

Inhaltsverzeichnis

1	Statischer Festigkeitsnachweis	9
1.1	Allgemeines	9
1.2	Geltungsbereich	9
1.3	Bewertungskonzept	10
1.3.1	Beanspruchungsparameter	10
1.3.2	Versagenskriterium und Versagensgrenzkurve	10
1.3.2.1	Versagenskriterium	10
1.3.2.2	Versagensgrenzkurve	11
1.3.2.3	Konservative Abschätzung der Versagensgrenzkurve	12
1.4	Berechnungen	13
1.4.1	Notwendige Eingabedaten	13
1.4.2	Erstellen eines Finite-Elemente-Modells	13
1.4.3	Beschreibung des Werkstoffverhaltens	14
1.4.4	Technologischer Größeneinfluss	15
1.4.5	FE-Analysen	16
1.4.6	Bewertungsprinzip	16
1.4.6.1	Bewertung des Auslegungs-Zustands	16
1.4.6.2	Versagensbewertung	16
1.5	Sicherheitsfaktoren	17
1.5.1	Allgemeines	17
1.5.2	Grund-Sicherheitsfaktoren	18
1.5.3	Teil-Sicherheitsfaktor für Gussbauteile	18
1.5.4	Teil-Sicherheitssummand für nichtduktilen Gussbauteile	18
1.5.5	Gesamt-Sicherheitsfaktor für den Werkstoff	18
1.5.6	Sicherheitsfaktor für die Last	18
1.6	Nachweis	19
1.7	Beispiel: Festigkeitsbewertung für Lagerbock	20
2	Ermüdungsfestigkeitsnachweis	25
2.1	Allgemeines	25
2.2	Geltungsbereich	26
2.3	Aufbereitung der Betriebslastfolge	27
2.3.1	Definition des Nachweispunktes	27
2.3.2	Statistische Absicherung	28
2.3.2.1	Absicherung mit Standardabweichung s_L	28
2.3.2.2	Absicherung mit Standardabweichung LSD_s	29
2.3.2.3	Absicherung mit Pauschalwert bei unbekannter Streuung	29
2.3.3	Übertragungsfaktor c	30
2.3.4	Lastfolge L für den Ermüdungsnachweis	30
2.4	Schädigungsparameter P_{RAM} und P_{RAJ}	31
2.5	Kommentare zur Nachweisführung mit P_{RAM}	32
2.5.1	Das Örtliche Konzept	32
2.5.2	Zugfestigkeit für den Werkstoff im Bauteil	32
2.5.2.1	Experimentelle Ermittlung der Zugfestigkeit	32
2.5.2.2	Abschätzung aus Norm- oder Halbzeugwerten	33
2.5.3	Die zyklische Spannungs-Dehnungs-Kurve	36
2.5.3.1	Experimentelle Ermittlung	36
2.5.3.2	Rechnerische Abschätzung	37

2.5.4	Beschreibung des Werkstoffgedächtnisses	38
2.5.5	Die Schädigungsparameterwöhlerlinie für den Werkstoff	40
2.5.5.1	Experimentelle Abschätzung	40
2.5.5.2	Rechnerische Abschätzung	42
2.5.6	Die Schädigungsparameterwöhlerlinie für das Bauteil	43
2.5.6.1	Berücksichtigung nichtlokaler Einflussgrößen auf die Bauteilschwingfestigkeit	44
2.5.6.2	Einfluss der Rauheit	47
2.5.6.3	Absicherung der Bauteil-Wöhlerlinie	49
2.5.7	Kerbnäherungsverfahren	50
2.5.8	Die Betriebslastfolge	51
2.5.8.1	Der HCM-Algorithmus	51
2.5.8.2	Klassierung	55
2.5.9	Der Schädigungsparameter P_{RAM}	57
2.5.10	Nachweise	58
2.5.10.1	Dauerfestigkeitsnachweis	58
2.5.10.2	Schadensakkumulationsrechnung	58
2.5.10.3	Betriebsfestigkeitsnachweis	58
2.6	Nachweisführung mit P_{RAM}	59
2.6.1	Notwendige Eingabedaten	59
2.6.2	Aufbereitung der Lastfolge	59
2.6.3	Aufbereitung der zyklischen Spannungs-Dehnungs-Kurve	60
2.6.4	Rechnerische Abschätzung der Werkstoff-Wöhlerlinie	61
2.6.5	Abschätzung der Bauteil-Wöhlerlinie	62
2.6.5.1	Nichtlokale Einflussgrößen	62
2.6.5.2	Einfluss der Rauheit	64
2.6.5.3	Absicherung der Bauteil-Wöhlerlinie	64
2.6.5.4	Die Bauteil-Wöhlerlinie für die Nachweisführung	65
2.6.6	Das Kerbnäherungsverfahren nach Neuber	65
2.6.7	Anwendung des Hysteresezählverfahrens Rainflow HCM	67
2.6.8	Anwendung der Schadensakkumulationsrechnung	70
2.6.8.1	Berechnung der Schädigungswirkung jedes Schwingspiels	70
2.6.9	Nachweis der Bauteillebensdauer	71
2.6.9.1	Dauerfestigkeitsnachweis	71
2.6.9.2	Berechnung der Bauteillebensdauer	71
2.6.9.3	Betriebsfestigkeitsnachweis	72
2.7	Berechnungsbeispiele P_{RAM}	73
2.7.1	Akademisches Beispiel	74
2.7.1.1	Aufbereitung der Lastfolge	74
2.7.1.2	Aufbereitung der zykl. Spannungs-Dehnungs-Kurve	74
2.7.1.3	Aufbereitung der Werkstoff-Wöhlerlinie	74
2.7.1.4	Aufbereitung der Bauteil-Wöhlerlinie	75
2.7.1.5	Das Kerbnäherungsverfahren nach Neuber	75
2.7.1.6	Anwendung des Hysteresezählverfahrens Rainflow HCM	76
2.7.1.7	Anwendung der Schadensakkumulationsrechnung	77
2.7.2	Welle mit V-Kerbe	78
2.7.2.1	Aufbereitung der Lastfolge	78
2.7.2.2	Aufbereitung der zykl. Spannungs-Dehnungs-Kurve	78
2.7.2.3	Aufbereitung der Werkstoff-Wöhlerlinie	78
2.7.2.4	Aufbereitung der Bauteil-Wöhlerlinie	79

2.7.2.5	Das Kerbnäherungsverfahren nach Neuber	79
2.7.2.6	Anwendung des Hysteresezählverfahrens Rainflow HCM	80
2.7.2.7	Anwendung des Schadensakkumulationsrechnung	81
2.8	Kommentare zur Nachweisführung mit P_{RAJ}	83
2.8.1	Das Örtliche Konzept	83
2.8.2	Zugfestigkeit für den Werkstoff im Bauteil	83
2.8.2.1	Experimentelle Ermittlung der Zugfestigkeit	83
2.8.2.2	Abschätzung aus Norm- oder Halbzeugwerten	84
2.8.3	Die zyklische Spannungs-Dehnungs-Kurve	87
2.8.3.1	Experimentelle Ermittlung	87
2.8.3.2	Rechnerische Abschätzung	88
2.8.4	Beschreibung des Werkstoffgedächtnisses	89
2.8.5	Die Schädigungsparameterwöhlerlinie für den Werkstoff	91
2.8.5.1	Experimentelle Abschätzung	91
2.8.5.2	Rechnerische Abschätzung	92
2.8.6	Die Schädigungsparameterwöhlerlinie für das Bauteil	93
2.8.6.1	Berücksichtigung nichtlokaler Einflussgrößen auf die Bauteilschwingfestigkeit	94
2.8.6.2	Einfluss der Rauigkeit	97
2.8.6.3	Absicherung der Bauteil-Wöhlerlinie	99
2.8.7	Kerbnäherungsverfahren	100
2.8.8	Die Betriebslastfolge	101
2.8.8.1	Der HCM-Algorithmus	101
2.8.8.2	Klassierung	104
2.8.9	Der Schädigungsparameter P_{RAJ}	106
2.8.9.1	Berechnung der Rissöffnungsspannung σ_{open}	107
2.8.9.2	Berechnung der fiktiven einstufigen Rissöffnungsdehnung $\varepsilon_{open,ein}$	108
2.8.9.3	Berechnung der Rissöffnungsdehnung ε_{open} mit Vorgeschichte	108
2.8.9.4	Anpassung der Dauerfestigkeit $P_{RAJ,D}$	110
2.8.10	Nachweise	110
2.8.10.1	Dauerfestigkeitsnachweis	110
2.8.10.2	Schadensakkumulationsrechnung	110
2.9	Nachweisführung mit P_{RAJ}	113
2.9.1	Notwendige Eingabedaten	113
2.9.2	Aufbereitung der Lastfolge	113
2.9.3	Aufbereitung der zyklischen Spannungs-Dehnungs-Kurve	114
2.9.4	Rechnerische Abschätzung der Werkstoff-Wöhlerlinie	115
2.9.5	Abschätzung der Bauteil-Wöhlerlinie	116
2.9.5.1	Nichtlokale Einflussgrößen	116
2.9.5.2	Einfluss der Rauheit	118
2.9.5.3	Absicherung der Bauteil-Wöhlerlinie	118
2.9.5.4	Die Bauteil-Wöhlerlinie für die Nachweisführung	118
2.9.6	Das Kerbnäherungsverfahren nach Seeger / Beste	119
2.9.7	Anwendung des Hysteresezählverfahrens Rainflow HCM	122
2.9.8	Anwendung der Schadensakkumulationsrechnung	125
2.9.8.1	Berechnung der Schädigungswirkung jedes Schwingspiels	126
2.9.8.2	Berechnung der Bauteillebensdauer	129
2.9.8.3	Dauerfestigkeitsnachweis	131
2.9.8.4	Betriebsfestigkeitsnachweis	131

2.10	Berechnungsbeispiele P_{RAJ}	132
2.10.1	Akademisches Beispiel	133
2.10.1.1	Aufbereitung der Lastfolge	133
2.10.1.2	Aufbereitung der zykl. Spannungs-Dehnungs-Kurve	133
2.10.1.3	Aufbereitung der Werkstoff-Wöhlerlinie	133
2.10.1.4	Aufbereitung der Bauteil-Wöhlerlinie	134
2.10.1.5	Das Kerbnäherungsverfahren nach Seeger/Beste	135
2.10.1.6	Anwendung des Hysteresezählverfahrens Rainflow HCM	136
2.10.1.7	Anwendung des Schadensakkumulationsrechnung	137
2.10.2	Welle mit V-Kerbe	138
2.10.2.1	Aufbereitung der Lastfolge	138
2.10.2.2	Aufbereitung der zykl. Spannungs-Dehnungs-Kurve	138
2.10.2.3	Aufbereitung der Werkstoff-Wöhlerlinie	138
2.10.2.4	Aufbereitung der Bauteil-Wöhlerlinie	139
2.10.2.5	Das Kerbnäherungsverfahren nach Seeger/Beste	140
2.10.2.6	Anwendung des Hysteresezählverfahrens Rainflow HCM	141
2.10.2.7	Anwendung des Schadensakkumulationsrechnung	143
3	Anhang - Betriebsfestigkeit	145
3.1	Umsetzungsempfehlung für FE-Modelle	145
3.1.1	Bestimmung der Traglastformzahl K_p	145
3.1.2	Bestimmung der hochbeanspruchten Oberfläche mit der erweiterten Methode SPIEL	146
3.2	Beispiele zur Validierung des HCM-Algorithmus	147
3.2.1	Beispiel 1 mit Memory 1 und inneren Schleifen	147
3.2.1.1	1. Durchlauf	147
3.2.1.2	2. Durchlauf	148
3.2.2	Beispiel 2 mit Memory 1, 2 und 3	150
3.2.2.1	1. Durchlauf	150
3.2.2.2	2. Durchlauf	152
3.3	Matlabfunktion für die Maximum-Likelihood-Schätzung	156
3.4	Matrizen zu Berechnungsbeispielen P_{RAM}	162
3.4.1	Akademisches Beispiel	162
3.4.2	Welle mit V-Kerbe	170
3.5	Matrizen zu Berechnungsbeispielen P_{RAJ}	179
3.5.1	Akademisches Beispiel	179
3.5.2	Welle mit V-Kerbe	188