

# Nachrüstung des 20jährigen Reaktors im schwedischen Kernkraftwerk Oskarshamn 1

**Erstmals in der Geschichte der Kernenergie haben Monteure am Boden eines Reaktordruckbehälters gearbeitet, der bereits 20 Jahre lang in Betrieb war. Im Rahmen des sogenannten FENIX-Projekts, an dem ABB Atom maßgeblich beteiligt war, wurde der Reaktordruckbehälter des schwedischen Kernkraftwerks Oskarshamn 1 inspiziert und repariert. Die ausgewechselten Komponenten erfüllen jetzt die behördlichen Auflagen für die erneuerte Betriebsgenehmigung. In einer zweiten Etappe soll das Kraftwerk bis zur Jahrtausendwende noch weiter modernisiert werden.**

Instandsetzung und Nachrüstung haben heute speziell für das Gebiet der Kernenergie große Bedeutung; denn Standortgenehmigungen für neue Kernkraftwerke sind in etlichen Ländern kaum noch zu erhalten. Es liegt deshalb im Interesse der Betreiber, bestehende Anlagen betriebsfähig zu erhalten oder zu sanieren, so daß deren Zuverlässigkeit bewahrt und eine hohe Energieausnutzung gewährleistet bleibt. Nicht zuletzt ist es ja auch eine Frage der Werterhaltung.

## **Auslegungsphilosophie bei ABB Atom**

Schon bei der Entwicklung der Siedewasserreaktoren strebte ABB Atom konstruktive Lösungen an, die für Inspektionen, Wartungsarbeiten und Reparaturen gut zugänglich sind. Dazu gehört beispielsweise, daß die Kerneinbauten, also die im Innern des Reaktordruckbehälters (RDB) gelegenen Teile, durch Schraub- oder Klemmverbindungen zusammengefügt werden und nicht – wie bei anderen Reaktoren – durch Schweißen.

Eine realistische Möglichkeit zur Reparatur oder zum Auswechseln dieser schwer zugänglichen Teile ist in den von ABB Atom gelieferten Anlagen also gewissermaßen von Anfang an in der Konstruktion enthalten.

## **Regelmäßige Wartung und Revision**

Kernkraftwerke werden jährlich einmal zum Brennelementwechsel sowie zur Wartung und Revision abgestellt. Hierbei untersucht man vor allem die Abnutzung der einzelnen Komponenten. Etwaige Schäden, die eine Betriebseinschränkung erfordern würden, müssen rechtzeitig erkannt werden, damit Verfügbarkeit und Betriebssicherheit weiter gewährleistet bleiben. Durch schrittweises Auswechseln

**Niclas Säll  
Tore Waltersten**  
ABB Atom AB

bestimmter Komponenten werden die Anlagen so auf modernstem technischem Stand gehalten.

## **Oskarshamn 1, das älteste schwedische Kernkraftwerk**

Oskarshamn 1 ist das erste kommerziell genutzte Kernkraftwerk in den nordischen Ländern **1**. Die Betreibergesellschaft OKG, ein Konsortium privater und kommunaler Versorgungsunternehmen, gab die Anlage 1965 in Auftrag und entschied sich damals für eine schlüsselfertige Anlage mit ABB Atom als Hauptlieferant. Der Siedewasserreaktor (BWR) hatte eine garantierte elektrische Nettoleistung von 400 MW, die bei Lieferung auf 440 MW erhöht werden konnte. Mit den Bauarbeiten begann man noch im selben Jahr, und Anfang 1972 nahm das Kernkraftwerk den kommerziellen Betrieb auf.

## **Überprüfung des Reaktors**

Der Reaktor des Kernkraftwerks Oskarshamn 1 und vier andere schwedische Reaktoren mit äußeren Hauptkühlmittelpumpen wurden im September 1992 aufgrund einer behördlichen Auflage abgeschaltet. Man befürchtete nämlich, daß bei einem etwaigen Rohrbruch innerhalb des Sicherheitsbehälters Teile der Rohrisolierung abblättern und die im Kondensationsbecken vor der Einsaugöffnung des Kernnotkühlsystems befindlichen Siebe verstopfen könnten.

Die Betriebsleitung des Kernkraftwerks Oskarshamn 1 entschloß sich in diesem Zusammenhang für eine gründliche Überprüfung des technischen Gesamtzustands. Bei der Inspektion fand man u. a. Oberflächenrisse an kaltverarbeiteten Rohrbögen im Sicherheitsbehälter. Bei weiteren Inspektionen mit Hilfe von Fernsehkameras wurden an vier der sechs Speisewasserrohre im Reaktordruckbehälter durchgehende Risse in Nähe der RDB-Durchführung entdeckt.

Als Voraussetzung für einen weiteren langjährigen Kraftwerksbetrieb forderten die schwedischen Aufsichtsbehörden deshalb eine umfassende Überholung

des Kernkraftwerks. Zur Erfüllung dieser Forderungen hat der Betreiber ein umfangreiches Nachrüstungsprojekt eingeleitet.

Dieses unter dem Namen FENIX<sup>1)</sup> laufende Projekt ist unterteilt in die Etappen Reparatur und Modernisierung. Die Reparatur wurde inzwischen abgeschlossen, und man hat den Reaktor im Januar dieses Jahres wieder angefahren. Die Modernisierung zur weiteren Erhöhung der Sicherheit und Verfügbarkeit erfolgt bis zum Jahr 2000.

Von der Betreibergesellschaft OKG erhielt ABB Atom im Sommer 1993 zunächst den Auftrag zur Ausarbeitung von Vorschlägen, wie man den Reaktor-druckbehälter von Oskarshamn 1 für eine gründliche Inspektion und Reparatur vorbereiten könnte **2**. ABB Atom wurde später auch mit der Leitung und Durchführung dieser Arbeiten sowie mit der Entwicklung der erforderlichen Spezialausrüstungen und -werkzeuge betraut.

### Reaktordruckbehälter ausgeräumt und gereinigt

Um die Bodenkalotte des Reaktordruckbehälters einschließlich der Anschlußstützen sorgfältig von innen inspizieren zu können, mußten die Monteure direkt auf dem Boden des Reaktordruckbehälters arbeiten. Hierfür war zunächst zu klären, ob der kühne Gedanke, Menschen im Reaktordruckgefäß arbeiten zu lassen, überhaupt durchführbar ist, d.h. ob sich die Strahlenbelastung auf einen ungefährlichen Pegel senken läßt. Aus diesem Grunde berechnete ABB Atom zunächst die zu erwartende Strahlendosis im Reaktordruckbehälter.

Als erstes mußten sämtliche Brennelemente und Kerneinbauten demontiert, aus dem Reaktordruckbehälter gehoben und im Abstellbecken der Reaktorhalle abgesetzt werden.

Ein spezielles Problem ergab sich im Kernkraftwerk Oskarshamn 1 dadurch, daß



**Kernkraftwerk Oskarshamn an der Ostsee. Links Block 1, das erste kommerzielle Kernkraftwerk Schwedens. Der zugehörige Reaktor von ABB Atom wurde Anfang 1972 in Betrieb genommen und hat heute eine elektrische Nettoleistung von 440 MW.** **1**

zwischen Reaktor- und Abstellbecken für die Kerneinbauten keine Trennwand vorhanden war. Um den Reaktordruckbehälter entleeren, trotzdem aber die Kerneinbauten im Abstellbecken unter Wasser halten zu können, konstruierte man einen großen Stahlzylinder zum Aufsetzen auf den oberen Flansch des Reaktordruckbehälters. Nach Demontage sämtlicher Kerneinbauten wurde der Stahlzylinder in das Abstellbecken abgesenkt und auf dem Flansch des Reaktordruckbehälters montiert. Der Stahlzylinder war so hoch, daß dessen obere Kante in Höhe der Flurebene der Reaktorhalle lag **3**. Damit waren Inspektionen und Arbeiten im Reaktordruckbehälter in trockener Umgebung möglich. Die Innenwand im unteren Teil des Reaktordruckbehälters, die Hauptumwälzschleifen und das Nachwärmeabfuhrsystem konnten so gründlich gesäubert und dekontaminiert werden.

### Strahlenabschirmung

Nach Entleerung und Dekontamination des unteren Bereichs des Reaktordruckbehälters wurde an der Reaktorinnenwand eine besondere Strahlenabschirmung angebracht. Diese nach dem Teleskop-

Prinzip konstruierte dreiteilige Abschirmung war mit einem Personenaufzug versehen, so daß die Monteure schnell und bequem in den Reaktordruckbehälter hinabfahren konnten **4**.

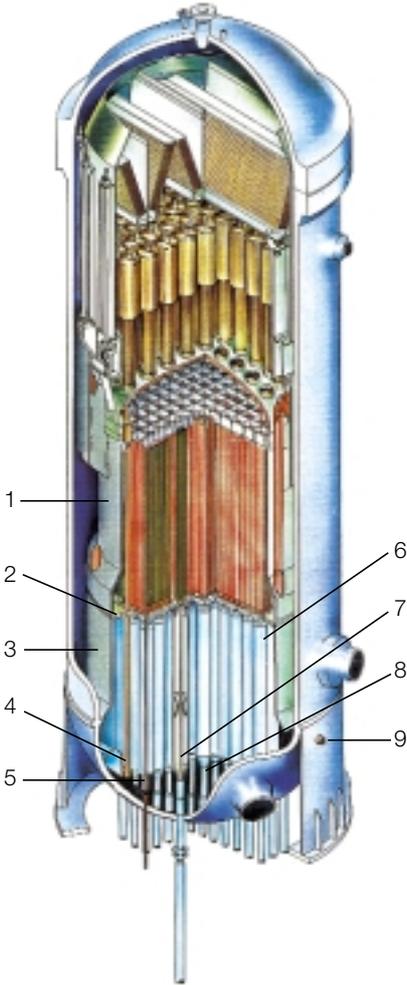
Die Auslegung der Strahlenabschirmung basiert auf der von ABB Atom berechneten Strahlendosis. Aufgrund der hohen Dosisleistung an der RDB-Wand im Bereich des Reaktorkerns mußte die Strahlenabschirmung dort 100 mm dick sein. Der untere Abschnitt der Abschirmung war mit verschiebbaren Tribünen versehen, so daß die Wand des Reaktordruckbehälters und die RDB-Durchführungen des Speisewassersystems zugänglich waren. Auch der Boden enthielt Schiebeföffnungen, durch die die RDB-Bodenstützen erreichbar waren. Auf diese Weise erhielt man im Februar 1994 einen zweckmäßigen und sicheren Arbeitsplatz am Boden des Reaktordruckbehälters.

### Strahlung um 99,88 % gesenkt

Nach der Dekontamination mit dem CORD-Verfahren, Hochdruckspülung und Montage der Strahlenabschirmung war die Strahlung im unteren Teil des Reaktor-

<sup>1)</sup> FENIX (schwedisch für den Vogel Phönix, Symbol der Unsterblichkeit): Fortsetzung der ENergieerzeugung In existierenden Anlagen

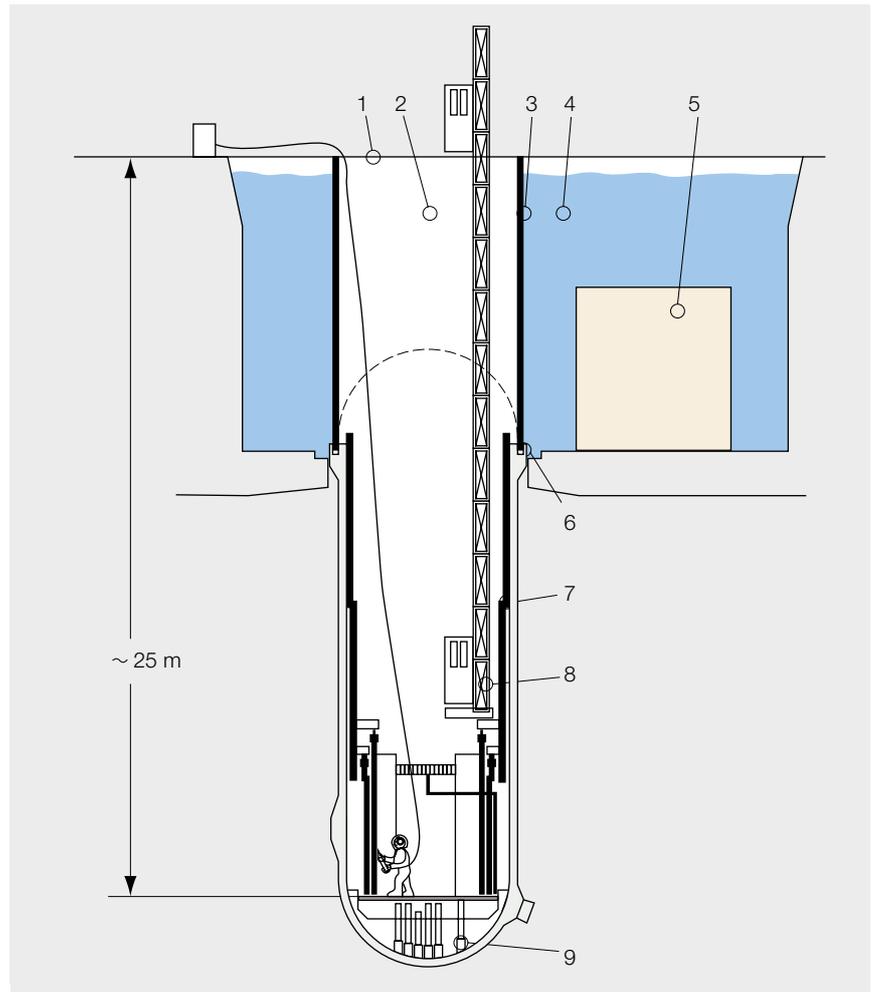
**Schnitt durch den Reaktordruckbehälter im Kernkraftwerk Oskarshamn 1 mit den Einsatzpunkten des Wiederinstandsetzungsprojekts FENIX** 2



- 1 Reparatur des Kernmantels
- 2 Auswechseln der Schraubverbindungen zwischen Kernmantel und Kernmantelabstützung
- 3 Ersatz der Kernmantelabstützung
- 4 Auswechseln der Rohre des Reaktorwasser-Niveaureglers und Montage zweier zusätzlicher Rohre
- 5 Verschließen nicht mehr benötigter Instrumentenstutzen
- 6 Auswechseln des Rohrs zum Messen des Druckabfalls über dem Kern
- 7 Reparatur von Neutronendetektorgehäusen
- 8 Auswechseln von Rohren, Stutzen und Rückschlagventilen im Reaktorkern-Notkühlsystem
- 9 Auswechseln von Speisewasserleitungen und Stutzen im Reaktordruckbehälter bis hinauf zum oberen Teil der Kernmantelabstützung

**Prinzipielle Darstellung des Reaktordruckbehälters mit dem zusätzlichen Stahlzylinder sowie der Strahlenabschirmung und dem Personenaufzug** 3

- |                                                             |                                                        |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1 Flurebene der Reaktorhalle                                | 6 Flansch des Reaktordruckgefäßes                      |
| 2 Zugang zum RDB                                            | 7 Dreiteilige Strahlenabschirmung in Teleskop-Bauweise |
| 3 Stahlzylinder                                             | 8 Personenaufzug                                       |
| 4 Abstellbecken für Kerneinbauten (vom RDB-Zugang getrennt) | 9 RDB-Bodenstützen                                     |
| 5 Kerneinbauten                                             |                                                        |



druckbehälters um 99,88% niedriger. Am Boden des Reaktordruckbehälters überstieg der Dekontaminationsfaktor sogar den Wert 1000: die Dosisleistung fiel von 20 auf weniger als 0,02 mSv/h ab. Damit war ein uneingeschränktes, gefahrloses Arbeiten möglich. Aus Sicherheitsgründen trugen die Monteure während der Arbeit im Reaktordruckbehälter trotzdem einen Vollschutzanzug.

**Zerstörungsfreie Prüfung**

Vor Beginn der Reparaturarbeiten wurden die Schweißnähte im unteren Teil des Reaktordruckbehälters und an den Anschlußstutzen sorgfältig inspiziert. Besondere Aufmerksamkeit widmete man dem Behälterboden mit allen Bodenstützen. Erst danach entschied sich die Betreiber-gesellschaft endgültig für die Reparatur des Reaktors.

### Instandsetzung des Reaktors

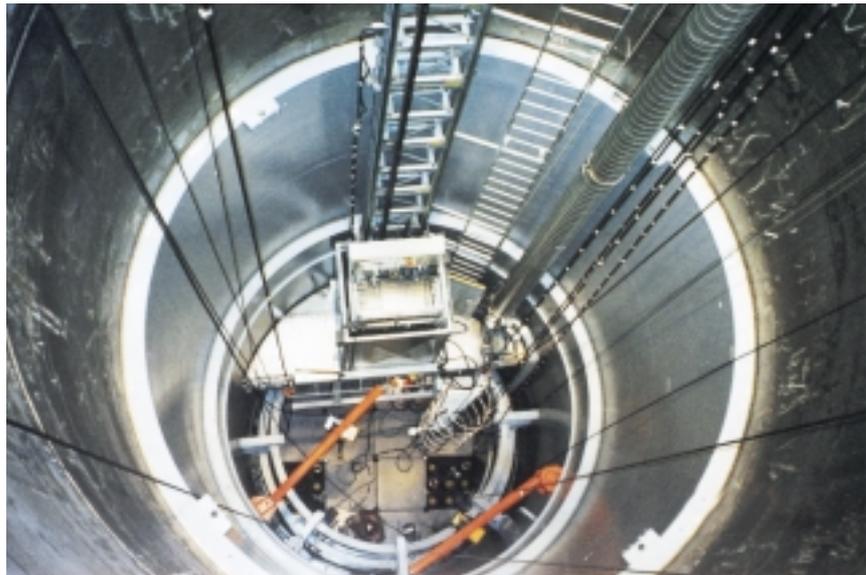
Im April 1994 erhielt ABB Atom den Auftrag, einen Maßnahmenkatalog zur Wiederinstandsetzung des Reaktors und der Anschlußstutzen entsprechend den Auflagen der Aufsichtsbehörden auszu- arbeiten. Auch der größte Teil der Re- paraturarbeiten selbst wurde ABB Atom an- vertraut.

Der Auftrag umfaßte u.a. das Auswech- seln von sechs Speisewasser-Steigrohren einschließlich Durchführungen innerhalb des Reaktordruckbehälters **5**, von Durchführungen für die Kernsprühanlage und allen Niveaumeßrohren. Weiter ge- hörten die Reparatur des Gehäuses für den Neutronendetektor und das Aus- wechseln der Kernmantelabstützung da- zu. Schließlich mußte auch der Reaktor- druckbehälter einschließlich der Kern- einbauten wieder in den betriebsfähigen Zustand versetzt werden.

### Konstruktive und arbeitsmethodische Verbesserungen

Um weniger Schweißnähte prüfen zu müssen, führte ABB Atom an mehreren Stellen konstruktive Verbesserungen ein. Beispielsweise wurden die früher mehr- fach geschweißten RDB-Wanddurch- führungen der Speisewasserrohre durch Schmiedeteile ersetzt.

Eine besondere Herausforderung war das Auswechseln der Kernmantelabstüt- zung, das sich aufgrund von Oberflächen- rissen im Flansch als notwendig erwiesen hatte. Um die alte Abstützung abtrennen zu können, stellte man ein großes, trans- portables Vertikalfräswerk auf dem RDB- Boden auf **6**. Die neuen Schweißfugen wurden mit außerordentlich hoher Ge- nauigkeit vorbereitet; bei einem Innen- durchmesser von rund 5000 mm betrug die Maßabweichung höchstens  $\pm 0,2$  mm. Zur Qualifikation des vollautomatischen Schweißverfahrens vor der Genehmigung und zu Ausbildungszwecken diente eine Attrappe im Maßstab 1:1.



**Stahlzylinder mit Strahlenabschirmung und Personenaufzug im Reaktordruckbehälter**

**4**

### Auswertung neuester Materialkenntnisse

Seit der ersten Reaktorlieferung durch ABB Atom wurde mit Unterstützung durch eigene und von der Elektrizitätswirtschaft geförderte Forschungsprojekte eine um- fangreiche Datenbank über die Eigen- schaften verschiedener Werkstoffe in nuklearer Umgebung aufgebaut. Dazu gehörten u.a. Untersuchungen im ABB- Werkstofflaboratorium. Materialproben aus

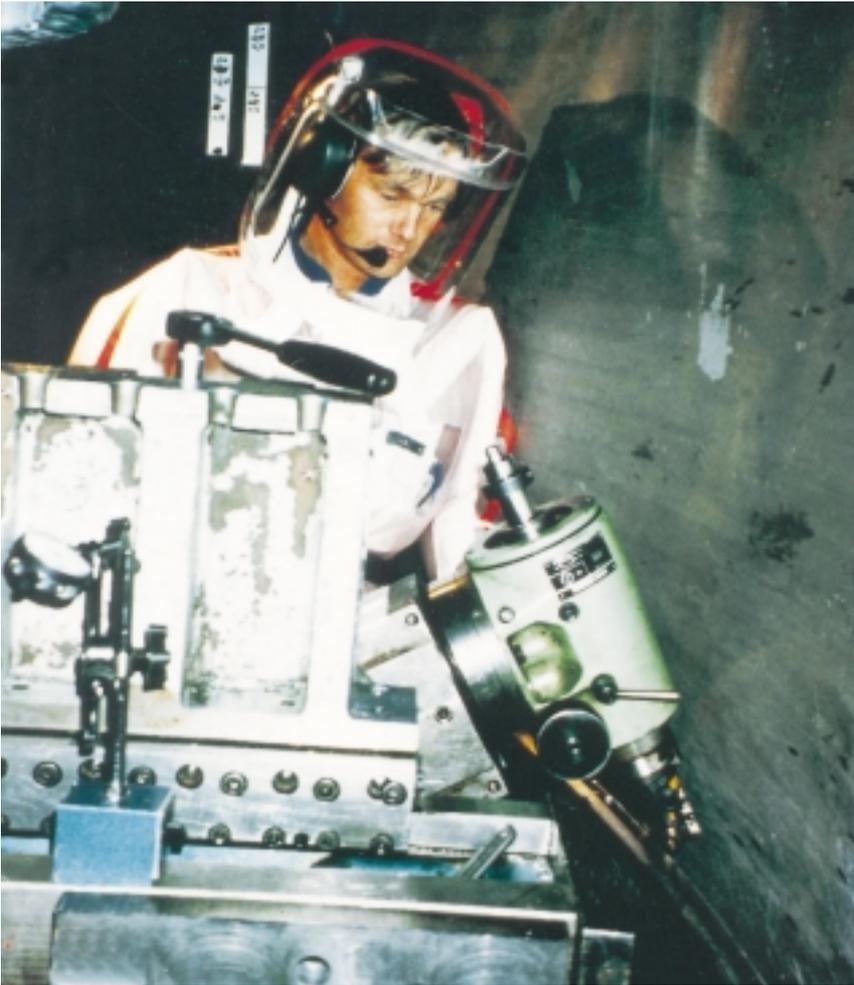
einigen der arbeitenden Reaktoren wur- den analysiert, um den Einfluß der Was- serchemie im Primärkreislauf auf das Material zu erforschen.

Die Ergebnisse dieser Tätigkeiten haben sich auf die Wahl der Reparatur- methoden und der Werkstoffe bei den jetzt durchgeführten Arbeiten ausgewirkt. Beim Auswechseln der Kernmantelabstüt- zung entschied man sich beispielsweise für nichtrostenden Stahl der Qualität

### Verschweißen von Speisewasserrohren im Reaktordruckbehälter

**5**



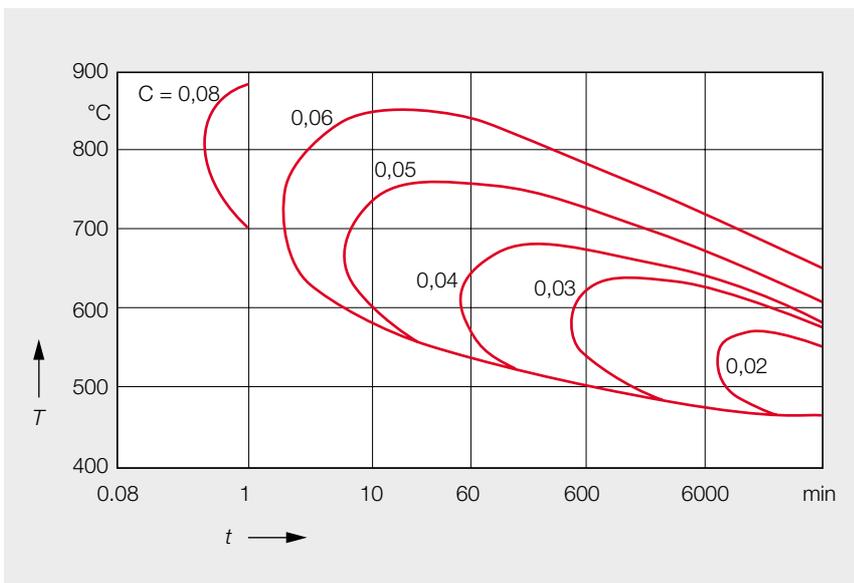


**Abtrennen der Kernmantelabstützung**

**6**

**Sensibilisierungszeit  $t$  verschiedener Edelmstähle mit unterschiedlichem Kohlenstoffgehalt  $C$  bei verschiedenen Temperaturen  $T$**

**7**



316NG (Nuclear Grade) anstatt der ursprünglich verwendeten Qualität 304. Die neue Stahlsorte hat einen Kohlenstoffgehalt von höchstens 0,02% und ist deshalb bei der gegebenen Wasserchemie nicht gefährdet **7**.

**Neue Möglichkeiten für «ältere» Reaktoren**

Wie die Erfahrungen aus den Kontroll- und Reparaturarbeiten an dem über 20jährigen Kernkraftwerk Oskarshamn 1 im Rahmen des FENIX-Projekts zeigen, läßt sich ein Reaktordruckbehälter so säubern und die radioaktive Strahlung durch maßgeschneiderte Strahlungsabschirmungen so weit senken, daß akzeptable Arbeitsbedingungen geschaffen werden.

Außerdem zeigten die Inspektionen, daß der eigentliche Reaktordruckbehälter auch nach über 20jährigem Betrieb intakt ist und kein Zeichen von abnormalem Verschleiß aufweist.

Der Einsatz von speziell für die nukleare Umgebung geeigneten Werkstoffen beim Auswechseln von Kerneinheiten und Rohrleitungen hilft dabei, die Betriebssicherheit der Anlage zu verbessern und ihre Lebensdauer zu verlängern. Daß dies technisch möglich ist, haben die Arbeiten am Kernkraftwerk Oskarshamn 1 bewiesen.

**Adresse der Autoren**

Niclas Säll  
Tore Waltersten  
ABB Atom AB  
S-72163 Västerås/Schweden  
Fax +46 (0) 21 18 86 93