

Inhaltsverzeichnis

	Kurzfassung.....	I
1	Zielsetzung.....	1
1.1	Arbeiten zum Gesamtziel.....	1
1.2	Arbeiten zu den wissenschaftlichen und technischen Arbeitszielen	1
2	Stand der Wissenschaft und Technik; bisherige Arbeiten	5
2.1	Einführung	5
2.2	Bruchmechanik.....	5
2.3	Leckraten.....	6
2.4	Leck-vor-Bruch	8
2.5	Zuverlässigkeit.....	10
3	Durchgeführte Arbeiten gemäß dem Arbeitsplan.....	13
3.1	AP 1: Erweiterung der analytischen Bruchmechanik.....	13
3.2	AP 2: Erweiterungen Leckratenbestimmung	14
3.3	AP 3: Analysen zu Versuchen mit Rissen und Lecks	15
3.4	AP 4: Methoden zum Leck-vor-Bruch-Verhalten	15
3.5	AP 5: Projektmanagement und Projektcontrolling	16
3.6	AP 6: Schadenshäufigkeiten.....	16
4	Bruchmechanische Bewertung bei thermomechanischen Lasten.....	19
4.1	Einführung	19
4.2	Methodik nach R6.....	21
4.2.1	Additive und multiplikative Methodik: ρ und V	21
4.2.2	Vereinfachte Methodik	22
4.2.3	Detaillierte Methodik	23
4.3	Methodik nach AFCEN	24
4.3.1	Rein primäre Lasten	24
4.3.2	Rein sekundäre Lasten.....	25

4.3.3	Kombinierte Lasten.....	27
4.4	Anwendungsfälle	28
4.4.1	Vollumfangsriss unter thermischer Last	28
4.4.2	Halbelliptischer Riss unter rein thermischer Last.....	28
4.4.3	Vollumfangsriss unter kombinierter thermischer und mechanischer Last.....	31
5	Eigenspannungen.....	35
5.1	Einführung	35
5.2	Schweißnahteigenspannungsprofile	35
5.3	Spannungsintensitätsfaktor.....	37
5.3.1	Analytische Formulierungen für polynomiale Spannungsverläufe	37
5.3.2	Oberflächenriss-Phase	39
5.3.3	Spannungsintensitätsfaktor von Durchrissen	40
5.3.4	Spannungsintensitätsfaktor von Vollumfangsrissen	43
6	Bewertungsmethodik für geneigte Risse.....	45
6.1	Einführung	45
6.1.1	Hintergrund.....	45
6.1.2	Übersicht über andere Forschungsarbeiten	45
6.2	Voruntersuchung: Bruchmechanik mit ANSYS Mechanical.....	45
6.2.1	Testbeispiel	46
6.2.2	Erstellung der Rissgeometrie	48
6.3	Rissneigungsuntersuchungen Quader mit Kreisriss.....	49
6.3.1	Einführung und Definition der Koordinaten	49
6.3.2	FEM-Ergebnis für K-Faktor und J-Integral	51
6.3.3	Glättung.....	52
6.3.4	Bewertungsansatz	54
6.4	Reaktordruckbehälter-Segment mit Kreisriss	55
6.4.1	Fallbeschreibung	56
6.4.2	Modellierung	57
6.4.3	Innendruck-Belastung.....	58

6.4.4	Belastung durch einen linearen Temperaturgradienten.....	69
6.4.5	Belastung durch einen quadratischen Temperaturterm.....	80
7	Leckraten-Berechnungsmethoden	89
7.1	Einführung	89
7.2	Leckagen durch lochartige Korrosionsstellen	90
7.2.1	Einführung	90
7.2.2	Modellbildung zu Leckraten	92
7.2.3	Auswertung der CODAP-Datenbank zu Leckagen durch Lochfraß- Schäden	94
7.2.4	Größere Korrosionslöcher.....	96
7.3	Leckagen von erdverlegten Rohrleitungen und Behälter	97
7.3.1	Skizzierung der Problemstellung.....	98
7.3.2	Bedeutung der Leckage.....	99
7.3.3	Berechnung und Bewertung	99
7.4	Leckagen an Flanschverbindungen	100
7.4.1	Einführung, Bauformen und technische Dichtheit.....	101
7.4.2	Leckagetypen	102
7.4.3	Spaltleckagen	104
7.4.4	Permeationsleckage	107
7.4.5	Vergleich mit Versuchen	107
7.5	Leckagen durch Haarrisse	108
7.5.1	Einführung	108
7.5.2	Schließung eines Lecks und verbessertes Rissmorphologie-Modell	110
7.5.3	Das Fraktale Rissmorphologie-Modell	111
7.6	Berechnungsmodelle	119
7.6.1	Verbesserte Implementierung des Pana-Modells.....	119
7.6.2	Delayed Equilibrium Model (Feburie-Modell)	123
7.7	Leckagen durch Schäden in Dampferzeuger-Heizrohren.....	140
7.7.1	Einführung	140
7.7.2	Schäden und Leckagen aus der Betriebserfahrung	142
7.7.3	Rechnerische Modellierung	142

8	Nachrechnung von Leckratenversuchen und Lecks aus der Betriebserfahrung.....	145
8.1	Rissartige Leckagen aus der Betriebserfahrung	145
8.1.1	Einführung	145
8.1.2	Axialer Riss in einem Reduzierstück	145
8.1.3	180°-Umfangsrisse an Schweißnähten	146
8.1.4	Korrosionsleckage im Speisewassersystem eines SWR.....	146
8.1.5	Sperrwasser-Leckage (Siemens SDM)	147
8.2	Kalte UNSCHRO-Daten.....	147
8.2.1	Berechnung der Probengeometrie	147
8.2.2	Klassifizierung	148
8.2.3	Strömungswiderstand	149
8.2.4	Reibungsfaktor	150
8.2.5	Nachrechnung mit Ausströmungsmodellen.....	152
8.3	FSI-UNSCHRO Daten	157
8.3.1	Probenübersicht	158
8.3.2	Klassifizierung	158
8.3.3	Strömungswiderstand	160
8.3.4	Reibungsfaktor	160
8.3.5	Nachrechnung der Versuche mit Ausströmmodellen	162
9	Leck-vor-Bruch-Benchmark.....	169
9.1	Einführung und Methodik.....	169
9.1.1	Problematik der regelwerksgetreuen Bewertung in einer internationalen Vergleichsstudie	169
9.1.2	Kritische Risslänge	170
9.1.3	Detektierbare Risslänge.....	170
9.2	Grundlegende Auswertungen	171
9.2.1	Aufgabenstellung.....	171
9.2.2	Berechnung der kritischen Risslänge.....	173
9.2.3	Berechnung der detektierbaren Risslänge	175
9.2.4	Leck-vor-Bruch-Bewertung	178

9.3	Spezifische Auswertungen.....	178
9.3.1	Leckratenberechnung	178
9.3.2	Kritische Last	184
10	Leckratenbenchmark.....	187
10.1	Einführung und Zielsetzung	187
10.2	Erste Phase	187
10.2.1	Ausströmung durch einen künstlichen Schlitz	187
10.2.2	Ausströmung durch einen Ermüdungsriß	189
10.2.3	Nachrechnung eines realen Befundes	191
10.2.4	Sensitivitätsstudie zum Leck-vor-Bruch-Benchmark	192
10.3	Planung der zweiten Phase	194
11	Leck- und Bruchhäufigkeiten für GenIII/GenIII+	195
11.1	Einführung	195
11.2	Methodenkategorisierung	196
11.3	Methodenentwicklung	198
11.4	Erster Benchmark: Anwendungsdemonstration der Methoden an Testfällen	201
11.4.1	Vorbereitung	201
11.4.2	PFM-Fall.....	202
11.4.3	DDM-Fall	213
11.5	Ausblick: Zweite Benchmark-Phase.....	221
12	Codeentwicklung	223
12.1	PROST	223
12.1.1	Neue Leistungen.....	223
12.1.2	Automatisches Testen	226
12.1.3	Validierungskonzept	226
12.2	WinLeck.....	229
13	Zusammenfassung und Ausblick	231

Abbildungsverzeichnis..... 233

Tabellenverzeichnis..... 241

Literaturverzeichnis..... 245