

## **RSK – STELLUNGNAHME**

### **Derzeitige Vorgehensweise bei zerstörungsfreien Prüfungen, die im Rahmen der wiederkehrenden Prüfungen an ferritisch-austenitischen Mischschweißnähten erfolgen**

(Stellungnahme zum Schwerpunktthema 1 des Untersuchungsvorhabens SR 2360 des BMU)

**15./16.12.2005 (389. RSK-Sitzung)**

1	Beratungsauftrag .....	2
2	Sachverhalt und sicherheitstechnischer Hintergrund .....	3
3	Bewertungsumfang .....	4
4	Beratungsgang.....	4
5	Sachverhalt der Beratungen des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE.....	5
6	Stellungnahme.....	7
7	Empfehlungen .....	9

Mit dem Schreiben (Az.: AG RS I 3 – 17018/1) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) vom 13.09.2004 (Beratungsunterlage [2]) war die RSK um ihre Stellungnahme zu den möglichen Folgen aus den Erkenntnissen des o. g. Untersuchungsvorhabens SR 2360 (Beratungsunterlage [1] vom September 2003) des BMU gebeten worden. Nach Darlegung des BMU in diesem Schreiben wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens u. a. aufgrund aktueller Schadensbefunde anlagenübergreifend Betrachtungen und Bewertungen des Sicherheitsstatus der in deutschen Kernkraftwerken eingesetzten Werkstoffe und Komponenten sowie betriebsbedingte Veränderungen an der Druckführenden Umschließung (DFU) und herstellungsbedingte Werkstofffehler schwerpunktmäßig untersucht.

- Zum Schwerpunktthema „Untersuchung von ferritisch-austenitischen Mischschweißnähten“ wird die RSK um eine Stellungnahme zu der Frage gebeten, ob die derzeitige Vorgehensweise bei zerstörungsfreien Prüfungen (zFP), die im Rahmen der Wiederkehrenden Prüfungen (WKP) erfolgen, zu ergänzen und das Regelwerk anzupassen ist.
- Zum Schwerpunktthema „Darstellung des Kenntnisstandes zum Einfluss der Gammastrahlung auf die betriebliche Zähigkeitsabnahme ferritischer Reaktordruckbehälterwerkstoffe“ wird die RSK um Stellungnahme zu der Frage gebeten, ob die Werkstoffveränderungen des Reaktordruckbehälters (RDB) durch Gammastrahlung bisher für alle Betriebsphasen bei der Auslegung und in der Betriebsüberwachung und den WKP ausreichend berücksichtigt wurden.
- Zum Schwerpunktthema „Korrosionsversuche in sauerstoffhaltigem Hochtemperaturwasser“ wird die RSK um Stellungnahme zu der Frage gebeten, ob das WKP-Konzept und die Betriebsüberwachung sowie die Betriebsvorschriften ausreichen, ein Risswachstum in der dort aufgeführten Höhe für die vorgesehene Betriebszeit auszuschließen.
- Zum Schwerpunktthema „Bruchausschluss für Rohrleitungen“ wird die RSK um Stellungnahme zu der Frage gebeten, ob und ggf. unter welchen Randbedingungen Bruchausschluss für Rohrleitungen, die den Anforderungen der Basissicherheit nicht in vollem Umfang genügen, trotzdem unterstellt werden kann.
- Zum Schwerpunktthema „Darstellung des Standes des internationalen PISC-Programms“ (PISC: Plate Inspection Steering Committee) wird die RSK um Stellungnahme zu der Frage gebeten, welche menschlichen Faktoren auf die Ergebnisse der zerstörungsfreien Prüfung Einfluss haben und wie diese im kerntechnischen Regelwerk kontrollierbar berücksichtigt werden können.

In dieser Stellungnahme wird das erste Schwerpunktthema behandelt wobei auftragsgemäß Ergebnisse aus anderen Forschungsvorhaben sowie Erkenntnisse aus Betriebserfahrungen nach Abschluss des Vorhabens SR 2360 mit berücksichtigt werden.

## 2

**Sachverhalt und sicherheitstechnischer Hintergrund**

Das Vorhaben umfasst die folgenden Arbeitspakete (Beratungsunterlage [1]):

<b>Arbeitspaket 1</b>	<b>Zusammenstellung und Untersuchungen im Zusammenhang mit Vorkommnissen von sicherheitstechnischer Bedeutung</b>
TB 1.1	Untersuchung von ferritisch-austenitischen Mischschweißnähten
TB 1.2	Beurteilung eines in den USA entwickelten Ansatzes zur sicherheitstechnischen Bewertung
TB 1.3	Zusammenstellung und Beurteilung von Untersuchungen im Zusammenhang mit dem interkristallinen Risswachstum beim „NESC-I Spinning Cylinder“-Projekt
TB 1.4	Untersuchungen zur Niedertemperatur-Sensibilisierung (Low Temperature Sensitization, LTS) austenitischer CrNi-Stähle
TB 1.5	Darstellung des Kenntnisstandes zum Einfluss der Gammastrahlung auf die betriebliche Zähigkeitsabnahme ferritischer Reaktordruckbehälterwerkstoffe
<b>Arbeitspaket 2</b>	<b>Vertiefte Untersuchungen und Auswertungen zu Rissbildungen in austenitischen Werkstoffen</b>
TB 2.1	Überprüfung eines Sulfat- und Chlorideinflusses bei interkristalliner Spannungsrisskorrosion (IkSpRK) durch Untersuchung von Rissbelägen
TB 2.2	Überprüfung des Rocha-Nomogramms durch Untersuchung einer Schweißverbindung am Grundwerkstoff X10CrNiNb18-9 (1.4550) mit hohem C-Gehalt
TB 2.3	Nutzung des EFTEM zum vereinfachten Nachweis einer Sensibilisierung austenitischer CrNi-Stähle gegenüber IkSpRK
TB 2.4	Untersuchungen zur IkSpRK-Anfälligkeit von Schweißverbindungen in austenitischen Rohrleitungen von DWR-Anlagen (DWR: Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor)
TB 2.5	Vergleich der IkSpRK-Anfälligkeit von austenitischen Rohrleitungen und von RDB-Einbauten
<b>Arbeitspaket 3</b>	<b>Korrosionsversuche in sauerstoffhaltigem Hochtemperaturwasser</b>
3.1	Vertiefte Untersuchungen und Auswertungen zu korrosionsgestützten Rissbildungen in austenitischen und ferritischen Werkstoffen
<b>Arbeitspaket 4</b>	<b>Zuarbeit für den BMU und die Reaktor-Sicherheitskommission</b>
TB 4.2	Darstellung des Standes des internationalen PISC-Programms
TB 4.1	Bruchausschluss für Rohrleitungen
TB 4.3	Einflussgrößen auf interkristalline Spannungsrisskorrosion in austenitischen rostfreien Stählen

Gegenstand des Untersuchungsvorhabens SR 2360 ist die zentrale Untersuchung und Auswertung von

Herstellungsfehlern und Betriebsschäden im Hinblick auf druckführende Anlagenteile von Kernkraftwerken. Die Relevanz der Ergebnisse des Untersuchungsvorhabens SR 2360 für die Gegebenheiten in deutschen Kernkraftwerken ist zu prüfen; entsprechend der Konzeption des Vorhabens sind Aspekte der Anlagenauslegung, Betriebsüberwachung und WKP hier von Belang. Betroffen sind die im Vorhaben konkret angesprochenen Bauteile. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Bauteile ist zu prüfen.

### **3 Bewertungsumfang**

Zur Prüfung der Relevanz der Ergebnisse des Untersuchungsvorhabens SR 2360 sind die folgenden Sachverhalte hinsichtlich der Ausführungen von Mischschweißnähten zu bewerten:

- Anforderungen an die konstruktive Anlagenauslegung, die Betriebsüberwachung einschließlich der Betriebsvorschriften, WKP-Konzeption und WKP-Maßnahmen und Regelwerksinhalte,
- Übertragbarkeit auf andere Bauteile und
- Bruchausschluss .

Ausführungsarten von Mischschweißnähten, wie sie hier betrachtet werden, reichen von nicht gepufferten Nähten bis zu gepufferten Nähten mit Austenitschweißnaht oder mit Nickelschweißnaht.

### **4 Beratungsgang**

Über Teile des Vorhabens (zfP im PISC-Programm (Arbeitspaket 4/TB 4.2)) war der RSK-Ausschuss DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE in der **18. Sitzung am 02.05.2001** mit einem Bericht der Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart (MPA Stuttgart) in Kenntnis gesetzt worden (Beratungsunterlage [3]) (LWR: Kernkraftwerk mit Leichtwasserreaktor).

In der **48. Sitzung am 05.10.2004** berichtete die MPA Stuttgart zu den folgenden Themen des Vorhabens SR 2360:

- Zentrale Untersuchung und Auswertung von Herstellungsfehlern und Betriebsschäden im Hinblick auf druckführende Anlagenteile von Kernkraftwerken: Teilvorhaben: „Untersuchung von ferritisch-austenitischen Mischschweißnähten“ ,
- Zentrale Untersuchung und Auswertung von Herstellungsfehlern und Betriebsschäden im Hinblick auf druckführende Anlagenteile von Kernkraftwerken; Teilvorhaben: „Korrosionsversuche in sauerstoffhaltigem Hochtemperaturwasser“ und
- Einfluss der Gammastrahlung auf die Schädigung von Druckbehältermaterialien.

In der **49. Sitzung am 01.12.2004** trat der Ausschuss in die Beratung zur Erarbeitung der vorliegenden Stellungnahme ein. Der Ausschuss beschloss, für die Bearbeitung der fünf Schwerpunktthemen Arbeitsgruppen einzusetzen.

In der **50. Sitzung am 26.01.2005** ließ sich der Ausschuss einen Bericht der VGB zur Fortentwicklung des Kerntechnischen Regelwerks/Leck- und Bruchannahmen und einen Bericht des VdTÜV zu

bruchmechanischen Nachweisen zur Absicherung eingeschränkter Leckannahmen bei Rohrleitungen (Bruchausschluss) erstatten.

In der **51. Sitzung am 23.02.2005** nahm der Ausschuss eine Bestandsaufnahme des aktuellen Stands der Bearbeitung der Schwerpunktthemen vor.

In der **52. Sitzung am 30.03.2005** wurden von Framatome ANP zwei Berichte zum Einfluss der Gammastrahlung auf den RDB und die Überwachungsprogramme sowie zur Abschätzung des Einflusses von Gammastrahlung auf die Aussage von RDB-Überwachungsprogrammen erstattet. Weiterhin wurden zwei Berichte des Paul-Scherrer-Instituts, Würenlingen, Schweiz, über Ergebnisse von Korrosionsversuchen in sauerstoffhaltigem Hochtemperaturwasser erstattet. Die Berichte behandelten den Einfluss der Chlorid-Konzentration im Reaktorkühlmittel auf die Wachstumsgeschwindigkeit von Spannungskorrosionsrissen in RDB-Stahl, einschließlich der Auswirkung von Chlorid-Transienten für Kernkraftwerke mit SWR (Siedewasserreaktor) und den Einfluss kleiner Spannungsschwankungen („ripple-effect“) auf die Wachstumsgeschwindigkeit von Spannungskorrosionsrissen in RDB-Stahl.

In der **53. Sitzung am 27.04.2005** berichtete die VGB über den aktuellen Stand der Wasserchemie in deutschen Kernkraftwerken mit SWR und zog einen Vergleich mit dem Ausland.

In der **54. Sitzung am 01.06.2005** wurde beschlossen, die vorliegende Unterlage zu überarbeiten.

In der **55. Sitzung am 06.07.2005** wurde die Unterlage überarbeitet und in Übereinstimmung mit dem BMU Vertreter im Ausschuss beschlossen, dass für die einzelnen Schwerpunktthemen getrennte Stellungnahmen erstellt werden.

In der **59. Sitzung am 09.11.2005** wurde die Unterlage überarbeitet.

In der **60. Sitzung am 14.12.2005** wurde die Unterlage abschließend beraten.

## **5 Sachverhalt der Beratungen des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE**

Nach den Ausführungen im Vorhaben SR 2360 (Technischer Bericht 1.1) ist die Fertigung von Mischschweißnähten in älteren Anlagen (vor Schaffung des kerntechnischen Regelwerkes) nicht nach einheitlichen Richtlinien erfolgt. Es wird ausgeführt, dass sich sowohl die verwendeten Grund- als auch Schweißwerkstoffe unterscheiden.

Innerhalb der DFU sind in deutschen Kernkraftwerken Mischschweißnähte, d. h. Schweißverbindungen zwischen ferritischen und austenitischen Bauteilen, mit Nennweiten > DN50 folgendermaßen ausgeführt:

- a) austenitisches Schweißgut mit austenitischer Pufferung,
- b) Schweißgut aus Nickellegierung (Alloy 182 und Alloy 82) mit oder ohne Pufferung und
- c) Schweißgut aus Nickellegierung (Alloy 182 und Alloy 82) mit oder ohne Pufferung in den Deck- und Fülllagen und mit einer austenitischen Wurzelschweißung.

SWR-Anlagen Mischschweißnähte vom Typ a) an den RDB-Stützen des Reaktorwasserreinigungssystems, des Deckelsprühsystems und des Kernflutsystems vorhanden.

Bei der Fertigung von Mischschweißnähten ohne Pufferung (z. B. SWR Baulinie 69, SR 2360, Technischer Bericht 1.1) erfolgte keine Wärmebehandlung nach der Schweißnahtfertigung. Bei Mischschweißnähten mit Pufferung erfolgte nach geschweißter Pufferung die Wärmebehandlung des ferritischen Werkstoffes. Anschließend wurde die Verbindungsnaht geschweißt, wobei keine anschließende Wärmebehandlung erfolgte, weil dies zur Sensibilisierung führen könnte (Beratungsunterlage [20]).

Weiterhin existieren im RDB der Baulinie 69 mediumberührte Inconelschweißnähte als Anschweißung auf die Plattierung der inneren Pumpenstutzen aus Inconel 600.

In DWR-Anlagen befinden sich Mischschweißnähte insbesondere an HKL-Stützen (HKL: Hauptkühlmittelleitung) und an Druckhalterstutzen von abgehenden austenitischen Rohrleitungen sowie an RDB-Deckelstutzen und an Druckrohren.

In den DWR-Anlagen sind Mischschweißnähte des Typs a) nur in älteren Anlagen, z. B. im Kernkraftwerk Biblis, Block A (KWB-A), an den HKL-Stützen und z. T. an Druckhalterstutzen vorhanden.

An den Druckrohren am RDB-Deckel von DWR-Anlagen sind jeweils zwei Schweißnähte vom Typ b) ohne Pufferung vorhanden; das Schweißgut ist aus Alloy 182 und mediumberührt. An den RDB-Deckelstutzen von DWR-Anlagen (Steuerstab-, Kerninstrumentierungs- und z. T. der Entlüftungsstutzen) ist je eine Mischnaht vom Typ c) vorhanden. Die Wurzelschweißung ist einlagig mit austenitischem Schweißgut, und die Füll- und Decklagen mit Schweißgut aus Nickellegierung (Alloy 82 und Alloy 182) ausgeführt. Die vorgenannten Schweißnähte wurden einer Wärmebehandlung unterzogen.

Die Mischschweißnähte an den Druckhalterstutzen der Volumenausgleichsleitung (VAL) und der Sprüh- und Ablaseleitungen sind überwiegend vom Typ b) mit Schweißgut aus Alloy 82, mediumberührt. Die Mischschweißnähte an den HKL-Stützen (Volumenausgleichs- und Sprühleitungen sowie Volumenregelsystem) sind in den neueren Anlagen (Konvoi und Vorkonvoi) vom Typ b) mit Schweißgut aus Alloy 82, mediumberührt. In älteren Anlagen sind Mischschweißnähte vom Typ a) und vom Typ c) vorhanden.

Zur Frage des BMU „Ist die derzeitige Vorgehensweise bei zFP, die im Rahmen der WKP erfolgen, zu ergänzen und das Regelwerk anzupassen?“ wurden die folgenden Beratungsergebnisse festgehalten.

Wie im Vorhaben (SR 2360) ausgeführt und wie Ergebnisse aus umfangreichen experimentellen Untersuchungen (Beratungsunterlage [11]) zeigen, hat die Ausführungsart der Naht, wie z. B. der Nahtaufbau und die Schweißposition, Einfluss auf die Prüfbarkeit.

Die aufgrund des Aufbaus der Mischnaht bekannte anisotrope Struktur der Schweißnaht muss bei der Optimierung von Ultraschallprüfverfahren (UT: Ultraschall) in die Berechnung der Schallausbreitung mit eingehen (Beratungsunterlagen [17, 19 bis 21]). Die durch Rechenmodelle oder auch durch Experimente bzw. unter Ausnutzung beider Möglichkeiten optimierten Techniken der zerstörungsfreien Prüfung müssen an Hand von Vergleichskörpern (Definition siehe KTA-Regel 3201.4) qualifiziert werden.

Für die zFP, die im Rahmen der WKP (Nachweis von betriebsbedingten Fehlern) einzusetzen sind, ergeben

sich für die Prüfung der Mischnähte folgende Fragen:

- Welche Fehlerorientierungen müssen unter Beachtung korrosiver Einwirkung an der Innenoberfläche von Rohrleitungen berücksichtigt werden?
- Sind die eingesetzten UT-, Durchstrahlungsverfahren (RT), visuellen Prüfungen (VT) und eventuell Wirbelstrom(ET)prüftechniken aussagesicher?
- Sind die Fehlernachweisgrenzen dieser Verfahren sicherheitstechnisch ausreichend?
- Reichen die an Vergleichskörpern durchzuführenden Qualifikationen zum Fehlernachweis dafür aus, um zu einer belastbaren Bewertung des Fehlerzustandes der Komponente zu gelangen?
- Sind Methoden der zFP für die Fehlergrößenbestimmung zu qualifizieren und vorzuhalten?

Bei der zFP der Innenoberfläche von Austenit- und Mischschweißnähten wird zwischen Längsfehler- und Querfehlerprüfung unterschieden. Während die Längsfehlerprüfung im Regelwerk verankert ist, insbesondere für austenitische Rohrleitungen, ist die Querfehlerprüfung bisher nicht geregelt. Aufgrund der bekannt gewordenen Schäden in den ausländischen Kernkraftwerken Virgil C. Summer (USA) und Ringhals (Schweden) wurden Verfahren zur Querfehlerprüfung von Mischschweißnähten (Nickellegierungen) qualifiziert (Beratungsunterlagen [4 bis 19]).

Bei der Längsfehlerprüfung mit UT ergeben sich aus den vorhandenen konstruktiven und schweißtechnischen Ausführungen nachfolgende Anwendungsfälle:

- Die Prüfung der Schweißnaht ist von beiden Seiten möglich, und eine Prüfung durch die Naht ist sichergestellt (Gegensinnige Prüfung).
- Die Prüfung der Schweißnaht ist von beiden Seiten möglich; eine Prüfung durch die Naht ist aufgrund der Schweißnahtstruktur nicht sichergestellt.
- Die Prüfung der Schweißnaht ist nur einseitig möglich, und eine Prüfung durch die Naht ist sichergestellt.
- Die Prüfung der Schweißnaht ist nur einseitig möglich; eine Prüfung durch die Naht ist nicht sichergestellt.

Bei der Diskussion über Reparaturen und Wärmebehandlungen von Schweißnähten wurde nochmals verdeutlicht, dass durch diese zusätzliche Wärmeeinbringung eine Sensibilisierung des austenitischen Werkstoffes möglich ist.

## **6                    Stellungnahme**

Die vier genannten Anwendungsfälle wurden vom Ausschuss DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE unter dem Gesichtspunkt der sicherheitstechnischen Bewertung der Komponente diskutiert. Das Ergebnis der Diskussion stellt sich wie folgt dar:

Wenn eine gegensinnige Prüfung nicht möglich und eine sicherheitstechnische Bewertung eingeschränkt ist, muss eine möglichst diversitäre Prüftechnik eingesetzt werden. Für durchstrahlte Wanddickenbereiche bis zu 50 mm können Verfahren der Durchstrahlungsprüfung als diversitäre Technik eingesetzt werden.

Wenn dennoch Lücken in der Prüfbarkeit oder in der Beurteilung der Integrität der Komponente verbleiben, müssen diese genannt und Ersatzmaßnahmen vorgeschlagen werden.

Bei der Querfehlerprüfung mit UT muss geklärt werden, ob eine Ankopplung auf der Schweißnaht möglich ist oder nicht. Je nachdem, welche Möglichkeit gegeben ist, kommen verschiedene Verfahren (Prüfkopfanzordnungen) zur Anwendung. Entscheidend sind auch die Justierreflektoren, die bei der Empfindlichkeitsjustierung zu Grunde gelegt werden. Die in der KTA-Regel 3201.4 vorgeschriebenen Nutabmessungen sind hierfür nicht in jedem Fall geeignet. Es muss also eine neue Festlegung getroffen werden, die auch die Fertigung von Mischschweißnähten (Schweißnahtform, Pufferung etc.) mit berücksichtigen muss.

Obwohl an den bisher geprüften Mischschweißnähten in deutschen LWR-Anlagen keine betriebsbedingten Fehler festgestellt worden sind, sind im Sinne präventiver Maßnahmen zFP-Verfahren für den Fehlernachweis zu qualifizieren und vorzuhalten.

Für die sicherheitstechnische Beurteilung von Befunden sollten Methoden zur Fehlergrößenbestimmung unabhängig vom eingesetzten zerstörungsfreien Prüfverfahren bei der Mischnahtprüfung qualifiziert werden. Neuere UT-Analyseverfahren wie die Echotomographie, Synthetic Aperture Focusing Technique (SAFT) oder Time of Flight Diffraction Technique (TOFD), die für ferritische Schweißverbindungen schon in der Praxis eingesetzt wurden, sind in das Kalkül einzubeziehen. Eine Qualifikation dieser Verfahren an Mischschweißnähten steht noch aus. Es ist zu empfehlen, diese Qualifikation z. B. in Anlehnung an ENIQ nachzuholen, so dass auch für Mischschweißnähte in Zukunft entsprechend dem Ablaufdiagramm in der KTA-Regel 3201.4 verfahren werden kann.

Die RSK beantwortet die vom BMU gestellte Frage :

**„Ist die derzeitige Vorgehensweise bei zFP, die im Rahmen der WKP erfolgen, zu ergänzen und das Regelwerk anzupassen?“**

wie folgt:

In der KTA-Regel 3201.4 ist die Art und Weise der Überprüfung der Innenoberflächen von Mischschweißnähten durch WKP-Maßnahmen festzulegen. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Untersuchungsvorhabens 2360 („Technischer Bericht 1.1“) sowie nationaler und internationaler Erfahrungen mit Spannungsrisskorrosion (IkSpRK und PWSCC (Primary Water Stress Corrosion Cracking)) an Nickellegierungen (Einflussgrößen siehe Kap. 5.3) besteht die Notwendigkeit hinsichtlich Prüfmethode, Prüfungsumfang und Prüfintervall, das Regelwerk zu überarbeiten. Bei der Überarbeitung des Regelwerks sollten insbesondere im Vordergrund stehen (die Nummerierung der nachfolgenden Beispiele 1 bis 7 stellt eine Orientierung nach absteigender Anfälligkeit bezüglich der Schädigungsmechanismen dar, wobei jedoch Besonderheiten des Einzelfalles zu berücksichtigen sind):

- 1) Schweißnähte mit örtlichen Reparaturen an der medienberührten Wurzelschweißung (Alloy 182, Alloy 82 und Austenit bei SWR),

- 2) Mischschweißnähte aus Nickellegierungen in Bereichen mit Betriebstemperaturen über 300° C mit Mediumberührung. Gleichgestellt sind Mischschweißnähte mit einlagiger austenitischer Wurzel, die innen beschliffen sind, da hier eine Mediumberührung von Nickelschweißgut nicht ausgeschlossen werden kann. Das sind die Mischschweißnähte am Druckhalterstutzen C (VAL), der HKL-Stutzen der VAL und übrige Druckhalterstutzen,
- 3) Mischschweißnähte, mediumberührt, aus Alloy 182,
- 4) Mischschweißnähte, mediumberührt, mit Schweißgut aus Alloy 82 an den übrigen HKL-Stutzen. Gleichgestellt sind Mischschweißnähte mit einlagiger austenitischer Wurzel, die innen beschliffen sind, da hier eine Mediumberührung von Nickelschweißgut nicht ausgeschlossen werden kann,
- 5) Mediumberührte Mischschweißnähte (z. B. aus Alloy 82 einlagig plattiert) an den DWR RDB-Deckelstutzen,
- 6) Mischschweißnähte mit zweilagiger austenitischer Wurzelschweißung (HKL-Stutzen in älteren Anlagen) und
- 7) Mischschweißnähte aus austenitischem Schweißgut.

## **7 Empfehlung**

Für eine an möglichen Fehlerorientierungen angepasste aussagefähige zFP sind die fertigungstechnischen Details der Herstellung von Mischschweißnähten zu berücksichtigen. Dies ist zurzeit nicht durchgängig der Fall. Diese Daten sollten für die entsprechenden Mischschweißnähte zukünftig erhoben werden bzw. es sollten konservativ abdeckende Annahmen getroffen werden. Darüber hinaus werden weitere zerstörende Untersuchungen von Mischschweißnähten im Zusammenhang mit der Qualifizierung von zFP-Analysemethoden zur Fehlergrößenbestimmung befürwortet.

Die genannten sieben Ausführungsformen von Mischschweißnähten und deren Wärmeeinflusszonen sind zu prüfen und entsprechend den Ergebnissen in die WKP-Maßnahmen einzubinden. Da nicht bei allen Mischschweißnähten zerstörungsfreie Prüfungen durchgeführt wurden und bei der Auslegung von keiner Minderung der Tragfähigkeit der Naht ausgegangen wird, sollten unabhängig von den aufgrund künftiger Untersuchungen noch zu gewinnenden Ergebnissen schon zum jetzigen Zeitpunkt Mischschweißnähte an sicherheitstechnisch relevanten Komponenten alter Fertigung (z. B. Mischschweißnähte vorrangig im Bereich eingeschränkter Bruchannahmen, redundanzübergreifende Versagensauswirkung, speziell Mischschweißnähte, die mit Inconel auf der Mediumseite geschweißt wurden) geprüft werden. Der Abschluss dieser Prüfung sollte möglichst innerhalb eines Prüfzyklus erfolgen. Falls im Einzelfall bei der Auswahl der Komponenten Kredit von durchgeführten Maßnahmen (z. B. Wärmebehandlung, mechanische Bearbeitung) genommen wird, ist dies zu begründen. Hierbei sind die einschlägigen technischen Parameter (z. B. Sensibilisierungsdiagramme) zur Beurteilung der Schweißnaht unter Betriebsbedingungen vorzulegen. Die entsprechenden Dokumente wie Prüflisten und Prüfanweisungen sind zu ergänzen.

In den deutschen DWR- und SWR-Anlagen sind seit Herausgabe der WLN 2001/05 Ultraschall-Prüfverfahren zum Nachweis von Querfehlern in Mischschweißnähten aus Nickellegierung an Vergleichskörpern qualifiziert und Prüfungen durchgeführt worden. Wiederkehrende Prüfungen sind bereits in den anlagenspezifischen

Prüfhandbüchern verankert. Deshalb empfiehlt die RSK, die Überprüfung der Innenoberflächen von Mischschweißnähten durch WKP-Maßnahmen im kerntechnischen Regelwerk festzulegen, wobei entsprechend der vorgenannten Priorität eine mögliche Anfälligkeit durch Schädigung (z. B. IkSpRK oder PWSCC) berücksichtigt werden soll.

Des Weiteren wird empfohlen, zukünftig Maßnahmen zur Entwicklungen von zFP-Verfahren, wie sie derzeit schon erfolgreich bei ferritischen Schweißnähten angewandt werden, für die Größenbestimmung von detektierten Befunden einzuleiten und diese bis zur Praxisreife zu optimieren.

In Erweiterung voran stehender Maßnahmen empfiehlt die RSK das Regelwerk (KTA-Regel 3201.4) fortzuschreiben: Dabei sind Aspekte wie die Festlegung von Prüfintervallen und Prüfumfängen (100 %) für Längs- und Querfehlerprüfung festzulegen. In Abhängigkeit von der Wanddicke kommen Ultraschall(UT)-, Wirbelstrom(ET)- und Röntgenverfahren (RT) zur Anwendung. Z. B. bei begrenzter Zugänglichkeit kann in bestimmten Einzelfällen auch Eindringprüfung (PT) oder gezielte Sichtprüfung (VT) zur Anwendung kommen.

## Beratungsunterlagen

- [1] Untersuchungsvorhaben SR 2360 des BMU, Zentrale Untersuchung und Auswertung von Herstellungsfehlern und Betriebsschäden im Hinblick auf druckführende Anlagenteile von Kernkraftwerken, September 2003
  
- [2] Schreiben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Az.: AG RS I 3 – 17018/1) vom 13.09.2004, betr.: Stellungnahme der RSK zu den möglichen Folgen aus den Erkenntnissen des BMU-Vorhabens SR 2360 (Zentrale Untersuchung und Auswertung von Herstellungsfehlern und Betriebsschäden im Hinblick auf druckführende Anlagenteile von Kernkraftwerken)
  
- [3] Auszug TOP 4 des Ergebnisprotokolls der 18. Sitzung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE am 02.05.2001
  
- [4] Schäden an Mischnähten der Reaktordruckbehälterstutzen in den Kernkraftwerken Virgil C. Summer (USA) und Ringhals 4 (Schweden) entdeckt im Herbst 2000, Weiterleitungsnachricht zu Ereignissen in Kernkraftwerken des Auslandes (WLN 2001/05), Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH, Köln, 2001
  
- [5] J.A. Peláez, F. Fernández, J. Vazquez, E. Gonzáles, Experiences on NDE Examination of Dissimilar Welds in Nuclear Plants; 3<sup>rd</sup> International Conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components Tecnomat, Spain; Sevilla, Nov. 14-16 2001
  
- [6] Eriksson, Söderman, Mattsson, Ultraschallmodellierung in austenitischen Metallen Proc. 14<sup>th</sup> Int. Conf. on NDE in the Nuclear and Pressure Vessel Industries, Stockholm, Sept. 24-26 1996, Materials Park: ASM Int., 1997, 701-705
  
- [7] Dobmann, Hübschen, Salzburger, Ultraschallprüfung von Mischnähten mit horizontal polarisierten Scherwellen – Demonstration ihrer Vorteile im Vergleich zu den Standardtechniken Welding in the World, 45 (2001), July (Special Issue), 41-48

- [8] Development of ultrasonic examination technique for dissimilar metal weld  
Entwicklung einer Ultraschallprüftechnik für Mischschweißnähte; H. Yoneyama, T. Sasahara ; 14<sup>th</sup> Int. Conf. on NDE in the Nuclear and Pressure Vessel Industries, Stockholm, S. 24-26 1996 (1997) Seite 675-680 ,Materials Park :ASM Int.
- [9] M. Vijayendra, K. Matthies, E. Neumann, R. Schmid,  
Über die Veränderung der Ultraschallwellen in akustisch anisotropen Werkstoffen und über Konsequenzen für die Prüfung , dargestellt am Beispiel der austenitisch-ferritischen Mischverbindungen,  
Qualitätssicherung durch Werkstoffprüfung, Vorträge des 3. Kolloquiums, Zwickau, 23.-24. November 1993; DGzFP (Berlin), 39 (1994), 137-150
- [10] G. Maes, T. Koblé, W. Rüegg,  
Automated UT examination of austenitic stainless steel welds in PWR main coolant piping. Experience gained from qualification and on-site application,  
Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components, New Orleans, USA, May 24-26, 2000, vol. 1 (2000), EPRI, B181-B193
- [11] V. Munikoti, G., Brekow, U. Tessaro, A. Erhard,  
Ultrasonic testing for transverse discontinuities in dissimilar welds: theoretical and experimental results,  
Materials Evaluation, 62 (2004), No. 11, 1149-1153
- [12] E. Neumann,  
Ultraschallprüfung von austenitischen Plattierungen, Mischnähten und austenitischen Schweißnähten,  
Expert Verlag, Band 377, 1995
- [13] V. K. Munikoti,  
On the propagation of elastic waves in acoustically anisotropic austenitic materials and their boundaries during non-destructive inspection with ultrasound,  
BAM, Forschungsbericht 249, März 2001
- [14] Querfehlerprüfung von Mischnähten- Vergleichsmessungen mit zwei unterschiedlichen Prüfkopfanzordnungen,  
Statusbericht der Westinghouse Reaktor GmbH, Ident.-No.:GBRA 049 525-,  
22.08.2002
- [15] Prüftechniken zum Nachweis von axial orientierten Fehlern (Querfehlern) in Mischverbindungen,  
Statusbericht der Westinghouse Reaktor GmbH, Id.-No.:GBRA 049 526-, 25.09.2002

- [16] Qualifikation der Mischnahtquerfehlerprüfung,  
Arbeitsbericht von IntelligeNDT Systems & Services, Bericht Nr.: NDT2/2001/021a,  
02.04.2001
- [17] Über mechanisierte US-Prüfungen an Testkörpern für die Mischnaht-  
Querfehlerprüfung im KKW Neckarwestheim Block 2 während der Revision 2001, TK-  
Bericht JEC 10-40/MN-Querfehler/2001, 10.10.2001, Werkstoffprüfung  
Kladders GmbH, Mülheim an der Ruhr
- [18] Über mechanisierte US-Prüfungen an Testkörpern für die Mischnaht-  
Querfehlerprüfung an der VAL im KKW Unterweser während der Revision 2002, TK-  
Bericht KKV/VAL-2002-QF der ATUS Inspection GmbH, 08.08.2002
- [19] B. Eriksen, N. Taylor, F. Hukelmann,  
NESC-III : Developing a Benchmark for Structural Integrity Assessment of Dissimilar  
Welds in LWR Piping,  
3<sup>rd</sup> Int. Conf. on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized  
Components, 14 -16 Nov., 2001, Sevilla, Spain, JRC, European Commission,  
Netherlands
- [20] Zusammenfassender Bericht zu den Untersuchungen an den austenitischen  
Rohrleitungen der Siedewasserreaktoranlagen  
Kernkraftwerk Isar 1  
Kernkraftwerk Philippsburg 1  
Kernkraftwerk Gundremmingen II Block B und C  
1998 erstellt im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und  
Umweltfragen sowie des Ministeriums für Umwelt und Verkehr des Landes Baden-  
Württemberg von der  
TÜV Energie und Systemtechnik GmbH sowie der  
TÜV Energie und Systemtechnik GmbH Baden-Württemberg  
Unter Mitwirkung der Staatlichen Materialprüfungsanstalt (MPA) Universität Stuttgart