

<i>Inhalt</i>	<i>Seite</i>
0	Allgemeines 9
0.1	Zielsetzung und Anwendungsbereich 9
0.2	Referenzdokumente 9
0.3	Aufgabenstellung und Lösungsweg 9
0.4	Zusammenfassung, Arbeitsschritte 11
1	Grundlagen und Konzept 15
1.0	Übersicht, Allgemeines 15
1.1	Auswirkungen von Fehlern auf die Bauteilfestigkeit 16
1.2	Bruchmechanische Konzepte 16
1.2.1	Grenzzustände 16
1.2.2	Linear-elastische Bruchmechanik 17
1.2.3	Elastisch-plastische Bruchmechanik 18
1.2.4	Statische Beanspruchung, Bewertungsdiagramme 18
1.2.5	Zyklische Beanspruchung 20
1.3	Fehlerbewertungskonzept dieser Richtlinie 20
2	Eingangsgrößen 21
2.0	Übersicht, Arbeitsschritte 21
2.1	Fehlerzustand 22
2.1.1	Allgemeines 22
2.1.2	Fehlerbeschreibung 23
2.1.3	Fehlererkennung und –messung 23
2.1.3.1	Zerstörungsfreie Prüfverfahren 23
2.1.3.2	Fehlererkennbarkeit 23
2.1.3.3	Prüfnormen 24
2.1.4	Fertigungsqualität 24
2.2	Beanspruchungszustand 25
2.2.1	Allgemeines 25
2.2.2	Statische Beanspruchung 25
2.2.3	Zyklische Beanspruchung 25
2.2.3.1	Konstante Schwingbreite 25
2.2.3.2	Variable Schwingbreite 27
2.2.3.3	Berücksichtigung von Eigenspannungen 28
2.2.3.4	Berücksichtigung von Reihenfolgeeinflüssen 28

2.3	Werkstoffzustand	31
2.3.1	Allgemeines	31
2.3.2	Mechanisch-technologische Eigenschaften	31
2.3.2.1	Kenngrößen	31
2.3.2.2	Einflussfaktoren	32
2.3.2.3	Experimentelle Bestimmung	32
2.3.3	Bruchmechanische Eigenschaften bei statischer Beanspruchung	33
2.3.3.1	Kenngrößen	33
2.3.3.2	Einflussfaktoren	34
2.3.3.3	Experimentelle Bestimmung	35
2.3.4	Bruchmechanische Eigenschaften bei zyklischer Beanspruchung	36
2.3.4.1	Kenngrößen	36
2.3.4.2	Einflussfaktoren	38
2.3.4.3	Experimentelle Bestimmung	39
2.3.5	Streuung der Werkstoffkennwerte	39
3	Modellbildung	41
3.0	Übersicht, Arbeitsschritte	41
3.1	Rissmodell	42
3.1.1	Allgemeines	42
3.1.2	Umsetzung von ZfP-Anzeigen in Fehlerabmessungen	42
3.1.3	Fehlerorientierung	44
3.1.4	Fehlerform	45
3.1.5	Wechselwirkungen mehrerer Fehler	46
3.2	Strukturmodell	49
3.2.1	Allgemeines	49
3.2.2	Vereinfachung der Geometrie	49
3.2.3	Vereinfachung der Beanspruchung	50
3.3	Beanspruchungsparameter	52
3.3.1	Allgemeines	52
3.3.2	Spannungsintensitätsfaktor	52
3.3.2.1	Definition und Anwendung	52
3.3.2.2	Berechnung	52
3.3.3	Beanspruchungsparameter J und δ	53
3.3.4	FAD-Parameter K_r	54
3.3.4.1	Definition und Anwendung	54
3.3.4.2	Berechnung	54
3.3.5	Plastifizierungsgrad L_r	54
3.3.5.1	Definition und Anwendung	54
3.3.5.2	Berechnung	54

3.4	Werkstoffkennwerte	55
3.4.1	Allgemeines	55
3.4.2	Mechanisch-technologische Kennwerte	56
3.4.3	Bruchmechanische Kennwerte bei statischer Beanspruchung	58
3.4.3.1	Direkte Ermittlung aus Versuchswerten	58
3.4.3.2	Abschätzung aus der Kerbschlagarbeit	59
3.4.3.3	Weitere Abschätzungen der Risszähigkeit	60
3.4.4	Bruchmechanische Kennwerte bei zyklischer Beanspruchung	61
4	Berechnungen	63
4.0	Übersicht, Arbeitsschritte	63
4.1	Berechnung bei statischer Beanspruchung	64
4.1.1	Allgemeines	64
4.1.2	FAD-Konzept	64
4.1.2.1	Bestimmung der Versagensbedingungen für den Grenzzustand Riss-Initiierung	65
4.1.2.2	Bestimmung der Versagensbedingungen für den Grenzzustand Riss-Instabilität	65
4.1.2.3	Qualität der Eingabedaten	65
4.1.3	Grenzkurven	66
4.1.3.1	Allgemeines	66
4.1.3.2	Basis-Ebene	66
4.1.3.3	Erweiterungs-Ebene	67
4.1.4	Ermittlung des FAD-Parameters K_r	67
4.1.4.1	Ermittlung der Plastizitätskorrektur ρ	67
4.1.4.2	Ermittlung des plastisch korrigierten SIF K_s^p	68
4.1.5	Ermittlung des FAD-Parameters L_r	68
4.2	Berechnung bei zyklischer Beanspruchung	68
4.2.1	Allgemeines	68
4.2.2	Berechnung im Rahmen der LEBM (ΔK)	68
4.2.2.1	Bruchmechanische Dauerfestigkeit	68
4.2.2.2	Rissfortschritt	68
4.2.3	Berechnung im Rahmen der EPBM (ΔJ)	71
4.2.3.1	Besonderheiten	71
4.2.3.2	Bruchmechanische Dauerfestigkeit	71
4.2.3.3	Rissfortschritt	71
4.2.3.4	Bewertung von Bauteilen mit kurzen Rissen oder ohne Fehler	71
4.3	Berücksichtigung von Mixed-Mode-Beanspruchung	73
4.3.1	Allgemeines	73
4.3.2	Modellbildung	74
4.3.2.1	Rissmodell	74
4.3.2.2	Strukturmodell	74
4.3.2.3	Beanspruchungsparameter	74
4.3.2.4	Werkstoffkennwerte	76
4.3.3	Berechnung bei statischer Beanspruchung	76
4.3.4	Berechnung bei zyklischer Beanspruchung	76
4.3.5	Empfehlungen aus anderen Regelwerken	76

4.4	Berücksichtigung von dynamischer Beanspruchung	78
4.4.1	Allgemeines	78
4.4.2	Modellbildung	78
4.4.2.1	Rissmodell	78
4.4.2.2	Strukturmodell	78
4.4.2.3	Beanspruchungsparameter	78
4.4.2.4	Werkstoffkennwerte	78
4.4.3	Bewertung bei dynamischer Beanspruchung	80
4.5	Berücksichtigung von Spannungsrisskorrosion	81
4.5.1	Allgemeines	81
4.5.2	Modellbildung	82
4.5.2.1	Rissmodell	82
4.5.2.2	Strukturmodell	82
4.5.2.3	Beanspruchungsparameter	82
4.5.2.4	Werkstoffkennwerte	82
4.5.3	Berechnung bei statischer Beanspruchung	83
4.6	Probabilistische Berechnung	84
4.6.1	Allgemeines	84
4.6.2	Fehlerzustand	84
4.6.3	Beanspruchungszustand	86
4.6.4	Werkstoffzustand	86
4.6.5	Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit	86
4.7	Bruchmechanische Software	88
5	Nachweis	90
5.0	Übersicht, Arbeitsschritte	90
5.1	Reservefaktoren	91
5.2	Sensitivitätsanalyse	91
5.3	Partielle Sicherheitsfaktoren auf statistischer Basis	92
5.4	Probabilistischer Nachweis	93
5.5	Zulässigkeitsbewertung	93
6	Anwendungsbeispiele	95
6.0	Übersicht	95
6.1	Welle	96
6.2	Geschweißte Platte I	98
6.3	Schwungrad	102
6.4	Geschweißte Offshore-Rohrknoten	105
6.5	Kastenprofil	109
6.6	Dünnwandige Schweißkonstruktion	113
6.7	Spiralgeschweißtes Rohr I	117
6.8	Generatorwelle	121
6.9	Armaturgehäuse mit Gussfehlern	125
6.10	Geschweißter Aluminiumbehälter	131
6.11	Turbinenwelle	135
6.12	Verschlusskörper	139

6.13	Eisenbahnschienen	144
6.14	Antriebswelle	150
6.15	Gekerbte Scheibe	153
6.16	Rohre	159
6.17	Spiralgeschweißtes Rohr II	161
6.18	Geschweißte Platte II	165
6.19	Getriebewelle	169
6.20	Versteiftes Panel	172
7	Anhänge	175
7.0	Allgemeines	175
7.1	Normen und Richtlinien zur ZfP	175
7.2	Auswertung von Risszähigkeitsversuchen im Übergangsbereich	177
7.2.1	Vorbetrachtung	177
7.2.2	Referenzrisszähigkeit aus bei einer Temperatur ermittelten Kennwerten	177
7.2.3	Referenzrisszähigkeit aus bei verschiedenen Temperaturen ermittelten Kennwerten	178
7.2.4	Bestimmung der Risszähigkeit K_{mat}	179
7.3	Werkstoffdaten	180
7.3.1	Normwerte	180
7.3.2	Bruchmechanische Werkstoffkennwerte bei statischer Beanspruchung	191
7.3.3	Bruchmechanische Werkstoffkennwerte bei zyklischer Beanspruchung	208
7.3.3.1	Empfehlungen aus anderen Regelwerken	208
7.3.3.2	Literaturauswertung	210
7.3.4	Kennwerte bei Spannungsrissskorrosion	240
7.4	Spannungsintensitätsfaktoren und Grenzlasten	247
7.4.1	Allgemeines	247
7.4.2	Scheibe	251
7.4.2.1	Scheibe unter Zug und Biegung	251
7.4.2.2	Scheibe unter variabler Spannung	262
7.4.3	Scheibe mit Bohrung unter konstanter Spannung	267
7.4.4	Scheibe mit Kerbe unter konstanter Spannung	273
7.4.5	Scheibe unter Mixed-Mode-Beanspruchung	291
7.4.6	Vollzylinder	296
7.4.7	Hohlzylinder	300
7.4.7.1	Variable Spannung, axiale Risse	300
7.4.7.2	Variable Spannung, azimutale Risse	307
7.4.7.3	Innendruck, axiale Risse	317
7.4.7.4	Innendruck und Biegung, azimutale Risse	321
7.4.8	Geschweißte Platte unter konstanter Spannung	325
7.4.8.1	T-Stoß, Doppel-T-Stoß, Überlappstoß	325
7.4.8.2	Schweißnaht mit Festigkeits-Mismatch	330

7.5	Zyklische J-Integrale	338
7.5.1	Halbunendliche Scheibe unter konstanter Spannung mit halbkreisförmigem Oberflächenriss	338
7.5.2	Scheibe unter konstanter Spannung mit Rissen in Kerben	339
7.6	Eigenspannungen	340
7.6.1	Allgemeines	340
7.6.2	Einfache Abschätzung von Eigenspannungen	340
7.6.3	Eigenspannungsprofile	340
7.6.3.1	Allgemeines	340
7.6.3.2	Platte mit Stumpfnahht bzw. Rohr mit Längsnaht	340
7.6.3.3	Rohr mit Rundstumpfnahht	341
7.6.3.4	Rohr-T-Stück und Rohr auf ebener Platte	341
7.7	Festigkeitsmismatch in Schweißverbindungen	342
7.7.1	Allgemeine Anmerkungen zum Mismatch-Problem	342
7.7.2	Bruchmechanische Behandlung	342
7.7.3	Modifizierte Grenzkurven für statische Beanspruchung	343
7.7.3.1	Allgemeines	343
7.7.3.2	Basis-Ebene	344
7.7.3.3	Erweiterungs-Ebene	346
7.7.3.4	Weitere Aspekte der Bewertung von Mismatch-Verbindungen	346
7.8	Formelzeichen, Abkürzungen, Umrechnungen	348