

---

## **RSK - STELLUNGNAHME**

### **Untersuchungsvorhaben SR 2318 des BMU „Bewertung der Aussagefähigkeit von Ultraschall- und Wirbelstromprüfung austenitischer Plattierungen von Reaktordruckbehältern“**

vom 27.01.2005 (379. Sitzung)

#### Inhaltsübersicht

- 1 Beratungsauftrag
- 2 Sachverhalt
- 3 Beratungsgang
- 4 Bewertungsmaßstäbe
- 5 Sicherheitstechnische Bewertung des Sachverhalts
- 6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

#### **1 Beratungsauftrag**

Mit dem Schreiben (Az.: AG RS 1 3 – 17018/1) (Beratungsunterlage [3]) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) vom 30.12.2003 war die RSK um ihre Stellungnahme zu den möglichen Folgen aus den Erkenntnissen des Untersuchungsvorhabens SR 2318 gebeten worden. Nach Darlegung des BMU in diesem Schreiben wurden im Rahmen des Vorhabens zerstörungsfreie Prüfungen (zfP) an Testkörpern durchgeführt, die im Plattierungsbereich Fehler enthielten. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen seien Prüfungen an einer realen Komponente (Großbehälter an der Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart (MPA)) mit dem Ziel vorgenommen worden, eine Bewertung der Aussagefähigkeit von Ultraschall (UT)- und Wirbelstrom (ET)-Prüfungen (Bezeichnungen UT und ET nach der DIN-Norm EN 473) an austenitischen Plattierungen von Reaktordruckbehältern (RDB) zu erhalten. Es habe sich herausgestellt, dass ein Teil der eingebrachten Fehler nur durch eine Verfahrenskombination von UT- und ET-Prüfverfahren oder auch gar nicht gefunden wurden bzw. eine Bewertung der Fehler nur durch die Verfahrenskombination möglich ist.

Die Stellungnahme soll die folgenden Fragen beantworten:

1. Ist das kerntechnische Regelwerk hinsichtlich des UT- und ET-Prüfverfahrens auf die RDB-Plattierung anzupassen?
2. Sind die jetzt festgestellten Unsicherheiten bei den bisherigen Prüfverfahren hinsichtlich der

---

vorhandenen Analysen nachträglich anders zu bewerten?

3. Sind die Ergebnisse auf die Prüfungen anderer komplexer Schweißverbindungen, wie zum Beispiel Mischnähte, übertragbar?

## **2 Sachverhalt**

Bei einer Bestandsaufnahme zur zFP von Plattierungen hatte sich gezeigt, dass die meisten Untersuchungen an Testkörpern mit künstlichen Fehlern (Nuten, Bohrungen) vorgenommen worden waren.

Zur Durchführung des Vorhabens SR 2318 wurden an der MPA Stuttgart Testkörper mit natürlichen Fehlern (mit interkristalliner Spannungsrisskorrosion) in der Plattierung gefertigt. Die Testkörper hatten eine Dicke von rund 150 mm, die der Wanddicke des RDB eines Kernkraftwerks mit Siedewasserreaktor (SWR) entspricht. Daher konnte neben der DWR-Innenprüfung (Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor (DWR), UT, ET) auch die SWR-Außenprüfung (SWR, UT) untersucht werden.

Das Untersuchungsvorhaben SR2318 setzte sich aus zwei Phasen zusammen. In der Phase 1 wurden Ultraschall- und Wirbelstromverfahren an Testkörpern durchgeführt, die gezielt im Plattierungsbereich eingebrachte Fehler enthielten. In der Phase 2 wurden die Prüfungen an einer realen Komponente (MPA-Großbehälter) vorgenommen. Das Ziel der Untersuchungen war eine Bewertung der Aussagefähigkeit von Ultraschallprüftechniken (UT)- und Wirbelstromprüftechniken (ET)- an austenitischen Plattierungen von Reaktordruckbehältern.

Die Messungen zeigten, dass die meisten Plattierungsfehler mit den UT-Standardprüftechniken nachweisbar sind; teilweise aber waren die Echohöhen gering. Günstige Ergebnisse wurden bei der Innenprüfung mit einem Gruppenstrahlerprüfkopf erzielt, insbesondere in Verbindung mit der ET-Prüftechnik. Untersuchungen an Testkörpern mit Fehlern, die den prüfenden Institutionen unbekannt waren (Blindversuche), wurden in Phase 2 des Vorhabens durchgeführt.

Am MPA-Großbehälter wurden drei Bereiche geprüft. Zwei Bereiche enthielten künstliche Fehler (Nuten) in oder unter der Plattierung; ein neu geschaffener Bereich war mit natürlichen Plattierungsfehlern (Ermüdungs-, Heiß- und Unterplattierungsrisse (UPR) sowie Schweißfehler (Schlacke)) versehen worden. Die Lagen dieser Fehler waren nicht bekannt gegeben worden. Es wurden Außenprüfungen (SWR, UT) und, basierend auf den Ergebnissen der Phase 1, eine Verknüpfung von UT- und ET-Ergebnissen (DWR) vorgenommen. Für die Qualifikation der Prüftechnik wurde eine Vorgehensweise nach der deutschen ENIQ (European Network for Inspection Qualification)-Richtlinie gewählt. Mit der Verfahrenskombination (UT; ET) war ein besserer Nachweis von Plattierungsfehlern möglich als mit den Einzelverfahren. Das gute Nachweisvermögen der UT-Prüfung für tiefer in der Plattierung und für unter der Plattierung im Grundwerkstoff gelegene Fehler wird durch die für Oberflächenfehler sensitive ET-Prüfung ergänzt.

---

### 3      **Beratungsgang**

Der RSK-Ausschuss DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE beriet in der 43., 44. und 45. Sitzung am 31.03.2004, 05.05.2004 und am 22.06.2004.

#### **43. Sitzung am 31.03.2004**

Dem RSK-Ausschuss DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE lagen die Beratungsunterlagen [1], [2] und [4] sowie die Tischvorlagen [5] bis [8] und die nachgereichte Beratungsunterlage [9] vor.

Es wurden die folgenden Berichte erstattet:

- Bericht der MPA Stuttgart
- Bericht der Firma IntelligeNDT
- Bericht des IzfP Saarbrücken
- Bericht des TÜV Nord.

#### **• Bericht der MPA Stuttgart**

Die MPA Stuttgart berichtete anhand der Beratungsunterlage [6]. Nach Darlegung der MPA Stuttgart wurden in der Phase 1 des Vorhabens SR 2318 an Testkörpern mit im Plattierungsbereich gezielt eingebrachten Fehlern Prüfungen mit Ultraschall- und Wirbelstromverfahren durchgeführt. Es sei das Ziel der Untersuchungen gewesen, die Aussagefähigkeit von UT- und ET-Prüfungen an austenitischen Plattierungen von Reaktordruckbehältern zu bewerten.

Bei einer Bestandsaufnahme zur zerstörungsfreien Prüfung von Plattierungen habe sich gezeigt, dass die meisten Untersuchungen an Testkörpern mit künstlichen Fehlern (Nuten, Bohrungen) vorgenommen worden seien. Zur Durchführung des Vorhabens SR 2318 seien an der MPA Stuttgart Testkörper mit Fehlern (Risse) in der Plattierung gefertigt worden. Die Testkörper seien rd. 150 mm (SWR-RDB) dick, so dass neben der DWR-Innenprüfung (UT, ET) auch die SWR-Außenprüfung (UT) hätte untersucht werden können. Die Messungen hätten gezeigt, dass die meisten Plattierungsfehler mit den UT-Standardprüftechniken nachweisbar sind, teilweise allerdings nur geringe Echohöhen liefern. Günstige Ergebnisse seien bei der Innenprüfung mit einem Gruppenstrahlerprüfkopf erzielt worden. In Verbindung mit der ET-Prüftechnik seien Fehlercharakterisierungen in gewissen Grenzen möglich. Untersuchungen an Testkörpern mit für die prüfenden Institutionen unbekanntem Fehlertyp (Blindversuche), die dann eine weitere Bewertung der Aussagefähigkeit von zerstörungsfreien Plattierungsprüfungen unter realistischen Bedingungen gestattet hätten, seien in der Phase 2 des Vorhabens durchgeführt worden. In der Phase 2 des Vorhabens seien die Prüfungen an einer realen Komponente (MPA-Großbehälter) vorgenommen worden. In den MPA-Großbehälter seien folgende Plattierungsfehler eingebracht worden:

- Heißrisse,
- interkristalline Spannungsrisskorrosionsrisse,

- 
- Unterplattierungsrisse (UPR),
  - erweiterter UPR und davon ausgehend Risserweiterung und
  - Schweißfehler (Schlackenzeile).

Es seien am MPA-Großbehälter drei Bereiche geprüft worden, zwei mit künstlichen Fehlern (Nuten) in bzw. unter der Plattierung, sowie ein neu geschaffener Bereich mit natürlichen Plattierungsfehlern. Die Lage dieser Fehler sei den Prüffirmen nicht bekannt gegeben worden, d. h. es seien folgende Blindversuche vorgenommen worden :

- UT-Prüfung von der plattierten Seite aus (Innenprüfung, DWR),
- UT-Prüfung von der nicht plattierten Seite aus (Außenprüfung, SWR),
- ET-Prüfung der Plattierung und
- Kombination der Verfahren UT und ET für den Nachweis und Bewertung der Fehler.

Für die Innenprüfung sei, basierend auf den Ergebnissen der Phase 1, diese Verknüpfung von Ultraschall- und Wirbelstromergebnissen vorgenommen worden. Für diese Verfahrenskombination habe man eine Vorgehensweise nach der deutschen ENIQ-Richtlinie gewählt. Mit der Verfahrenskombination sei ein sichererer Nachweis von Plattierungsfehlern möglich als mit den Einzelverfahren. Das gute Nachweisvermögen der UT-Prüfung für tiefer in der Plattierung bzw. unter der Plattierung gelegene Fehler werde ideal durch die für Oberflächenfehler sensitive ET-Prüfung ergänzt. Die Ergebnisse sollten Eingang in das Regelwerk finden (KTA-Regel 3201.4).

Ergänzend gab die MPA Stuttgart an, dass bezüglich der Heißrisse und UPR die Vorgehensweise, wie bei Wiederkehrenden Prüfungen (WKP) üblich, Berücksichtigung gefunden hätten.

### • **Bericht von IntelligeNDT**

IntelligeNDT berichtete anhand der Beratungsunterlage [7]. Es wurden die folgenden Prüfungen angesprochen:

- Außen- und Innenprüfung mit Ultraschall am MPA-Testkörper TK3,
- Außenprüfung von Nuten in der Plattierung an der Behältertestwand,
- Außen- und Innenprüfung mit Ultraschall am MPA-Testkörper UPR1, UPR2 und UPR1` (Innenprüfung),
- Außen- und Innenprüfung mit Ultraschall am MPA-Testkörper IK1,
- Innenprüfung mit Ultraschall am MPA-Testkörper IK0.1, IK0.3 und am BAM PL 18 und
- Innenprüfung mit Ultraschall am MPA-Großbehälter.

### **MPA-Testkörper TK3**

Die Prüfungen am MPA-Testkörper TK3 seien von der plattierten und von der unplattierten Seite erfolgt. Der Prüfbereich habe die gesamte Plattierungsdicke und den angrenzenden Grundwerkstoff umfasst. Um bei

---

den Messfahrten die vorhandene Prüffläche vollständig auszunutzen, habe man aufgrund der geringen Testkörperabmessungen in das Prüfkopfsystem nur einen Prüfkopf einbauen können.

Die Auswertung der Fehlerart, -lage und -größe bei der Innenprüfung hätten eine gute Übereinstimmung mit den Angaben in der Fehlerbeschreibung gezeigt. Spezifische Unterschiede und Eigenschaften der Prüftechniken seien deutlich zu erkennen. Es sei signifikant, dass die 70°-Prüftechniken mit dem Amplitudenmaximum die Orte der Rissspitzen von UPR anzeigen. Die 70 SEL2 f~15-Prüftechnik zeige die obere (prüfkopfnah) Rissspitze. Die 70 SEL 1,5 (GSK1) zeige die untere und obere Rissspitze (UPR). Auch mit der 55 SEL3-Technik kann die untere und obere Rissspitze bewertet werden. Bei der ADEPT-60°-Technik (Advanced Dual Element Probe Technology) ergeben sich keine Vorzugsrichtungen bei der Rissspitzen-Auswertung. Bei der Außenprüfung habe die Auswertung der Fehlerart, -lage und -größe gute Übereinstimmung zwischen den Messungen mit Gruppenstrahler- und Standardtechnik gezeigt. Fehlertypen wie UPR, Heißrisse in der ersten und zweiten Plattierungslage, Nuten und Zylinderbohrungen seien eindeutig und sicher nachweisbar. Diese Fehler würden mit allen eingesetzten Techniken eindeutig detektiert. Die gemessenen Echohöhen bei der Einschallrichtung - X (- H) überschritten die Registriergrenze. In der entgegengesetzten Einschallrichtung + X (+ H) werde die Registriergrenze nicht erreicht, die ausgeprägte Anzeigendynamik sichere bei der Auswertung das Ergebnis.

### **Behältertestwand**

Die Prüfung an der IntelligeNDT-Testwand (RS 27 Testwand) sei von der unplattierten Seite erfolgt. Der Prüfbereich umfasse alle in der Plattierung liegenden Längs- und Querfehlernuten und den angrenzenden Grundwerkstoff. Die Fehler seien alle zur Innenoberfläche offen und lägen in der Plattierung. Die Prüfung sei mit Gruppenstrahlerprüfköpfen erfolgt.

Es seien neuentwickelte Gruppenstrahlerprüfköpfe „GSK1“ und „55ET1,5“ verwendet worden, wobei Einschallwinkel von 45° und 60° realisiert wurden. Die Prüffunktion TTT-Technik (Transversal-Transversal-Transversal) sei auch eingesetzt worden. Zusammenfassend sei festgestellt worden, dass Längs- und Quernuten in der Plattierung ab einer Tiefe von 2/3 Plattierungsdicke, unabhängig von der Lage in der Bandmitte oder dem Bandübergang sicher nachweisbar sind. Zur Fehlerbewertung und Anzeigenklassierung seien für die Prüftechnik die Bewertungskriterien nach dem KTA-Regelwerk zu berücksichtigen. Die Leistungsfähigkeit der Prüfköpfe sei durch den direkten Vergleich der Prüftechniken an den Nuten der Behältertestwand als repräsentativem Vergleichskörper abgesichert. Die Anwendung der Gruppenstrahlertechnik biete für Analysemöglichkeiten der Befunde in einer Prüffahrt deutlich Vorteile gegenüber den Standardtechniken.

### **MPA-Testkörper UPR1 und UPR2 und UPR1`**

Die Prüfung an den MPA-Testkörpern UPR1 und UPR2 sei von der plattierten und der unplattierten Seite erfolgt, während der MPA-Testkörper UPR1` von der plattierten Seite geprüft worden sei. Der Prüfbereich habe die gesamte Plattierungsdicke und den angrenzenden Grundwerkstoff umfasst. Aufgrund der Testkörperabmessung sei nur ein Prüfkopf in das Prüfsystem eingebaut worden.

---

Die Auswertungen der Messungen an den Testkörpern UPR1 und UPR 2 haben in Bezug auf die Fehlerart, -lage und -größe eine gute Übereinstimmung mit den Angaben in der Fehlerbeschreibung und der Fertigungsdokumentation gezeigt. Spezifische Unterschiede und Eigenschaften der Prüftechniken seien deutlich zu erkennen. Signifikant sei, dass die 70°-Prüftechniken (Standardtechnik SEL 2, f~33 Prüfkopf) mit dem Amplitudenmaximum über der Registriergrenze liegt. Die 70 SEL2 f~15-Prüftechnik und der ADEPT-60-Prüfkopf wiesen die Unterplattierungsrisse nach und lägen vereinzelt über der Registriergrenze. Die 70 SEL 1,5 (GSK1), 70 SEL 2 f33 weise die Unterplattierungsrisse eindeutig nach. Alle Anzeigen lägen über der Befundgrenze. Bei der Außenprüfung an den Testkörpern UPR1 und UPR2 seien mit allen verwendeten Prüftechniken WKP Standardprüfkopf 45 SET1 und 45 ET1 und der Gruppenstrahlertechnik 45 ET1,5 (19 x 25) V8C bzw. 45 ET1,5 (25 x 17) V15C die Unterplattierungsrisse aufgrund der Anzeigendynamiken eindeutig nachgewiesen worden. Die Auswertung bezüglich der Fehlerart, -lage und -größe zeige eine gute Übereinstimmung mit den Angaben der Fehlerbeschreibung und Fertigungsdokumentation. Die Echohöhen seien im Bereich der Registriergrenzen Nut 3 x 20 (Tiefe x Länge in mm) minus 6 dB nach der KTA-Regel 3201.4.

Die Unterplattierungsrisse am UPR2-Testkörper seien unter Berücksichtigung der Plattierungszuschläge über der Registriergrenze zur Anzeige gebracht worden. Die Innenprüfung mit Ultraschall am MPA-Testkörper UPR1` sei von der plattierten Seite erfolgt. Der Prüfbereich habe die gesamte Plattierungsdicke und den angrenzenden Grundwerkstoff umfasst. Die Auswertung der Fehlerart, -lage und -größe habe gute Übereinstimmung mit den Angaben in der Fehlerbeschreibung und der Fertigungsdokumentation (Nuten in der Plattierung und eine Zylinderbohrung) gezeigt. Spezifische Unterschiede und Eigenschaften der Prüftechniken seien zu erkennen. Die 70°-SEL2 f~33- und 70°-SEL2 f~15-Prüftechniken läge mit dem Amplitudenmaximum über der Registriergrenze. Die 70 SEL2 f~15-Prüftechnik und der ADEPT-60-Prüfkopf weise die Unterplattierungsrisse eindeutig nach. Die 70 SEL 1,5 (GSK1), 70 SEL 2 f~33 zeige die Orte der Unterplattierungsrisse eindeutig; die Amplitude läge immer über der Registriergrenze.

### **MPA-Testkörper IK1**

Die Außen- und Innenprüfung mit Ultraschall sei von der plattierten und von der unplattierten Seite erfolgt. Der Prüfbereich habe die gesamte Plattierungsdicke und den angrenzenden Grundwerkstoff umfasst. Es seien Spannungsrisskorrosions-Fehler aufzufinden und die Leistungsfähigkeit von Standardtechniken und von der Gruppenstrahlertechniken festzustellen. Bei der Innenprüfung habe die Auswertung der Prüfung auf Fehlerart, -lage und -größe eine gute Übereinstimmung mit den Angaben der Fertigungsdokumentation des Testkörpers gezeigt. Die spezifischen Unterschiede und die charakteristischen Eigenschaften der Prüftechniken seien zu erkennen. Bei den UT-Prüfungen habe man von der plattierten Seite aus alle Rissfelder auffinden können. Mit dem Gruppenstrahlerprüfkopf und der verwendeten 70 SEL 1,5-Prüftechnik habe man an allen Rissfeldern einzelne Anzeigen über der Registriergrenze nach KTA 3201.4 nachgewiesen. Mit dem WKP-Standardprüfkopf 70 SEL 2 f~33 habe man die Rissfelder im beschliffenen Bereich der Plattierung, sowie das tiefere Rissfeld im unbeschliffenen Teilbereich auffinden können. Die Anzeigenamplitude sei in der Höhe der KTA-Registrierergrenze von RG minus 4 dB bis RG minus 2 dB. Bezogen auf die Rissfelder gelte, dass die Anzeigenausdehnung durch die Methode der Mustererkennung im unbeschliffenen Bereich bestimmt werden. Es sei auf die Anzeigendynamiken (Amplituden oder

---

Laufzeitverhalten) geachtet worden. Bei der Außenprüfung von der unplattierten Seite habe man alle Rissfelder auffinden können. Die Anzeigen lägen mit den Standardprüfköpfen unter der KTA-Registrierengrenze; die Prüfköpfe ergäben uneinheitliche Ergebnisse. Bei den Rissfeldern sei die Anzeigenausdehnung, wie auch schon bei der Innenprüfung, durch die Methode der Mustererkennung bestimmt worden. Auf ausgeprägte Anzeigendynamiken (Amplituden- und/oder Laufzeitverhalten) sei zu achten. Mit dem WKP-Standardprüfkopf 45 ET 1 von außen seien alle Rissfelder (interkristalline Spannungsrisskorrosion) detektiert worden. Im beschliffenen Bereich sei die Echohöhe unter der KTA-Registrierengrenze gewesen. Das ca. 5 mm tiefe Rissfeld (Nr. 2) im unbeschliffenen Teilbereich des IK1-Testkörpers wurde mit RG minus 1 dB registriert. .

Der WKP-Standardprüfkopf 45 SET 1 habe das 5 mm tiefe Rissfeld (Nr. 4) im beschliffenen Teilbereich entsprechend der KTA-Registrierengrenze Nut 3 x 20 minus 6 dB mit einer Echohöhe von RG minus 1 dB angezeigt; das ca. 3 mm tiefe Rissfeld (Nr. 1) sei nicht angezeigt worden.

Die Gruppenstrahlertechnik habe alle Fehler bei der Innen- und Außenprüfung über der Registrierengrenze zur Anzeige gebracht.

### **Testkörper IK0.1, IK0.3 und BAM PL 18**

- MPA-Plattierungstestkörper IK0.1 mit interkristalliner Spannungsrisskorrosion (IkSpRK) in der Einlagen –Handplattierung (Oberfläche beschliffen):

Die Auswertung der Messergebnisse bezüglich der Fehlerart, -lage und -größe habe gute Übereinstimmung mit der Fehlerbeschreibung in der Fertigungsdokumentation gezeigt. Im Testkörper IK0.1 befände sich ein zur Oberfläche offenes netzartiges Rissfeld in der Einlagen-Handplattierung. Bei den UT-Prüfungen habe das Rissfeld von der plattierten Seite aus mit allen Prüftechniken aufgefunden werden können; die Anzeigenamplituden hätten über der KTA-Registrierengrenze Nut 3 x 20 minus 6 dB gelegen. Mit dem Gruppenstrahlerprüfkopf der 70 SEL 1,5-Prüftechnik seien Anzeigen aus dem Rissfeld des Testkörpers mit RG plus 2 dB gefunden worden. Die Anzeigen mit dem WKP-Standardprüfkopf 70 SEL 2 f~33 hätten bei RG plus 3 dB gelegen; mit der 70 SEL 2 f~15-Prüftechnik sei die Registrierengrenze um 4 dB überschritten worden. Mit der ADEPT-60-Prüftechnik habe sich das Rissfeld deutlich gezeigt. Die größte Echohöhe in diesem Rissfeld sei entsprechend der KTA-Registrierengrenze mit RG plus 20 dB registriert worden.

- MPA-Plattierungstestkörper IK0.3 mit einem 3 mm tiefem Schlitz in der Einlagen-Handplattierung (Oberfläche beschliffen):

Die Auswertung der Messergebnisse bezüglich der Fehlerart, -lage und -größe habe eine gute Übereinstimmung gezeigt. Die Plattierungsdicke betrage in der Mitte 3,2 mm; die erodierte Nut mit den Abmessungen 20 mm x 3 mm x 0,35 mm entspreche also nahezu der Plattierungsdicke.

- Plattierungstestkörper BAM PL 18 (ATUCHA) mit echten UPR unter den Raupenübergängen der Einlagen Bandplattierung (handbeschliffen) mit 55 mm Raupenbreite:

---

Der BAM-Testkörper PL 18 sei eine Arbeitsprobe für die Anlage ATUCHA und enthalte natürliche UPR. Dies sei durch das Entfernen der Plattierung bis zum Interface in einem Teilbereich des Testkörpers durch MP-Prüfung entsprechend der Testkörperdokumentation nachgewiesen worden. Die verbleibende Plattierung des PL 18-Testkörpers sei einlagig UP-Band plattiert (Plattierungsdicke ca. 10 mm) und handbeschiffen worden. Neben den UPR-Anzeigen Nr. 12 und 15 im plattierten Bereich enthalte der Testkörper auch, wie schon erwähnt, freigelegte UPR und eine Reihe von Flachbodenbohrungen, wobei ausschließlich die Flachbodenbohrungen im Plattierungsinterface ausgewertet worden seien. Die UPR wurden eindeutig nachgewiesen.

### **MPA-Großbehälter**

Im Prüfbereich 1 seien alle zu detektierenden Fehler UPR. Diese seien durch Überplattieren von zwei im Abstand von ca. 30 mm erodierten 2 mm tiefen Nuten hergestellt worden. Erschwerend für die Fehlerauffindung seien die reflektierenden Fehler im Volumen am gleichen Ort. Der Prüfbereich 3 enthalte in der Plattierung ausschließlich natürliche Fehler. Die Anzahl, Position, Größe, Form und Orientierung im Prüfbereich 3 seien dem Prüfpersonal nicht bekannt. Die Prüfung des Prüfbereichs 3 sei als Blindversuch angelegt.

Alle im Prüfbereich 1 und 2 enthaltenen Anzeigen seien bewertet worden; sie hätten die Bewertungsgrenze überschritten. Das Prüfergebnisse zeige, dass UPR-ähnliche Fehler mit einer Tiefenausdehnung von 2 mm aufgefunden worden sind. Bei der Prüfung des Prüfbereichs 3 seien insgesamt 85 Anzeigen über Registrierungsgrenze detektiert worden. 35 dieser Anzeigen seien wegen der Tiefenlage > 15 mm für die Prüfung der Plattierung und der plattierungsnahen Zone („UPR-Zone“) im Rahmen des Untersuchungsvorhabens nicht relevant. Von den 50 verbleibenden Anzeigen hätten 42 Anzeigen die Bewertungsgrenze (Nut 3 mm) überschritten.

In einer kurzen Diskussion zum Anschluss an den Bericht wurde aus dem Ausschuss angeregt, auch die nicht gefundenen Fehler zusammenzustellen. Nach Angabe des Berichterstatters sind derartige Tabellen im Bericht enthalten.

Auf Nachfrage aus dem Ausschuss wurde geantwortet, dass das SAFT(Synthetic Aperture Focusing Technique)-Verfahren im BMU-Vorhaben SR 2318 nicht angewendet worden sei.

Ergänzend wurde berichtet, dass bei zfP am HEW-Testkörper ein in einem Rissfeld liegender Riss – mit einer größeren Tiefe als das Rissfeld – gut erkennbar gewesen sei. Im Zusammenhang mit der Diskussion über die Frage, ob ein einzelner Riss oder ein Rissfeld besser erkennbar sei, wurde angemerkt, dass ein Rissfeld im Grenzfall, aufgrund von Interferenzen, eher als störend zu betrachten sei.

- **Bericht des IzfP**

Das IzfP berichtete über die mittels einer Prüfsonde zum Einsatz gekommene Mehrfrequenztechnik im

---

Bereich von 500 Hz bis 20 kHz (bei Hochfrequenzsonden bis 500 kHz). Es seien auch SE-Wirbelstromsonden mit einem Sondenführungssystem eingesetzt worden.

In der Phase 1 habe man natürliche Schweißfehler (in Form von Poren, Schlacken und Bindefehlern im Testkörper SF1) nicht nachweisen können. Die UPR in den Testkörpern UPR1, UPR2 und ATUCHA seien nicht nachweisbar gewesen. In der Phase 2 habe man die Prüfungen in den Bereichen mit künstlichen Plattierungsfehlern und in dem neu geschaffenen Bereich mit quasinatürlichen Plattierungsfehlern durchgeführt. Die Wirbelstromprüfungen zur Plattierungsprüfung könnten nur an der Behälterinnenseite (DWR-Situation) vorgenommen werden. Die Prüfungen im Bereich der natürlichen bzw. quasinatürlichen Fehler seien als Blindversuche auf Basis der erstellten Spezifikation vorgenommen worden. Es seien zwei SE-Wirbelstromsonden (Längs- und Querfehler) sowie zwei Absolutwirbelstromsonden (NF, HF) eingesetzt worden.

Im Bereich 1 des MPA-Großbehälters seien künstliche Fehler in Form von Nuten (rd. 2 mm x 20 mm, bogenförmig) unter der Plattierung eingebracht worden. Hiermit sollten Unterplattierungsrisse simuliert werden. Die Nuten lägen im Schweißnahtbereich. Die Lage der Fehler sei bekannt. Die Prüfungen hätten ergeben, dass von den unter der Plattierung gelegenen Nuten keine relevanten Anzeigen erhalten werden konnten.

Im Bereich 2 des MPA-Großbehälters seien künstliche Fehler in Form von Nuten in die Plattierung eingebracht worden. Es seien Nuten in der ersten und zweiten Plattierungslage vorhanden, ebenso Nuten durch beide Plattierungslagen (oberflächenverbundene Nuten) oder auch Nuten, die sich bis in den ferritischen Grundwerkstoff erstrecken. Zusätzlich seien seinerzeit Nuten mit Schräglage eingebracht worden. Hiermit solle eine denkbare Palette von Plattierungsfehlern simuliert werden. Die Lage der Fehler sei bekannt. Die Prüfungen hätten ergeben, dass die zur Oberfläche hin offenen Nuten deutlich angezeigt wurden. Die verdeckten Nuten in der ersten Plattierungslage und die Nuten unter der Plattierung im ferritischen Grundwerkstoff seien nicht aufgefunden worden.

Im Bereich 3 des MPA-Großbehälters seien quasinatürliche Fehlerbildungen eingebracht worden. Die Prüfungen hätten ergeben, dass ein Großteil der Fehlerbereiche mittels Wirbelstrom detektiert werden konnte. Einer der Bereiche mit Unterplattierungsrisse sowie die Schlackenzeile seien nicht aufgefunden worden. Es sei zu beachten, dass die Einschweißstellen selbst bereits Besonderheiten für die Wirbelstromprüfung darstellen.

Um zu entscheiden, ob der Fehler zur Oberfläche hin offen ist oder nicht, steht nach Darstellung des Berichterstatters nur die ET-Prüfung zur Verfügung.

- **Bericht des TÜV Nord**

Der TÜV Nord berichtete anhand der Beratungsunterlage [8]. Vom TÜV Nord, TÜV Energie und Systeme und von der MPA Stuttgart wurde zur Qualifizierung von zerstörungsfreien Prüfungen nach der Methodik von ENIQ bezüglich der UT- und der ET-Prüfung austenitischer Plattierungen von RDB Stellung genommen. Bei der Innenprüfung des RDB von DWR-Anlagen wurden die UT-Prüftechnik (70° SEL (wie

---

bei WKP)) und ET-Prüftechnik (Nieder-/Hochfrequenzverfahren, Mehrfrequenztechnik) sowie deren Kombination angesprochen. Nach Aussage des Berichterstatters sind die UT- und ET-Verfahren qualifiziert. Bei der Außenprüfung (DWR: RDB-Deckel, SWR: RDB) sei die UT-Prüftechnik (45° (60°) Transversalwellen, Gruppenstrahlerprüfkopf (GRST)) von Belang; die eingesetzte spezielle Gruppenstrahlerprüfkopf(GRST)-Technik sei nicht qualifiziert.

Unter Einbeziehung der Ergebnisse des BMU-Vorhabens SR 2351 wurden Empfehlungen zur Ergänzung des Regelwerks (KTA-Regel 3201.4) ausgesprochen; diese betreffen die Fehlersuchverfahren, die Analyseverfahren bei Befundverdacht und den Prüfumfang der RDB-Innenprüfung.

In der anschließenden Diskussion wurde die Frage gestellt, ob für die Außenprüfung von SWR-Anlagen qualifizierte Verfahren auf GRST-Basis zur Verfügung stünden, mit denen Fehlertiefen ermittelt werden können, z. B. basierend auf den Nutttiefen, die für die Empfindlichkeitseinstellungen verwendet wurden. Die Frage wird dahingehend beantwortet, dass qualifizierte Ultraschallprüfverfahren basierend auf der Gruppenstrahlertechnik vorhanden sind.

Ferner sollte sich die Fehlertiefenbestimmung nicht nur auf die Leistungsfähigkeit der Prüftechnik selbst stützen, sondern auch Vorgaben berücksichtigen, die aus der Bruchmechanik kommen.

In der 44. Sitzung am 05.05.2004 und der 45. Sitzung am 22.06.2004 setzte der RSK-Ausschuss DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE seine Beratungen fort.

Die RSK beriet das Untersuchungsvorhaben SR 2318 in ihrer 379. Sitzung am 27.01.2005

#### **4 Bewertungsmaßstäbe**

Die allgemeinen sicherheitstechnischen Anforderungen ergeben sich aus den BMI-Sicherheitskriterien, den RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren und den entsprechenden KTA-Regeln. Die Bewertung der RSK gründet sich darüber hinaus auf den in der Fachliteratur veröffentlichten Stand von Wissenschaft und Technik zu diesem Sachverhalt.

Die Bewertungsmaßstäbe sind im Einzelnen:

- die RSK-Stellungnahme „Anpassung und Optimierung von zerstörungsfreien Prüfungen an den sicherheitstechnisch bedeutsamen Systemen und Komponenten vom 11.04.2002,
- die KTA-Regeln, insbesondere KTA 3201.4 Stand 6/99,
- die ENIQ-Richtlinie VGB-R516 (1. Ausgabe 2001),
- Richtlinie Ultraschallprüfung des prüfkopfnahen Oberflächenbereiches (DGZfP Richtlinie US3 vom Mai 1999),
- die Erfahrungen aus dem Betrieb und der Begutachtung vergleichbarer Anlagen und
- das BMU-Vorhaben SR 2318.

Maßgebend für die Stellungnahme sind die Anforderungen der RSK-Leitlinien einschließlich der

---

Rahmenspezifikation Basissicherheit, die spezifischen Beanspruchungen der jeweiligen Komponente für die gezielte Auswahl der Prüftechnik, die vorliegenden Betriebserfahrungen unter Berücksichtigung der Anbindung an die Systemtechnik, die Ergebnisse der betrieblichen Überwachungsmaßnahmen (Ermüdungsüberwachung, Betriebsbegehungen, Erfahrungsaustausch usw.) sowie die bisherigen Prüfergebnisse der Wiederkehrenden Prüfungen im plattierungsnahen Bereich.

Die RSK hat geprüft, ob diese Anforderungen bei der Bewertung nach dem Stand von Wissenschaft und Technik berücksichtigt wurden und die Untersuchungen und deren Ergebnisse im Hinblick auf die vorgetragenen und erläuterten Sachverhalte plausibel sind.

## **5 Sicherheitstechnische Bewertung des Sachverhalts**

In der 44. Sitzung und 45. Sitzung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE am 05.05.2004 bzw. am 22.06.2004 und in der 379. RSK-Sitzung am 27.01.2005 wurden die drei Fragen des BMU [3] beraten:

*Zur Frage 1: Ist das kerntechnische Regelwerk hinsichtlich des US- und WS-Prüfverfahrens auf die RDB-Plattierung anzupassen?*

Die KTA-Regel 3201.4 muss diesbezüglich präzisiert und angepasst werden.

Diese Empfehlung leitet die RSK aus folgenden Zusammenhängen ab:

Eine Prüfung von Plattierungen mit Ultraschall- und Wirbelstromverfahren ist in der jetzigen Fassung der KTA-Regel 3201.4 vom Juni 1999 nicht enthalten. Es ist jedoch eine visuelle Prüfung repräsentativer Bereiche der plattierten Innenoberflächen des RDB, der Dampferzeuger-Primärkalotten, des Druckhalters, sowie der Hauptkühlmittelpumpen von DWR und des RDB von SWR festgelegt. Unter der Voraussetzung, dass Fehler zur Oberfläche geöffnet sind und bis zum Grundwerkstoff reichen, erkennt die visuelle Prüfung in der Regel diese Fehler aufgrund der Korrosionsprodukte an der Plattierungsoberfläche.

Die RSK ist der Meinung, dass insbesondere Bereiche mit besonders hoher Beanspruchung, Ermüdung, Versprödung aufgrund der Strahlenbelastung, Temperaturdifferenzen, Korrosion sowie Besonderheiten aus der Fertigung als repräsentative Bereiche anzusehen sind.

Die BMI-Richtlinie und die RSK-Leitlinien fordern für Komponenten der Druckführenden Umschließung eine hohe Qualität in der Fertigung und im Erhalt des Qualitätsniveaus für einen sicheren Betrieb. Sinn der Plattierung ist ein Schutz des ferritischen Grundwerkstoffs vor Korrosions- und Erosionsangriffen. Die Integritätsanforderung an die Plattierung leitet sich aus diesen Grundsätzen ab. Der sicherheitstechnische Gewinn einer Plattierungsprüfung mit Ultraschall und/oder Wirbelstrom ist durch den Nachweis der Integrität der Plattierung und des anschließenden Grundwerkstoffes zu sehen.

Bei der Ultraschallprüfung der im Regelwerk ausgewiesenen Prüfbereiche wird derzeit die Plattierungsprüfung aus der Betrachtung ausgenommen, obwohl die Informationen zur Beurteilung der

---

Integrität der Plattierung in den Ultraschalldaten vorhanden sind. Durch eine gezielte Auswertung der Daten kann somit der Zustand der Plattierung erfasst werden, ohne dass eine zusätzliche Messung notwendig wird. Die Auswertung muss lediglich beachten, dass eine speziell für die Plattierungsprüfung ausgelegte Empfindlichkeitseinstellung (Plattierung sowie anschließender Grundwerkstoff) zu berücksichtigen ist.

Für die Prüfung des RDB eines SWR sowie des RDB-Deckels eines DWR (Außenprüfung) wird die plattierte Innenoberfläche mit 45° Transversalwellen unter Ausnutzung des Winkelspiegeleffektes entsprechend dem Regelwerk geprüft. Durch konkrete Festlegungen hinsichtlich der Prüfempfindlichkeit (Registriergrenze) und der Bewertung von Anzeigen in der Plattierung können die Ultraschalldaten für den Nachweis der Integrität der Plattierung ausgewertet werden. Sofern Anzeigen nicht erklärt werden können - auch in Bezug auf die Fragestellung oberflächenverbunden oder nicht - bzw. bei Anzeigen, die als Befund einzustufen sind, ist eine gezielte visuelle Prüfung der plattierten Innenoberfläche dieser Bereiche durchzuführen.

Bei der Prüfung des RDB-Unterteils eines DWR (Innenprüfung) wird der plattierungsnahe Bereich mit der 70° SEL-Technik geprüft. Durch Festlegung der Empfindlichkeitseinstellung können auch Anzeigen in der Plattierung bewertet werden und somit die Integrität der Plattierung. Sofern Anzeigen nicht geklärt werden können, muss ein zweites Verfahren eingesetzt werden, welches andere physikalische Wechselwirkungen ausnutzt, z. B. das Wirbelstromverfahren oder die visuelle Prüfung. Dies soll auch dazu dienen zu klären, ob Befunde oberflächenverbunden sind oder nicht.

In Zukunft sollten, im Sinne einer präventiven Maßnahme, die im Rahmen von Untersuchungsvorhaben optimierten Analyseverfahren wie Beugungsverfahren, SAFT und Echotomographie vorgehalten und im Regelwerk explizit genannt werden. Die Qualifizierung der Verfahren für die jeweilige Anwendung soll gemäß der Kategorisierung der ENIQ-Richtlinie an einer Komponente (z. B. Großbehälter der MPA Stuttgart), bei der kein Schadensereignis bekannt ist, aber Fehlertypen und Fehlerlagen von postulierten Schadensmechanismen vorgegeben werden, erfolgen. Die getroffene Auswahl an Vergleichsfehlern muss das Spektrum möglicher Fehlertypen, die für Qualifizierung der zerstörungsfreien Prüfverfahren relevant sind, umfassend abdecken.

*Zur Frage 2: Sind die jetzt festgestellten Unsicherheiten bei den bisherigen Prüfverfahren hinsichtlich der vorhandenen Analysen nachträglich anders zu bewerten?*

In Abstimmung mit dem BMU wird auf die Beantwortung der Frage verzichtet, weil die Anlage Obrigheim (KWO), auf die sich die Frage bezieht, im Jahr 2005 stillgelegt werden wird.

*Zur Frage 3: Sind die Ergebnisse auf die Prüfungen anderer komplexer Schweißverbindungen, wie zum Beispiel Mischnähte, übertragbar?*

Eine Übertragung auf die Situation bei der Mischnahtprüfung im oberflächennahen Bereich (Innenoberfläche) ist nicht möglich. Bei Prüfaufgaben mit abweichenden Prüfrandbedingungen, wie bei der Mischnahtprüfung, sind spezifische Qualifizierungsmessungen vorzunehmen, wobei entsprechend der Methodik für die

---

Qualifizierung von zerstörungsfreien Prüfungen gemäß ENIQ vorzugehen ist. Die Eignung der Analyseverfahren ist anhand von Vergleichskörpermessungen nachzuweisen.

## 6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die sich aus den Beratungen der RSK ergebenden Empfehlungen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Oberflächenprüfung von plattierten Komponenten muss im KTA-Regelwerk präzisiert (*anpassen!*) werden, und zwar durch eine Erweiterung um den Begriff „Plattierungsprüfung“, der beinhaltet, dass und in welchem Umfang die Plattierung und der anschließende Interface-Bereich geprüft werden müssen.
- In das Regelwerk (KTA 3201.4) sind konkrete Festlegungen hinsichtlich der Prüfeempfindlichkeit (Registriergrenze) und der Bewertung von Anzeigen in der Plattierung, getrennt nach DWR (Innenprüfung) und SWR (Außenprüfung), aufzunehmen. Dabei soll die in der Richtlinie US3 der DGZfP vom Mai 1999 beschriebene Vorgehensweise zur Ermittlung der Transferkorrektur für SE-Prüfköpfe Berücksichtigung finden.
- In das Regelwerk sind Analysemethoden für die Bewertung von Befunden im plattierungsnahen Bereich aufzunehmen. Als Analysemethoden kommen in Frage:
  - Die Beugungsverfahren unter Auswertung der Rissspitzenanzeige oder das Laufzeitbeugungsverfahren (TOFD; Time Of Flight Diffraction),
  - die SAFT Technik (Synthetic Aperture Focusing Technique),
  - das Verfahren der Echotomographie,
  - das Wirbelstromverfahren oder die visuelle Prüfung für eine eindeutige Unterscheidung „oberflächenverbunden oder nicht“ und
  - die Kombination von ET- und UT-Verfahren.
- Bei der Überarbeitung der KTA-Regel 3201.4 ist die Plattierungsprüfung in den repräsentativen Bereichen, die derzeit nicht im WKP-Konzept enthalten ist, in den Text aufzunehmen (Absicherung gegen Neutronenversprödung, Strahlen- und Streifenkühlung).

Mit den vorgenannten Ergänzungen der KTA-Regel 3201.4 wird die Prüfaufgabe für Plattierungen und für Oberflächenbereiche allgemein präzisiert (Beibehaltung der bisherigen Prüfumfänge, d. h. der Prüfung von Schweißnähten einschließlich der Nebennahtbereiche und von repräsentativen Grundwerkstoffbereichen). Wie bisher soll das UT-Verfahren für die Innen- und Außenprüfung der plattierten Komponenten von DWR und SWR eingesetzt werden. Die visuelle Prüfung und/oder das ET-Verfahren sollen bei Bedarf als diversitäre Prüfverfahren zur Analyse von Befundanzeigen in der Plattierung eingesetzt werden.

Bei Einsatz von zwei diversitären Prüfmethode(n) (UT, ET) wird die Integrität der Plattierung umfassender als bisher überprüft (Routinemäßige Prüfung des RDB-Unterteils von DWR mit UT und mit ET). Dann kann die Tandemprüfung (außer zur Überprüfung von bekannten Befunden im ferritischen Wandvolumen) entfallen.

---

## Verwendete Unterlagen, Informationen und Erkenntnismittel

Im Einzelnen wurden nachfolgend aufgeführte Unterlagen, Informationen und Erkenntnismittel verwendet.

- [1] BMU-Vorhaben SR 2318, Bewertung der Aussagefähigkeit von Ultraschall- und Wirbelstromprüfung austenitischer Plattierungen von Reaktordruckbehältern, Staatliche Materialprüfungsanstalt (MPA) Universität Stuttgart, MPA-Auftrags-Nr. 884501001, Technischer Bericht, 12/2000
  
- [2] BMU-Vorhaben SR 2318, Bewertung der Aussagefähigkeit von Ultraschall- und Wirbelstromprüfung austenitischer Plattierungen von Reaktordruckbehältern, Staatliche Materialprüfungsanstalt (MPA) Universität Stuttgart, MPA-Auftrags-Nr. 889201001, Technischer Bericht, 09/2003
  
- [3] Schreiben (Az.: AG RS I3-17018/1) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit vom 30.12.2003 an die RSK-Geschäftsstelle, betr. Stellungnahme der RSK zu den möglichen Folgen aus den Erkenntnissen des BMU-Vorhabens SR 2318, Beratungsauftrag
  
- [4] Qualifizierung von zerstörungsfreien Prüfungen nach der Methodik von ENIQ  
Qualifizierung der Ultraschall- und der Wirbelstromprüfung austenitischer Plattierungen von Reaktordruckbehältern, BMU-Vorhaben SR 2318  
TÜV Nord Gruppe; TÜV Energie und Systeme; MPA Stuttgart
  
- [5] Qualifizierung von zerstörungsfreien Prüfungen nach der Methodik von ENIQ,  
Qualifizierung der Ultraschall- und der Wirbelstromprüfung austenitischer Plattierungen von Reaktordruckbehältern, BMU-Vorhaben SR 2318, Stellungnahme zum Ergebnis der Qualifizierungsmessungen, TÜV Nord e. V./MPA Stuttgart/TÜV Süd, ET, Kopien von Folien
  
- [6] Kopien von Folien der MPA Stuttgart, Tischvorlage
  
- [7] Kopien von Folien von AREVA, Tischvorlage

- 
- [8] Qualifizierung von zerstörungsfreien Prüfungen nach der Methodik von ENIQ,  
Stellungnahme zum Ergebnis der Qualifizierungsmessungen, TÜV Nord,  
MPA Stuttgart, TÜV Süd ET
- [9] TÜV Nord  
Anzeigenbewertung bei der RDB-Innenprüfung des Plattierungsbereiches mit  
Ultraschall (UT) und Wirbelstrom (ET)