

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung und Übersicht

1.1 Einführung	1
1.1.1 Problemstellung der Betriebsfestigkeit	1
1.1.2 Abriß der Zusammenhänge	5
1.1.3 Kenngrößen und Grenzfälle der Betriebsfestigkeit	8
1.1.4 Nachweis der Betriebsfestigkeit	10
1.2 Übersicht	12
1.2.1 Anliegen und Gliederung dieses Buches	12
1.2.2 Begriffe und Formelzeichen	14

2 Experimentelle Grundlagen der Betriebsfestigkeit

2.1 Wöhler-Versuche	16
2.1.1 Kennzeichnung der Schwingbeanspruchung	16
2.1.2 Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung	18
2.1.3 Darstellung der Ergebnisse durch Wöhlerlinien	19
2.1.4 Darstellung der Ergebnisse im Dauerfestigkeits-Schaubild	21
2.1.5 Statistische Belegung der Zeitfestigkeitslinie	24
2.1.6 Statistische Belegung des Dauerfestigkeitswertes	28
2.1.7 Normierte Wöhlerlinien	30
2.1.8 Kritik des Wöhler-Versuchs	39
2.2 Blockprogramm-Versuche	40
2.2.1 Betriebsbeanspruchung und Beanspruchungskollektiv	40
2.2.2 Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung	46
2.2.3 Einfluß der Kollektivform	50
2.2.4 Normverteilung als Einheitskollektiv	51
2.2.5 Amplitudenkollektiv, Mittelspannung, Spannungsverhältnis	52
2.2.6 Überlagerte Schwingungen unterschiedlicher Frequenz	55
2.2.7 Einflüsse des Werkstoffs und der Bauteileigenschaften	58
2.2.8 Kritik des Blockprogramm-Versuchs	63
2.3 Zufallslasten-Versuche	64
2.3.1 Unterscheidung von Beanspruchungs-Zeit-Funktionen	64
2.3.2 Beschreibung stochastischer Beanspruchungsvorgänge	69
2.3.3 Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung	72
2.3.4 Betriebslastennachfahr-Versuche	74

2.3.5	Digitale Aufbereitung gemessener Beanspruchungs-Zeit-Funktionen	76
2.3.6	Analoge Erzeugung stochastischer Beanspruchungs-Zeit-Funktionen	79
2.3.7	Digitale Erzeugung stochastischer Beanspruchungs-Zeit-Funktionen	82
2.3.8	Standard-Lastfolgen mit Gaußscher Häufigkeitsverteilung	88
2.3.9	Kritik des Zufallslasten-Versuchs	92
2.4	Einzelfolgen-Versuche und spezielle Versuchstechniken	95
2.4.1	Beanspruchungs-Zeit-Funktionen mit veränderlicher Mittelspannung	95
2.4.2	Standard-Lastfolge Twist	96
2.4.3	Lebensdauer bei verändertem Kollektiv der Standard-Lastfolge	100
2.4.4	Experimentelle Ermittlung der Kerbgrundbeanspruchung	102
2.4.5	Experimentelle Ermittlung des Rißfortschritts	105
2.4.6	Kritik des Einzelfolgen-Versuchs	107
2.5	Übertragbarkeit von Betriebsfestigkeits-Werten	108
2.5.1	Übereinstimmung von Lebensdauerwerten aus Labor und Betrieb	108
2.5.2	Schrifttumsauswertungen zum Reihenfolge-Einfluß	112

3 Rechnerische Verfahren der Betriebsfestigkeit

3.1	Berechnen der Dauerfestigkeit und der Zeitfestigkeit	118
3.1.1	Nennspannung, Formzahl, bezogenes Spannungsgefälle	118
3.1.2	Ertragbare Nennspannungen nach verfügbaren Unterlagen.	126
3.1.3	Rechnerische Abschätzung der Wöhlerlinien gekerbter Bauteile	131
3.1.4	Rechnerische Behandlung des Eigenspannungseinflusses	142
3.1.5	Spannungen aus Finite- oder Boundary-Element-Berechnungen	152
3.1.6	Kerbspannungen und ertragbare Kerbspannungen	155
3.1.7	Strukturspannungen und ertragbare Strukturspannungen	156
3.1.8	Rechnerische Behandlung einer mehrachsigen Schwingbeanspruchung	162
3.1.9	Kritik der Verfahren zur Spannungsberechnung	173
3.2	Lebensdauerberechnung anhand der Nennspannungen	176
3.2.1	Miner-Regel (Lineare Schadensakkumulations-Hypothese)	176
3.2.2	Elementare Form der Miner-Regel	178
3.2.3	Völligkeitsgrad und Schädigungsfunktion eines Kollektivs	181
3.2.4	Schädigungsgleiches Rechteck-Ersatzkollektiv	183
3.2.5	Sinnvolle Festlegung der Kollektivtreppung	185
3.2.6	Original-Form der Miner-Regel	189
3.2.7	Modifizierte Form der Miner-Regel	191
3.2.8	Konsequente Form der Miner-Regel	198
3.2.9	Überprüfung der Miner-Regel an Versuchsergebnissen	206
3.2.10	Folgerungen für die praktische Anwendung	215
3.2.11	Kritik der Miner-Regel	222
3.3	Lebensdauerberechnung anhand der Kerbgrundbeanspruchung	223
3.3.1	Dehnungskontrollierte Wöhler-Versuche	223
3.3.2	Experimentell ermittelte Kerbgrundbeanspruchung und Lebensdauer	233

3.3.3	Rechnerische Ermittlung der Kerbgrundbeanspruchung	237
3.3.4	Lebensdauerberechnung anhand der Kerbgrundbeanspruchung	244
3.3.5	Lebensdauerberechnung mittels Amplitudentransformation	250
3.3.6	Kerbgrundbeanspruchung und normierte Wöhlerlinien	259
3.3.7	Kritik des Kerbgrund-Konzeptes	263
3.4	Lebensdauerberechnung anhand des Rißfortschritts	265
3.4.1	Spannungsfeld eines Risses	265
3.4.2	Rißfortschrittsgesetz bei Schwingbeanspruchung	267
3.4.3	Rißfortschritt bei konstanter Schwingbreite der Spannung	273
3.4.4	Wöhlerlinie eines Bauteils mit Anfangsriß	276
3.4.5	Rißfortschritt bei veränderlicher Schwingbreite der Spannung	278
3.4.6	Rißfortschritt und Miner-Regel	279
3.4.7	Berücksichtigung von Reihenfolgeeffekten	281
3.4.8	Berücksichtigung der Bauteil- und Werkstoffeigenschaften	293
3.4.9	Normierte Wöhlerlinie für Risse in hochbeanspruchten Bauteilen	302
3.4.10	Kritik des Bruchmechanik-Konzeptes	304
3.5	Berechnen der Sicherheitszahl und Ausfallwahrscheinlichkeit	306
3.5.1	Lebensdauer, Ausfallwahrscheinlichkeit, Sicherheitszahl	306
3.5.2	Extrapolation auf niedrige Ausfallwahrscheinlichkeiten	316
3.5.3	Streuung der betrieblichen Beanspruchungshöhe	322
3.5.4	Abdecken der Zufälligkeiten weniger Einzelversuche	326
3.5.5	Anzusetzende Streuspannen und abzudeckende Streueinflüsse	329
3.5.6	Kritik der anzusetzenden Sicherheitszahl	337

4 Praktische Umsetzung des Betriebsfestigkeits-Konzeptes

4.1	Abzuhandelnde Teilaufgaben als Leitlinie des Vorgehens	340
4.1.1	Festlegen der Anforderungen und der Vorgehensweise	340
4.1.2	Erkennen der schwingbruchkritischen Querschnitte	343
4.1.3	Bestimmen der einwirkenden Betriebslasten	345
4.1.4	Berechnen der kennzeichnenden Beanspruchung	352
4.1.5	Ermitteln der ertragbaren Beanspruchungshöhe	354
4.1.6	Ableiten der angemessenen Sicherheitszahl	357
4.1.7	Erstellen und Beurteilen des Nachweises	359
4.1.8	Dokumentieren des Nachweises	360
4.2	Maßnahmen bei unbefriedigendem Betriebsfestigkeits-Nachweis	361
4.2.1	Maßnahmen bei unbefriedigendem Ergebnis des Nachweises	361
4.2.2	Maßnahmen bei Schwingbrüchen im Betrieb	365
4.3	Betriebsfestigkeit und methodisches Konstruieren	372
4.3.1	Wesen des methodischen Konstruierens	372
4.3.2	Knotenpunkte zur Betriebsfestigkeit	379
4.3.3	Gewinnen der erforderlichen Informationen	380
4.3.4	Bewertungskriterien zur Lösungsauswahl	383

4.4	Betriebsfestigkeit und unternehmerische Entscheidungen	385
4.4.1	Gesichtspunkte einer Kosten-Nutzen-Analyse	385
4.4.2	Elemente eines Gesamtkonzeptes	390
5	Anhang	
5.1	Daten zu statistischen Verfahren	393
5.2	Daten typisierter Kollektive	404
5.3	Approximationsformeln für Formzahlen	408
5.4	Rechnerische Abschätzung von Wählerlinien	415
5.5	Hinweise auf Daten zur Betriebsfestigkeit	421
6	Schrifttum	431
7	Verwendete Formelzeichen	445
8	Sachverzeichnis	465