begrüßen zu können, die sich zunehmend als ein Forum für die Präsentation und Diskussion von neuen Entwicklungen auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit in Europa etabliert. Wir hoffen, dass Ihnen die Lektüre der Eurosafe Tribune Freude macht und einen persönlichen Nutzen bringt und möchten Sie auch daran erinnern, dass diese Zeitschrift in gedruckter Form auch in Englisch sowie im Internet auf Französisch verfügbar ist. Die Internetadressen der GRS<sup>1</sup> und des IRSN<sup>2</sup> lauten [www.grs.de](http://www.grs.de) bzw. [www.irsn.fr](http://www.irsn.fr). Die Eurosafe-Website finden Sie unter [www.eurosafe-forum.org](http://www.eurosafe-forum.org). ●

1 - Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit.  
2 - Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire.

## INHALT

### Probabilistische Sicherheitsbewertung ..... S. 4

► Die mit einem Kernreaktor verbundenen Risiken können bei abgeschalteter Anlage höher sein als während des Leistungsbetriebs

Von Jeanne-Marie Lanore und Dieter Müller-Ecker..... S. 4

► Erfahrungen mit der sicherheitstechnischen Bewertung des Nicht-Leistungsbetriebs in Deutschland  
Von Wolfgang Renneberg..... S. 7

### Internationale Betriebserfahrung ..... S. 9

► Sicherheit bei abgeschalteter Anlage: Lehren aus der Betriebserfahrung

Von Jacques Verlaeken und Jose Balmisa..... S. 9

► Auf der Suche nach guter Praxis  
Von Tsonka Grosdéva ..... S. 14

### Strahlenschutzaspekte ..... S. 18

► Strahlenschutz, die Notwendigkeit für eine umfassende Strategie

Von Jukka Laaksonen ..... S. 18

► Stilllegung: Ohne Hast ans gewünschte Ziel

Von Carl-Göran Lindvall ..... S. 21

### Organisatorische und menschliche Einflussfaktoren ..... S. 23

► Sicherheitsaspekte der Betriebsführung im Nicht-Leistungsbetrieb: Die Erfahrung mit GKN

Von Eberhard Grauf ..... S. 23

► Organisatorische Fragen aus der Sicht der Behörde

Von Lajos Vöröss..... S. 29

### Auswirkungen wirtschaftlicher Zwänge ..... S. 33

► Erhöhte Verfügbarkeit bedeutet erhöhte Sicherheit

Von Julio González ..... S. 33

## DIE MIT EINEM KERNREAKTOR VERBUNDENEN RISIKEN KÖNNEN BEI ABGESCHALTETER ANLAGE HÖHER SEIN ALS WÄHREND DES LEISTUNGSBETRIEBS

Von Jeanne-Marie Lanore, Probabilistic Safety Assessment Manager, Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), und Dieter Müller-Ecker, Projektleiter, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS)

■ Die ersten probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) für Kernkraftwerke (KKW) haben nur jene Störfallabläufe berücksichtigt, die auftreten können, wenn das KKW sich im Volllastbetrieb befindet. Hierbei wurde implizit angenommen, dass das Risiko bei abgeschalteter Anlage bedeutend niedriger sei. Aufgrund mehrerer in vielen Ländern beobachteter Vorfälle in KKW im Nicht-Leistungsbetrieb untersuchten die ersten, in Frankreich durchgeführten PSA das Kernschmelzrisiko bei abgeschaltetem Reaktor. Die Ergebnisse weisen auf einen signifikanten Beitrag hin, der bei bestimmten Anlagenkonfigurationen noch höher liegt als im Volllastbetrieb. Diese Ergebnisse wurden später von allen ähnlichen Studien bestätigt, die in anderen Ländern - so auch in Deutschland - durchgeführt wurden. Als Reaktion auf diese Ergebnisse sind umfassende Sicherheitsverbesserungen umgesetzt worden.



Jeanne-Marie Lanore, IRSN



Dieter Müller-Ecker, GRS

Das Ziel einer PSA ist die Bewertung des Sicherheitsniveaus und der Ausgewogenheit des Sicherheitskonzepts einer technischen Anlage wie z. B. eines KKW. Diese Beurteilung wird mit Hilfe von probabilistischen Methoden durchgeführt und basiert auf einer möglichst vollständigen Identifizierung all jener Kombinationen - diese werden als Störfallabläufe bezeichnet - von Material- und/oder menschlichem Versagen, die zu ernsthaften Folgen führen könnten. Die quantitative Beurteilung basiert auf den Grunddaten der Betriebserfahrung mit den Komponenten der technischen Anlage.

Bei einem KKW ist die zu allererst betrachtete Folge im Allgemeinen das Schmel-

zen des Reaktorkerns. Die Kernschmelzhäufigkeit ist ein Hinweis auf das Sicherheitsniveau - oder das Risiko - eines KKW und die Relevanz der versagenden Komponenten ein Hinweis auf die Ausgewogenheit des Sicherheitssystems. Diese Art der Beurteilung wird seit mehr als dreißig Jahre in vielen Ländern durchgeführt.

In Frankreich wurden 1990 PSA von Electricité de France (EDF) bzw. dem Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire (IPSN) für zwei DWR fertig gestellt. Die erste dieser Studien (PSA 900) befasste sich mit einem Standard-Druckwasserreaktor der 900-MWe-Baureihe und wurde von IPSN durchgeführt. Die zweite Studie

(PSA 1300) wurde von EDF für eine repräsentative Anlage der 1300-MWe-Baureihe erstellt.

### ► Ergebnisse der PSA

Ein interessantes Ergebnis dieser beiden PSA war der bedeutende Beitrag des Nicht-Leistungsbetriebs zur Kernschmelzhäufigkeit pro Reaktorjahr, welcher in derselben Größenordnung lag wie der Beitrag des Leistungsbetriebs (ca.1/3 der gesamten Kernschmelzhäufigkeit für die PSA 900 und 1/2 für die PSA 1300). Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Kernschmelzhäufigkeit im Nicht-Leistungsbetrieb pro Zeiteinheit höher liegt als es im Leistungsbetrieb der Fall ist.

Nach diesen Erkenntnissen wurden in Deutschland Untersuchungen initiiert, um die Bedeutung von Störfallabläufen bei abgeschalteter Anlage für deutsche DWR zu beleuchten. Diese Arbeiten wurden von der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) durchgeführt und haben auch in den deutschen DWR zu Verbesserungen geführt. Eine groß angelegte PSA für eine moderne Konvoi-Anlage wurde im Jahr 2000 unter Berücksichtigung des Nicht-Leistungsbetriebs fertig gestellt. Die Ergebnisse hinsichtlich der Störfallabläufe im Nicht-Leistungsbetrieb waren denen der Ergebnisse der französischen PSA ähnlich. In allen Studien lag die Kernschmelzhäufigkeit insbesondere bei einem Ausfall der Nachwärmekühlung bei Mitte-Loop-Betrieb hoch, da in diesem Fall der Betriebsmannschaft aufgrund des geringen Primärkühlmittelinventars nur sehr wenig Zeit für Gegenmaßnahmen bleibt. Ebenso wurden einige andere Abläufe identifiziert, die durch eine unerwünschte Deborierung des

Hauptkühlmittels ausgelöst werden. Eine schnelle Deborierung könnte zu einem Reaktivitätsstörfall mit schwerwiegenden Konsequenzen führen.

Diese Erkenntnisse lassen sich in vielerlei Hinsicht erklären. Insbesondere während des Nicht-Leistungsbetriebs stehen viele Einrichtungen und Systeme nicht zur Verfügung, und mehrere automatisierte Systeme sind unwirksam. So ist in vielen Störfallsituationen ein Eingreifen des Schichtpersonals notwendig, wenn Alarmsysteme, Anzeigen und betriebliche Verfahrensweisen nicht oder nur unzureichend vorhanden sind.

### ► Anlagenänderungen

Die sich hieraus ergebenden Aktivitäten unterscheiden sich in verschiedenen Punkten in Frankreich und in Deutschland entsprechend den besonderen Erkenntnissen und den verschiedenen Anlagentypen in den beiden Ländern.

In Frankreich verlangte die Sicherheitsbehörde vom Betreiber EDF, Anlagenänderungen vorzuschlagen, um die Häufigkeit der dominierenden Abläufe zu reduzieren. Diese Abläufe waren für die Anlagentypen mit 900 MWe, 1300 MWe und 1450 MWe ähnlich und führten zu Änderungen bei allen Reaktoren dieser Baureihen. EDF schlug unmittelbar eine Reihe von Sofortmaßnahmen vor: Füllstandsmessung, technische Spezifikationen zur Vermeidung der kritischsten Situationen sowie Personalschulung. Nach einer umfassenderen Sicherheitsbewertung wurden endgültige Maßnahmen vorgeschlagen, insbesondere die Einrichtung von Alarmsystemen und automatisierten Einrichtungen sowie verbesserte Betriebsanweisungen zur Unterstützung des Schichtpersonals. →



Kernkraftwerk Daya Bay.

→ Nach Einschätzung der Sicherheitsbehörden wurde durch diese Maßnahmen die Kernschmelzhäufigkeit bedeutend reduziert. Es wurde veranlasst, dass umgehend mit einer Umsetzung dieser Maßnahmen in allen Anlagen begonnen werden sollte. Darüber hinaus wurden während der Analysen einige neue signifikante Abläufe identifiziert, insbesondere solche, die zu einem kalten Überdrücken und folglich zum Risiko eines Reaktorbehälterversagens führen. Um dieses Risiko zu vermeiden entschied man sich für eine Neukonstruktion und eine Änderung der Betriebsweise. In Deutschland waren die Verbesserungen zunächst von Anlage zu Anlage unterschiedlich. Grundsätzlich wurde eine größere Anzahl von Sicherheitsredundanzen während des Mitte-Loop-Betriebs verfügbar gemacht (z. B. Nachwärmeabfuhrstränge, Druckspeicher). Umgekehrt wurden Wartungsarbeiten eingeschränkt;

der Prüfzeitraum der Füllstandsmessung wurde optimiert und - was besonders wichtig ist - eine schutzzielorientierte Vorgehensweise zur Beherrschung von Störfallabläufen entwickelt und in die Ausbildung des Betriebspersonals eingebunden. Langfristig soll die Notwendigkeit für eine PSA des Nicht-Leistungsbetriebs in den PSA-Leitfaden für die periodische Sicherheitsüberprüfung integriert werden. Jedoch wird bereits heute von den Sicherheitsbehörden einzelner Bundesländer eine Stillstands-PSA für einige Anlagen gefordert.

► **Erkenntnisse und Perspektiven.**

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die ursprüngliche Annahme, dass das Risiko bei Anlagenstillstand aufgrund der langen Karenzzeit vernachlässigbar ist, nicht für alle Betriebszustände zutrifft. Zusätzlich zu den Befunden zur Anlagensicherheit haben die PSA ergeben, dass in vielen Fällen die Kenntnis des Anlagenverhaltens bei bestimmten Störfallabläufen unzulänglich ist. So besteht z.B. seit jeher die Notwendigkeit, Berechnungen bezüglich der Neutronik und Thermohydraulik und sogar Versuche durchzuführen, um die physikalischen Folgen der Einspeisung oder Bildung von Deionat im Primärkreislauf zu beurteilen. Die Folgen eines kalten Überdrückens erfordern für einige Anlagen ebenso physikalische und mechanische Studien. Die Stillstands-PSA hat bislang zu signifikanten Sicherheitsverbesserungen der Anlagen sowie zu einem besseren Verständnis des Anlagenverhaltens in besonderen Störfallsituationen geführt, die derzeit noch untersucht werden. Insbesondere in Deutschland ist mit einer PSA für den Nicht Leistungsbetrieb für einen SWR der 69er Baureihe begonnen worden. ■

## ERFAHRUNGEN MIT DER SICHERHEITSTECHNISCHEN BEWERTUNG DES NICHT-LEISTUNGSBETRIEBS IN DEUTSCHLAND

■ Gemäß den Anforderungen des deutschen Atomgesetzes hinsichtlich der Vorkehrungen gegen die mit dem Betrieb von Kernkraftwerken verbundenen Risiken hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) die GRS mit einer fortlaufenden Bewertung des Nicht-Leistungsbetriebs betraut. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der Nicht-Leistungsbetrieb einen signifikanten Beitrag zu den Schadenzuständen eines Kernkraftwerks leistet. Diese Befunde haben bereits zu einer Anzahl von anlagenspezifischen Verbesserungen geführt und liefern eine technische Basis für die Erstellung von Richtlinien. Die Arbeiten beinhalteten ebenso einen Erfahrungsaustausch mit anderen Ländern, in denen Kernkraftwerke betrieben werden (Frankreich, die Schweiz und die USA) und wo ähnliche Studien durchgeführt worden sind. Wolfgang Renneberg fasst die bisher geleisteten Arbeiten zusammen.

**E**in Grundziel der Bundesaufsicht im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) ist, die Risiken, die sich aus dem Betrieb der Kernkraftwerke ergeben, so weit wie möglich zu minimieren. Hierzu ist es erforderlich, die Sicherheit der Kernkraftwerke weit im Vorfeld einer Gefährdung zu analysieren, um rechtzeitig

entsprechende Gegenmaßnahmen einleiten zu können.

▼ Im Rahmen von Untersuchungsvorhaben des BMU und internationaler kerntechnischer Sicherheitsforschung wurde festgestellt, dass auch Ereignisse außerhalb des Leistungsbetriebs, wie bei Anlagenstillstand und Niedriglastbetrieb, eine

Von Wolfgang Renneberg, Ministerialdirektor, Abteilung Nukleare Sicherheit, Bundesumweltministerium.

●●● hohe sicherheitstechnische Relevanz haben können und ihr Beitrag zu Kernschadenzuständen nicht vernachlässigbar ist.

▼ Aufgrund dieser Ergebnisse sowie der andersartigen Systemzustände im Nicht-Leistungsbetrieb bzw. der Unterschiede in der Beherrschung auslösender Ereignisse im Vergleich zum Leistungsbetrieb wurden die Untersuchungsmethoden ständig weiterentwickelt.

▼ Ziel der im Auftrag des BMU durch die GRS durchgeführten Arbeiten war bzw. ist die weiterführende Bewertung von Ereignisabläufen unter den Randbedingungen des Nicht-Leistungsbetriebs bei DWR-Anlagen, um deren sicherheitstechnische Bedeutung ermitteln und technische Grundlagen für Leitlinien bereitstellen zu können. Gegenstand weiterer Untersuchungen ist die Anpassung der entwickelten Methodik an Siedewasserreaktoren.

▼ Die Arbeiten werden im Erfahrungsaustausch mit dem französischen Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), der schweizerischen Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen

(HSK) und der amerikanischen Nuclear Regulatory Commission (NRC) fortgeführt. Sie berücksichtigen somit auch die aktuellen internationalen Entwicklungen und werden im internationalen Rahmen zur Diskussion gestellt.

▼ Die deutsche Reaktor-Sicherheitskommission hat sich im Auftrag des BMU mehrfach mit den Ergebnissen befasst und festgestellt, dass die systematischen Untersuchungen für Schadenszustände bei Nicht-Leistungsbetrieb weitergeführt werden müssen, weil diese einen hohen Beitrag zu den Häufigkeiten der Systemschadenzustände insgesamt liefern. Grundsätzlich ist die Vorsorge gegen die Risiken des Nicht-Leistungsbetriebs nach deutschem Atomrecht erforderlich.

▼ Die International Atomic Energy Agency (IAEA) und die Organisation of Economic Cooperation and Development (OECD) haben den internationalen Erfahrungsaustausch auch mit dem Ziel der Harmonisierung gefördert. Diese und weitere internationale Aktivitäten haben gezeigt, dass die sicherheitstechnische Bewertung des Nicht-Leistungsbetriebs international weitgehend zum geforderten Umfang der sicherheitstechnischen Untersuchungen gehört. ●

## SICHERHEIT BEI ABGESCHALTETER ANLAGE: LEHREN AUS DER BETRIEBSERFAHRUNG

Von Jacques Verlaeken, Koordinator Betriebserfahrung, Association Vinçotte Nuclear (AVN) und Jose Balmisa, Projektleiter Kernkraftwerke, Consejo de Seguridad Nuclear (CNS)

■ Entgegen dem allgemeinen Glauben, dass der Leistungsbetrieb die risikoreichste Betriebssituation darstellt, zeigen zahlreiche Beispiele aus der internationalen Betriebserfahrung, dass Betriebszustände bei abgeschalteter Anlage schwerwiegende problematische Situationen erzeugen können. Die aus dieser Erfahrung gezogenen Lehren legen es nahe, Verbesserungsmöglichkeiten in verschiedenen Bereichen zu nutzen, wie z. B. bei Sicherheitsprinzipien, im Brandschutz, bei der Instrumentierung, bei Prozeduren, Schulung und Notfallplänen, der Einschränkung von Betriebsbedingungen und bei der Reaktorauslegung. Anstatt die Komplexität der Sicherheitssysteme weiter zu erhöhen, können solche Verbesserungen auch auf einer besseren allgemeinen Planung, verbesserten Notfallplänen, verlässlicher Instrumentierung und einer spezifischen «Sicherheitskultur bei abgeschalteter Anlage» basieren, die von allen Akteuren gleichermaßen umgesetzt wird.

### Warum sich um Zustände bei abgeschalteter Anlage kümmern?

Der Schwerpunkt formaler Sicherheitsbewertungen für KKW liegt auf der Auswahl repräsentativer Ereignisse und Störfälle, die unter konservativen Annahmen analysiert werden, um Auslegungsmerkmale wie automatische Sicherheitssysteme zu rechtfertigen. Ein Kriterium ist, dass das Betriebspersonal vor einer manuellen Intervention über eine «Karenzzeit» von mindestens 10 Minuten (nach Erkennung des Ereignisses/Störfalls) verfügen können muss. Innerhalb dieses Zeitraums müssen alle Änderungen des Anlagenstatus - wenn erforderlich - automatisch erfolgen. Diese Betrachtungsweise erklärt, warum mehrere



Jacques Verlaeken, AVN

Anlagenzustände während des Anlagensstillstands nicht formell bewertet werden, auf der Grundlage der viel geringeren Dynamik: keine nukleare Energie, lediglich Zerfallswärme. Die Betriebserfahrung sowie die Entwicklung von probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) hat jedoch deutlich gezeigt, dass jene Zustände bei abgeschalteter Anlage einen signifikanten Beitrag zur Kernschadenshäufigkeit und somit zum allgemeinen Risiko leisten können.

■ Bald nach der Abschaltung reduziert die hohe Nachwärmeleistung in bedeutendem Maße die Zeit, die für die Wiederaufnahme der Abfahrkühlung vor dem Einsetzen des Siedens oder einer Kernfreilegung benötigt wird, besonders dann, wenn das Kühl- →

→ mittelinventar am geringsten ist (z.B. in einem DWR während des so genannten Mitte-Loop-Betriebs: Hier ist für die Durchführung von Wartungsarbeiten der Hauptkühlmittelstand bis unterhalb der Oberkante der Rohrleitungen des Primärkreises reduziert.).

- Bei Stillständen und Brennelementwechseln können verschiedene Arbeiten die Brandgefahr in sicherheitstechnischen Systemen steigern.

- Sind Personal und Programme einem gewissen Druck ausgesetzt, so hat sich dies ebenso als ein bedeutender beitragender Faktor dafür erwiesen, dass bei Arbeiten im abgeschalteten Zustand Fehler gemacht werden.

- Betriebliche Grenzwerte<sup>1</sup> für Nachwärmeabfuhrsysteme, Notkühlssysteme und Systeme des Sicherheitseinschlusses sind möglicherweise nicht detailliert genug, um der Anzahl der verwendeten Konfigurationen sowie deren Risikosignifikanz zu entsprechen.

- Bei der eingebauten Instrumentierung bestehen große Bandbreiten.

Die signifikantesten Ereignisse für DWR sind das Versagen der Kühlung während des Stillstands<sup>2</sup>, ein potenzieller Druckaufbau und die Deborierung. Ein Verlust der Kühlung kurz nach dem Abschalten der Anlage kann schnell zum Sieden und zu einer Kernfreilegung führen, wenn die Kühlung nicht wiederhergestellt wird. Im Mitte-Loop-Betrieb kann ein Druckanstieg im Dampfraum das Wasserinventar hinausdrängen, wenn der Auslegungsdruck des Hilfsdeckels<sup>3</sup> überschritten wird, so dass die Kühlung viel schneller nachlässt. Für SWR sind die signifikanteren Ereignisse ein Kühlmittelverlust, ein Ausfall der Kühlung sowie ein potenzieller Druckaufbau.

“ Die größte Herausforderung erwächst aus der Möglichkeit einer gleichzeitigen Nichtverfügbarkeit von Systemen und Einrichtungen, die zum Ausfall einer Sicherheitsfunktion führt. ”

#### › Beispiel eines signifikanten Ereignisses: Ausfall der Kühlung während des Anlagenstillstands.

Am 26. März 1986 ereignete sich in Block 2 des KKW San Onofre nach einem alltäglichen Anlagenstillstand ein völliger Ausfall des Kühlmittelumlaufs im Nachkühlsystem für einen Zeitraum von 49 Minuten, was lokales Sieden verursachte. Dieses Ereignis trat auf, als der Füllstand im Primärkreis abgesenkt wurde, um einen undichten stopfen in einem kaltseitigen Dampferzeugertutzen zu reparieren, der für Arbeiten an der Kugelkalotte des Dampferzeugers angebracht worden war. Mit Hilfe der normalen Anzeige - von der sich später herausstellte, dass sie nicht ordnungsgemäß anzeigte<sup>4</sup> - wurde damit begonnen, den Primärkreis bis auf ein bestimmtes Niveau zu entleeren. Dabei kam es zu einer Wirbelbildung des Primärkühlmittels auf der Saugseite der Nachkühlpumpen, wodurch diese Luft ansaugten. Die Ursache war eine fälschliche Füllstandsanzeige, was dazu führte, dass die Betriebsmannschaft den niedrigen Füllstand des Primärkreises nicht bemerkte und das Problem mit der Pumpe erst erkannte, als der Kühlmittelumlauf im Nachkühlsystem vollständig ausgefallen war.

#### › Ein weiteres Beispiel eines signifikanten Ereignisses: Vollständiger Ausfall der Wechselstromversorgung.

Am 20. März 1990 ereignete sich in Block 1 des KKW Vogtle ein vollständiger Ausfall der sicherheitsrelevanten Wechselstromversorgung. Die Anlage befand sich in kaltem, abgeschaltetem Zustand. Der Füllstand des Primärkreises war auf «Mitte-Loop» abgesenkt worden, um verschiedene Wartungsarbeiten durchführen zu können. Sowohl die Personenschleuse als auch die Materialschleuse des Sicherheitsbehälters waren

geöffnet. Ein Notstromdiesel und ein Zusatzumspanner waren wegen Wartungsarbeiten außer Betrieb. Ein Lastwagen beschädigte beim Zurücksetzen in der Niedervolt-Freiluftschaltanlage einen Stützpfiler der Fremdnetzversorgung des Zusatzumspanners, der die Sicherheitssysteme mit Strom versorgte. Dabei wurde der Isolator beschädigt, was zu einem Erdschluss führte, in dessen Folge die Einspeiseschalter für die Sicherheitsschienen öffneten. Der einzige noch verfügbare Notstromdiesel sprang aufgrund des Spannungseinbruchs in der Notstromschiene automatisch an, schaltete sich aber nach etwa 1 Minute wieder ab. Erst 36 Minuten nach dem Ausfall der Stromversorgung war es möglich, den Notstromdiesel erneut zu starten. Während der 36 Minuten nach dem Ausfall der Versorgung durch die Notstromschiene stieg die Temperatur im Primärkreis von etwa 32 °C auf 58 °C an.

#### › Abschaltzustände: Eine Herausforderung für die Betriebsmannschaft.

Die größte Herausforderung erwächst aus der Möglichkeit einer gleichzeitigen Nichtverfügbarkeit von Systemen und Einrichtungen, die zum Ausfall einer Sicherheitsfunktion führt. Während eines Stillstands ändert sich die Rolle des Betriebspersonals im Vergleich zum Vollastbetrieb beträchtlich. Die Betriebsumstände sind schwieriger, die Arbeiten sind intensiver, und der Schichtwechsel ist komplizierter. Es hat sich herausgestellt, dass Arbeiten bei reduziertem Kühlmittelinventar die größte Herausforderung für das Schichtpersonal darstellen. Was hier als schwierig gesehen wird, ist die Beibehaltung des Überblicks über den Anlagenzustand, die Verfolgung nicht verfügbarer Systeme und Einrichtungen sowie der Informationsverlust bei der Übergabe von

einer Schicht zur nächsten. Es existieren einige Untersuchungen zur Abschätzung des Risikos von Anlagenzuständen bei Stillständen und beim BE-Wechsel in SWR. Diese vorläufigen Studien unterstreichen die Bedeutung menschlichen Versagens bei vielen Abläufen und bedeutsamen auslösenden Ereignissen, wie z. B. dem Verlust der sicherheitstechnisch wichtigen Druckluftversorgung. Schwerwiegendere Ereignisse treten bei Betriebszuständen bei kalter und druckloser Anlage bis zum BE-Wechsel auf, wenn der Füllstand auf die Höhe der Frischdampfleitungen abgesenkt wurde. Die meisten der in SWR auftretenden Probleme resultieren aus den komplexen Systemkonfigurationen<sup>5</sup>.

#### › Einflussfaktoren bei schwerwiegenderen Ereignissen.

Eine Schwierigkeit bei dem Versuch, statistische oder Trendanalysen durchzuführen, ist die Notwendigkeit, unter den Tausenden von bedeutungslosen Ereignissen zu selektieren. Ein Ansatz besteht darin, die Analyse auf eine sehr kleine Anzahl von wichtigen Ereignissen zu beschränken, unter der Annahme, dass diese die besten Ausgangspunkte für eine Suche nach Verbesserungen sind. Neben der ingenieurtechnischen Einschätzung durch Sicherheitsexperten stehen Analysewerkzeuge zur Verfügung, um eine quantitative Perspektive zu liefern (PSA-basierte Ereignisanalyse): Ein Ereignis, bei dem die *bedingte Kernschadenswahrscheinlichkeit* bei 10E(-4) oder höher liegt, ist mit Gewissheit sicherheitsrelevant. Für das KKW Vogtle lag die *bedingte Kernschadens-Wahrscheinlichkeit* bei 10E(-3). Solch eine Studie von 13 größeren Ereignissen in der Zeit zwischen 1981 und →

Brennelementtransfer vom Lagerbecken zum Reaktor.



→ 1990 hat gezeigt, dass neun dieser Ereignisse durch menschliche Fehler verursacht wurden (Betriebspersonal oder Personal von Fremdfirmen). Ein Fehler ist dabei ein Versagenstyp, bei dem die Handlungsabsicht fehlerhaft ist, und zwar:

- nach einer Fehldiagnose (3 Fälle);
- nach Anwendung einer unzulänglichen Betriebsanweisung (6 Fälle, siehe unten);
- nach einem Missverständnis (1 Fall);
- aufgrund unangemessener Planung (1 Fall)\*.

Die Ereignisse wurden oft als Fehler des Wartenpersonals bei der Durchführung verschiedener Arbeiten im Zusammenhang mit der Füllstands- und Inventarüberwachung des Primärkreises beschrieben. Die sich daraus ergebenden Sicherheitsprobleme waren:

- ein Absinken des Primärkreis-Inventars (3);
- ein Ausfall der Stromversorgung (2);
- ein Versagen der Stillstandskühlung (in 10 Fällen).

Bei Nichtvorhandensein automatischer Regelungsmechanismen ist die Qualität der betrieblichen Vorschriften gewiss von Bedeutung. Sieht man sich die diesbezüglichen sechs Fälle näher an, so lässt sich feststellen, dass:

- die Vorschrift aufgrund der Schwierigkeit ihrer Anwendung nicht beachtet wurde (1);
- die Vorschrift aufgrund unzulänglicher Einzelheiten nicht befolgt wurde (2);
- die Situation nicht durch eine Vorschrift abgedeckt war (2) oder dass die Anwendung der betreffenden Vorschrift in der Situation ungünstig war (1).

➤ **Schlussfolgerung.**

Anlagenzustände im Nicht-Leistungsbetrieb decken eine Vielfalt von Bedingungen ab,

in denen - entgegen der üblichen Überzeugung, dass der Leistungsbetrieb die risikoreichste Situation sei - einige kritische Situationen ein hohes Risiko darstellen können. Eine Beherrschung jener Risiken kann durch eine bessere Planung und anhand von Notfallplänen sowie mit verlässlicher Instrumentierung anstatt durch eine weiter zunehmende Sicherheitssystemkomplexität erreicht werden. Darüber hinaus muss auch eine spezifische «Nicht-Leistungsbetriebs-Sicherheitskultur» von allen Akteuren gemeinsam praktiziert werden. ■

1-In den USA, Belgien etc. so genannte «Technical Specifications».

2-Auch Nachwärmeabfuhr genannt.

3-Oft zur Erleichterung der Durchführung von Prüfungen im Inneren der Dampferzeuger installiert.

4-Die Betriebsmannschaft traute den neu installierten Fernanzeigen nicht (die aufgrund eines Schleifenverschlusses nicht richtig anzeigten) und verließ sich auf eine einfache Sichtanzeige des Rohrfüllstandes, die jedoch aufgrund der Bildung einer Luftblase einen zu hohen Füllstand anzeigte.

5-In einigen SWR Multimode-Nachwärmeabfuhrsystemen, welche sowohl die Abfahrkühlfunktion als auch eine Bandbreite von Funktionen des Notkühlsystems und der Sicherheitsbehälterkühlung übernehmen.

6-Die Gesamtzahl ist 11, da zwei Ereignisse zwei voneinander verschiedene Fehler aufwiesen.

Mögliche Verbesserungen

Es würde den Rahmen dieses Artikels sprengen, all jene Maßnahmen, die ergriffen worden sind, aufzulisten. Er beschränkt sich daher auf eine Übersicht der Trends.

**In den Stillstandsprogrammen besonders hervorgehobene Sicherheitsprinzipien**

- Gute Sicherheitsprinzipien umfassen z. B.:
- Minimierung des Zeitraumes mit reduziertem Kühlmittelinventar;
  - Maximierung der Pfade für eine Zusp eisung in den Primärkreislauf;
  - Maximierung der Verfügbarkeit wichtiger Nebenanlagen;
  - Minimierung von Arbeiten bei Mitte-Loop-Betrieb;
  - Maximierung des Zeitraumes ohne Kernbrennstoff im Reaktorbehälter.

**Brandschutz**

Das erhöhte Aufkommen von brennbaren Stoffen (z.B. Schmieröle, Reinigungslösungen, Anstriche, Holz, Kunststoffe) und Zündquellen (z. B. Schweiß-, Schneide- und Schleifarbeiten sowie risikobehaftete Elektroarbeiten mit temporärem Stromeinsatz) stellt zusätzliche Brandrisiken für jene Anlagensysteme dar, die die Stillstandskühlung aufrecht erhalten. Strengere betriebliche Kontrollen können notwendig sein, um die Brandverhütung und den Brandschutz zu verbessern.

**Instrumentierung**

Die Qualität der Instrumentierung wird zu oft durch die Anforderungen der Auslegungstü rfälle bestimmt. Es sollte jedoch erkannt werden,

dass Anlagenzustände des Nicht-Leistungsbetriebs ebenfalls eine qualitativ hochwertige (verlässliche) Instrumentierung erfordern, z. B. für die Messung der Kerntemperatur, des Kühlmittelinventars (einschließlich Reaktorraum), des Kühlmitteldrucks und für die Überwachung der Stillstandskühlung. Die Anzeigen und Alarmsignale sollten - zum Beispiel durch die intelligenten Unterdrückung von bedeutungslosen Alarmsignalen - sinnvoll gehalten werden.

**Vorschriften, Ausbildung und Notfallpläne**

Wir haben gesehen, dass es gewisse Vorschriften gibt, die unzulängliche Anleitung liefern oder die realen Situationen nicht abdecken. Jedoch haben sich andere Vorschriften und Ausbildungsmaßnahmen als wirkungsvoll für die Gewährleistung einer adäquaten Wiederherstellung des Soll-Zustandes erwiesen<sup>1</sup>. Das Paradox hierbei ist, dass einige Vorschriften negative Auswirkungen erzielen (d. h. durch sie wurde das Ereignis erst möglich), andere aber einen positiven Effekt haben (d. h. sie erlauben eine Wiederherstellung des Soll-Zustandes). Zusätzliche Unterstützung (z. B. durch technische Hilfsdienstzentren) sollte jederzeit verfügbar bleiben, um Situationen abzudecken, in denen bestehende Vorschriften offensichtlich nicht anwendbar sind: Hier begeben wir uns

auf die Ebene des anlageninternen Notfallschutzes bei auslegungsüberschreitenden Zuständen. Die Übertragbarkeit von bestehenden Anleitungen für das Accident Management auf den Nicht-Leistungsbetrieb ist noch zu verifizieren.

**Betriebliche Grenzwerte**

Viele der betrieblichen Grenzwerte wurden in Hinblick auf den Leistungsbetrieb aufgestellt. Die Notwendigkeit der Aufrechterhaltung redundanter Nachwärmeabfuhrpfade für solch sensible Anlagenzustände wie Mitte-Loop-Betrieb und reduziertem Kühlmittelinventar wie auch die Gewährleistung der Integrität des Sicherheitsbehälters ist eine anerkannte Tatsache. Die Aufrechterhaltung des Kühlmittelumlaufs<sup>2</sup> darf ebenfalls nicht vergessen werden.

**Konstruktionsmaßnahmen**

Einige Maßnahmen sind ergriffen worden, um die Abdeckung durch automatische Systeme zu erhöhen, zum Beispiel die Einführung eines Systems, welches einen kritischen Störfall durch plötzliches Einspeisen von Wasser vermeiden soll. Die automatische Auslösung von sicherheitstechnischen Einrichtungen muss jedoch gegen das traditionelle Risiko für das Wartungspersonal aufgewogen werden.

1- Auch bei beginnendem Sieden des Kühlmittels kam es nicht zu einer Kernschädigung.

2- Vorgang, bei dem das vom Sicherheitssystem eingespeiste Wasser nach einem KMW-Störfall aus dem Sicherheitsbehälter in den Reaktorkern zurückgeführt wird.

## AUF DER SUCHE NACH GUTER PRAXIS

■ Im Hinblick auf die Erstellung eines vollständigen Satzes guter Sicherheitspraktiken bei geplanten Anlagenstillständen für Kernkraftwerke in Europa hat die Europäische Kommission auf Anraten einer Expertengruppe - der Nuclear Regulators Working Group (NRWG) - entschieden, eine Bestandsaufnahme der aktuellen Sicherheitspraktiken für die verschiedenen in den Mitgliedsländern betriebenen Reaktortypen (DWR, SWR, WWER) vorzunehmen. Daher beabsichtigt die Kommission dazu beizutragen, Sicherheitspraktiken auf einem gewissen Niveau zu harmonisieren und den Erfahrungsaustausch der Betreiber aus den gegenwärtigen Mitgliedsstaaten sowie den Beitrittsländern zu fördern.

**1999** schrieb die Europäische Kommission<sup>1</sup> eine Studie über die nukleare Sicherheit in Europa im Zusammenhang mit geplanten Anlagenstillständen in Kernkraftwerken aus und stellte sowohl die verfügbaren Finanzierungsmittel als auch die Prozeduren, die auf diese Ausschreibung anwendbar waren, vor. Ein Konsortium unter der Federführung von EDF bestehend aus Belgatom (Belgien), EDF (Frankreich), Fortum (Finnland) und dem KKW Paks (Ungarn) wurde von der Kommission ausgewählt, die Studie durchzuführen. Die Bearbeitung fand in drei Phasen statt: Zunächst erfolgte eine Datenerhebung über gegenwärtige Praktiken, dann eine Analyse von Fragebögen und eine Auflistung von guten Sicherheitspraktiken, Verweisen und Empfehlungen, und schließlich die Sammlung relevanter

Konzepte zukünftiger Reaktoren im Entwurfstadium, wie z. B. das Konzept des Europäischen Druckwasserreaktors (EPR).

### Entwurf des Fragebogens und Verbesserung des Verständnisses

▼ Es ist anzumerken, dass die Studie, die Experten von Sicherheitsbehörden angeregt haben, von Betreibern und Ingenieurgesellschaften durchgeführt wurde. Einer der Hauptpunkte dieses Gutachtens war die Ausarbeitung eines speziellen Fragebogens als geeignetes methodisches Werkzeug für die Teilnahme verschiedener Kernkraftwerksbetreiber in Europa. Die Auswahl und Formulierung der Fragen waren eine der wichtigsten Aufgaben, die wir mit dem Ziel durchgeführt haben, die Chancen zu maximieren, detaillierte Antworten zu erhalten und relevante Daten zu sammeln. Die Methoden, die wir

### KKW, DIE DEN FRAGEBOGEN AUSGEFÜLLT HABEN

**Blayais** – Frankreich (4 DWR)  
**Bohunice** – Slowakei (4 WWER)  
**Borssele** – Niederlande (1 DWR)  
**Bugey** – Frankreich (4 DWR)  
**Cofrentes** – Spanien (1 SWR)  
**Doel** – Belgien (4 DWR)

**Krsko** – Slowenien (1 DWR)  
**Loviisa** – Finnland (2 WWER)  
**Olkiluoto** – Finnland (2 SWR)  
**Paks** – Ungarn (4 WWER)  
**Ringhals** – Schweden (3 DWR)  
**Tihange** – Belgien (3 DWR)



während dieser Phase angewendet haben, waren folgende:

- Ein Brainstorming wurde organisiert mit Experten für nukleare Sicherheit und Anlagenbetrieb, vor allem mit Projektleitern im Bereich Nicht-Leistungsbetrieb. Die Teilnehmer wurden darum gebeten, eine Liste von Themen zu definieren, von denen sie meinten, dass sie während eines Anlagenstillstandes am ehesten für die Sicherheit relevant seien.
- Auf dieser Grundlage haben wir eine Fragebogenstruktur erarbeitet und diesen Fragebogen an die Mitglieder der Arbeitsgruppe des Konsortiums zur Validierung gesandt.
- Dann wurde eine Gesamtzahl

von 221 Fragen mit Hintergrunderklärungen formuliert, welche die verschiedenen Themen abdecken. Der Fragebogen wurde vom Betreiber des KKW Paks Korrektur gelesen, was es uns ermöglichte, die Angemessenheit der Fragen für WWER-Reaktoren zu verifizieren und einige zusätzliche Fragen hinzuzufügen.

▼ Besondere Sorgfalt wurde von der Arbeitsgruppe des Konsortiums auch darauf verwendet, das Verständnis der Fragen zu verbessern: Wir erstellten ein Glossar zum Nicht-Leistungsbetrieb mit der Definition von Schlüsselwörtern und überprüften dessen Übereinstimmung mit dem «Nuclear Safety Glossary» der IAEA. Alle Schlüsselwörter, die in unserem Glossar enthalten sind, wurden im Fragebogen hervorgehoben. Um die Zuverlässigkeit der Daten zu erhöhen schlugen wir vor, in jeder Anlage eine Arbeitsgruppe einzusetzen und diese mit der Beantwortung des Fragebogens zu betrauen. Auch sollte ein örtlicher Projektleiter benannt werden. Weiterhin wurde eine E-Mail-Hotline eingerichtet, um bei Bedarf weitere Fragen zu

beantworten. Um die Arbeit der Empfänger zu erleichtern sind wir sogar so weit gegangen, ein Antwortformular zu entwerfen. Jede Anlage wurde gebeten, jene Praktiken hervorzuheben, die sie zu den «guten Praktiken» zählend erachtet, und sich zu vergewissern, dass jene Praktiken nicht nur Absichtserklärungen sind sondern tatsächlich vor Ort umgesetzt wurden. (Eine gute Praxis ist eine lokal zertifizierte und genehmigte Prozedur im technischen oder organisatorischen Bereich, anhand derer den Schwierigkeiten, die bei normalen Arbeitsabläufen auftreten, begegnet wird und für die die Erfahrung gezeigt hat, dass sie das Problem wirklich beheben und zu einer Verbesserung der Qualität der Arbeit beitragen kann).

▼ Wir suchten auch in bibliographischen Aufzeichnungen nach der möglichen Existenz einer früheren Untersuchung zur Erfassung guter Praktiken hinsichtlich des Nicht-Leistungsbetrieb, fanden aber keine. Ein spezieller Fragebogen zum Verständnis des gegenwärtigen Status der nuklearen Sicherheit und von Auslegungsmerkmalen hinsichtlich der Begleitumstände eines Anlagenstillstands wurde ebenso entworfen, um von Konstrukteuren zukünftiger Kernkraftwerke beantwortet zu werden.

### Sammlung und Auswertung der Antworten

▼ Mit einem Begleitbrief von der Europäischen Kommission versehen wurde unser Fragebogen an verschiedene Betreiber in

●●● ganz Europa verschickt. Hierbei nutzten die Mitglieder des Konsortiums ihre persönlichen Verbindungen. Wir erhielten Antwort von 12 Betreibern aus neun verschiedenen Ländern, und sowohl die DWR- als auch die SWR- und WWER-Typen waren abgedeckt (siehe Tabelle).

▼ Die Analyse der Antworten wurde unter den Mitgliedern der Arbeitsgruppe des Konsortiums in verschiedene Kapitel aufgeteilt. Für jedes spezielle Thema oder jede Frage wurde all Jenes, was als gängige Praxis oder als originäre Eigenschaft erschien, aus den gesammelten Antworten abgeleitet. Daraufhin wurden Sitzungen der Arbeitsgruppe des Konsortiums einberufen, um alle Themen zu diskutieren und die Ergebnisse der Analysephase zu konsolidieren.

▼ Die Schlussfolgerungen wurden unter sechs Überschriften zusammengefasst: organisatorische Prüfung und Generalisierungen; organisatorische Wirksamkeit; Qualität der Wartung und Instandhaltung; Qualität des Betriebs; ingenieurtechnische Unterstützung und Modifikationsmanagement; spezielle Aspekte. Die Schlussfolgerungen zu jedem analysierten Thema enthalten vier Punkte:

- Hintergrundfragen mit einer Zusammenfassung und der Absicht der Fragen;
- den gegenwärtigen Status mit einer Beschreibung der generellen Praxis und spezieller guter Praktiken, die aus den Fragebögen abgeleitet wurden;

- die Identifizierung guter Praktiken;
- Empfehlungen als eine Untermenge der förderungswürdigen generellen guten Praktiken (nach der Experteneinschätzung der Arbeitsgruppe des Konsortiums). Der Abschlussbericht wurde Ende Dezember 2001 der Europäischen Kommission zur Prüfung vorgelegt und als EC-Dokument im März 2002 veröffentlicht.

**Gewonnene Erkenntnisse**

▼ Diese Untersuchung hat gezeigt, dass es offensichtlich eine größere Konvergenz von Sicherheitsansätzen und -praktiken gibt als erwartet. Sie zeigte auch, dass ein Konsens zwischen den Betreibern über die Prioritätensetzung der Kriterien leicht möglich sein sollte. So scheint ein projektorientiertes Management die am weitesten verbreitete Methode des Vorgehens bei Anlagenstillständen zu sein. Ebenso werden die mit einer Überflutung oder einem Brand verbundenen Risiken auf sehr ähnliche Art und Weise angegangen. Darüber hinaus existiert ein einheitliches Verständnis des ALARA<sup>2</sup>-Konzepts sowie damit verbundener guter Praxis. Weiterhin führen alle Betreiber ihre Wartungs- und Instandhaltungsprogramme auf der Basis einer vorausschauenden Instandhaltung durch. Im Kapitel zur probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) haben wir die Bedeutung der Spezifizierung einer besonderen Strategie für die Implementierung einer PSA an jedem Standort

hervorgehoben. Als letztes Beispiel seien die betrieblichen technischen Spezifikationen genannt, die allgemein als eine Gewährleistung der Sicherheit angesehen werden.

▼ Die Entscheidung über die Umsetzung der guten Praktiken und Empfehlungen des Untersuchungsberichts sollte von jedem einzelnen Betreiber getroffen und nicht durch einen systematisierten Verfahrensstandard vorgeschrieben werden: Eine «gute Praxis» ist nicht mit einer Norm

**MEILENSTEINE DER UNTERSUCHUNG**

- April 2000** : Kick-off-Meeting
- September 2000** : Fertigstellung des Fragebogenentwurfs
- Oktober 2000** : Ende des Validierungsschrittes
- November 2000** : Endfassung des Fragebogens
- Dezember 2000** : Beantwortung des Fragebogens
- März 2001** : Zusammenfassender Bericht
- Mai 2001** : Berichtsentwurf zu aktuellen Statusbeschreibungen
- Juli 2001** : Bericht mit aktuellen Statusbeschreibungen und Auflistungen guter Praktiken
- Dezember 2001** : Entwurf des Abschlussberichts
- März 2002** : Veröffentlichung des Abschlussberichts als EC-Dokument

**MITGLIEDER DER ARBEITSGRUPPE FÜR DIE UNTERSUCHUNG**



gleichzusetzen, da sie eine passende Lösung für ein spezielles Problem liefert und nicht alle Probleme auf die gleiche Art und Weise behandeln soll.

**Feedback für die Konzeption zukünftiger Reaktoren**

▼ Die Studie über die nukleare Sicherheit in Europa im Zusammenhang mit geplanten Anlagenstillständen in Kernkraftwerken bot ebenso Gelegenheit, Kenntnisse über zukünftige Reaktorkonzepte zu erlangen - insbesondere darüber, wie die Sicherheit der Anlagen und die Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten bei geplanten Stillständen bereits in der Auslegungsphase der Projekte berücksichtigt sind. Vor diesem Hintergrund baten wir den Konstrukteur des Europäischen Druckwasserreaktors (EPR), uns die Gliederungspunkte bezüglich der Sicherheit dieses zukünftigen Reaktors bei geplanten Anlagenstillständen zu nennen. Diese Aufstellung verglichen wir dann mit jenen anderer Hersteller zukünftiger Reaktoren: European Utilities Requirements Project, European Passive Plant Project, Utility Requirements Project (US Electric Power Research Institute), Westinghouse (Projekte AP 600, AP 1000 und EP 1000 mit passiven Sicherheitseigenschaften). Ein spezielles Kapitel des Berichts ist diesen Erkenntnissen gewidmet, welche die nächste Generation von Reaktoren betreffen. ●

Das Untersuchungsvorhaben wurde von José A. Gomez überwacht, der die Europäische Kommission vertrat. Mit dem Vorhaben tief verbunden, nahm er an allen technischen Sitzungen teil, erhielt alle Zwischenberichte der Studie und lieferte nützliche Anmerkungen zur Einarbeitung in den Entwurf. Diese enge Beziehung zwischen dem Auftraggeber der Studie und dem Konsortium ermöglichte die sich ergebende Qualität durch einen iterativen Prozess.

Oben, v.l.n.r.:  
**José Gomez**, EC (Belgien),  
**Jozef Elter**, KKW Paks NPP (Ungarn),  
**Sylvain Deriot**, EdF (Frankreich).

Mitte, v.l.n.r.:  
**Luc Van Assche**, Belgatom (Belgien),  
**Tsonka Grosdéva**, EdF (Frankreich).

Unten, v.l.n.r.:  
**Jarmo Korhonen**, Fortum (Finnland),  
**Christian Breesch**, Electrabel (Belgien).

Ganz unten:  
**Jean-Pierre Schweitz**, EdF (Frankreich).

Nicht im Bild:  
**Anne d'Eer**, Belgatom (Belgien),  
**Kalle Jänkälä**, Fortum (Finnland),  
**Jean-Michel Laverdure**, EdF (Frankreich),  
**Ilkka Paavola**, Fortum (Finnland),  
**Dominique Vasseur**, EdF (Frankreich).

1- Das Projekt wurde von der damaligen Generaldirektion XI - Umwelt, nukleare Sicherheit und Katastrophenschutz - heute die Generaldirektion Umwelt - ins Leben gerufen und von der Generaldirektion Energie und Verkehr zu Ende geführt.  
 2- ALARA: As Low As Reasonably Achievable (so gering wie vernünftigerweise möglich).

# STRAHLENSCHUTZ, DIE NOTWENDIGKEIT FÜR EINE UMFASSENDE STRATEGIE

Von Jukka Laaksonen, Leiter der finnischen Behörde für Strahlenschutz und nukleare Sicherheit (STUK)

■ Historisch gesehen sind die finnischen Reaktoren seit jeher wegen ihrer Verfügbarkeit und der Qualität der Betriebsführung hoch angesehen. Neben anderen Tätigkeiten werden Anlagenstillstände durchgeführt, um eine außerordentliche Effizienz der Arbeiten und eine hohe Sicherheit zu ermöglichen, vor allem in Bezug auf den Strahlenschutz. Unter der Aufsicht der finnischen Behörde für Strahlenschutz und nukleare Sicherheit (STUK) planen die Betreiber die Arbeiten und führen sie in der Absicht durch, die Kollektivdosis unter dem Schwellenwert zu halten, der vor der Planung der Tätigkeiten festgelegt worden ist. Auch im Bereich des Strahlenschutzes schneidet Finnland bemerkenswert gut ab und weist in den meisten Jahren während der Betriebsdauer seiner Kernkraftwerke kollektive Strahlendosen von 1 - 2 Mann-Sievert, in einigen Jahren sogar von nur 0,5 Mann-Sievert für seine Zwei-Block-Anlagen auf. Es ist jedoch bemerkenswert, dass der von europäischen und amerikanischen Betreibern über die Jahre erzielte Fortschritt jene in etwa auf dasselbe Niveau gebracht hat. Die bedeutendsten Maßnahmen der finnischen Betreiber zur Minimierung der Strahlenexposition werden im Folgenden vorgestellt.



Jukka Laaksonen, STUK

## Einführung einer expositionsorientierten Planung und Koordinierung der Arbeiten.

Zu diesem Zweck werden alle Aufgaben, die bei einem Brennelementwechsel und bei Anlagenänderungen anfallen, frühzeitig in besonderen Sitzungen, an denen auch Strahlenschutzexperten teilnehmen, geplant, um Strahlenrisiken genau zu bestimmen. Die Anlagen müssen dann einen speziellen Strahlenschutzplan erstellen und ihn STUK zur Genehmigung vorlegen. Dieser Plan enthält verfahrenstechnische Einzelheiten im Einklang mit sowohl administrativen Anforderungen als auch speziellen Vorkehrungen für Arbeiten, die mit spezifischen Gefahren verbunden sind. Die kollektive Strahlendo-

sis wird im Voraus abgeschätzt und die Arbeiten werden dementsprechend geplant.

## > Effiziente Strahlenüberwachungsgeräte.

Die sorgfältige Planung im Frühstadium wird durch eine gründliche Überwachung ergänzt. Dies ist notwendig, um festzustellen, dass niemand während der Arbeiten im Stillstandsbetrieb einer Strahlung über den Grenzwert hinaus ausgesetzt ist. Hierbei ist die wichtigste von den finnischen Betreibern verwendete Messvorrichtung ein elektronisches Personendosimeter, das sowohl dann einen Alarm von sich gibt, wenn generell eine Dosis von 2 mSv/h erreicht worden

ist, als auch dann, wenn eine 2-mSv Dosis bereits innerhalb eines Tages erreicht wird. Vor dem Betreten eines Kontrollbereichs wird jedem einzelnen Arbeiter solch ein Dosimeter ausgehändigt, das beim Verlassen des Bereichs wieder eingesammelt wird und eine Echtzeit-Nachverfolgung der Strahlenexposition ermöglicht. Ein komplementäres Überwachungsgerät ist das Thermolumineszenz-Dosimeter, das es ermöglicht, die erhaltene Gesamtdosis eines Mitglieds des Personals während des gesamten Stillstandszeitraums aufzuzeichnen. Anders als in anderen Ländern Europas, wo jeder Betreiber gehalten ist, die Dosisbelastung seines eigenen Personals aufzuzeichnen und zu verfolgen, ist in Finnland ein nationales Register aller in kerntechnischen Anlagen beschäftigten Arbeiter eingerichtet worden, in dem die offiziellen Dosiswerte für jede einzelne betroffene Person im ganzen Land gespeichert sind.

## > Maßnahmen zur Begrenzung der Kontamination innerhalb der Anlage.

Vom radiologischen Standpunkt aus gesehen ist die Überwachung des Jodgehalts des Hauptkühlmittels nach dem Abfahren des Reaktors ein wichtiges Thema. Es ist der Betriebsmannschaft nicht erlaubt, das Reaktordruckgefäß zu öffnen, bis die Jodkonzentration unterhalb einer gewissen Grenze ( $105 \text{ kBq/m}^3$  für J-131) liegt, was durch das Durchspülen des Wassers durch Filter erreicht wird. Ein anderer Punkt ist die strenge Überwachung aller Arten radioaktiver Lecks in der Anlage, um letztere so rein wie möglich zu halten. In dieser Hinsicht sollte man die Reinheit der finnischen KKW würdigen.



## > Überwachung der Anlagenräume.

Dieser Aspekt ist bei der Planung von Arbeiten von äußerster Wichtigkeit. Eine für jeden Raum der Anlage verfügbare Datei sollte es den Strahlenschutzexperten ermöglichen, zu Beginn der Stillstandsphase das Kontaminationsniveau der von den Arbeiten betroffenen Räume zu überprüfen und zu aktualisieren. Neben der Verbesserung der Arbeitsplanung liefern diese Dateien einlaufende Echtzeitinformationen über den radiologischen Status der Räume.

## > Überwachung der individuellen Radionuklidexposition.

Zusätzlich zur Überprüfung des Kontaminationsniveaus der Anlagenräume und der Kleidung sowie der Oberflächenkontamination der Haut von Personen an jedem Ausgang verlangen die finnischen Aufsichtsbehörden, dass jede Person vor dem Beginn und nach der Beendigung der Arbeit mit dem Ziel überwacht wird sicherzustellen, dass niemand radioaktive Schadstoffe im Körper ansammelt. Die Anlagenleitung hat eine schnelle 100%-ige Überwachung durchzuführen, die in etwa 30 von 100 Fällen noch einmal von STUK überprüft wird. Diese akkurate 20-Minuten-pro-Person-Überwachungsmethode hat bestätigt, dass die angewendete Praxis geeignet ist, die Kontamination innerhalb vernachlässigbarer Werte zu halten.

## > Besondere Ausbildung und Arbeitsfreigabe.

Neben der betrieblichen Planung und der Expositionsüberwachung verlässt sich der Strahlenschutz in kerntechnischen Einrichtungen auf die angemessene Vorbereitung jener, die mit den →

→ Arbeiten während des Anlagenstillstands betraut sind. Im Hinblick auf dieses Ziel organisiert der Anlageninhaber einen vierstündigen Ausbildungskurs für alle voraussichtlich an den Arbeiten in der Anlage Beteiligten. Dabei werden Grundkenntnisse im Strahlenschutz vermittelt. Ein Arbeiter, der in einer Anlage solch einen Lehrgang absolviert und im Anschluss eine schriftliche Prüfung besteht, erhält ein Zeugnis, das von allen schwedischen und finnischen Anlagen anerkannt wird. Diese relativ kostengünstige Ausbildung ist alle drei Jahre zu wiederholen. Eine zusätzliche aufgabenspezifische Ausbildung wird jedem Team von Arbeitern vermittelt, das Arbeiten zu verrichten hat, bei denen das Risiko einer bedeutenden Dosis besteht. Weiterhin wird eine besondere Genehmigung - eine so genannten radiologische Arbeitserlaubnis - für alle in Kontrollbereichen durchzuführenden Arbeiten verlangt. In Anhängen zu dieser Erlaubnis sind Informationen und Richtlinien bezüglich besonderer Schutzkleidung oder des Erfordernisses der Begleitung durch einen Strahlenschutzexperten enthalten. Diese Methode hat sich als effektiv erwiesen, damit gewährleistet werden kann, dass jeder für die ihm zugewiesene Aufgabe korrekt instruiert worden ist. ■

Weitere Informationen über die Aktivitäten von Stuk unter [www.stuk.fi](http://www.stuk.fi).



Von Carl-Göran Lindvall, Direktor für Strahlenschutz, Vattenfall AB

## STILLLEGUNG: OHNE HAST ANS GEWÜNSCHTE ZIEL

■ Am Kattegat in der schwedischen Provinz Scania gelegen weist das KKW Barsebäck zwei SWR-Blöcke mit einer Leistung von je 615 MW auf. Die Reaktoren wurden 1975 bzw. 1977 in Betrieb genommen. Barsebäck 1 wurde 1999 (am 30. November) aufgrund einer politischen Entscheidung aus dem Jahr 1998 endgültig abgeschaltet. Die noch in Betrieb befindliche Anlage Barsebäck 2 produziert 3,5 bis 4,5 TWh Strom pro Jahr, was etwa 30 % des Stromverbrauchs im südlichsten Teil Schwedens entspricht, wo ca. eine Million der Bewohner des Landes leben. Der Kernbrennstoff aus Barsebäck 1 ist bereits entfernt worden, jedoch hat man sich entschieden, mit dem Rückbau zunächst noch zu warten. Nach der Stilllegung des Blocks wurden Barsebäck Kraft AB und Ringhals AB zusammengeschlossen und das Eigentum an den Reaktoren auf die zwei größten schwedischen EVU, Vattenfall AB (75%) und Sydkraft AB (25%), aufgeteilt. Barsebäck 2 wird im Jahr 2003 nur dann stillgelegt werden können, wenn die äquivalente Menge Energie eingespart oder durch Energieträger ersetzt werden kann, die nicht zum Treibhauseffekt beitragen. Diese Entscheidung wird dem Betreiber wohl etwas Zeit geben, die Stilllegung dieses zweiten Blocks zu planen.

### Weit vorausschauend planen

▼ Barsebäck 1 ist ein besonderer Fall, da der Reaktor mit Hinblick auf seinen Rückbau stillgelegt und nicht nur vorübergehend zur Revision abgeschaltet worden ist. In diesem Zusammenhang werden die Arbeiten komplett anders geplant, da kein Zeitdruck bezüglich eines Wiederanfahrens besteht. Alle Aktivitäten können sich vollständig an der Minimierung der Strahlenexposition und der mit dem Rückbau verbundenen Kosten orientieren. Das Wichtigste für uns als Betreiber besteht darin, zu wissen, welche Arbeiten gerade in der Anlage durchgeführt werden und wie die verschiedenen Daten zu interpretieren sind. Natürlich müssen wir auch über ausreichend Lagerraum für die abgebrannten Brennelemente und für die schwach- und mittelaktiven Abfälle aus dem Reaktor verfügen. Wird solch ein Lager schon von Anfang an

während der Errichtungsphase des Reaktors geplant, so können die Kosten der Zwischenlagerung wesentlich gesenkt werden. Ist das Lager nicht verfügbar, wenn die Stilllegung entschieden wird, so wird dies zu einem Haupthindernis für die endgültige Abschaltung des Reaktors. Im Falle von Barsebäck 1 war es möglich, die aus dem Reaktor entladenen Brennelemente ins Zwischenlager CLAB in der Nähe des KKW Oskarshamn zu schicken. Entscheidungen bezüglich der Endlagerung werden in den kommenden Jahren getroffen, da es etwa 15 Jahre dauert, solch eine Einrichtung zu bauen. Ein weiteres Hauptthema ist das der Dekontamination: Ähnlich wie die Zwischenlagerung erweist sie sich als kosteneffektiv, wenn sie in einer großen Dekontaminationsanlage durchgeführt wird. Darüber hinaus ist es sehr wichtig, einen gesetzlichen Rahmen zu

haben, innerhalb dessen die Stilllegung abläuft. In vielen Ländern sind heutzutage die von den Betreibern für die Stilllegung und die Sanierung des Standorts benötigten gesetzlichen Rahmenbedingungen noch nicht von den Aufsichtsbehörden geschaffen worden.

### Gedanken austauschen und von Erfahrungen profitieren

▼ Unsere Erfahrung hat gezeigt, dass es keinen Sinn macht, die Dinge zu überstürzen und sie dann noch einmal machen zu müssen - der bessere Weg ist der der sorgfältigen Planung der gesamten Phase vor dem Beginn der Arbeiten. Im Jahr 1999 beschlossen wir deshalb rund um die Welt zu reisen, um Reaktorstilllegungserfahrungen zu begutachten und herauszufinden, was sich als erfolgreich erwiesen hat und was falsch gelaufen ist. Diese Benchmarking-Phase lieferte uns einen wertvollen Erfahrungsrückfluss und steigerte unser Bewusstsein in mehreren ●●●

●●● Punkten, z. B. hinsichtlich der Dokumentation (etwa dahingehend, wie man sie auch nach 15 Jahren noch nutzbar halten kann), der Abschätzung des zu erwartenden Aktivitätsniveaus und des Personaleinsatzes (Ist es besser, die Stilllegungs- und Rückbauarbeiten von Eigenpersonal, Fremdpersonal oder gemischten Teams durchführen zu lassen?). Wir sind zu der Entscheidung gekommen, uns bei der Erwägung dieser Fragen genügend Zeit zu lassen.

▼ Wir haben auch Zeit damit verbracht, Themen, die die Bevölkerung in der Umgebung der Anlage Barsebäck betreffen, mit der örtlichen Behörde zu diskutieren. Eines dieser Themen ist der Brandschutz. Auch wenn der Kernbrennstoff aus einem Kernkraftwerk entfernt worden ist, muss ein Alarmierungssystem für die Bevölkerung so lange aufrecht erhalten werden, wie noch Abfälle - z. B. Ionenaustauscherharze - vor Ort in der Anlage gelagert werden und durch ein Feuer freigesetzt werden könnten - auch durch einen normalen Brand, der nicht mit einem nuklearen Unfall einhergeht, der aber die Bevölkerung dennoch betreffen würde. Auch haben wir erörtert, wie der Moment zu definieren ist, ab dem die Anlage für die Bevölkerung zu einer konventionellen Industrieanlage wird: Wenn der Kernbrennstoff entladen worden ist? Oder wenn am Standort der Zustand der «grünen Wiese» wiederhergestellt ist?

#### Bei der Planung der Dekontamination an zukünftige Nutzung denken

▼ Die Stilllegung eines Kernreaktors bedeutet nicht, dass die Anlage nicht für andere Zwecke genutzt werden kann, z. B. für Forschung und Entwicklung. Diese Möglichkeiten müssen sorgfältig berücksichtigt werden, da sie die Dekontaminationsplanung beeinflussen. Wird erwägt, das Kraftwerk für F&E-Zwecke zu nutzen, dann müssen der Rückbau, die Dekontamination und das Entfernen der Komponenten und Gerätschaften frühzeitig geschehen. Dies macht die Verfügbarkeit von genauen Datensätzen über das Aktivitätsniveau in den verschiedenen Räumen, über Aktivierungsprodukte etc. noch notwendiger. Wo an keine weitere Verwendung in der Zukunft gedacht ist, könnte die richtige Variante so aussehen, dass vor dem Entfernen der Geräte und Einrichtungen mehrere Jahre gewartet wird, was somit einen geringeren Dekontaminationsaufwand erforderlich macht. Außerdem kann dann die Dekontaminationsmethode ohne Rücksicht auf die Notwendigkeit eines Wiederanfahrens ausgewählt werden.

#### Konzentration auf Qualität und Wissensmanagement

▼ Die endgültige Abschaltung eines Reaktors bietet die einmalige Gelegenheit, die anstehenden Arbeiten viel genauer als bei einem vorübergehenden Anlagenstillstand zu planen sowie Zeitpläne genauer aufzustellen und die optimale

Auswahl von Material, Methoden etc. zu treffen. Die Tatsache, dass kein Zeitdruck besteht, sollte systematisch dazu genutzt werden, ein Optimum an Qualität zu erzielen. Die Auswirkungen auf jeden Aspekt sollten berücksichtigt werden. So könnten z. B. verschiedene Materialien für die vorübergehende oder permanente Abschirmung ausgewählt werden. Jeder Aspekt sollte von Anfang an dokumentiert werden, um ein umfassendes Qualitätssystem aufzubauen: z. B. muss der Schnitt einer Rohrleitung noch Jahre später, wenn der Rückbau beginnt, nachvollziehbar sein. In Barsebäck haben wir speziell hierfür einen Mitarbeiter, der durchgeführte Änderungen aufzeichnet, und wir haben auch ein qualitativ hochwertiges Dokumentationssystem entwickelt.

▼ Man sollte sich darüber bewusst sein, dass Wissensmanagement für eine sichere und kosteneffektive Stilllegung und einen ebensolchen Rückbau entscheidend ist. In dieser Hinsicht ist anzumerken, dass es eine andere Situation ist, wenn eine Einzelblock-Anlage außer Betrieb genommen oder ein Reaktorblock in einer Mehrblock-Anlage stillgelegt wird, während der andere Block weiterhin in Betrieb ist. Im ersten Fall verlässt das meiste Personal den Standort und das Wissen geht schon früh verloren; im zweiten Fall kann das Wissen über längere Zeit vor Ort aufrecht erhalten werden. Dementsprechend müssen zwei unterschiedliche Strategien für das Wissens- und Qualifikationsmanagement entwickelt werden. ●

## SICHERHEITASPEKTE DER BETRIEBSFÜHRUNG BEI NICHT-LEISTUNGSBETRIEB: DIE ERFAHRUNG MIT GKN

Von Eberhard Grauf, Anlagendirektor GKN II

■ Seit Anfang der 90er Jahre hat sich in der Nuklearindustrie die Erkenntnis durchgesetzt, dass Anlagenstillstände nicht per se ein geringeres Risiko darstellen als der «normale» Leistungsbetrieb. Zu dieser Erkenntnis trugen sowohl Forschungsergebnisse - insbesondere die Stillstands-PSA - als auch die weltweit gesammelten Betriebserfahrungen bei.



Eberhard Grauf, GKN II

Die Ergebnisse der in verschiedenen Ländern durchgeführten Stillstands-PSA sind in ihren grundsätzlichen Aussagen weitgehend identisch und lassen sich mit wenigen Worten wie folgt zusammenfassen:

Erhöhte Risiken in Anlagenstillständen resultieren vor allem aus

- reduzierten Systemverfügbarkeiten,
  - in bestimmten Phasen vergleichsweise geringem Kühlmittelinventar,
  - dem Fehlen automatisierter Maßnahmen zur Beherrschung von Störereignissen,
  - der im Vergleich zum Leistungsbetrieb deutlich erschwerten Übersicht hinsichtlich Kontrolle und Überwachung der Anlagenzustände,
  - der Gleichzeitigkeit von vielen Instandhaltungs- und Prüftätigkeiten.
- Praktisch in allen Stillstands-PSA hat sich gezeigt, dass bei einer Analyse des Ist-Zustandes der Anlagen das Stillstandsrisiko immer in der Größenordnung des Leistungsbetriebs, oft sogar deutlich darüber liegt. Es bedurfte meist technischer und/oder administrativer Verbesserungen,

um ein ausgewogenes Verhältnis zwischen dem Risiko resultierend aus Leistungs- und Nichtleistungsbetrieb zu erzielen.

#### ► Anlagenstillstände: Eine besondere Herausforderung für die Betriebsorganisation.

Ein Anlagenstillstand wie er üblicherweise jährlich zur Durchführung des Brennstoffwechsels und bei Instandhaltungsmaßnahmen im Kernkraftwerk anfällt, stellt in vielerlei Hinsicht eine besondere Herausforderung für einen Anlagenbetreiber dar. In relativ kurzer Zeit sind rund 3000 Einzelaktivitäten abzuwickeln, diese auf ordnungsgemäße Durchführung zu überwachen, die Schnittstellen gegenüber dem laufenden Anlagenbetrieb und gegenüber anderen Tätigkeiten zu koordinieren und während des gesamten Zeitraums so sicherzustellen, dass die für den sicheren Zustand der Anlage notwendigen Bedingungen eingehalten werden. Erschwerend kommt hinzu, dass wichtige Informationsquellen zur Kontrolle des →

→ Anlagenzustandes - wie z.B. die in der Warte auflaufenden Meldungen infolge hoher Meldungsdichte - weit weniger wirksam sind, als bei ungestörtem «Geradeausbetrieb».

Diese Umstände spiegeln sich in typischen Revisionsereignissen wieder wie:

- Verletzung von Bedingungen der Sicherheitsspezifikation,
- Übersehen wichtiger Meldungen mit der Folge von Systemausfällen,
- Systemausfälle infolge (meist prüfungsbedingter) Fehlanregung von Auslösesignalen,
- Freischaltfehler mit den damit verbundenen Konsequenzen wie Freisetzung von Medien, Komponenten- und Personenschäden.

Markantestes Beispiel hierfür ist die deutlich höhere Eintrittswahrscheinlichkeit für Notstromfälle in Anlagenstillständen.

#### › Umsetzung von sicherheitstechnisch relevanten Revisionsanforderungen.

Angesichts der revisionsspezifischen Risiken hat es sich als zweckmäßig erwiesen, diesen durch entsprechende Maßnahmen Rechnung zu tragen. Im GKN sind dies:

- sehr detaillierte Revisionsplanung,
- streng redundanzzugeordnete Instandhaltungsmaßnahmen auch in der Revision,
- Arbeits- und Prüfverbote in ausgewählten Bereichen bei Mitte-Loop-Betrieb,
- Modifizierung des Schichtbetriebs zur Überwachung der Anlage,
- Minimierung des Instandhaltungsumfangs durch Einführung der vorbeugenden Instandhaltung im Leistungsbetrieb,
- Durchführung abdeckender Funktionsprüfungen vor dem Wiederanfahren der Anlage.



Im Folgenden werden die sicherheitstechnischen Aspekte dieser Maßnahmen näher beleuchtet.

#### › Revisionsplanung.

Maßnahmen zur detaillierteren Planung einer Revision wurden im GKN schon ab Mitte der 80 er Jahre eingeleitet. Hauptmotivation war ursprünglich, die Anzahl der erforderlichen Freischaltmaßnahmen durch bessere Abstimmung der Instandhaltungstätigkeiten, insbesondere durch Synchronisierung der elektro- und maschinentechnischen Aktivitäten, zu reduzieren. Neben dem Wegfall von unnötigem Arbeitsaufwand beim Schichtpersonal wirkt sich dies auch sicherheitstechnisch positiv aus, da mit der Reduzierung von Freischaltvorgängen die Wahrscheinlichkeit für Freischaltfehler linear abnimmt. Im Laufe von gut 10 Jahren wurde die Revisionsplanung kontinuierlich weiter optimiert. Heute wird jede Einzeltätigkeit in ihrer Abhängigkeit und zeitlichen Abfolge vorgeplant. In komplexen Phasen wie dem An- bzw. Abfahren, wo insbesondere eine Vielzahl von Prüftätigkeiten in Betriebsvorgänge einzubinden sind, geht das Zeitraster bis in den

Minutenbereich. Die detaillierte Vorplanung entlastet z.B. den Dienst habenden Schichtleiter von der ansonsten üblichen Einzelbewertung jeder einzelnen Prüftätigkeit im Hinblick auf Verträglichkeit mit dem Anlagenzustand und laufenden Parallelarbeiten. Allein die Tatsache, dass die Vorplanung viele Tage, ja Monate in Anspruch nimmt zeigt, wie aufwendig diese wichtige Tätigkeit zur Vermeidung von Störungen und zur Einhaltung der Betriebsbedingungen ist. Zwangsläufig resultiert aus dieser Vorgehensweise, dass die Planungsvorgaben auch konsequent eingehalten werden und ggf. notwendige Anpassungen wegen ungeplanten Ereignissen nur in Absprache mit den Planern erfolgen dürfen.

Die genannten Maßnahmen haben neben den sicherheitstechnischen Vorteilen auch zu einer deutlichen Verkürzung der Revisionszeiten im GKN II geführt. Leider wird vielerorts nur dieser Zeitverkürzungsaspekt wahrgenommen und daraus ohne näheres Hinsehen abgeleitet, dass Revisionsverkürzungen primär eine Maßnahme zur Kostensenkung mit damit verbundener Absenkung des Sicherheitsniveaus darstellen. Es ist in diesem Zusammenhang darauf hinzuweisen, dass es im GKN II in den letzten Jahren trotz vergleichsweise kurzen Revisionen zu keinem einzigen der typischen «Revisionsereignisse» gekommen ist. Die Dauer einer Revision ist nämlich kein Indikator für die sicherheitstechnische Qualität einer Revisionsabwicklung. Zu einer derartigen Beurteilung bedarf es der Auswertung anderer Indikatoren und der Randbedingungen, die zu den jeweiligen Ergebnissen geführt haben. Perfekionierte Revisionsplanung erfordert vor allem eine

“ Perfekionierte Revisionsplanung erfordert vor allem eine Bedingung: Die detaillierte Kenntnis der durchzuführenden Tätigkeiten. ”

Bedingung: Die detaillierte Kenntnis der durchzuführenden Tätigkeiten. Diese Anforderung ist in der Praxis leider schwierig zu realisieren. So findet man häufig bei den Beteiligten (eigene Fachbereiche, Gutachter und Behörde) oft wenig Verständnis dafür, sich bereits Monate im Voraus auf einen Arbeitsumfang festzulegen, es ist ja «noch eine Woche vor der Revision genug Zeit um darüber nachzudenken». Die Überwindung dieser Mentalität bei allen Akteuren ist eine der Schlüsselfaktoren für sorgfältig geplante und damit sichere Revisionen. Zwar wird es immer nicht vorhersehbare und damit nicht eingeplante Tätigkeitsumfänge geben, die Anzahl der Modifikationen sollte jedoch eine Größenordnung von 5% nicht überschreiten, um hinreichend Planungssicherheit zu haben. Dieser Anteil liegt im GKN II heute bei ca. 1%, im Bereich der Sicherheitseinrichtungen wegen der niedrigen Befundrate sogar deutlich darunter. Die Planung einer Revision ist im GKN II zu einem «Full Time Job» geworden. Ganzjährig befasst sich ein hauptamtlicher Revisionsplaner mit der Langzeitplanung, dem rechtzeitigen Beibringen und Zusammentragen des jeweiligen Mengengerüsts und der übergeordneten Koordination einer Revision. Ziel ist es, mit einem Vorlauf von neun Monaten die Termin bestimmenden Tätigkeiten identifiziert zu haben. Spätestens vier Monate vor Revisionsbeginn soll das komplette Mengengerüst vorliegen und einen Monat vor Revisionsbeginn alle Planungsarbeiten incl. der kompletten Freischaltplanung abgeschlossen sein. Die ca. dreimonatige Detailplanung wird von den Mitarbeitern der nachfolgend noch näher erläuterten «Revisionschicht» durchgeführt. →



→ Damit liegt sowohl Planung als auch die Revisionskoordination in den Händen desselben Mitarbeiter.

#### › Redundanzbezogene Wartung.

Zur Erleichterung der Übersichtlichkeit wird im GKN sowohl im Leistungsbetrieb als auch in der Revision streng redundanzbezogen gearbeitet. Sicherheitssysteme, die zur Einhaltung der Mindestverfügbarkeiten betriebsbereit sein müssen, werden nicht nur administrativ, sondern auch physisch (Verschluss der Räume) separiert. Dieses Vorgehen erleichtert die Anlagenkontrolle für die Dienst habende Schicht erheblich und minimiert das Risiko, dass durch Instandhaltungstätigkeiten sicherheitstechnisch erforderliche Systeme beeinträchtigt werden. Durch das zuvor erwähnte «Hauptredundanzkonzept» konzentrieren sich die Instandhaltungstätigkeiten im wesentlichen auf eine Redundanz.

#### › Arbeitsverbot bei «Mitte-Loop».

Eine der wesentlichen Erkenntnisse der Stillstands-PSA war die Sensibilität des «Mitte-Loop-Betriebs» in Druckwasserreaktoren. Konsequenterweise hat GKN deshalb das Risiko von Fehlanregungen und Fehlhaltungen die zum Ausfall der Nachkühlung oder zu Kühlmittelverlusten führen können minimiert und alle mit entsprechendem Risiko behafteten Arbeiten und Prüfungen im «Mitte-Loop-Betrieb» verboten.

#### › Modifizierung der Schichtbesetzung.

Im Normalbetrieb ist die Dienst habende Schicht für die Überwachung des Anlagenzustandes, die Koordination/Freigabe der laufenden Arbeiten und die

Durchführung der betrieblichen Wiederkehrenden Prüfungen verantwortlich. Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, diese Funktionen während der Revision aufzuteilen. Dabei ist wichtig, dass die dadurch entstehenden Schnittstellen eindeutig definiert und die Verantwortlichkeiten für einen sicheren Anlagenbetrieb gewährleistet bleiben. Dies wird durch folgende Aufgabenteilung und Festlegungen erreicht:

- Die Überwachung der Anlage hinsichtlich Einhaltung der sicherheitstechnischen Bedingungen und Überwachung aller in Betrieb befindlichen Systeme obliegt dem Dienst habenden Schichtleiter.

- Die Abwicklung und Koordination aller zu Instandhaltungstätigkeiten freigeschalteten Systeme erfolgt durch eine parallel arbeitende „Revisionsschicht“.

- Die Vielzahl der wiederkehrenden Prüfungen wird durch ein spezielles Prüfteam koordiniert und abgewickelt.

Ein System wird von der Dienst habenden Schicht an die Revisionsschicht durch eine Freigabe zur Entfernung desselben aus dem Anlagenbetrieb («Freischaltfreigabe») übergeben. Die Rückgabe des betriebsbereiten Systems an den Anlagenbetrieb erfolgt durch die ebenfalls dokumentierte «Freigabe für den Betrieb». Die Durchführung jeder Prüfung an laufenden Systemen muss ebenso wie die Freischaltfreigabe vom Dienst habenden Schichtleiter freigegeben werden.

Mit dieser Aufgabenteilung kann eine vom Revisionsgeschehen weitgehend unbelastete Schicht sich primär auf die Gewährleistung der Anlagensicherheit konzentrieren. Da viele Systeme in der Revision außer Betrieb sind, kann die Dienst habende Schicht zahlenmäßig reduziert werden.

Die Revisionsschicht sorgt in dem zur Revisionsabwicklung übernommenen System für den reibungslosen Ablauf der Freischaltungen sowie für die übergeordnete der Koordinierung der Freischalt- und Instandhaltungsmaßnahmen. Auf diese Aufgabe bereitet sich die Revisionsschicht mehrere Monate vor. Der Vorteil dieses Systems liegt in der detaillierten Kenntnis aller Planungsaspekte bei der Revisionsschicht. Dieses Wissen um Zusammenhänge ist einer Dienst habenden Schicht in gleicher Tiefe nicht vermittelbar. Die Dienst habende Schicht hält sich deshalb strikt an die durch die Revisionsplanung vorgegebenen Abläufe. Muss aus nicht vorhersehbaren Gründen von den Planvorgaben abgewichen werden, wird eine qualitätsgesicherte Korrektur der Planungsunterlagen durch die Revisionsplaner vorgenommen und diese der Dienst habenden Schicht als aktualisierte Vorgabe übergeben. Diese Vorgehensweise erfordert eine ständige Präsenz der Revisionsplaner, sie sind deshalb im GKN während der Revision rund um die Uhr verfügbar.

#### › Vorbeugende Instandhaltung im Leistungsbetrieb.

Seit 1998 wird im GKN II ein Teil der Revisionsarbeiten an Sicherheitssystemen während des Leistungsbetriebs durchgeführt (OPM; on-power maintenance). Auch bei dieser Maßnahme muss der landläufigen Meinung widersprochen werden, dass dies zu einer merklichen Verkürzung der Revisionsdauern führt. Da OPM an sicherheitstechnischen Systemen im Wesentlichen nur maschinentechnische Einrichtungen umfasst, wird der kritische Terminpfad einer Revision dadurch nicht verkürzt, da die

elektro- und leittechnischen Tätigkeiten weiterhin in der Revision abgewickelt werden. Vorteilhaft wirkt sich OPM jedoch hinsichtlich Arbeitsentlastung des Instandhaltungs- und Aufsichtpersonals in den Revisionen aus, damit verbleibt mehr Arbeitskapazität zur Durchführung und Überwachung der verbleibenden Tätigkeiten. Die geringfügige Verschlechterung der Systemverfügbarkeit ist bei einem  $n+2$  Redundanzgrad demgegenüber vernachlässigbar.

#### › Wiederkehrende Prüfungen vor dem Wiederanfahren.

Nach Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen ist eine abdeckende Funktionsprüfung zum Nachweis der Funktionsfähigkeit erforderlich. Dies führt nach Revisionen zwangsläufig zu einer Vielzahl von Funktionsprüfungen. Ein weiterer Bereich der Funktionsprüfungen wird durch die routinemäßigen Reaktor-schutzprüfungen abgedeckt. Darüber hinaus werden im GKN II alle in der Revision freigeschalteten betriebswichtigen Komponenten ebenfalls systematisch einer Funktionsprüfung unterzogen. Zur Koordination dieser Prüfungen hat sich die Bildung eines eigens dafür zuständigen Teams bewährt.

#### › Überwachung der Revisionstätigkeiten.

Der Erfolg einer Revision beruht natürlich nicht nur auf einer guten Terminplanung, sondern vor allem auch auf der fachlichen Qualität der ausgeführten Tätigkeiten. Zur Durchführung derselben kommt eine Vielzahl von Fremdfirmen zum Einsatz, deren Tätigkeiten durch das Betreiberpersonal vor Ort zu koordi- →

→ nieren und zu überwachen sind. Viele Mitarbeiter, die im Leistungsbetrieb Instandhaltungsarbeiten in der Anlage durchführen, sind in Revisionszeiten primär mit Aufsichtstätigkeiten befasst. Sofern man die Konzeption verfolgt auch im Leistungsbetrieb alle Tätigkeiten an Fremdfirmen zu vergeben, steht in den Hochlastzeiten wie sie eine Revision darstellt, qualifiziertes Eigenpersonal zur Überwachung der Fremdtätigkeiten nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung. Man muss sich dann in weitem Umfang auf die Qualität des Fremdpersonals und auf die abschließenden Funktionsprüfungen verlassen. Ein solches Konzept wirft zwangsläufig Fragestellungen hinsichtlich der Wahrnehmung atomrechtlicher Verantwortung durch den Betreiber auf.

#### › Sicherheit und Wirtschaftlichkeit von Revisionen.

Sicherheit kostet Geld, so eine allgemein gültige Regel. Der zeitliche und personelle Aufwand für die Revisionsplanung hat sich im Laufe des Optimierungsprozesses signifikant erhöht, die damit zwangsläufig verbundene tief greifende Analyse aller Abläufe hat aber auch zur Verkürzung der Revisionen beigetragen, trotz punktuell verschärfter Restriktionen z.B. im Mitte-Loop-Betrieb. Im Rahmen der Stillstands-PSA wurden einige Verbesserungsmöglichkeiten realisiert, die nicht zur Erleichterung oder Beschleunigung der Revision beigetragen haben. Ein markantes Beispiel für Sicherheitszuwachs trotz (erheblichem) Zeitgewinn ist auch das «Incore-shuffling», mit dessen Einführung die Planung und Überwachung der Kernbeladung hinsichtlich Gewährleistung der Unterkritikalität deut-

lich verbessert wurde. Andere Revisionsverkürzungen konnten durch Investitionen in technisch verbesserte Einrichtungen (z.B. Brennelement-Wechselbühne) erzielt werden. Damit wurde aber auch das Sicherheitsniveau dieser Einrichtung angehoben. Letztlich bleibt zu konstatieren, dass sich die tief greifende Analyse und Optimierung der Revisionsvorgänge im GKN II sicherheitstechnisch und wirtschaftlich positiv ausgewirkt haben. Zu warnen ist allerdings vor solchen Revisionsverkürzungen, die ausschließlich auf wettbewerbsorientierten Zielvorgaben beruhen und Betriebsmannschaften trotz fehlender Rahmenbedingungen wie ausreichende Planungs- und Durchführungskapazitäten dazu verleiten, sicherheitstechnische Rahmenbedingungen nicht allzu genau zu nehmen oder nicht die notwendige Sorgfalt bei Instandhaltungsmaßnahmen walten zu lassen. Der Preis für auf solche Weise erzielte «Erfolge» kann hoch werden. ■

## ORGANISATORISCHE FRAGEN AUS DER SICHT DER BEHÖRDE

■ Anlagenstillstände wie auch der Abschluss einer Revision erfordern eine aufsichtsbehördliche Genehmigung, die nur dann erteilt wird, wenn ausgewählte Elemente von den Sicherheitsbehörden überprüft und die entsprechenden Berichte eingereicht worden sind. Ein täglicher Bericht wird auf diese Art erstellt und in der ganzen Stillstandsperiode an die Behörde übermittelt; schließlich werden diese Berichte durch einen Abschlussbericht ergänzt. Da jeder Stillstand einen ökonomischen Schaden für die Anlage bedeutet, sind Betreiber wie Sicherheitsbehörden bestrebt, ihn so kurz wie möglich zu halten. Dieses Gebot kann zu einigen Interessenskonflikten im Falle eines Fehlers führen, der während des Anlagenstillstands entdeckt wird: Während die Priorität der Aufsichtsbehörde darin liegt, sich ein vollständiges Bild über die angestrebte Lösung zu verschaffen, ist es das Hauptanliegen des Betreibers, die Anlage so bald wie möglich wieder anzufahren.

Seit 1996 sind im KKW Paks zahlreiche Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit umgesetzt worden, die meisten davon im Rahmen von Anlagenstillständen. Eine spezielle Art des geplanten Stillstands, die «erweiterte Revision», wird alle vier Jahre für jeden der vier Blöcke der Anlage durchgeführt. Dabei werden die Reaktoreinbauten entfernt und gründlich untersucht, was die Dauer der Revision von 24 Tagen - was der Dauer einer regulären Revision entspricht - auf 60 Tage erweitert. Die Stillstände bieten ebenso Gelegenheit, Mängel zu beheben, die

potenziell unerwarteten Ereignissen zuträglich wären.

#### Anlagenstillstände - eine bedeutende Risikoquelle

▼ Trotz einer tief verwurzelten, aber falschen Annahme ist das globale Risiko, das mit Anlagenstillständen zur Wartung oder für einen Brennelementwechsel verbunden ist, vergleichbar oder sogar höher als das Risiko im Vollastbetrieb. Hierfür gibt es mehrere Gründe.

▼ Erstens beinhalten sowohl die Übergangsphasen - d. h. das Ab- und Anfahren - als auch die mit der Wartung und dem

Von Lajos Vöröss, Stellvertreter Generaldirektor, Direktion für nukleare Sicherheit, Ungarische Atomenergiebehörde



●●● Brennelementwechsel verbundenen Arbeiten eine Vielzahl von Handmaßnahmen, was im Normalbetrieb nicht der Fall ist. Dies ist vergleichbar mit Flugzeugen, wo Unfälle meist während des Starts oder der Landung, nicht aber bei Reisegeschwindigkeit und auf Reishöhe geschehen.

▼ Zweitens muss bei einem für einen Brennelementwechsel abgeschalteten Reaktor beständig die Nachwärme abgeführt werden, da eine große Anzahl an Brennelementen im Reaktorbehälter verbleibt.

▼ Drittens ist die Anlagenkonfiguration während eines Stillstands derart, dass viele Sicherheitssysteme einem Wartungsprogramm unterzogen werden. Es stehen daher weniger Einrichtungen zur Verfügung, als dies im Normalbetrieb der Fall ist. Hierbei ist es entscheidend, die notwendige Minimalkonfiguration zu finden, da ein unerwarteter Ausfall die Gewährleistung der Sicherheit beeinträchtigen kann.

▼ Viertens spielt die Logistik eine Rolle. Der Austausch von Anlagenteilen ist oft ein Problem. In vielen Fällen ist der Zulieferer der Originalersatzteile nicht mehr verfügbar, oder es wurden Änderungen durchgeführt, die das betreffende Gerät bedeutsam gegenüber seinem Auslegungszustand verändert haben. Dies stellt ein Sicherheitsproblem dar, z. B. wo die Erdbbensicherheit von Komponenten betroffen ist.



Kernkraftwerk Paks, Ungarn.

“ Als stellvertretender Generaldirektor der HAEA und Leiter des Nuclear Safety Directorate liegt meine Verantwortung bei der aufsichtsbehördlichen Entscheidung auf den Gebieten Genehmigung und Aufsicht sowie bei der Vollstreckung behördlicher Anordnungen. Lediglich ein sehr geringer Prozentsatz meiner Entscheidungen wird vom Betreiber angefochten. Nur im Fall einer solchen Streitigkeit wird die endgültige Entscheidung vom Generaldirektor der HAEA selbst getroffen. ”

▼ Der fünfte Punkt betrifft die Vorschriften und Arbeitsanweisungen. Für alle Arbeiten im Leistungsbetrieb gibt es detaillierte Vorschriften und die Grenzwerte/Schwellenwerte werden explizit genannt. Für die Arbeiten bei Anlagenstillstand ist dies nicht gleichermaßen der Fall, weder in Ungarn noch irgendwo anders.

**Risikomanagement: eine Sache der Organisation**

▼ Da zahlreiche Risikoquellen interagieren und zu einem unerwarteten Ereignis führen können, sind verschiedene Wege zur Verringerung jener Risiken in Betracht zu ziehen.

▼ Einer dieser Wege ist die PSA. Regelmäßig aktualisierte probabilistische Sicherheitsanalysen reflektieren die tatsächliche Anlagenkonfiguration zum Zeitpunkt des Stillstands. Da jede Konfiguration mit einem Risikofaktor behaftet ist, hilft die PSA dabei, in einer unerwarteten Situation eine schnelle Entscheidung zu treffen. Wir planen zur Zeit, ein solch leistungsfähiges Werkzeug für das KKW Paks zu entwickeln. Dies bedeutet einen beträchtlichen Arbeitsaufwand, da es reichlich Aufgaben gibt, die während eines Anlagenstillstandes das Risiko erhöhen und deren Kombination miteinander sogar noch eine weitere Erhöhung des Risikos bewirken.

▼ Ein weiteres «Werkzeug» ist die vorhandene Erfahrung. Da die Modelle und Eingabedaten für die

PSA weitgehend auf der Praxis beruhen, ist ein klares Bild der verschiedenen Risikoarten zu jeder Zeit des Stillstands notwendig. Die Schwierigkeit, die Risikofaktoren zu bestimmen und deren Gewichtung zu quantifizieren und zu vergleichen, wird durch unerwartete Faktoren noch weiter vergrößert, d. h. durch Defizite, die trotz der sorgfältigen Auslegung und Errichtung der Anlage bestehen und die erst zu Tage treten, wenn die Anlage rückgebaut wird. In diesem Fall ist die eigene Erfahrung unersetzlich.

▼ Ein drittes Mittel ist das ALARA (As Low As Reasonably Achievable)-Prinzip. Die Einhaltung dieser Regel verlangt den umsichtigen Einsatz von Personal, um die jeweilige Personendosis jedes Einzelnen während der Arbeiten so gering wie möglich zu halten. In Ungarn hebt der State Public Health & Medical Officers Service (ANTSZ), der für den Strahlenschutz verantwortlich ist, die Bedeutung des ALARA-Prinzips und auch der Notwendigkeit, ausreichend Personal zur Verfügung zu haben, hervor.

▼ Eine vierte Methode besteht darin, jederzeit über genaue Informationen zu verfügen. Um Missverständnissen vorzubeugen, die Arbeiten von Anfang an nachzuerfolgen und um eine Grundlage für fundierte Entscheidungen zu schaffen, sind sowohl eine effektive Kommunikation des Anlagenpersonals miteinander und mit der Sicherheitsbehörde als auch

**OUTSOURCING: EIN TREND KOMMT DER SICHERHEIT ZUGUTE**

In Ungarn gibt es heute eine stärkere Tendenz zum Outsourcing hin, als dies bislang der Fall war. Während die gesamten Arbeiten im Zusammenhang mit Instandhaltung und Anlagenänderungen für gewöhnlich von einer großen Anzahl von Eigenpersonal durchgeführt wurden, übernehmen nun Fremdfirmen einen wachsenden Anteil dieser Aktivitäten. Für die Aufsichtsbehörde bestand das Problem nun darin, das Vertrauen in die Fachkunde des Unterauftragnehmers zu gewinnen und herauszufinden, wer die Verantwortung für dessen Arbeiten trägt. Es wurde entschieden, dass der Betreiber dafür verantwortlich sein sollte, den Unterauftragnehmer auszuwählen und zu überprüfen, ob jener ein adäquates Qualitätssystem eingesetzt hat. Diese grundlegende Änderung in der Organisation von Anlagenstillständen und Wartungsarbeiten hat die Sicherheit nicht negativ beeinflusst, da sowohl das Eigenpersonal des KKW Paks als auch das Fremdpersonal in derselben Einrichtung ausgebildet werden: dem Wartungs-Ausbildungszentrum in Paks.



Reaktorbehälter im Kernkraftwerk Paks, Ungarn.

ein qualitativ hoch stehendes Dokumentenmanagementsystem von größter Bedeutung.

▼ Ein fünftes Werkzeug ist die Anwendung eines gewissen Ordnungsregimes. Eine Anlagenrevision ist ein Zeitraum, in dem eine gewisse Anzahl Personen und verschiedenes Gerät vorübergehend am Standort der Anlage eingesetzt werden, was nach strikten Arbeitsanweisungen verlangt, die von jedem einzuhalten sind, damit vermieden wird, dass Geräte nach der Wartung vergessen werden, die dann als Fremdkörper Probleme nach dem Wiederanfahren verursachen können.

▼ Schließlich wird vom Betreiber eine gute Qualitätssicherung sowie eine hohe Sicherheitskultur erwartet um auf diese Weise ein angemessenes Verhältnis zur Aufsichtsbehörde zu erreichen und der Versuchung zu widerstehen, Information absichtlich zurückzuhalten, um den Genehmigungsprozess zu beschleunigen.

**Fortschritte und Herausforderungen in Ungarn**

▼ In Ungarn werden lobenswerte sicherheitstechnische Fortschritte gemacht, indem die Betreiber ihre Werkzeuge, Techniken und Praktiken für die Wartung und Instandhaltung stetig verbessern. Zusätzlich zum Zentrum für die Vorbereitung von Wartungsarbeiten, das vor etwa 15 Jahren in Betrieb ging, machen es hochwertige Software- und Informationssysteme möglich, ●●●

●●● die Aufgaben auf eine weit systematischere Weise durchzuführen als zuvor. Unter anderem ermöglicht es ein Wartungs-Ausbildungszentrum dem Personal, Arbeiten in einem interaktiven Kontext unter Bedingungen auszuführen, die den tatsächlichen betrieblichen Situationen entsprechen.

▼ Offensichtlich befindet sich die ungarische Sicherheitsstrategie auf dem richtigen Weg. Dennoch sind weitere Anstrengungen nötig, um unser Bewusstsein zu schärfen und unser Wachsamkeit zu verbessern, insbesondere auf dem Gebiet der Anlagenrevisionen. Wir haben die Bedeutung dieser Art des Stillstandes erkannt und sind entschlossen, den Anforderungen besser als zuvor zu entsprechen. Folgendes ist z. B.

vorgesehen:

- Nach gründlicher Begutachtung der Praktiken der US NRC und der Schlussfolgerung, dass solch ein Ansatz auch für Ungarn von Nutzen sein würde, entwickelt die HAEA nun einen neuen gesetzlichen Leitfadens für die Durchführung von Anlagenrevisionen. Wir bemühen uns zur Zeit, diesen neuen Leitfadens bis zum Jahresende fertig zu stellen. Die geplante Lebensdauererlängerung der Reaktorblöcke des KKW Paks wird darin ebenfalls berücksichtigt.

- Um zu entscheiden, welche Art Analysewerkzeuge wir benötigen, um unser Sicherheitsniveau zu erhöhen, haben wir die mit einem Anlagenstillstand verbundenen Sicherheitsziele gründlich neu bewertet.

- Zur besseren Berücksichtigung

wartungsbezogener Arbeiten bei einer Anlagenrevision haben wir unsere aufsichtsbehördliche Überwachungsstrategie überarbeitet. So haben wir z. B. die annehmbaren Sicherheitsschwellenwerte für diesen Betriebszustand neu überdacht.

- Im Bereich Revision/ Brennelementwechsel erhalten unsere Gutachter den selben Grad an Vorbereitung und Ausbildung für ihre Prüf-, Bewertungs- und Vollzugsaufgaben wie für den Leistungsbetrieb.

▼ In diesem Prozess ist die europäische und internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Nicht-Leistungsbetriebs von Kernkraftwerken für uns von größter Bedeutung, da eine hoch entwickelte Sicherheitspraxis eine wertvolle Quelle der Inspiration darstellt. ●

### DIE UNGARISCHE ATOMENERGIEBEHÖRDE (HAEA)

Die HAEA ist eine zentrale Organisation der öffentlichen Verwaltung mit einem generellen Vollmachtsumfang. Ihre Aufgaben und aufsichtsbehördliche Kompetenz werden von der Regierung festgelegt. Die HAEA regelt alle Aktivitäten auf dem Gebiet der kerntechnischen Sicherheit (insbesondere die Genehmigung und Aufsicht von kerntechnischen Anlagen) und koordiniert die Regelung anderer Aktivitäten von Ministerien und Verwaltungsbehörden. Gemäß dem neuen Atomgesetz von 1997 werden der Generaldirektor der HAEA und seine Stellvertreter vom Premierminister ernannt und wieder des Amtes enthoben. Die Regierung übt die Aufsicht über die HAEA durch den Präsidenten der Ungarischen Atomenergiekommission aus. Die HAEA umfasst zwei Direktorate, das General Nuclear Directorate (GND) und das Nuclear Safety Directorate (NSD). Zu den Aufgaben des GND gehört die sichere Verwahrung und Verpackung von Kernmaterial sowie die Genehmigung von Transport und Verpackung. Das NSD ist für die Genehmigung und

Aufsicht kerntechnischer Anlagen sowie für die Vollstreckung behördlicher Anordnungen verantwortlich. Das NSD beschäftigt 40 graduierte Experten.

Das HAEA-NSD überwacht vier Anlagen:

- das KKW Paks (4x460 MW WWER 440/213), wo das NSD über eine Überwachungsstelle vor Ort verfügt;
- den 100 KW-Ausbildungsreaktor, der vom Institut für Nukleartechnik der Technischen Universität Budapest betrieben wird;
- den 10 MW-Forschungsreaktor in Budapest, der vom KFKI Atomic Energy Research Institute betrieben wird;
- das Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente in Paks, das von der Öffentlichen Agentur für Radioaktive Entsorgung (PURAM) betrieben wird.

Weiterhin betreibt die HAEA verschiedene Zentren für den Katastrophenschutz, für Ausbildung und für Analysen (CERTA), die praktisch alle Bedürfnisse einer Aufsichtsbehörde abdecken.

## ERHÖHTE VERFÜGBARKEIT BEDEUTET ERHÖHTE SICHERHEIT

■ Als privatwirtschaftlicher Energieversorger auf einem deregulierten Strommarkt richtet Die Firma Nuclenor ihre äußerste Aufmerksamkeit darauf, die Kostenrentabilität ihrer Handlungen zu steigern. Nuclenor ist eine Tochter von Iberdrola und Endesa (mit Anteilen von je 50 %) und besitzt und betreibt einen Siedewasserreaktor mit einer installierten Leistung von 466 MWe in Santa María de Garoña in der Nähe von Burgos. Daneben besitzt Nuclenor 2 % Anteile am 1066 MWe-Druckwasserreaktor Trillo in der Region Guadalajara. Nuclenor wurde in den 60er Jahren gegründet und hat seinen Sitz in Santander. Das Ziel der Unternehmensgründung war die Konstruktion und Errichtung der Anlage Santa María de Garoña, dem dritten kommerziellen KKW Spaniens. Die Firma verfügt somit über wertvolle Erfahrungen in der Reaktorauslegung, der Errichtung und im Betrieb. Ein wichtiges Ziel für das Betriebspersonal liegt nun darin, die Verfügbarkeit der Anlage durch kürzere Stillstandszeiten zu erhöhen. Julio González, seines Zeichens verantwortlich für Systemtechnik, Anlagensimulation, probabilistische Risikoanalysen (PRA), Sicherheitsanalysen etc. in Bezug auf sicherheitstechnische und aufsichtsbehördliche Anforderungen und mit der Leitung der Informationssysteme und -technik des Unternehmens betraut, erläutert die Herausforderungen an die Konkurrenzfähigkeit von Nuclenor und beschreibt die Art und Weise, auf die Anlagenstillstände kosteneffektiver durchgeführt werden können und die Sicherheit dabei maximiert werden kann.

### Es gibt keine Diskrepanz zwischen Verfügbarkeit und Sicherheit

▼ Anlagenstillstände sind aus mehreren Gründen kritische Zeiträume. Erstens sind sie im Vergleich zum Normalbetrieb nur ein kleiner Ausschnitt der Lebensdauer eines Reaktors, doch ereignen sich genau in diesem Zeitraum oft die bedeutsamsten Veränderungen. Die zugehörigen Abläufe und

Prozeduren sind deshalb selten so detailliert und wiederkehrend wie die betrieblichen Abläufe. Zweitens stellen Anlagenstillstände Zeiträume dar, in denen größtenteils «ungewöhnliche» und heikle Aufgaben in einem engen Zeitrahmen durchgeführt werden, z. B. das Öffnen und Schließen des Reaktorbehälters, das Be- und Entladen von Brennelementen ●●●

Von Julio González, Leiter der Gruppe Systeme, Abteilung Ingenieurtechnik, Nuclenor SA



●●● etc. Die Koordinierung und Planung dieser vielen Aufgaben - und der dazugehörigen Übergangszustände - ist daher eine hoch komplexe Angelegenheit. Drittens stellt die Arbeit von Fremdpersonal, das nur zeitweise für Wartungsarbeiten oder Modifikationen vor Ort in der Anlage ist, ein Problem bezüglich der Vertrautheit mit der Anlage und ihren Einrichtungen dar. Viertens werden Anlagenstillstände lediglich als unproduktive Zeiträume gesehen, und der Druck, die Anlage so früh wie möglich wieder anzufahren, wächst ständig. Aus all diesen Gründen ist es eine echte Herausforderung, die Sicherheit im Nicht-Leistungsbetrieb zu gewährleisten und gleichzeitig die Verfügbarkeit der Anlage zu erhöhen. Dennoch sind wir bei Nuclenor davon überzeugt, dass die Sicherheit völlig mit Effizienz im wirtschaftlichen Bereich vereinbar ist und dass Anlagen mit der höchsten Verfügbarkeit auch die höchste Sicherheit aufweisen. Zwischen diesen beiden Zielen gibt es keine Diskrepanz. Mit anderen Worten: im Kontext des kosteneffektiven Betriebs ist kein Kompromiss mit der Sicherheit möglich.

**Internationale Zusammenarbeit nutzen**

▼ In Santa María de Garoña lag die durchschnittliche Dauer der vergangenen drei Revisionen bei etwa 40 Tagen. Im Gegensatz dazu ist man hier bei einer Reihe von EVU in den USA bedeutend effizienter.

Wir haben daher den Zeitraum für die nächste Revision im März 2003 versuchsweise mit 21 Tagen angesetzt, d. h. die Stillstandszeit in etwa halbiert. Dies ist zugegebenermaßen ein recht ehrgeiziges, aber realistisches Ziel. ▼ Da unser Unternehmen an vielen internationalen Kooperationsvorhaben beteiligt ist, sind wir es gewohnt, die von unseren Kollegen in verschiedenen Elektrizitätsunternehmen gesammelte Erfahrung aufmerksam zu verfolgen. Unsere Mitgliedschaft in der von General Electric organisierten BWR Owners Group versorgt uns mit wichtigen Informationen für Verbesserungen, da wir hier die Möglichkeit haben, uns über die weltweit gesammelten Erfahrungen zu informieren. Weiterhin stehen wir in sehr enger Verbindung mit Exelon (hervorgegangen aus dem Zusammenschluss von Philadelphia Power & Light und Unicom), einem Betreiber von Reaktoren, die denen unserer Anlage Santa María de Garoña sehr ähnlich sind. Exelon ist für uns ein Vorbild, da das Unternehmen große Fortschritte bei der Organisation von Anlagenstillständen gemacht hat. Wir beabsichtigen, die Erfahrung von Exelon wie auch die Ergebnisse unserer Zusammenarbeit mit europäischen SWR-Betreibern, besonders dem Schweizer KKW Mühleberg, das unserem sehr ähnlich ist, zu nutzen.

**Gleiche Aufmerksamkeit für Zustände im Nicht-Leistungsbetrieb wie im Normalbetrieb - gründliche PRA-Analyse liefert Anhaltspunkte**

▼ Nach sorgfältiger Betrachtung haben wir uns entschieden, durch eine rigorose Planung als Hauptelement die Halbierung des nächsten Revisionszeitraums und gleichzeitig eine Erhöhung der Sicherheit im KKW Santa María de Garoña zu erreichen. Mit diesem Gedanken haben wir einen 1991 vom Nuclear Utility Management and Resources Council (Numarc<sup>1</sup>) herausgegebenen Leitfaden konsultiert. Dieses Dokument mit dem Titel «Guidelines for Industry Actions to Assess Shutdown Management» bietet eine Anleitung zur Kontrolle, dass eine ausreichende Energieversorgung sowie genügend Systeme und Redundanzen während des Stillstands zur Verfügung stehen, damit die Sicherheit gewährleistet werden kann. Mit dieser Methode kann bewertet werden, wie lange und wie weit man sich im gegebenen Fall außerhalb der Sicherheitsreserven befunden hat. Auf diese Art wissen wir jederzeit, ob wir unter grünen, gelben oder roten Bedingungen arbeiten. ▼ Vor kurzem haben wir eine probabilistische Risikoanalyse zum Nicht-Leistungsbetrieb durchgeführt. Diese Analyse hat gezeigt, dass das Hauptrisiko für SWR mit dem Verlust der Möglichkeit der Nachwärmeabfuhr aufgrund einer Nichtaufrechterhaltung des

Kühlmittelinventars verbunden ist. Als Ergebnis dieser PRA-Analyse haben wir uns dazu entschieden, Vorschriften für den Nicht-Leistungsbetrieb und für Notfälle aufzustellen, die einen Detaillierungsgrad aufweisen, der mit den Betriebsanweisungen für den Leistungsbetrieb vergleichbar ist. ▼ Meiner Ansicht nach liegen die Risiken nicht so sehr im Anlagenstillstand sondern beim tatsächlichen Abfahren der Anlage, d. h. bei den sich verändernden Bedingungen und Übergangszuständen. Ein Fehler, eine falsche Vorgehensweise zum Beispiel, könnte ein Leck erzeugen. Dann ist es mit einem Risiko verbunden, das Wasser aus dem Flutraum und dem BE-Lagerbecken abzulassen. Das soll nun nicht heißen, dass das Abfahren riskanter ist als der Normalbetrieb, jedenfalls nicht solange die Arbeiten sorgfältig und im Detail geplant sind. In dieser Hinsicht sind die Deregulierung des Marktes und eine größere Konkurrenz ein ungeheurer Anreiz, Anlagenstillstände dahingehend zu überarbeiten, dass die Verfügbarkeit durch kürzere Stillstandszeiten erhöht wird.

**Das Ziel: zunehmend kosteneffektive Arbeitsmethoden**

▼ Um kurze und sichere Stillstandszeiten zu erreichen wurden folgende Schlüsselfaktoren identifiziert: ● Die Arbeiten für den Brennelementwechsel - d. h. Öffnen und Schließen des Reaktors,

“ *Nach unserer Ansicht muss die Sicherheit mit Effizienz im wirtschaftlichen Bereich vereinbar sein. Im Kontext des kosteneffektiven Betriebs ist kein Kompromiss mit der Sicherheit möglich.* ”

Handhabung der Brennelemente, Prüfungen etc. - werden zum kritischen Pfad der Revision. ● Die Arbeiten im Nicht-Leistungsbetrieb werden als Teamarbeit geplant, und ein detailliertes Programm der Aufgaben jedes Teams wird erstellt. ● Ein genau detaillierter Zeitplan wird für alle Arbeiten aufgestellt, insbesondere im Zusammenhang mit dem Brennelementwechsel. ● Einsatzpläne werden überprüft um sicher zu stellen, dass das zur Durchführung der Aufgaben benötigte Personal verfügbar ist. Eine höhere Personalverfügbarkeit bei Stillstandsperioden kann erreicht werden, indem verhandelt wird und Lohnanreize gegeben werden, um diese Ziele zu erreichen. ● Gewisse Arbeiten, z. B. vorbeugende Wartungsarbeiten, werden aus dem Nicht-Leistungsbetrieb in den Normalbetrieb verlegt. ▼ Da einer der entscheidenden Planungsaspekte die «Fenster» sind (jene Zeiträume, in denen einige Systeme verfügbar oder nicht verfügbar sind), bietet eine vorbeugende Wartung im Leistungsbetrieb mehr Entspannung bei der Revision, indem die Anzahl der durchzuführenden Arbeiten wie auch die Anzahl von Systemen und Gerätschaften, die betroffen sind, verringert wird. Dies ermöglicht ebenso eine bessere Kontrolle und eine höhere Qualität während des Normalbetriebs, da sich die Arbeiten über einen längeren Zeitraum erstrecken. ●●●

●●● Da die kollektive Dosis pro Tag in der Regel unverändert bleibt, führt eine bessere Planung, die zur Verkürzung der Stillstandszeit dient, auch zu einer niedrigeren Gesamtdosis.

▼ Wo stehen wir nun also und was ist zu tun, damit wir unsere Ziele erreichen können? Zunächst müssen wir ein neues Wartungsprogramm erarbeiten, bei dem die vorbeugenden Wartungsarbeiten in den Normalbetrieb verlagert werden (so genannte «on-line maintenance»). Sind wir hierbei erfolgreich, so werden wir die Revision in einer viel kürzeren Zeit als bisher durchführen können. Im Anschluss daran werden wir unsere probabilistische Risikoanalyse zu Rate ziehen müssen, um die neue Situation zu bewerten und die Auswirkungen dieser Veränderungen auf das Sicherheitsgleichgewicht von Stillstand und Normalbetrieb zu überprüfen. Um mittel- und langfristig gute Leistungsindikatoren zur Verfügung zu haben werden wir, der Betreiber, unsere PRA-Ergebnisse anwenden und laufend aktualisieren müssen. Die ist ein Thema, das wir zur Zeit mit den Aufsichtsbehörden diskutieren und zu dem wir eine Einigung anstreben. Drittens müssen wir noch mit unserem eigenen Personal wie auch mit den Unterauftragnehmern einige aufsichtsbehördliche Aspekte klären und Verhandlungen führen, um die Planung mit dem Ziel der Halbierung der Anlagenstillstandszeit während der Revision zu Ende zu führen.

Schließlich müssen wir die während des Stillstands durchzuführenden wesentlichen Änderungen gut vorbereiten und planen, um die Anlage in einem Zustand zu halten, der mit unseren langfristigen Zielen kompatibel ist. Die grundsätzliche Auslegung wie auch der größte Teil der Detailauslegung wird von unserem Eigenpersonal durchgeführt, die Umsetzung erfolgt teilweise durch Fremdfirmen. Zweifellos beginnt für das KKW Santa María de Garoña eine neue Ära. ●

1- Numarc ist Teil des Nuclear Energy Institute (NEI).

**Das nächste Eurosafe-Forum findet am 4. und 5. November 2002 in Berlin statt. Der Schwerpunkt wird auf der Harmonisierung von Sicherheitspraktiken in Europa liegen. Über die Vorträge und Diskussionen des Forums wird in der dritten Ausgabe der Eurosafe Tribune berichtet werden, die im Januar 2003 erscheint.**

*Eurosafe Tribune* ist eine Zeitschrift des Eurosafe-Forums. **Herausgeber:** Jean-Bernard Chérié, IRSN – Benoît DeBoeck, AVN – Ulrich Erven, GRS – Peter Storey, HSE – Christer Viktorsson, SKI – José I. Villadóniga Tallón, CSN. **Koordinierung:** Horst May, GRS – Emmanuelle Mur, IRSN. **Bildnachweis:** Thomas Gogny, Médiathèque EDF und Photothèque IRSN. **Redaktion:** Jean-Christophe Hedouin. **Gesamtherstellung:** Euro RSCG Publishing. **ISSN:** 1634-7668. **Pflichtexemplar:** oktober 2002.