



RESSORTFORSCHUNGSBERICHTE ZUR
SICHERHEIT DER NUKLEAREN ENTSORGUNG

Zentrale Untersuchungen und Auswertung zu ak- tuellen Fragestellungen im Hinblick auf druck- führende Anlagenteile von Kernkraftwerken im Leistungsbetrieb – Los 1: Regelwerks- und Ad-hoc-Themen

Arbeitspaket 2 - Beobachtung des aktuellen Standes von W&T
zu werkstoff- und auslegungsbestimmenden Themen

Vorhaben 4717Ro1370

AUFTRAGNEHMER:IN
Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart, Stuttgart

Anne Jüngert
Stefan Zickler



Zentrale Untersuchungen und Auswertung zu aktuellen Fragestellungen im Hinblick auf druckführende Anlagenteile von Kernkraftwerken im Leistungsbetrieb

- Los 1: Regelwerks- und Ad-hoc-Themen

Arbeitspaket 2 - Beobachtung des aktuellen Standes von W&T zu werkstoff- und auslegungsbestimmenden Themen

Dieser Band enthält einen Ergebnisbericht eines vom Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung im Rahmen der Ressortforschung des BMU (ReFoPlan) in Auftrag gegebenen Untersuchungsvorhabens. Verantwortlich für den Inhalt sind allein die Autor:innen. Das BASE übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung ganz oder teilweise vervielfältigt werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung der Auftragnehmer:innen wieder und muss nicht mit der des BASE übereinstimmen.

BASE-RESFOR-015/21

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:
urn:nbn:de:0221-2021110329432

Berlin, November 2021

Impressum

**Bundesamt
für die Sicherheit
der nuklearen Entsorgung
(BASE)**

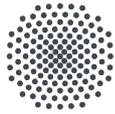
RESSORTFORSCHUNGSBERICHTE ZUR
SICHERHEIT DER NUKLEAREN ENTSORGUNG

Auftragnehmer:in
Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart, Stuttgart

Anne Jüngert
Stefan Zickler

030 184321-0
www.base.bund.de

Erscheinungsdatum: November 2021



Universität Stuttgart



Materialprüfungsanstalt
Universität Stuttgart

Abschlussbericht Final Report

FKZ 4717R01370

Vorhaben

**Zentrale Untersuchungen und Auswertung zu aktuellen
Fragestellungen im Hinblick auf druckführende Anlagenteile von
Kernkraftwerken im Leistungsbetrieb**

AP2:

**Beobachtung des aktuellen Standes von W&T zu werkstoff- und
auslegungsbestimmenden Themen**

BEAUFTRAGT VOM



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

30.09.2020

Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart

Hinweis:

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) mit dem Förderkennzeichen 4717R01370 gefördert. Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung der Auftraggeberin übereinstimmen. Die Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart und die Autoren übernehmen keine Haftung für Schäden, die aufgrund von weiterführenden oder fehlerhaften Anwendungen der in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse auftreten.

Abschlussbericht Final Report

FKZ 4717R01370

Vorhaben

**Zentrale Untersuchungen und Auswertung zu aktuellen
Fragestellungen im Hinblick auf druckführende Anlagenteile von
Kernkraftwerken im Leistungsbetrieb**

AP2:

**Beobachtung des aktuellen Standes von W&T zu werkstoff- und
auslegungsbestimmenden Themen**

Autoren / Authors: Dr.-Ing. Anne Jüngert
Dipl.-Ing. Stefan Zickler

BEAUFTRAGT VOM



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

Dienststelle / Performing Organization: Materialprüfungsanstalt (MPA) Universität Stuttgart
Berichtsdatum / Publication Date: September 2020
MPA Berichts-Nr. / MPA Report-No.: 8483 000 002

Inhalt

	Seite	
1	Einleitende Bemerkungen	9
1.1	Zielsetzung	9
1.2	Planung und Ablauf des Vorhabens	9
2	Wissenschaftliche und technische Ziele des Projektes	10
2.1	Stand von Wissenschaft und Technik	10
2.2	Bisherige Arbeiten der MPA Universität Stuttgart	11
3	Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse	12
3.1	Reisebericht zur ASME BCW vom 10.-15. Februar 2019 in Costa Mesa	15
3.1.1	SWG Inelastic Analysis Methods (SG ETD, BPV III)	15
3.1.2	WG Risk Informed Activities (BPV XI)	16
3.1.3	WG Environmental Fatigue Evaluation Methods (SG DM, BPV III)	16
3.1.4	WG Fatigue Strength (SG DM, BPV III)	17
3.1.5	WG Allowable Stress Criteria (SG ETD, BPV III)	18
3.1.6	WG High Temperature Flaw Evaluation (SG ETD, BPV III)	18
3.1.7	SG Non-Destructive Examination (SG NDE, BPV XI)	19
3.1.8	Fatigue Steering Committee	19
3.1.9	WG Flaw Evaluation Reference Curves	20
3.1.10	BPV Committee on Nuclear Inservice Inspection (BPV XI)	20
3.1.11	Technical Oversight Management Committee	20
3.2	Reisebericht zur ASME BCW vom 04. bis 09. August 2019 in Minneapolis	20
3.2.1	SWG Inelastic Analysis Methods (SG ETD, BPV III)	20
3.2.2	WG Risk Informed Activities (BPV XI)	21
3.2.3	WG Environmental Fatigue Evaluation Methods (SG DM, BPV III)	21
3.2.4	WG Fatigue Strength (SG DM, BPV III)	22
3.2.5	WG Allowable Stress Criteria (SG ETD, BPV III)	23
3.2.6	WG High Temperature Flaw Evaluation (SG ETD, BPV III)	23
3.2.7	WG High-Temperature Flaw Evaluation	23
3.2.8	SG High Temperature Reactors	24
3.2.9	SG Non-Destructive Examination (SG NDE, BPV XI)	24
3.2.10	WG Flaw Evaluation Reference Curves	25
3.2.11	BPV Committee on Construction of Nuclear Facility Components (BPV III)	25
3.2.12	Technical Oversight Management Committee	26
3.3	Reisebericht zur ASME BCW vom 27. Oktober bis 01. November 2019 in Atlanta	26
3.3.1	WG on MANDE	26
3.3.2	SG Reliability and Integrity Monitoring (RIM)	27
3.3.3	TG Inspectability	27
3.3.4	TG Appendix VIII	28
3.3.5	WG on Procedure Qualification and Volumetric Examination	29
3.3.6	WG Pipe Flaw Evaluation	30
3.3.7	Training and Practice Requirements for NDE: Research in Human Learning and Memory	31

3.3.8	SG Non-destructive Examination	31
3.4	Reisebericht zur ASME BCW vom 02. bis 07. Februar 2020 in Las Vegas	32
3.4.1	WG on MANDE (BPV XI)	32
3.4.2	WG Flaw Evaluation Reference Curves (BPV XI)	33
3.4.3	TG High Strength Nickel Alloys Issues (BPV XI)	34
3.4.4	WG Fatigue Strength (SG DM, BPV III)	34
3.4.5	Task Team Defining Essential Characteristics of UT Systems (BPV XI)	34
3.4.6	KIWG TG on Advanced Surface Stress Improvement Technology	35
3.4.7	Subcommittee on Design (BPV III)	35
3.4.8	SG Materials, Fabrication & Examination (BPV III)	35
3.4.9	BPV Committee on Nuclear Inservice Inspection (BPV XI)	36
3.5	Reisebericht zur ASME BCW vom 16. bis 21. August 2020 als virtuelles Meeting	36
3.5.1	ASME / JSME Joint WG for RIM Processes and System Based Code (BPV XI)	36
3.5.2	WG on MANDE (BPV XI)	37
3.5.3	WG Flaw Evaluation Reference Curves (BPV XI)	37
3.5.4	WG Flaw Evaluation (BPV XI)	38
3.5.5	WG Environmental Fatigue Evaluation Methods (SG DM, BPV III)	38
3.5.6	WG Fatigue Strength (SG DM, BPV III)	39
3.5.7	WG Allowable Stress Criteria (SG ETD, BPV III)	40
3.5.8	SG Non-Destructive Examination (SG NDE, BPV XI)	41
3.5.9	SG on Reliability and Integrity Management Program (BPV XI)	42
4	Bewertung in Bezug auf das KTA Regelwerk	43
5	Literaturverzeichnis	44

Kurzfassung

Im vorliegenden Teilprojekt soll der aktuelle Stand von W&T zu werkstoff- und auslegungsbestimmenden Themen über den Zeitraum der Laufzeit des Vorhabens verfolgt, dokumentiert und in Bezug auf das KTA Regelwerk bewertet werden.

Dazu wurden die zur Vorhabenslaufzeit stattfindenden Veranstaltungen der ASME Code Week Meeting regelmäßig besucht. Hierzu wurden gemäß Vorhabensplanung insgesamt fünf Teilnahmen im Vorhabenszeitraum durchgeführt. Dies ermöglichte einen Überblick über den aktuellen Stand und die Entwicklungen und Überarbeitungen der einzelnen Sektionen des ASME-BPVC.

Die gewonnenen Erkenntnisse werden mit der Vorgehensweise nach dem deutschen kerntechnischen Regelwerk vergleichend bewertet und die Ergebnisse dokumentiert.

Abstract

In this work package, the current state of science and technology with regard to material and design in nuclear applications will be supervised, documented and evaluated with regard to the KTA regulations.

In order to achieve this goal, the meetings of the ASMCE Code Week, that will take place during the runtime of this project, will be regularly visited. Therefore, five participations of the ASME BCW will take place during the project time. The gathered information will be compared to the procedures according to the German nuclear regulations and the results will be documented. This will provide an overview of the current status and the developments of the different sections of the ASME-BPVC.

Abkürzungen

AM	Advanced Manufacturing
ASME	The American Society of Mechanical Engineers
ASNT	American Society For Nondestructive Testing
BPV	Boiler and Pressure Vessel
BPVC	Boiler and Pressure Vessel Code
CC	Code Case
CFR	Code of Federal Regulations
CS	Codes and Standards
CSS	Cast Stainless Steel
CT	Compact Tension
DM	Design Methods
EAF	Environmentally Assisted Fatigue
EPFM	Elastic Plastic Fracture Mechanics
EPRI	Electric Power Research Institute
ETD	Elevated Temperature Design
FEM	Finite Elemente Methode
Gr	Grade (Werkstoffgüte)
KIWG	Korea International Working Group
KKW	Kernkraftwerk
KTA	Kerntechnischer Ausschuss
MANDE	Monitoring and Nondestructive Evaluation
MDEP	Multinational Design Evaluation Program
MRP	Materials Reliability Program
NDE	Non Destructive Examination
NIST	National Institute of Standards and Technology
NRC	Nuclear Regulatory Commission
POD	Probability of Detection
PVP	Pressure Vessels & Piping

PWSCC	Primary Water Stress Corrosion Cracking
QNDE	Quantitative Nondestructive Evaluation Conference
RDB	Reaktordruckbehälter
RIM	Reliability and Integrity Monitoring
SC	Subcommittee
SCC	Systems, structures and components
SFR	Sodium-Cooled Fast Reactor
SG	Sub Group
SWG	Special Working Group
SWT	Smith, Watson & Topper
TG	Task Group
US	United States
UT	Ultrasonic Testing
W&T	Wissenschaft und Technik
WG	Working Group
ZfP	Zerstörungsfreie Prüfung

1 Einleitende Bemerkungen

Gemäß kerntechnischem Regelwerk, z.B. KTA 3201 [4] und KTA 3211 [5], ist nachzuweisen, dass die druckführenden Wandungen von Kernkraftwerken (KKW) im Rahmen der Auslegung allen spezifizierten Belastungen (Belastungshöhe und Häufigkeit), also mechanische und thermische sowie korrosive, und im Rahmen des Alterungsmanagements [6] allen real auftretenden Belastungen mit den gemessenen Häufigkeit in zulässiger Weise über die gesamte Betriebszeit standhalten. Eine Bewertung erfolgt im Rahmen der Spannungsanalyse für statische Beanspruchungen und im Rahmen der Ermüdungsanalyse für den Fall einer schwingenden Beanspruchung. Falls erforderlich sind für postulierte Fehler noch bruchmechanische Bewertungen, insbesondere für Rohrleitungsbereiche mit Bruchausschluss, durchzuführen [7]. Die Auswirkungen der Ursachen für im Betrieb mögliche Schädigungsmechanismen sind dabei mit zu berücksichtigen.

Im Zusammenhang damit ergeben sich auch Fragestellungen im Hinblick auf das KTA Regelwerk und die gegebenenfalls erforderliche Anpassung an den Stand von Wissenschaft und Technik (W&T).

1.1 Zielsetzung

Im vorliegenden Teilprojekt soll der aktuelle Stand von W&T zu werkstoff- und auslegungsbestimmenden Themen über den Zeitraum der Laufzeit des Vorhabens verfolgt, dokumentiert und in Bezug auf das KTA Regelwerk bewertet werden.

1.2 Planung und Ablauf des Vorhabens

Zur Beobachtung des Stands von W&T zu werkstoff- und auslegungsbestimmenden Themen werden die zur Vorhabenslaufzeit stattfindenden Veranstaltungen der ASME Code Week Meeting regelmäßig besucht. Hierzu werden insgesamt fünf Teilnahmen im Vorhabenszeitraum durchgeführt. Dies ermöglicht einen Überblick über den aktuellen Stand und die Entwicklungen und Überarbeitungen der einzelnen Sektionen des ASME-BPVC.

Die gewonnenen Erkenntnisse werden mit der Vorgehensweise nach dem deutschen kerntechnischen Regelwerk vergleichend bewertet und die Ergebnisse dokumentiert.

2 Wissenschaftliche und technische Ziele des Projektes

2.1 Stand von Wissenschaft und Technik

Von der „American Society of Mechanical Engineers“ (ASME) werden jährlich vier „Code Week Meetings“ durchgeführt, wobei die verschiedenen ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC) Standard Committees und Technical Committees, ihre Sitzungen abhalten.

- Working Groups (WG)

WG are typically responsible for a specific technical portion of the Code. As an example, WG Vessels is responsible for the rules for design of vessels. The WG includes members with appropriate specific technical knowledge.
- Special Working Groups (SWG)

SWG that perform a technical function are normally responsible for a specific technical topic, such as fatigue. SWG are not responsible for a specific portion of a Code book, but instead provide advice and technical support on the given technical topic to either WG or SG that are responsible for the Code book.
- Subgroups (SG)

SG are typically responsible for a general technical area of the Code, such as Design. SG can have multiple WG and SWG reporting up to the SG. SG members typically include members from the WG and SWG.
- Subcommittees (SC)
 - *There is currently only one SC, which is Subcommittee Design. SC Design provides technical coordination across all the design Subgroups as well as coordination between all Technical and Division Subgroups on issues and rules related to design.*

Die Standard Committees sind für die einzelnen Sections zuständig. Für Section III ist dies wie folgt definiert: *The BPV III Standards Committee establishes consensus for proposed code actions affecting all of Section III (including general requirements, all divisions, appendices interpretations and nuclear code cases). Through this process, the BPV III Standards Committee develops and maintains the BPV III Code.*

Die Aufgabe der Technical Committees sind für Section III wie folgt definiert: *Technical Committees are responsible for managing the development of proposed standards actions affecting the technical content of Section III within their areas of technical expertise or engineering discipline as specified in the committee's charter.*

The Technical Committees include Working Groups (WG), Special Working Groups (SWG), Subgroups (SG) and Subcommittees (SC), as needed to meet the scope of responsibility that may span multiple divisions and subsections of Section III.

Bei der ASME Code Week werden in mehrfach parallel stattfindenden Sitzungen Beratung und Überarbeitungen der Section I bis XII des ASME BPVC betreffend durchgeführt.

Die Teilnahme am ASME Code Week Meeting gibt einen Überblick über den aktuellen Stand und die aktuellen Entwicklungen und Überarbeitungen der einzelnen Sections des ASME-BPVC. Dies bezieht sich in den vorliegenden Reiseberichten insbesondere auf die im kern-technischen Bereich angewendeten Section III (*Rules for Construction of Nuclear Facility Components*) [2], also das *BPV Committee on Construction of Nuclear Facility Components (III)* mit dem entsprechenden *Technical Committee*, [1], sowie Section XI (*Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components*) [3] des ASME-BPVC.

Protokolle zu den Sitzungen der einzelnen Committees/Gruppen und weitere zugehörige Unterlagen können über die ASME Homepage <http://cstools.asme.org/csconnect> (CS Connect, sofern eine Zugangsberechtigung vorliegt) heruntergeladen werden.

Vorab wird von ASME zu jeder Code Week der „NRC Report for ASME Code Meetings“ versandt. Dieser enthält Anmerkungen/Stellungnahmen der U.S. NRC, wie z.B. zu ASME Code Case Rulemaking/Regulatory Guides, Operating Plant Issues and Material Degradation, License Renewal Activities, New Reactor Licensing Activities, Multinational Design Evaluation Program (MDEP) Activities, 10 CFR Part 21 Rulemaking, NRC Staff Review of EPRI Guidelines, New Generic Letters and New Information Notices sowie New Regulatory Issue Summaries.

2.2 Bisherige Arbeiten der MPA Universität Stuttgart

Die MPA Universität Stuttgart hat in der Vergangenheit regelmäßig an ASME Code Weeks teilgenommen und die Entwicklung des ASME Codes hinsichtlich Auswirkungen auf das KTA-Regelwerk beobachtet.

3 Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse

Im Rahmen des Vorhabens wurden folgende fünf Veranstaltungen der ASME BCW besucht:

- 02/2019 Costa Mesa
- 08/2019 Minneapolis
- 10/2019 Atlanta
- 02/2020 Las Vegas
- 08/2020 Virtuell

Die Aufgabenstellungen und Zielsetzungen der besuchten Arbeitsgruppen sind zusammenfassend im folgenden Abschnitt dargestellt.

- **WG Allowable Stress Criteria (SG ETD, BPV III)**
Die Arbeitsgruppe ist zuständig für die Entwicklung von ertragbaren Spannungskennwerten für die Auslegung von Komponenten bei erhöhten Temperaturen in kerntechnischen Anlagen.
- **WG Environmental Fatigue Evaluation Methods (SG DM, BPV III)**
Die Arbeitsgruppe bewertet Methoden zur Beurteilung der Lebensdauer von ermüdungsbeanspruchten Komponenten in einer Wasserumgebung.
- **WG Fatigue Strength (SG DM, BPV III)**
Ziel der Arbeitsgruppe ist die Entwicklung von fortschrittlichen Auslegungsmethoden gegenüber Ermüdung und dazugehörige Analysemethoden.
- **WG Flaw Evaluation (BPV XI)**
Aufgabe der Arbeitsgruppe Flaw Evaluation ist die Entwicklung und Pflege von Prozeduren und Zulässigkeitskriterien für die Bewertung von Rissen in kerntechnischen Anlagen und Komponenten, die in ASME Section XI Inservice Inspections behandelt werden. Diese Aufgaben umfassen die Zusammenführung von analytischen Methoden, Materialeigenschaften und Auslegungsbedingungen in Regelwerkstexte. Dadurch werden zulässige Rissgrößen, Betriebsbedingungen und Schwellen für den Betrieb von Komponenten in kerntechnischen Anlagen festgelegt.
- **WG Flaw Evaluation Reference Curves**
Die Arbeitsgruppe entwickelt Referenzkurven zum Risswachstum, zu spannungsinduziertem Korrosionsrisswachstum und anderen Korrosionsmechanismen in Luft und in Wasserumgebung.
- **WG High-Temperature Flaw Evaluation (SG ETD, BPV III)**

Ziel der Arbeitsgruppe ist die Entwicklung von Vorgaben zur Bewertung von Rissen in Reaktorkomponenten aus Werkstoffen, bei deren Betriebstemperatur Kriechen auftreten kann.

- **WG on MANDE (BPV XI)**

Die Working Group on MANDE (Monitoring and Nondestructive Evaluation) gehört zur Subgroup "Reliability and Integrity Management Program (SG/RIM)" im Committee XI. Die WG MANDE wurde aus einer Arbeitsgruppe zu dem Thema heraus entwickelt und bei der Code Week im 01/2019 in Costa Mesa offiziell gegründet.

- **WG on Procedure Qualification and Volumetric Examination**

Die WG ist den TG Inspectability und Appendix VIII übergeordnet. In der Sitzung berichteten u.a. diese beiden Gruppen.

- **WG Risk Informed Activities (BPV XI):**

Die Arbeitsgruppe Risk-Informed Activities soll die Anwendung von risikobasierten Methoden zur Bestimmung von Festlegungen an Komponenten erweitern.

- **ASME / JSME Joint WG for RIM Processes and System Based Code (BPV XI)**

In der von ASME und JSME gemeinsamen Arbeitsgruppe RIM Processes and System Based Code wird der Regelwerkstext in Section XI RIM (Division 2) entwickelt, geprüft und auf aktuellem Stand gehalten. In der Arbeitsgruppe werden Anforderungen für die Entwicklung eines RIM Prozesses entwickelt und Vorgaben erstellt für die Erstellung von Zuverlässigkeitszielen, Anforderungen an Berichte definiert und RIM-spezifische Reparatur- und Austauschmaßnahmen definiert.

- **TG Appendix VIII**

Appendix VIII beschreibt die Vorgehensweisen zur Qualifizierung von Prüfverfahren und –systemen, die in Kernkraftwerken eingesetzt werden.

- **TG High Strength Nickel Alloys Issues (BPV XI)**

Die Taskgruppe entwickelt Code Anpassungen und Code Cases mit Bezug auf hochfeste Nickellegierungen für ASME Section XI, Division 1 des Boiler and Pressure Vessel Codes.

- **TG Inspectability**

Die Task Group Inspectability beschäftigt sich mit Änderungen des Codes und Code Cases, die die Prüfung von Komponenten betreffen, die nicht die im Code geforderten Zugänglichkeiten zur Prüfung bieten, zum Beispiel aufgrund des Materials oder der Konstruktion.

- **KIWG TG on Advanced Surface Stress Improvement Technology**

Ziel der Task Group ist die Entwicklung eines Code Cases zur Festlegung von Bewertungskriterien für eine Oberflächenbehandlung mittels Peening.

- **Task Team Defining Essential Characteristics of UT Systems (BPV XI)**

Die Arbeitsgruppe hat die Aufgabe, Prozesse, Parameter und Akzeptanzkriterien festzulegen, um eine Vergleichbarkeit verschiedener Ultraschall-Prüfsysteme zu gewährleisten.

- **SWG Inelastic Analysis Methods (SG ETD, BPV III):**

Schwerpunkte der Special Working Group (SWG) sind Festlegung von Randbedingungen/Vorgehensweisen für die Durchführung bei zukünftigen inelastischen Berechnungen/Analysen im Bereich von:

- ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III - Rules for Construction of Nuclear Facility Components, Division 5, High Temperature Reactors.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III - Rules for Construction of Nuclear Facility Components, Division 1 - Subsection NH, Class 1 Components in Elevated Temperature Service

- **SG High Temperature Reactors**

Die Subgroup High Temperature Reactors überwacht die Entwicklungen von Regelwerken für Hochtemperaturreaktoren.

- **SG Materials, Fabrication & Examination (BPV III)**

Die Subgroup Materials, Fabrication & Examination ist zuständig für Aktualisierung der Anforderungen in Bezug auf Werkstoffe im ASME Code.

- **SG Non-destructive Examination (SG NDE, BPV XI)**

Die Arbeitsgruppe ist verantwortlich für die Entwicklung und Pflege der Regelwerksanforderungen für die zerstörungsfreie Prüfung von ASME Klasse 1, 2, 3, CC und MC Strukturen, Systemen, Bauteilen und deren Unterstützungsstrukturen, einschließlich Kerneinbauten.

- **SG on Reliability and Integrity Management Program (BPV XI)**

Zielsetzung ist die Entwicklung, Prüfung und Aktualisierung von Anforderungen zur Sicherung der Integrität von Systemen, Strukturen und Bauteilen, die die Zuverlässigkeit beeinflussen. Der Anwendungsbereich umfasst alle fortschrittlichen Reaktor-Technologien.

- **SG Reliability and Integrity Monitoring (RIM)**

In der SG RIM werden Anforderungen an Managementprogramme für die Zuverlässigkeit und Integrität kerntechnischer Anlagen unabhängig vom Reaktortyp definiert.

- **Subcommittee on Design (BPV III)**

Ziel des Subcommittees ist die Koordination aller Aktivitäten der Design Gruppen in der BPV III.

- **BPV Committee on Construction of Nuclear Facility Components (BPV III)**

Die SG „General Requirements“, „Component Design“, „Design Methods“, „Materials, Fabrication and Examination“, „NUPACK“ und das „Joint Committee on Concrete for Nuclear Service“ berichten dem BPV Committee III.

- **BPV Committee on Nuclear Inservice Inspection (BPV XI)**

Aufgabe des Committees ist die Entwicklung, die Überprüfung und Aktualisierung von Regelungen zur zerstörungsfreien Prüfung druckführender Komponenten. Die SG „Evaluation Standards“, „Nondestructive Examination“, „Reliability and Integrity Management Program“, „Repair/Replacement Activities“, „Water-Cooled-Systems“ berichten dem BPV Committee XI.

- **Technical Oversight Management Committee**

Die BPV Committees berichten dem Technical Oversight Management Committee zum aktuellen Status.

Die zugehörigen Reiseberichte sind nachfolgend dargestellt.

3.1 Reisebericht zur ASME BCW vom 10.-15. Februar 2019 in Costa Mesa

Im Folgenden werden die Erkenntnisse aus dem Besuch der ASME BCW vom 10. – 15. Februar 2019 in Costa Mesa dargestellt.

3.1.1 SWG Inelastic Analysis Methods (SG ETD, BPV III)

Aktuell werden inelastische Werkstoffmodelle zur Auslegung von Komponenten erstellt. Im Focus dabei ist ein neues inelastisches Werkstoffmodell für den Gr.316H: ein schnelles Berechnungsmodell mit Berücksichtigung der Beanspruchungshistorie bei Überlagerung von Kriechen und Ermüdung. Das Modell ist analog zum Modell für die Werkstoffgüten Grade 91 und Grade 304H aufgebaut. Werkstoffdaten sind verfügbar für 550 °C, 600 °C und 650 °C, für höhere Betriebstemperaturen ist die Datenlage limitiert.

Diskussion zur weiteren Vorgehensweise:

- Streuung der Werkstoffkennwerte (Kriechdehnung im Zeitstandversuch): Berücksichtigung über Designfaktoren im Code, keine Berücksichtigung im Modell
- Aufruf an die Mitglieder der Arbeitsgruppe, die im Appendix Z, General Guidance, vorgeschlagene Vorgehensweise zur Berechnung nachzuvollziehen und eine Rückmeldung in die Arbeitsgruppe zu geben.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Kein direkter Bezug, da der Anwendungsbereich der KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5] auf Temperaturen < 400 °C beschränkt ist.

3.1.2 WG Risk Informed Activities (BPV XI)

Folgende Nuclear Code Cases (CC) werden derzeit bearbeitet:

- CC N-752 "Risk-Informed Safety Classification and Treatment For Repair/Replacement Activities in Class 2 and 3 Moderate Energy Systems":

Die Diskussion wurde geführt, wie die Anmerkungen zum Code Case aus dem Ballot implementiert werden.

- CC N-716 "Alternative Piping Classification and Examination Requirements":

Diskussion (Festlegung dazu noch offen), wie Auftragsschweißungen im Code Case behandelt werden sollen.

- Case N-711 "Alternative Examination Coverage Requirements for Examination Category B-F, B-J, C-F-1, C-F-2, and R-A Piping Welds":

Diskussion zum Prüfumfang (Klärung noch offen): Welche Möglichkeiten gibt es wenn der geforderte Prüfumfang nicht eingehalten werden kann. Beispiel: wegen Nicht-Zugänglichkeit aufgrund einer angrenzenden Komponenten kann keine 100 % Prüfung durchgeführt werden.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Kein direkter Bezug, da die KTA Regeln KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5] keine risikoabhängige Bewertung erlauben.

3.1.3 WG Environmental Fatigue Evaluation Methods (SG DM, BPV III)

Folgende Themen wurden diskutiert:

- Zum EAF Gap Analysis Report von EPRI wurde ein Update herausgegeben. Es wird untersucht, in wieweit das Update den Arbeitsplan „Ermüdung“ beeinflusst.
- Update zum EAF NB-3600 Status Sample Problem: Es läuft ein Vergleich von vier verschiedenen Institutionen, um Dehnraten gemäß NB-3600 zu bestimmen. Die beobachteten Abweichungen in den Ergebnissen wurden diskutiert und bedürfen zum Teil noch Klärung.
- Risswachstum bei negativem R-Verhältnis: Aktuelle Untersuchungen wurden vorgestellt, weitere Untersuchungen werden in den kommenden 18 Monaten durchgeführt.
- Update Code Case N-792-1: Abweichungen zum veröffentlichten NUREG/CR-6909 Rev. 1 Bericht sollen identifiziert und anwendbare Aktualisierungen festgelegt werden. Notwendig:
 - o Vergleich der Ermüdungskurven

- Untersuchung der Grundlage für die Festlegung der Dehnratengrenze
- Aktualisierung der Fen Gleichungen
- Ergänzung des Code Cases: CC N-XXX "Procedure to Determine Strain Rate for Use with the Environmental Design Fatigue Curve Method and the Environmental Fatigue Correction Factor (Fen) Method as part of an Environmental Fatigue Evaluation for Components Analyzed per NB-3200 Rules, Section III; Division 1" (Record 16-1152, old 10-293), neue Fassung:
 - CC N-YYY "Procedure to Determine Strain Rate for Use with the Environmental Design Fatigue Curve Method and the Environmental Fatigue Correction Factor (Fen) Method as part of an Environmental Fatigue Evaluation for Piping and Valves Analyzed per the NB-3600 and NB-3200 Rules, respectively (Section III, Division 1): Ergänzung des Code Cases um Rohrleitungen und deren Analyse gemäß NB-3600. Zum Code Case CC N-YYY liegen Abstimmungsergebnisse vor und die erforderlichen Änderungen sind eingearbeitet.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Berücksichtigung des Mediumseinflusses bei der Durchführung einer Ermüdungsanalyse gemäß KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5].

3.1.4 WG Fatigue Strength (SG DM, BPV III)

Folgende Themen wurden diskutiert:

- Ke Faktoren: Zur Korrektur von elastisch-plastischen Dehnungen bei der linearelastischen Spannungsanalyse werden gemäß ASME Section III, NG 3200 (Kernstrukturen) bzw. NB 3600 (Rohrleitungskomponenten) Ke Faktoren ermittelt. Zur Reduzierung von Konservativitäten bei der Ermittlung der Ke-Faktoren existiert ein Code Case Entwurf, N-XXX, Alternative Rules for Simplified Elastic-Plastic Analysis in Section III". Die damit ermittelten Werte wurden den Werten nach anderen Regelwerken ermittelten Ke-Faktoren gegenübergestellt:
 - ASME
 - ASME Code Case
 - RCCM
 - JSME

Ergebnis der Gegenüberstellung war, dass sowohl ASME Code Case, RCCM und JSME vergleichbare Ergebnisse liefern, die Werte nach ASME Regelwerk demgegenüber sehr konservativ sind. In der folgenden Diskussion wurde festgelegt, dass es anzustreben ist, die Ermittlung der Ke Faktoren weltweit zu harmonisieren.

- Procedure for Updated Recommended Test Metallic Materials Fatigue: Der Bericht dazu wurde noch nicht vorgestellt, Ergebnisse sind voraussichtlich nächstes Jahr verfügbar.
- Hochfeste Stahlbolzen: Für hochfeste Stahlbolzen gibt es eine Ermüdungskurve, die nur unter bestimmten Voraussetzungen gilt. Falls die Voraussetzungen nicht erfüllt werden, ist keine Ermüdungskurve verfügbar. Die erforderliche Anpassung des Code Cases ist eine Aufgabenstellung für die Arbeitsgruppe.
- Design-Fatigue Curves: Es soll ein Vorschlag zur Modifizierung der Sicherheitsbeiwerte bei den Design Fatigue Curves erarbeitet werden, der die aktuell verfügbare Datenlage (unter anderem auch die Daten im Bericht NUREG/CR-6909 Rev. 1) berücksichtigt. Diskussionspunkte für die Datenauswertung sind noch:
 - o Berücksichtigung von Mittelspannungen
 - o Versagenskriterien (Lastabfall, Bruch, ...)
 - o Vergleich von spannungs- mit dehnungskontrollierten Versuchen

Bezug zu KTA-Regelwerk

Berücksichtigung des Mediumseinflusses bei der Durchführung einer Ermüdungsanalyse KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5].

3.1.5 WG Allowable Stress Criteria (SG ETD, BPV III)

Diskutiert wurde die thermische Alterung des Gr.91 in Bezug auf die Kennwerte Streckgrenze und Zugfestigkeit als Funktion von Zeit und Temperatur.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Kein direkter Bezug, da der Anwendungsbereich der KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5] auf Temperaturen <400°C beschränkt ist.

3.1.6 WG High Temperature Flaw Evaluation (SG ETD, BPV III)

Gegenstand der Diskussion war ein Draft code case zur Bewertung von Rissen in Rohrleitungen, bei denen Kriechen auftreten kann: Dazu wurden im Vorlauf des Arbeitsgruppentreffens 3 Beispielprobleme erstellt. An die Mitglieder der Arbeitsgruppe erfolgte die Bitte, für diese Beispiele die im Code Case dargestellte Prozedur auf ihre Anwendbarkeit zu prüfen.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Kein direkter Bezug, da der Anwendungsbereich der KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5] auf Temperaturen < 400 °C beschränkt ist.

3.1.7 SG Non-Destructive Examination (SG NDE, BPV XI)

Code Case N-638-10: Diskutiert wurde die Ergänzung von Anforderungen zum Code Case 638-9, Similar and Dissimilar Metal Welding Using Ambient Temperature Machine GTAW Temper Bead Technique Section XI, Division 1. Neue Formulierungen und ergänzende Passagen wurden eingefügt, im Wesentlichen, um die Anforderungen an die zerstörungsfreien Prüfungen von Reparaturschweißungen zu definieren.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Festlegungen zum Umfang der Zerstörungsfreien Prüfungen gemäß KTA Regeln [4] und 3211 [5].

3.1.8 Fatigue Steering Committee

Im Bericht NUREG/CR-6909, Rev.1, Appendix A sind neue Ermüdungskurven enthalten. Ein Code Case wurde entwickelt, um diese Kurven ins ASME Regelwerk aufzunehmen (Case N-XXX – Additional Fatigue Curves for Section III, Appendix I). Dieser befindet sich derzeit in der Abstimmung.

Das Dokument „RECOMMENDED TEST PROCEDURE FOR FATIGUE TESTING OF METALLIC MATERIALS BELOW THE CREEP RANGE“ wurde aktualisiert und befindet sich derzeit zur Abstimmung in der WG Fatigue Strength.

Der Mittelspannungseinfluss wird nach Goodman berücksichtigt. Ein neuerer Ansatz (Smith, Watson & Topper) wurde in anderen Industriebereichen erfolgreich eingesetzt. Zielsetzung der Arbeitsgruppe Fatigue Strength ist daher, einen Code Case für den Gr. 91 mit Mittelspannungskorrektur nach SWT zu erstellen sowie den aktuellen Code Case „Additional Fatigue Curves for Section III“ mit Mittelspannungskorrektur nach SWT zu aktualisieren.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Durchführung einer Ermüdungsanalyse gemäß KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5].

3.1.9 WG Flaw Evaluation Reference Curves

Vorgestellt wurden aktuelle Erkenntnisse zum Werkstoffverhalten seitens EPRI, die im Rahmen des „Materials Reliability Programs“ generiert wurden. Zum Teil sind diese Daten öffentlich verfügbar, beispielsweise Materialdaten zu den Werkstoffen Alloy 690, Alloy 52, 152, und Schweißvarianten (MRP-386), der Bericht ist zugänglich unter folgendem Link:

<https://www.epri.com/#/pages/summary/000000003002010756/?lang=en>

Weitergehend wurde die Abhängigkeit der Rissfortschrittsrate vom R-Verhältnis diskutiert sowie eine mögliche Anpassung der kritischen Spannungsintensität bei ferritischen Stählen in Abhängigkeit des R-Verhältnisses.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Berücksichtigung des Mediumseinflusses bei der Durchführung einer Ermüdungsanalyse KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5].

3.1.10 BPV Committee on Nuclear Inservice Inspection (BPV XI)

Aus den SG „Evaluation Standards“, „Nondestructive Examination“, „Reliability and Integrity Management Program“, „Repair/Replacement Activities“, „Water-Cooled-Systems“ wurde über Abstimmungen (ballots), die im Rahmen der Arbeitsgruppensitzungen durchgeführt wurden, berichtet.

3.1.11 Technical Oversight Management Committee

Es wurden vorwiegend administrative Themen besprochen.

3.2 Reisebericht zur ASME BCW vom 04. bis 09. August 2019 in Minneapolis

Im Folgenden werden die Erkenntnisse aus dem Besuch der ASME BCW vom 04. bis 09. August 2019 in Minneapolis dargestellt.

3.2.1 SWG Inelastic Analysis Methods (SG ETD, BPV III)

Aktuell werden inelastische Werkstoffmodelle zur Auslegung von Komponenten erstellt die in der Ausgabe 2021 in das Regelwerk aufgenommen werden sollen. Für folgende Werkstoffgü-ten werden derzeit Modelle erstellt:

- 316 H
- Alloy 617

Weitere Modelle sind geplant für die Werkstoffgü-ten:

- 2,25% Cr, 1% Mo Stähle

- Alloy 800 H
- 304 H

Diskutiert wurde der aktuelle Stand zur Entwicklung des Werkstoffmodells für den 316 H. Eingangsdaten in die Modellerstellung sind einachsige Zugversuche, Kriechversuche sowie dehnungskontrollierte Ermüdungsversuche mit Haltezeit. Der Temperaturbereich soll den gesamten Anwendungsbereich des 316 H abdecken und reicht von 25 °C bis 815 °C. Für die Überprüfung des Modells sowie der im Entwurf des Regelwerkstextes vorgeschlagenen Vorgehensweise zur Modellanwendung existieren derzeit zwei Beispielaufgaben, die innerhalb der Arbeitsgruppe von verschiedenen Bearbeitern gelöst werden.

Diskussion zur weiteren Vorgehensweise:

Diskutiert wurde die weitere Vorgehensweise um den Zeitplan für Aufnahme der Werkstoffmodelle in die Regelwerksausgabe 2021 einzuhalten.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Kein direkter Bezug, da der Anwendungsbereich der KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5] auf Temperaturen < 400 °C beschränkt ist.

3.2.2 WG Risk Informed Activities (BPV XI)

Folgender Entwurf eines Code Cases (CC) wurde bearbeitet:

- CC N-716-3 "Alternative Piping Classification and Examination Requirements": Fragestellung ist, wie der Gültigkeitsbereich von Nonmandatory Appendix R und des Code Case 716, die derzeit nur für sich im Betrieb befindliche Kraftwerke gelten, auf neue Kraftwerke ausgeweitet werden kann.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Kein direkter Bezug, da die KTA Regeln KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5] keine risikoabhängige Bewertung erlauben.

3.2.3 WG Environmental Fatigue Evaluation Methods (SG DM, BPV III)

Folgende Themen wurden diskutiert:

- Update zum EAF NB-3600 Status Sample Problem: Es läuft ein Vergleich von vier verschiedenen Institutionen, um Dehnraten gemäß NB-3600 zu bestimmen. Anhand der Dehnraten wird im Regelwerk der Ermüdungskorrekturfaktor (Fen-Faktor) zur Ermüdungsberechnung festgelegt. Mittlerweile sind drei Ergebnisse verfügbar.
- Code Case N-884 (editorial update): Keine inhaltlichen Änderungen, Korrektur von Schreibfehlern, fehlerhaften Verweisen, etc.

- Code Case zur Bestimmung des effektiven Fen-Faktors bei komplexen Transienten für Komponenten aus austenitischem Stahl. Grundlagen dazu wurden im Rahmen der ASME PVP Konferenz veröffentlicht. Diskutiert wurde, wie die bisher vorliegenden Vorschläge zur Berechnung von Fen-Faktoren zusammengeführt werden können.
- Diskussion über die Behandlung von Lücken in der Dehnungshistorie von Komponenten.
- Code Case zur Tolerierung von Rissen: Diese Aktivität war 2016 zurückgestellt worden, eine Wiederaufnahme wird angestrebt.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Berücksichtigung des Mediumseinflusses bei der Durchführung einer Ermüdungsanalyse gemäß KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5].

3.2.4 WG Fatigue Strength (SG DM, BPV III)

Folgende Themen wurden diskutiert:

- Entwurf einer Prüfpraxis zur Ermittlung der Ermüdungseigenschaften metallischer Werkstoffe. Schwerpunkte der Diskussion waren:
 - o Verfügbare / veröffentlichte Eingangsdaten
 - o Qualität der vorhandenen Daten
 - o Integration von Konfidenzintervallen
- Draft Code Case mit zusätzlichen Ermüdungskurven für Kohlenstoff- und niedriglegierte Stähle mit einer Zugfestigkeit kleiner als 552 MPa. In der Abstimmung wurden keine negativen technischen Kommentare abgegeben, so dass der Code Case an die zuständige Subgroup weitergereicht werden soll.
- Bericht zum Draft Code Case „Alternative Design Fatigue Curves for Section III Appendices“. Eine Präsentation dazu wurde auf der ASME PVP Tagung gehalten.
- EAF-Daten aus dem NUREG / CR-6909 Rev. 1 Bericht: Die Datenquellen des Berichts wurden zusammengestellt. Zielsetzung ist die Erstellung einer eigenen Datenbank innerhalb der ASME, die Daten verschiedener internationaler Institutionen enthält.
- Action Item: Update der Ermüdungskurven an Luft

Bezug zu KTA-Regelwerk

Berücksichtigung des Mediumseinflusses bei der Durchführung einer Ermüdungsanalyse KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5].

3.2.5 WG Allowable Stress Criteria (SG ETD, BPV III)

Diskutiert wurde die thermische Alterung des Gr.91 in Bezug auf die Kennwerte Streckgrenze und Zugfestigkeit als Funktion von Zeit und Temperatur.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Kein direkter Bezug, da der Anwendungsbereich der KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5] auf Temperaturen < 400 °C beschränkt ist.

3.2.6 WG High Temperature Flaw Evaluation (SG ETD, BPV III)

Folgende Themen wurden diskutiert:

- Status zum Code Case für den Einsatz des Alloy 617
- Kurze Info zur Einschränkung in der zulässigen chemischen Analyse von Grade 304 / 316
- Korrektur von Warmfestigkeitskennwerten des Grade 91 bei hohen Laufzeiten im Bereich 475 °C und 500 °C (hier wurden geringfügige Änderungen implementiert)
- Diskussion über die Festlegung von Temperaturgrenzen von Grade 304 und 316 H sowie eine mögliche Erweiterung bis 825 °C.
- Verwendung von fortschrittlichen Fertigungsverfahren wie beispielsweise die additive Fertigung
 - o Code Case N-834 erlaubt die Verwendung von Grade 304 als HIP-gespresstes Pulver
 - o Es wurde festgelegt, eine Taskgruppe zu bilden die eine Vorschläge für eine Prüfmatrix dieser Werkstoffe erarbeiten soll

Bezug zu KTA-Regelwerk

Kein direkter Bezug, da der Anwendungsbereich der KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5] auf Temperaturen < 400 °C beschränkt ist.

3.2.7 WG High-Temperature Flaw Evaluation

Folgende Themen wurden diskutiert:

- Entwurf Code Case, der eine Prozedur zur Rissevaluierung bei hohen Temperaturen enthält. Als Test wurde eine Beispielaufgabe erstellt (Zylinder unter Innendruck bei 62,5 MPa und 565 °C mit Defekten in der äußeren Wandung). Diskutiert wurde u.a. das Vorgehen zur Ermittlung von C* sowie die Grenzen der Anwendung.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Kein direkter Bezug, da der Anwendungsbereich der KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5] auf Temperaturen < 400 °C beschränkt ist.

3.2.8 SG High Temperature Reactors

Diskutiert wurden folgende Themen:

- Vorliegender Code Case zur Bewertung von Kriechermüdung beim Werkstoff Grade 91
- Anleitung zur Analyse von elastischem Shakedown
- Berichte zum Fortschritt aus den zugehörigen Arbeitsgruppen
 - o Non-Metallic Design and Materials
 - o Analysis Methods
 - o Inelastic Analysis Methods

Bezug zu KTA-Regelwerk

Kein direkter Bezug, da der Anwendungsbereich der KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5] auf Temperaturen < 400°C beschränkt ist.

3.2.9 SG Non-Destructive Examination (SG NDE, BPV XI)

Diskutiert wurden folgende Themen:

- Training von ZfP-Personal, Inhalte der zugehörigen Ausbildung
- Code Case zur Behandlung von Reparaturen bei Komponenten aus kohlefaserverstärkten Werkstoffen: Ein neues Verfahren (Dynamic Response Spectroscopy) zum Auffinden und Vermessen von Delaminationen und Leerstellen wurde aufgenommen.
- Durchführung von Inspektionen und Festlegung von Prüfintervallen bei Reparaturen mittels Schweißnahtdecklagen
- Berichte aus folgenden Arbeitsgruppen:
 - o NRC-Bericht
 - o Task Group Appendix 8 (Einbindung von Anforderungen zum Nachweis der Fehlerauffindevermögens)
 - o EPRI-Bericht
 - o Hinweis auf neu erschienene NDE technical reports
 - o Hinweis auf das aktuell laufende Material Reliability Program
 - o Special Working Group Industry Experience for New Plants
 - o Task Group Inspectability Reports

Bezug zu KTA-Regelwerk

Festlegungen zum Umfang der Zerstörungsfreien Prüfungen gemäß KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5].

3.2.10 WG Flaw Evaluation Reference Curves

Folgende Themen wurden diskutiert:

- Code Case zur Bewertung des Ermüdungsrisswachstums bei den Werkstoffen Alloy 690 und Alloy 600 für niedrige ΔK Werte.
- Code Case zur Bewertung der Risswachstumsraten durch Spannungsrisskorrosion an den Werkstoffen Alloy 690, 52 und 152. Der Code Case wird anhand der Rückmeldungen aus der Arbeitsgruppe überarbeitet und im November mit den eingebrachten Änderungen erneut vorgestellt.
- Revision Code Case N-809 zum Ermüdungsrisswachstum rostfreier Stähle in DWR-Umgebung. Vorgeschlagen wurden Änderungen in Bezug auf
 - o den Temperaturfaktor um vorhandene Gleichungen auf 21 °C hinunter zu extrapolieren
 - o Eine Anpassung des Modells zur Bewertung des R-Verhältnisses
 - o Einbindung eines ΔK_{th} Modells das auf einem R-Verhältnis > 0 basiert
 - o Einbindung von Temperatureffekten
 - o Alternative Vorgehensweise zur Bestimmung des Lastanstiegsgradienten
 - o Erweiterung des ΔK_{th} Modells das auf ein R-Verhältnis < 0
- Diskussion, wie die Rissfortschrittskurven aus den Datenwerten abgeleitet wurden (Festlegung des Confidence-Levels)
- Berücksichtigung von Temperatureffekten in der Risswachstumskurve

Bezug zu KTA-Regelwerk

Berücksichtigung des Mediumseinflusses bei der Durchführung einer Ermüdungsanalyse KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5].

3.2.11 BPV Committee on Construction of Nuclear Facility Components (BPV III)

Dem BPV Committee III wurde aus den SG „General Requirements“, „Component Design“, „Design Methods“, „Materials, Fabrication and Examination“, „NUPACK“ und dem „Joint Committee on Concrete for Nuclear Service“ berichtet. Dabei wurde vorwiegend über die Ergebnisse von durchgeführten Abstimmungen (ballots) zu aktuellen Regelwerksthemen berichtet, die in den jeweils zugehörigen Arbeitsgruppen bearbeitet wurden.

3.2.12 Technical Oversight Management Committee

Die BPV Committees berichten dem Technical Oversight Management Committee zum aktuellen Status. Im Wesentlichen wurden administrative Themen besprochen.

3.3 Reisebericht zur ASME BCW vom 27. Oktober bis 01. November 2019 in Atlanta

Im Folgenden werden die Erkenntnisse aus dem Besuch der ASME BCW vom 27. Oktober bis 01. November 2019 in Atlanta dargestellt.

3.3.1 WG on MANDE

Beim Treffen 04/2019 wurde zunächst ein online-Tool für die Zuverlässigkeitsbewertung von Sprengstoffspurendetektoren vorgestellt, das auf der Homepage des NIST zugänglich ist. Das diene als Beispiel für die Zuverlässigkeitsbewertung von zerstörungsfreien Prüfungen.

Im weiteren Verlauf wurde über den Begriff „reliability“ = Zuverlässigkeit diskutiert. In der SG RIM wird die Integrität von Systemen (systems), Bauten (structures) und Komponenten (components) gemeinsam unter der Abkürzung SSC betrachtet. Der Begriff Zuverlässigkeit wird auf alle drei angewandt. In Bezug auf MANDE ist jedoch nur die Komponentenzuverlässigkeit relevant, so dass sich der Begriff Zuverlässigkeit im Folgenden immer darauf bezieht. Zusätzlich wird der Begriff jedoch auch im Zusammenhang mit Zuverlässigkeit zerstörungsfreier Prüfverfahren angewandt. Diese wird über eine Fehlerauffindwahrscheinlichkeit (probability of detection, POD) beschrieben. Es wurde angeregt, die Begrifflichkeiten „Zuverlässigkeit der Komponenten“ und „Zuverlässigkeit des Prüfverfahrens“ künftig stärker voneinander abzugrenzen.

Die WG liefert außerdem Zuarbeiten zu Section V, Article 14 „Examination System Qualification“. Die Einteilung in nur drei Bewertungsgruppen ist aus Sicht der WG zu grob gefasst. In der Praxis kommt immer die schärfste Bewertungsgruppe zum Einsatz. In Artikel 14 soll außerdem beschrieben werden, wie die POD eines Prüfsystems ermittelt werden kann.

Im ASME-Code werden eine Reihe von Flussdiagrammen verwendet, die das Vorgehen im Rahmen eines RIM beschreiben. In diese Flussdiagramme soll auch die zerstörungsfreie Prüfung integriert werden. Ein großer Teil der Sitzung wurde darauf verwendet, das vorhandene Flussdiagramm für ein kommendes Update von Appendix I anzupassen und die Übersichtlichkeit zu verbessern.

Bezug zu KTA-Regelwerk:

Der RIM-Ansatz bezieht sich hauptsächlich auf neue Reaktortypen der Generation IV. Diese sind im KTA-Regelwerk nicht berücksichtigt.

3.3.2 SG Reliability and Integrity Monitoring (RIM)

Die Zuverlässigkeitsbewertung von Komponenten in Leichtwasserreaktoren ist aus den Erfahrungen der letzten Jahrzehnte gewachsen. Für neue Reaktortypen der Generation IV, wie kleine modulare Reaktoren, Hochtemperaturreaktoren, metallgekühlte Reaktoren und Flüssigsalzreaktoren, lassen sich die vorhandenen Konzepte nicht ohne Anpassungen anwenden. Ziel der SG ist es ein übergeordnetes Managementprogramm zu entwickeln, dass vom Bau über den Betrieb bis zum Rückbau verwendet werden kann.

Bezug zu KTA-Regelwerk:

Das KTA-Regelwerk beschäftigt sich ausschließlich mit Leichtwasserreaktoren. Ansätze, die mit RIM vergleichbar sind, sind über das Leck-vor-Bruch-Konzept in der KTA 3206 [7] für Leichtwasserreaktoren integriert.

3.3.3 TG Inspectability

Diskutiert wurden erforderliche Änderungen des Codes und Code Cases, die die Prüfung von Komponenten betreffen, die nicht die im Code geforderten Zugänglichkeiten zur Prüfung bieten, zum Beispiel aufgrund des Materials oder der Konstruktion. Insbesondere geht es um Anschlüsse von Rohrleitungen an Pumpen, Armaturen und Anschlussstücke. Die hauptsächlich betrachteten Materialien sind austenitische Stähle (geschmiedet oder gegossen), die bei einseitiger Zugänglichkeit nicht die im Code geforderte Hundertprozentprüfung einer Schweißnaht zulassen. Ebenfalls betroffen ist rostfreier Stahlguss, für den keine Verfahrensqualifizierung entsprechend Appendix VIII vorliegt. Die TG berichtet direkt an das BPV Section XI Executive Committee.

Michael Shelton hielt einen Vortrag über die Bruchmechanik (API 579, Part 9) und erklärt die Vor- und Nachteile der deterministischen und probabilistischen Bruchmechanik. Der gezeigte Ansatz unterscheidet sich von einem ähnlichen, der bei EPRI entwickelt wurde.

Anschließend wurden einige offene Action Items (TGI-x) bearbeitet:

- In TGI 2 wird diskutiert, dass beim Neubau von kerntechnischen Anlagen der Zugang zu Schweißnähten so gewährleistet sein muss, dass eine 100 % Prüfung mit Ultraschall auch bei wiederkehrenden Prüfungen gewährleistet ist. Für austenitische Schweißnähte muss demnach der Zugang von beiden Seiten der Schweißnaht möglich gemacht werden, da bei einseitiger Einschallung keine 100 % Prüfung durchgeführt

werden kann. Es wird vorgeschlagen einen Appendix zu erstellen, in dem die Anforderungen an die Konstruktion der Schweißnähte im Hinblick auf die Ultraschallprüfung beschrieben ist.

- TGI-8 Der Einsatz von digitaler Radiographie für Prüfungen entsprechend Section IX wird untersucht.
- EPRI CASS Round Robin Test: Prüfungen sind abgeschlossen, Verifikation durch zerstörende Prüfung läuft gerade

Bezug zu KTA-Regelwerk:

In der KTA 3201.3 und 3201.4 sind die Anforderungen an die Prüftechnik und die zu prüfenden Bauteile in der Regel strenger als im ASME Code definiert.

3.3.4 TG Appendix VIII

Durch den Einsatz von höherenergetischen mobilen Röntgenquellen wird angestrebt, für bestimmte Prüfprobleme (z.B. interkristalline Spannungsrisskorrosion in austenitischen Schweißnähten) als Alternative zu den üblichen Ultraschallprüfungen, auch Röntgenprüfungen einzusetzen. Hierfür müssen nun Anforderungen für Leistungsnachweise definiert werden. Bei der Abstimmung über einen ersten Entwurf wurde eine Vielzahl von Kommentaren geliefert, die aktuell eingearbeitet werden müssen.

2018 gab es eine Anfrage, wie Stutzenanschlussnähte, die als Mischnähte vorliegen, zu betrachten sind. Daraufhin wurden im Code Appendix VIII Supplement 10 in Bezug auf Mischnähte an verschiedenen Stellen die Bezeichnung „Rohrleitungsschweißnähte“ zu „Schweißnähte“ verallgemeinert, so dass der Code auch auf Mischnähte außerhalb von Rohrleitungen angewandt werden kann.

Es wird ein neues Supplement 15 zum Appendix VIII entworfen, um bisher fehlende Anforderungen an die Inspektionen der RDB-Deckel einzubinden. Ebenfalls sollen angepasste Anforderungen für die Personalzertifizierung bei Ultraschallprüfungen hier mit eingebracht werden, die aktuell im Code Case N-729 dargestellt sind.

Es wurde diskutiert, ob es in speziellen Fällen notwendig ist, Vergleichskörper herzustellen, die aus identischem Material wie das Prüfobjekt bestehen. Die Meinung der Arbeitsgruppe hierzu ist, dass das nur notwendig ist, wenn Einwinkelhandprüfungen zum Einsatz kommen. Beim Einsatz bildgebender Verfahren, wie einer mechanisierten UT-Prüfung, wird eine Empfindlichkeitsjustierung am Vergleichskörper weniger wichtig, da man über Mustervergleiche alle Anzeigen auswertet, die aus dem Rauschen heraustreten. Es wurde außerdem darauf

hingewiesen, dass Zugversuche und chemische Analysen keine Relevanz für die Vergleichskörper haben. Es ist wichtig, dass die Vergleichskörper in ihren akustischen Eigenschaften vergleichbar mit der Komponente sind.

Es wurde diskutiert, ob Prüfsysteme neu qualifiziert werden müssen, wenn sie lediglich verbessert wurden. In Section V gibt es ebenfalls Regeln zur zerstörungsfreien Prüfung. Es wurde angesprochen, dass Änderungen in Section XI auch in Section V bekannt gemacht werden sollten.

Bezug zu KTA-Regelwerk:

In der KTA-Regel 3201.4 ist vorgegeben, welche Art von Fehlstellen detektiert werden müssen. Es sind i.d.R. ein oder mehrere präferierte Prüfverfahren vorgeschlagen. Der Einsatz anderer Prüfverfahren ist ebenfalls zulässig, insofern die Eignung im Vorfeld nachgewiesen wird.

3.3.5 WG on Procedure Qualification and Volumetric Examination

Berichte aus anderen Gruppen gab es zu folgenden Themen:

- NRC reports wurden verteilt, in denen verschiedene in Anlagen detektierte Fehlstellen vorgestellt wurden.
- Es wurde über die Prüfung von CFK-ummantelten Rohren gesprochen. Hier ist eine Wanddickenmessung des inneren Rohrs über Ultraschall gefordert. Die CFK-Hülle wird über Klopfprüfungen untersucht. Die Zeiträume für die Qualifizierung des Personals für Klopfprüfungen wurden angepasst und von 6 Monaten auf 1 Jahr verlängert. Außerdem wurde darauf hingewiesen, dass „examination“ und „inspection“ nicht äquivalent verwendet werden sollen. Für die Volumenprüfungen wurde die schwächste Bewertungsgruppe (low rigor) festgesetzt.
- Als nächstes wurde über Schweißreparaturen an Ermüdungsrissen diskutiert. Hierzu soll ein neuer Code Case eröffnet werden, der die Code Cases N-504-4 und N-740 mit einschließt. Ein entsprechender Vorschlag bekam bei der Abstimmung 5 negative Stimmen. Deshalb ist hier eine weitere Überarbeitung notwendig.

Bezug zum KTA-Regelwerk:

Im Zuge der Basissicherheit sind CFK-ummantelte Rohrleitungen über das KTA-Regelwerk nicht erfasst und für Deutschland nicht relevant.

3.3.6 WG Pipe Flaw Evaluation

In der Sitzung wurden zunächst Druckfehler im aktuellen Code besprochen. Anschließend wurden offene Action Items bearbeitet:

Die verschiedenen Untergruppen berichteten über ihre Aktivitäten:

- Buried Pipes – no report
- Flaw Evaluation – no report
- High temperature flaw evaluation – Treffen hatte noch nicht stattgefunden
- Flaw Evaluation Reference Curves
- Eine Task-Group zum Code Case N-513 (“Evaluation Criteria for Temporary Acceptance of Flaws in Moderate Energy Class 2 or 3 Piping”) wurde aufgrund einer Anfrage gegründet (No 18-2347), die nach einer Änderung des Codes verlangt. Die vorgeschlagenen Codeänderungen haben viele Diskussionen hervorgerufen. Die Task Group soll sich nun genauer damit auseinandersetzen und sucht Mitarbeitende.
- Code Cases zu Temperatureffekten und Wasserstoffangriff.
- Eine Anfrage (code inquiry) zur Verwendung der Tabelle IWB-3514-2 für RT-Prüfungen wurde von chinesischen Teilnehmern der International Working Group eingebracht und geklärt. Der Vorgang ist abgeschlossen.
- Es wurde eine Revision des Code Case N-869 vorgeschlagen. Eventuell wird hierzu eine Subgroup gegründet.
- Anschließend wurde über EPFM (Elastic-Plastic-Fracture-Mechanics) Evaluation für axiale Risse in austenitischen Schweißnähten berichtet. Bisher sind diese in Appendix C nicht enthalten. Das grundsätzliche Vorgehen wurde vorgestellt: Eigenspannungsermittlung aus FEM, Simulation des Risswachstum (natural crack simulation) bei Temperaturlast. J_{IC} soll anhand von CT-Proben ermittelt werden. Allerdings sind noch mehr Simulationen notwendig.

Bezug zum KTA-Regelwerk:

In der KTA 3206 „Nachweise zum Bruchausschluss für druckführende Komponenten in Kernkraftwerken“ [7] sind elastisch-plastische Bruchmechanikberechnungen bereits berücksichtigt und beschrieben.

3.3.7 Training and Practice Requirements for NDE: Research in Human Learning and Memory

Hintergrund dieses Programmpunkts, der zusätzlich zu den regulären Sitzungen stattfand, ist eine geplante Anpassung der Erfahrungszeiten für die Personalzertifizierung für zerstörungsfreie Prüfverfahren. Bis zu 90% der Erfahrungszeit zur Zertifizierung, die aktuell an der Komponente gefordert ist, soll durch Laborprüfungen ersetzt werden.

Im Vortrag wurden unterschiedliche Arten des Lernens und deren Bedeutung für nachhaltigen Wissensgewinn erläutert. Insbesondere wurde aufgezeigt, dass der Lernerfolg am größten ist, wenn zwischen den Lerninhalten ausreichend Pausen liegen. Außerdem wurde darauf hingewiesen, dass im Außendienst durch inzidentelles Lernen viele Dinge mitgelernt werden, die im Labor nicht auftreten.

Bezug zum KTA-Regelwerk:

Die Qualifikationen des Prüfpersonals sind in den Normen DIN 25435-1 bis DIN 25435-7 für die jeweiligen Prüfverfahren definiert und verweisen auf die DIN EN ISO 9712. Die Anforderungen an die Erfahrungszeit und Qualifizierung unterscheiden sich von denen im ASME-Code.

3.3.8 SG Non-destructive Examination

Zunächst gab es verschiedene Ankündigungen. Die ASME hat ein neues Journal mit dem Thema NDE, das demnächst einen Impact Factor erhält. Außerdem übernimmt ASME die QNDE, die 2020 in Minneapolis stattfinden soll.

Anschließend wurde über offene Action Items gesprochen:

- NRC hat gefragt, wie Lagerbehälter aus nichtrostenden Stählen geprüft werden sollen, solange sie befüllt auf die Endlagerung warten. Die Behälter sind durch Witterungseinflüsse in salzhaltiger Umgebung einem korrosiven Medium ausgesetzt. Die Eigenspannungen an den Schweißnähten können dann zu Spannungsrisskorrosion führen. Die Metallbehälter befinden sich in einer Betonhülle, so dass die Zugänglichkeit eingeschränkt ist.

Es wurde ein Verfahren vorgeschlagen, bei dem zuerst eine visuelle Prüfung durchgeführt wird. Wenn sich dort Auffälligkeiten zeigen, wird eine erneute visuelle Prüfung mit einem ferngesteuerten Roboterfahrzeug durchgeführt. Je nachdem welches Ausmaß die Korrosion bereits angenommen hat, müssen anschließend Volumenverfahren eingesetzt werden. Baugleiche Behälter in ähnlichen Bedingungen sollten ebenfalls über-

prüft werden. Die Bewertung des Risswachstums soll nur auf bekannte Fehlstellen angewandt werden und nicht zur Berechnung hypothetischer Risse. Es existiert bereits ein Entwurf, der bei den kommenden Code Weeks finalisiert werden soll.

- In Section XI ist formuliert, dass der Einsatz neuerer, verbesserter Verfahren die bisherige Prüfung ersetzen kann. In Section III wird das in einigen Fällen verwendet, um UT-Prüfungen durch RT-Prüfungen zu ersetzen. Die Formulierung sollte hier klarer sein. Ein Action Item soll daraus nicht generiert werden.
- In Appendix VIII wurden an rostfreiem Stahlguss (cast stainless steel, CSS) Untersuchungen durchgeführt, die es erlauben, aus der Risslänge auf die Risstiefe zu schließen. Ein Projekt dazu läuft noch.
- Wie soll damit umgegangen werden, wenn weiße Beläge durch Ablagerungen des bo-rierten Wassers auf den Reaktordruckbehälterdeckeln eine VT Prüfung behindern. Hintergrund war ein Fall, in dem ein Leck an einer anderen Stelle, großflächig weiße Ablagerungen hinterlassen hat. Eine VT Prüfung war so nicht möglich. Fazit ist, dass gereinigt werden muss, wenn VT nicht möglich ist.
- Frage zum Einsatz von Drohnen für visuelle Prüfungen im Kraftwerk. Antwort: Die Ungenauigkeit in der Positionierung ist zu groß, die Bildgüte ist zu schlecht um die geforderten Kriterien zu erfüllen. Dazu existiert bereits eine TG.

Bezug zum KTA-Regelwerk:

Das KTA-Regelwerk fußt auf den Rahmenspezifikationen zur Basissicherheit. Für wiederkehrende zerstörungsfreie Prüfungen ist jeweils definiert, welche Bereiche geprüft und welche Fehlerlagen- und ausdehnungen relevant sind. Im KTA-Regelwerk sind für die in Leichtwasserreaktoren vorhandenen Komponenten entsprechend Prüfvorschriften definiert. Für viele der auf der Code Week vorgestellten Code Cases und Fragen zum Code existieren im KTA-Regelwerk bereits Vorschriften. Dennoch ist der internationale Austausch auf dem Gebiet weiterhin sinnvoll.

3.4 Reisebericht zur ASME BCW vom 02. bis 07. Februar 2020 in Las Vegas

Im Folgenden werden die Erkenntnisse aus dem Besuch der ASME BCW vom 02. bis 07. Februar 2020 in Las Vegas dargestellt.

3.4.1 WG on MANDE (BPV XI)

Beim Treffen 02/2020 wurde als wesentlicher Punkt das im ASME Code enthaltene Flussdiagramm zur Erläuterung des RIM (Reliability and Integrity Management) und MANDE (Monitoring and Nondestructive Examination) Programms überarbeitet. Das Flussdiagramm erläutert

die Vorgehensweise sowie die Zuständigkeiten bei der Einführung eines RIM-Programms im Kraftwerk.

Zudem wurde ein Foliensatz diskutiert um den Nutzen eines MANDE-Programms zu erläutern. Ein wesentlicher Vorteil ist, dass durch die Implementation eines MANDE Prozesses der Schädigungsfortschritt einer Komponente überwacht werden kann. Durch Integration der Überwachungsergebnisse in die Ermittlung der Versagenswahrscheinlichkeit kann die Aussagefähigkeit zur Versagenswahrscheinlichkeit verbessert werden.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Der RIM-Ansatz bezieht sich hauptsächlich auf neue Reaktortypen der Generation IV. Diese sind im KTA-Regelwerk nicht berücksichtigt.

3.4.2 WG Flaw Evaluation Reference Curves (BPV XI)

Diskussionspunkt war unter anderem die Beschreibung des Risswachstums des Werkstoffs Alloy 600 sowie dessen Schweißzusatzwerkstoffe. Daten dazu sind dem Bericht: „Materials Reliability Program: Crack Growth Rates for Evaluating Primary Water Stress Corrosion Cracking (PWSCC) of Thick-Wall Alloy 600 Materials and Alloy 82, 182, and 132 Welds (MRP-420, Revision 1), 3002014244, Final Report, July 2018“ zu entnehmen. Es wurde vorgestellt, dass durch die Einbeziehung eines Wasserstoff-Faktors das Risswachstum besser beschrieben werden kann. Dokumentiert ist dies sowohl im genannten EPRI-Bericht als auch in einer ASME PVP Veröffentlichung (PVP 2020-21711).

Weiterer Diskussionspunkt war die Revision des Code Cases N-809 (Werkstoffe 304 und 304 L) mit Anpassungen in Bezug auf:

- Schwellwert ΔK_{th}
- ΔK Exponent
- Temperaturfaktor
- Berücksichtigung des R-Verhältnisses

Weitere aktuelle Erkenntnisse sowie Fragestellungen wurden diskutiert in Bezug auf:

- Temperatureinfluss auf das Ermüdungsrisswachstum bei 300er Werkstoffen
- Mögliche Einflussfaktoren auf Abweichungen bei der Ermittlung des Risswachstums von 304 und 316 Werkstoffen,
- Schwellwertbestimmung bei ferritischen und rostfreien Stählen
- Ermüdungsrisswachstum in niedriglegierten Stählen in Druckwasserreaktorumgebung

Bezug zu KTA-Regelwerk

Bewertung des Risswachstumverhaltens gemäß KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5].

3.4.3 TG High Strength Nickel Alloys Issues (BPV XI)

Im Rahmen der Arbeitsgruppensitzung wurden im Wesentlichen zwei Code Cases zur Durchführung von Ultraschall- und Sichtprüfungen diskutiert.

Bezug zu KTA-Regelwerk

In der KTA 3201.3 und 3201.4 sind die Anforderungen an die Prüftechnik und die zu prüfenden Bauteile definiert.

3.4.4 WG Fatigue Strength (SG DM, BPV III)

Folgende Themen wurden diskutiert:

- Kommentare zum Code Case „Alternate Design Fatigue Curves“ für Kohlenstoff- und niedriglegierte Werkstoffe mit Zugfestigkeiten gleich oder geringer als 552 MPa
- Temperaturabhängige Ermüdungskurven der Werkstoffgüte 91 bei erhöhten Temperaturen. Auf Basis von Eingangsdaten der JAEA wurden neue Ermüdungskurven erstellt
- Ermittlung der Dauerfestigkeit von Werkstoffen auf Basis des Code Cases 19-2068
- Round Robin zur Bewertung der Dehnrates, hierzu wurden drei Beispielfälle erstellt

Bezug zu KTA-Regelwerk

Die Durchführung einer Ermüdungsanalyse ist in den KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5] beschrieben.

3.4.5 Task Team Defining Essential Characteristics of UT Systems (BPV XI)

Diskutiert wurde, wie die Anforderungen der ISO 18563-1 in den ASME Code implementiert werden können. Weitere Fragestellungen waren mögliche Parameter und deren Toleranzen, die bewertet werden müssen sowie die Fragestellung, ob und wie eine Firmware-Änderung der Geräte dokumentiert werden müsse.

Bezug zu KTA-Regelwerk

In der KTA 3201.3 und 3201.4 sind die Anforderungen an die Prüftechnik definiert.

3.4.6 KIWG TG on Advanced Surface Stress Improvement Technology

Mittelpunkt der Diskussion war der Entwurf eines Code Cases (Rec. No. 19-1510) mit dem Titel: „Performance Criteria and Measurement of Qualification Criteria for Mitigation of Primary Water Stress Corrosion Cracking and Chloride Induces Stress Corrosion Cracking by Surface Stress Improvement by Peening“.

Fragestellung ist die Festlegung von Parametern zur Bewertung und Qualifizierung einer Oberflächenbehandlung um die Anfälligkeit von Komponenten gegenüber Spannungsrissskorrosion zu vermindern.

Dazu erfolgt derzeit eine innerhalb der Arbeitsgruppe koordinierte Untersuchung von verschiedenen Prozessen und Werkstoffen an mehreren Prüfinstituten.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Kugelstrahlen ist derzeit nicht im KTA Regelwerk enthalten.

3.4.7 Subcommittee on Design (BPV III)

Im Subcommittee Design wurden Statusberichte zu aktuellen Aktivitäten vorgestellt:

- Code Case zur Elastisch-Plastischen Berechnungsmethodik (13-252)
- Ermittlung ertragbarer Spannungen
- Konsolidierung von NC / ND Komponenten im Regelwerk
- Verschiedene Code Cases mit Bezug auf
 - o Ke-Faktoren
 - o Werkstoffeinsatz für Hochtemperaturreaktoren
 - o Erstellung von Ermüdungskurven
 - o Dehnratenbewertung

Zudem wurden Statusberichte aus den zugehörigen Sub-Groups vorgestellt.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Die Durchführung einer Ermüdungsanalyse ist in den KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5] beschrieben.

3.4.8 SG Materials, Fabrication & Examination (BPV III)

Wesentlicher Teil der Arbeitsgruppensitzung war die Beantwortung von Anfragen in Bezug auf die Anwendung des Regelwerks, z.B. in Bezug auf die Qualifizierung von Heftschweißungen, von ZfP-Personal zur Durchführung von Sichtprüfungen oder auch zur Durchführung von Prüfungen vor Inbetriebnahme.

Zudem wurden Untersuchungen im Rahmen der Erstellung eines Code Cases zur additiven Fertigung vorgestellt. Derzeit werden Ermüdungsversuche an Proben der additiv gefertigten Komponenten durchgeführt. Neben diesen Untersuchungen wurden Themen identifiziert, die im Rahmen einer Regelwerkserstellung zur additiven Fertigung bearbeitet werden müssen.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Fragestellungen zum Materialeinsatz werden in den KTA Regeln 3201 [4] und KTA 3211 [5] behandelt.

3.4.9 BPV Committee on Nuclear Inservice Inspection (BPV XI)

In der Committee-Sitzung wurde neben formalen Themen, z.B. Mitgliederstatus oder Organisation der Raumebelegung bei der BCW, aus den zugehörigen Arbeitsgruppen und Subgroups berichtet. Themen waren im Wesentlichen der Bearbeitungsstatus, inhaltliche Diskussionen und Abstimmungen zu verschiedenen Code Cases, z.B. zum Transport und der Lagerung abgebrannter Kernbrennstoffe, zum Spannungsrissskorrosionswachstum an Alloy 690 Werkstoff oder auch Anforderungen an druckführende Schweißnähte im Gehäuse von Steuerstäben.

Bezug zu KTA-Regelwerk

In der KTA 3201.3 und 3201.4 sind die Anforderungen an die Prüftechnik und die zu prüfenden Bauteile definiert.

3.5 Reisebericht zur ASME BCW vom 16. bis 21. August 2020 als virtuelles Meeting

Im Folgenden werden die Erkenntnisse aus dem Besuch der ASME BCW vom 16. bis 21. August 2020 als virtuelles Meeting dargestellt.

3.5.1 ASME / JSME Joint WG for RIM Processes and System Based Code (BPV XI)

Beim Treffen 08/2020 wurde diskutiert, welche Änderungen für die kommende Regelwerksausgabe erforderlich sind und die Verantwortlichkeiten für die jeweiligen Bearbeitungen festgelegt. Diskussionspunkte waren u.a. Änderungen im Regelwerkstext, die mit der Arbeitsgruppe MANDE abgestimmt werden müssen oder Anpassungen in der Definition und Beschreibung des RIM Programms. Zudem wurde diskutiert wie erforderliche redaktionelle Änderungen im Glossar umgesetzt werden können.

Als Zusatzpunkt wurde ein Foliensatz präsentiert über die Umsetzung des Leck-vor-Bruch Konzepts gemäß einem Entwurf für das japanische Regelwerk in Bezug auf SFR-Reaktoren (Flüssigmetallkühlung).

Bezug zu KTA-Regelwerk

Der RIM-Ansatz bezieht sich hauptsächlich auf neue Reaktortypen der Generation IV. Diese sind im KTA-Regelwerk nicht berücksichtigt. Leck-vor-Bruch-Betrachtungen sind in KTA 3206 [7] geregelt. Wir schlagen vor, den japanischen Ansatz mit der KTA 3206 zu vergleichen.

3.5.2 WG on MANDE (BPV XI)

Beim Treffen 08/2020 wurden im Wesentlichen redaktionelle Änderungen im Regelwerkstext diskutiert. Das betrifft zum Beispiel die Diskussion zur Einführung von Legendensymbolen im Flussdiagramm zur Beschreibung des RIM-Prozesses oder um die Verschiebung von Definitionen von MANDE in ein anderes Kapitel des Regelwerks. Zudem wurden vorgesehene Aktualisierungen im Glossar vorgestellt.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Der RIM-Ansatz bezieht sich hauptsächlich auf neue Reaktortypen der Generation IV. Diese sind im KTA-Regelwerk nicht berücksichtigt.

3.5.3 WG Flaw Evaluation Reference Curves (BPV XI)

In der Arbeitsgruppensitzung 08/2020 wurde im Wesentlichen die Überarbeitung von Risswachstumskurven für spannungsinduzierte Korrosionsrisse sowie Risswachstum an Luft diskutiert. Das betrifft verschiedene Werkstoffarten, Schwerpunkt der Diskussion waren rostfreie Stähle. Im Detail vorgestellt wurden überarbeitete Risswachstumskurven für den Alloy 82, 182 und 132. Hier wurde als wesentliche Änderung im Regelwerkstext die Aufnahme von vier neuen Tabellen vorgestellt die den Einfluss von gelöstem Wasserstoff auf die Risswachstumsrate bei verschiedenen Temperaturen und Wasserstoffkonzentrationen berücksichtigen. Hintergrundinformationen sind in folgenden Publikationen zu finden: Eine Veröffentlichung auf der PVP 2020: PVP2020-21711 sowie ein Bericht von EPRI (MRP 430 R1), dieser ist öffentlich zum Download verfügbar.

Weiterhin wurde der aktuelle Stand zur Überarbeitung des Regelwerks in Bezug auf Ermüdungsrisswachstum unter Umwelteinfluss für niedriglegierte Stähle vorgestellt. Berücksichtigt wurden dabei Erkenntnisse die im EPRI Technical Report BWRVIP-333 dokumentiert sind. Auch für niedriglegierte Stähle wurde ein Einfluss von gelöstem Wasserstoff im Vergleich zu Wasserchemie ohne Wasserstoff festgestellt, dabei ergibt sich unter Wasserstoffeinfluss eine erhöhte Risswachstumsrate.

Als weiterer Punkt wurde der Status zum Update von Code Case N-809, Ermüdungsrisswachstum in rostfreien Stählen vorgestellt. Überarbeitet wird der Einfluss von

- ΔK_{th} und R-Verhältnis
- negatives R-Verhältnis, Temperatureinfluss, etc.

Zudem wurde der aktuelle Status des Code Case N-895 vorgestellt. Zielsetzung ist die Erstellung von Vergleichskurven zum Ermüdungsrisswachstum in Siedewasserreaktorumgebung unter Berücksichtigung von aktuell verfügbaren Ermüdungsdaten.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Die Bewertung des Risswachstumverhaltens erfolgt gemäß KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5].

3.5.4 WG Flaw Evaluation (BPV XI)

Inhalte des Arbeitsgruppentreffens 08/2020 waren neben administrativen Themen der Status des Code Case N-830-1 zur Verwendung von alternativen Modellen zur Bruchzähigkeit für analytische Bewertungen von Rissen. Diskutiert wurden die verwendeten Modelle und deren Anwendbarkeit für Werkstoffe mit niedriger Zähigkeit. Zudem wurde der Entwurf eines geplanten Code Cases vorgestellt, der einen Leitfaden zur Berücksichtigung von Versprödung enthalten soll. Weitere Themen waren die Diskussion von Kommentaren zum Code Case N-897 zur analytischen Bewertung axialer Risse in Stutzennähten, die Überarbeitung des Regelwerks bei der Bewertung von Fehlern unterhalb der Oberfläche in flachen Platten sowie zur Bewertung von Rissen unterhalb der Oberfläche des Alloy 718 als Werkstoff für Bolzen.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Die Bewertung von Rissen erfolgt gemäß KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5].

3.5.5 WG Environmental Fatigue Evaluation Methods (SG DM, BPV III)

Diskutiert wurden in der Arbeitsgruppensitzung 08/2020 folgende Punkte:

- Ergebnisse des Beispielproblems zur Berücksichtigung der Dehnungshistorie bei der Ermüdungsbewertung mittels SNW-Methode (Strain-Life Weighted). Besonderheit der SNW Methode ist die Berücksichtigung von Amplitude und Form der Dehnungshistorie. Insgesamt ergab sich eine hohe Übereinstimmung bei den übermittelten Ergebnissen.
- Vorstellung des aktuellen Status zum Code Case „Strain Rate and Fen for Piping and Valves“. Diskutiert wurden Kommentare aus der Abstimmung zum Code Case und resultierende Änderungen.

- Konzept eines Ansatzes zur Tolerierung von Rissen unter Berücksichtigung der Zeit bis zur Rissinitiierung.
- Diskussion zur Berechnung des Fen-Faktors gemäß NUREG Rev. 1. Die Ausgangsbasis der Diskussion ist veröffentlicht als PVP-Paper Vol. 410-2, ASME 2000, ENVIRONMENTAL FATIGUE OF METALLIC MATERIALS IN NUCLEAR POWER PLANTS – A REVIEW OF KOREAN TEST PROGRAMS

Weiterhin wurde ein Statusbericht zu aktuellen EPRI-Aktivitäten sowie zur Arbeitsgruppe Fatigue Strength vorgestellt.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Berücksichtigung des Mediumseinflusses bei der Durchführung einer Ermüdungsanalyse gemäß KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5].

3.5.6 WG Fatigue Strength (SG DM, BPV III)

Neben administrativen Themen wurden in der Arbeitsgruppensitzung 08/2020 folgende Themen diskutiert:

- Update zum Leitfaden zur Bestimmung von Ermüdungskurven für Metalle, die unterhalb der Kriechtemperatur beansprucht werden. Zielsetzung ist die Erstellung eines Leitfadens, der dem Anwender eine sachgerechte Auswertung von Ermüdungsversuchen ermöglicht. Das Dokument ist auf die Entwicklung von Ermüdungskurven in Luft ausgerichtet, diskutiert wurde ob das Dokument auch für die Erstellung von Kurven in Wasser erweitert werden sollte. Weitere Diskussionspunkte waren die Probengeometrie und die Einstellung der Probenoberfläche, die Prüftemperatur sowie die Anforderungen an die zu prüfenden Dehnraten sowie die anzuwendenden Versagenskriterien.
- Status Update zu verfügbaren Ermüdungsdaten für rostfreie Edelstähle
- Update zum sich in der Entwurfsphase befindenden Code Case, der alternative Ermüdungskurven beinhaltet, die die Zugfestigkeit als Variable benutzen
- Update zur Überarbeitung des Code Case Rec. # 17-924 der die Überarbeitung der Mittelspannungskorrektur beinhaltet
- Update zum Beispielproblem zur Auswertung von fünf verschiedenen Methoden für die elastisch-plastische Dehnungsberechnung für die Bestimmung des Lebensdauerverbrauchs aufgrund von Ermüdung. Dazu existieren drei verschiedene Aufgabenstellungen, ein rotierender Stab, ein instrumentierter Ring sowie ein Rohr mit abgestuften Wanddicken. Zum rotierenden Stab und zum instrumentierten Ring gibt es aktuell noch keine Ergebnisse, die Ergebnisse des abgestuften Rohrs wurden vorgestellt.

- Zum Fatigue Action Plan wurde der aktuelle Status des Projekts auf administrativer Ebene vorgestellt. Das umfasst den Stand der zu überarbeitenden Code Cases sowie die Zusammenarbeit mit anderen Arbeitsgruppen und Instituten sowie eine Auflistung zugehöriger Veröffentlichungen. Die Veröffentlichungen sind größten Teils im Rahmen der PVP-Tagung erschienen.
- Präsentation zur Recherche der Datenquellen im NUREG/CR-6909 Rev. 1 Bericht. Dieser beinhaltet eine große Anzahl an Daten aus japanischen Veröffentlichungen die in weiten Teilen nicht öffentlich verfügbar sind. Daran angeschlossen erfolgte die Diskussion wie die Daten eventuell im ASME Regelwerk genutzt werden können.

Bezug zu KTA-Regelwerk

Die Durchführung einer Ermüdungsanalyse ist in den KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5] beschrieben.

3.5.7 WG Allowable Stress Criteria (SG ETD, BPV III)

Im Rahmen der Arbeitsgruppensitzung 08/2020 wurden verschiedene Ergebnisse zu experimentellen Untersuchungen vorgestellt. Zum einen wurde das Verhalten von diffusionsgeschweißtem Alloy 800 H bei erhöhten Temperaturen vorgestellt. Ziel der Arbeiten ist die Entwicklung eines Code Cases für ASME Sect. III, Div. 5 (#19-2747) für kompakte Wärmetauscher. Im Rahmen der Untersuchungen wurden 6 verschiedene Testschmelzen gefertigt und die geeignetste Schmelze für nachfolgende Untersuchungen ausgewählt. Vorgestellt wurden die Ergebnisse der Metallografie, der Zugversuche, Kriechversuche und die Extrapolation der Kriechversuche mittels Larson-Miller-Parameter.

Eine weitere Präsentation wurde zum Einfluss des tertiären Kriechens auf das zeitabhängige Spannungsverhalten des Werkstoffs 304 H und 316 H vorgestellt. Zielsetzung der Arbeiten ist die Erweiterung des Regelwerks um ein Kriterium für das tertiäre Kriechen. Problemstellung ist, dass in diesem Bereich die zulässigen Spannungen stark abgesenkt sind, was zum einen an der geringen Datenlage, zum anderen am frühen Einsetzen des tertiären Kriechens in der Lebensdauer liegt. Zudem ist die Identifikation des Einsetzens des tertiären Kriechens teilweise schwierig. Lösungsvorschlag ist die Anwendung einer Beziehung aus der Literatur, die das Verhältnis vom Einsetzen des tertiären Kriechens zum Zeitstandbruch als lineare Beziehung bei logarithmischer Darstellung beschreibt.

Weitere diskutierte Themen waren:

- Status zum Ballot für die Einschränkung der chemischen Zusammensetzung der Werkstoffe 304 und 316

- Vorstellung des Abstimmungsergebnisses für die Bestätigung der Schweißnahtfaktoren im Subgroup Meeting und Diskussion des weiteren Vorgehens
- Alterungsfaktoren des Werkstoffs Grade 91
- Rückmeldung zur Abstimmung über das Kriterium zum thermischen Alterungsfaktor für Klasse A und Klasse SM Werkstoffe
- Bericht aus der Taskgruppe „Qualifikation von AM-Komponenten“, dabei ist AM definiert als „advanced Manufacturing“. Momentan läuft die Recherche nach verfügbaren Daten, nächster Schritt ist die Entwicklung von Qualifizierungsstrategien.

Bezug zu KTA-Regelwerk:

Kein direkter Bezug, da der Anwendungsbereich der KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5] auf Temperaturen < 400 °C beschränkt ist.

3.5.8 SG Non-Destructive Examination (SG NDE, BPV XI)

Diskutiert wurden in der Arbeitsgruppensitzung 08/2020 neben administrativen Themen (z.B. Terminplanung für Änderungen im nächsten Regelwerkszyklus sowie Abstimmungsergebnisse zu Regelwerksentwürfen) folgende Themen:

- Festlegungen zu Erfahrungszeit im Labor und vor Ort für Ultraschallprüfer der Stufen 1, 2 und 3. Dazu wird aktuell ein Forschungsvorhaben seitens der NRC durchgeführt das ggfs. Anpassungen erforderlich machen wird.
- Präsentation zu den Änderungen die am Code Case N-894 durchgeführt wurden. Dieser Code Case adressiert thermische Ermüdungsrisse an Schweißnaht-Decklagen, die Änderungen betreffen u.a. Präzisierungen zur Rissorientierung, zur Einschallrichtung sowie redaktionelle Änderungen.
- Update zur Überarbeitung des Code Case N-780-1 (Austausch von Prüftechnik): Dieser wurde seitens NRC nicht freigegeben. Die Überarbeitungen betreffen Präzisierungen von Formulierungen, die Definition von Gültigkeitsbereichen und die Vorgehensweise zur Durchführung von Eignungsdemonstrationen und Qualifizierungstests.
- Weiterer Punkt waren Berichte zu letzten Treffen und Aktivitäten aus zugehörigen Arbeitsgruppen und anderen Institutionen (NRC-Bericht, Taskgruppe Appendix VIII, EPRI-Liaison-Bericht, ASNT-Bericht und Bericht aus der Arbeitsgruppe Industry Experience for New Plants)

Bezug zu KTA-Regelwerk

Festlegungen zum Umfang der Zerstörungsfreien Prüfungen gemäß KTA Regeln 3201 [4] und 3211 [5].

3.5.9 SG on Reliability and Integrity Management Program (BPV XI)

In der Arbeitsgruppensitzung 08/2020 wurden folgende Themen diskutiert:

- Information zur Erstellung / Überarbeitung eines Glossars zum RIM-Programm mit anschließender Diskussion zur Anpassung der Formulierungen
- Diskussion zum Status der Entwicklung eines informativen Anhangs der Beispiele zur Anwendung des Anhangs I zur Erstellung von Zuverlässigkeitszielen beinhaltet.
- Diskussion über die Beschreibung von notwendigen Schritten um ein RIM-Programm zu implementieren

Zudem wurde eine Vorgehensweise vorgestellt, um Betriebsdaten in eine fortlaufende Zuverlässigkeitsbewertung zur Verbesserung der Aussagefähigkeit einfließen zu lassen. Weiterhin wurde ein Foliensatz präsentiert über die Umsetzung des Leck-vor-Bruch Konzepts gemäß einem Entwurf für das japanische Regelwerk in Bezug auf SFR-Reaktoren (Flüssigmetallkühlung, identisch zu Joint WG for RIM Processes and System Based Code (BPV XI)).

Bezug zu KTA-Regelwerk:

Der RIM-Ansatz bezieht sich hauptsächlich auf neue Reaktortypen der Generation IV. Diese sind im KTA-Regelwerk nicht berücksichtigt.

4 Bewertung in Bezug auf das KTA Regelwerk

Die Teilnahme am ASME Code Week Meeting gibt einen Überblick über den aktuellen Stand und die aktuellen Entwicklungen und Überarbeitungen der einzelnen Sections des ASME-BPVC. Der Fokus liegt auf Section III (*Rules for Construction of Nuclear Facility Components*) und auf Section XI (*Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components*), in denen kerntechnische Komponenten behandelt werden.

Falls relevant sind im deutschen kerntechnische Regelwerk bei der Überarbeitung die aufgezeigten Weiterentwicklungen des ASME-BPVC mit zu berücksichtigen und können durch die MPA in die KTA Arbeitsgremien eingebracht werden.

In den Arbeitsgruppen zur Thematik Ermüdung sind zahlreiche Erweiterungen in der Diskussion. Die vorgeschlagenen Erweiterungen sollten hinsichtlich der Relevanz auf das KTA-Regelwerk weiter beobachtet werden.

Neu diskutierte Themengebiete mit Relevanz für das KTA Regelwerk sind:

- Risikobasierte Verfahren zur Zuverlässigkeitsbewertung
- Additiv gefertigte Komponenten als Regelwerksinhalt (in der Entwicklung)
- Neue Erkenntnisse ergeben sich auch aus den vorgestellten Aktivitäten, die zum Teil in Koordination mit anderen Programmen ablaufen (z.B. das Materials Reliability Program von EPRI) in Bezug auf:
 - Überarbeitung von Ermüdungskurven (alle Werkstoffgruppen)
 - Überarbeitung von Transfer-Faktoren (Medieneinfluss)
 - Überarbeitung von Bewertungsverfahren zum
 - Mittelspannungseinfluss
 - R-Verhältnis

Von Interesse für das KTA Regelwerk ist der neu vorgestellte japanische Ansatz zum Leckvor-Bruch-Verhalten. Ein Vergleich mit der KTA-Regel 3206 [7] ist aus Sicht der MPA Universität Stuttgart zu empfehlen.

5 Literaturverzeichnis

- [1] ASME, BPV Committee on Construction of Nuclear Facility Components (III) Handbook, Revision 1, 2016
- [2] ASME, ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III - Rules for Construction of Nuclear Facility Components, New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2017
- [3] ASME, ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section XI - Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components, New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2017
- [4] Sicherheitstechnische Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA). Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren KTA 3201.1:2017-11 (Teil 1: Werkstoffe und Erzeugnisformen), 2017
- [5] Sicherheitstechnische Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA). Druck- und aktivitätsführende Komponenten von Systemen außerhalb des Primärkreises KTA 3211.1:2017-11 (Teil 1: Werkstoffe und Erzeugnisformen), 2017
- [6] Sicherheitstechnische Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA). KTA 1403 Alterungsmanagement in Kernkraftwerken 11/2010
- [7] Sicherheitstechnische Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA). KTA 3206 Nachweise zum Bruchausschluss für druckführende Komponenten in Kernkraftwerken, Regelentwurfsvorlage 08/2013

