

Gliederung

0	Einführung	1
1	Beschreibung zeitlich veränderlicher Beanspruchungen	3
1.1	Systematik zeitlich veränderlicher Beanspruchungen; theoretische Grundlagen	3
1.1.1	<i>Belastung und Beanspruchung</i>	3
1.1.2	<i>Zur Entstehung zeitlich veränderlicher Kräfte und Beanspruchungen</i>	3
1.1.3	<i>Deterministische und stochastische Beanspruchungs-Zeit-Funktionen</i>	4
1.1.4	<i>Zur Definition eines stochastischen Prozesses; Scharmittelwerte</i>	4
1.1.5	<i>Stationäre und ergodische Zufallsprozesse; Zeitmittelwerte</i>	6
1.1.6	<i>Diskussion der vorgestellten statistischen Modelle</i>	8
1.1.7	<i>Eine Systematik der Beanspruchungs-Zeit-Funktionen; kontinuierliche und diskontinuierliche Zufallsprozesse</i>	8
1.2	Ermittlung von Beanspruchungskollektiven mit Hilfe von Zählverfahren	11
1.2.1	<i>Der Lastablauf im Wöhlerversuch</i>	11
1.2.2	<i>Die Zählverfahren</i>	12
1.2.2.1	Allgemeines	12
1.2.2.2	Definition eines Bezugsniveaus; Grund- und Zusatzbeanspruchung	14
1.2.2.3	Einparametrische Zählverfahren	15
1.2.2.4	Rückstellbreiten	17
1.2.2.5	Zweiparametrische Zählverfahren	18
1.2.2.6	Momentanwert- und Verweildauerzählung	19
1.2.3	<i>Interpretation eines Zählergebnisses</i>	19
1.2.4	<i>Statistische Kennwerte einer Häufigkeitsverteilung</i>	21
1.2.5	<i>Zur Auswahl eines geeigneten Zählverfahrens</i>	22
1.2.6	<i>Abschnittsweise veränderliche Grundbeanspruchung; Belastungsabschnitte</i>	25
1.3	Amplituden- und Einheitskollektive	27
1.3.1	<i>Normierte Darstellung von Häufigkeitsverteilungen; Amplitudenkollektive</i>	27
1.3.2	<i>Einheitskollektive</i>	28

1.3.3	<i>Näherungsweise Ermittlung des Verteilungsgesetzes einer Häufigkeitsverteilung</i>	29
1.3.4	<i>Häufigkeitsverteilungen in Wahrscheinlichkeitsnetzen</i>	31
1.3.5	<i>Näherungsweise Extrapolation einer Häufigkeitsverteilung</i>	35
1.4	Extremwertverteilungen	37
1.4.1	<i>Parameter einer Häufigkeitsverteilung</i>	37
1.4.2	<i>Extremwerte von Häufigkeitsverteilungen</i>	38
1.4.3	<i>Beispiel für die Ermittlung einer Extremwertverteilung</i>	40
1.4.4	<i>Extrapolation einer Häufigkeitsverteilung und Ableitung von Bemessungsbeanspruchungen</i>	41
1.4.5	<i>Hinweise für die Anwendung der Extremwertverteilung.</i>	43
1.5	Stationäre und quasistationäre kontinuierliche Zufallsprozesse	48
1.5.1	<i>Gründe für eine Auswertung</i>	48
1.5.2	<i>Die spektrale Leistungsdichte</i>	49
1.5.3	<i>Die Riceschen Beziehungen; der stationäre Gaußsche Zufallsprozeß.</i>	51
1.5.4	<i>Eingeschränkte Stationarität; quasistationäre Prozesse</i>	53
1.5.5	<i>Anwendung des Leistungsspektrums und des Modells quasistationärer Prozesse</i>	55
1.6	Trennung von Beanspruchungsanteilen nach ihren Ursachen	57
1.6.1	<i>Ursachen für die Entstehung von Beanspruchungs-Zeit-Funktionen.</i>	57
1.6.2	<i>Kriterien für die Trennung</i>	58
1.6.3	<i>Frequenzfilterung.</i>	59
1.6.4	<i>Schwingungsfilterung</i>	63
1.7	Diskontinuierliche Zufallsprozesse	65
1.7.1	<i>Definition von Arbeitsbeanspruchungen und Arbeitsabschnitten</i>	65
1.7.2	<i>Theoretische Grundlagen</i>	66
1.7.3	<i>Eintrittszeit und Dauer der Arbeitsabschnitte</i>	67
1.7.4	<i>Typen von Arbeitsabschnitten</i>	69
1.7.5	<i>Inhalt der Arbeitsabschnitte.</i>	71
1.7.6	<i>Zur Generierung von Arbeitsbeanspruchungen</i>	72
1.8	Beziehungen zwischen Beanspruchungs-Zeit-Funktionen	75
1.8.1	<i>Last- und systembedingte Unterschiede</i>	75
1.8.2	<i>Theoretische Zusammenhänge bei quasistationären Prozessen.</i>	76
1.8.3	<i>Der dynamische Vergrößerungsfaktor als Näherungslösung.</i>	77
1.8.4	<i>Beziehungen zwischen Häufigkeitsverteilungen</i>	80

1.9	Ableiten von Lastannahmen	83
2	Ermittlung ertragbarer Beanspruchungen	87
2.1	Das Phänomen der Schädigung metallischer Werkstoffe unter zeitlich veränderlicher Beanspruchung	87
2.1.1	<i>Abriß der historischen Entwicklung</i>	87
2.1.2	<i>Theoretische Ansätze</i>	88
2.1.3	<i>Zum Wechselverformungsverhalten</i>	90
2.1.4	<i>Zum Bruchverhalten</i>	96
2.2	Statistische Hilfsmittel zur Beschreibung der natürlichen Streuung der Schwingfestigkeit	105
2.2.1	<i>Zur Wahl eines Verteilungsgesetzes</i>	105
2.2.2	<i>Die logarithmische Normalverteilung</i>	106
2.2.3	<i>Abdecken des Risikos aus den Zufälligkeiten weniger Schwingfestigkeitsversuche</i>	108
2.2.4	<i>Verfahren zur Bestimmung der Dauerfestigkeit</i>	110
2.2.5	<i>Signifikanztests</i>	115
2.3	Festigkeitsverhalten unter schwingender Belastung zwischen konstanten Grenzen (Wöhlerversuche)	120
2.3.1	<i>Die Kurzzeitfestigkeit</i>	120
2.3.2	<i>Die Zeitfestigkeit</i>	122
2.3.3	<i>Die Dauerfestigkeit</i>	127
2.3.4	<i>Zur Streuung der Schwingfestigkeit und Empfehlungen über die Zahl der Versuche</i>	129
2.3.5	<i>Zum Rißfortschritt unter einstufiger Belastung</i>	130
2.3.6	<i>Zeit- und Dauerfestigkeitsschaubilder</i>	132
2.4	Festigkeitsverhalten unter beliebig veränderlicher Belastung (Betriebsfestigkeitsversuche)	140
2.4.1	<i>Definitionen und Darstellung der Ergebnisse</i>	140
2.4.2	<i>Programmbelastungsversuche</i>	144
2.4.3	<i>Zufallslastenversuche</i>	147
2.4.4	<i>Standardisierte Lastfolgen</i>	152
2.4.5	<i>Betriebslastennachfahrversuche</i>	154
2.4.6	<i>Zum Rißfortschritt unter beliebig veränderlicher Belastung</i>	155
2.5	Einflüsse auf das Festigkeitsverhalten metallischer Werkstoffe bei schwingender Beanspruchung	163
2.5.1	<i>Beanspruchungsabhängige Einflüsse</i>	163

2.5.1.1	Die Formzahl	163
2.5.1.2	Nichtlineare Spannungskonzentration	165
2.5.1.3	Kerbwirkung	167
2.5.1.4	Die äquivalente Formzahl	169
2.5.1.5	Mittelspannung	171
2.5.1.6	Beanspruchungsart	173
2.5.2	<i>Werkstoff- und fertigungsabhängige Einflüsse</i>	174
2.5.2.1	Werkstoffeigenschaften	174
2.5.2.2	Größeneinfluß	182
2.5.2.3	Oberflächenzustand	183
2.5.2.4	Eigenspannungen	186
2.5.3	<i>Umgebungsabhängige Einflüsse</i>	190
2.5.3.1	Korrosion	190
2.5.3.2	Reibkorrosion	191
2.5.3.3	Temperatur	193
2.5.3.4	Frequenz und Form der Beanspruchung	194
2.5.3.5	Neutronenbestrahlung	196
2.6	Festigkeitsverhalten unter mehrachsiger Schwingbeanspruchung	203
2.6.1	<i>Problembeschreibung</i>	203
2.6.2	<i>Versuchsergebnisse</i>	204
2.6.3	<i>Interpretation der Versuchsergebnisse und Ableiten von Berechnungsverfahren</i>	206
2.6.3.1	Duktile Werkstoffe	207
2.6.3.2	Semiduktile Werkstoffe	210
2.6.3.3	Spröde Werkstoffe	212
2.6.4	<i>Bestimmen der Anstrengung bei elastoplastischer Verformung</i>	213
2.7	Zur Schwingfestigkeit von Bauteilen und Fügungen	219
2.7.1	<i>Bauteile</i>	219
2.7.1.1	Einfluß der konstruktiven Gestaltung, Unterschiede zwischen Bauteil und Probestab	219
2.7.1.2	Einfluß von Herstellung und Einsatzbedingungen, Lebensdauerstreuung	224
2.7.2	<i>Schweißverbindungen</i>	230
2.7.3	<i>Mechanische Fügungen</i>	233
2.7.3.1	Beanspruchungsverhältnisse	235
2.7.3.2	Fertigungseinflüsse	237
3	Rechnerische Lebensdauervorhersage	243
3.1	Probleme der Lebensdauervorhersage und Lösungsansätze	243
3.1.1	<i>Zum Begriff der Schädigung</i>	243
3.1.2	<i>Absolute oder relative Schadensakkumulation</i>	244
3.1.3	<i>Beanspruchungs-Zeit-Funktion und Bauteileigenschaften als Einflußgrößen</i>	246

3.2	Hinweise für das Aufstellen eines Beanspruchungskollektivs . . .	247
3.3	Auswahl von Unterlagen über ertragbare Beanspruchungen . . .	248
3.3.1	<i>Einflußgrößen</i>	248
3.3.2	<i>Tendenzen</i>	249
3.3.3	<i>Zum Übertragen von Werkstoffkennwerten auf Bauteile . . .</i>	251
3.4	Die lineare Schadensakkumulation nach Palmgren-Miner . . .	253
3.4.1	<i>Entstehung und Prinzip</i>	253
3.4.2	<i>Aufbereiten einer Häufigkeitsverteilung mit konstanter Grundbeanspruchung</i>	254
3.4.3	<i>Veränderliche Grundbeanspruchung</i>	255
3.5	Zur Anwendung der Schadensakkumulationshypothesen	258
3.5.1	<i>Abschätzungen auf der Grundlage von Nennspannungen . . .</i>	258
3.5.2	<i>Zur Streuung der Ergebnisse</i>	258
3.5.3	<i>Beispiele für Vorschläge zur Verbesserung der Palmgren-Miner-Regel</i>	262
3.5.4	<i>Abschätzungen auf der Grundlage von Kerbgrundbeanspruchungen</i>	263
3.6	Lebensdauerabschätzung auf der Grundlage von Betriebsfestigkeitsversuchen; Relativ-Miner-Regel	268
3.7	Vorhersage der Lebensdauer rißbehafteter Bauteile	271
3.7.1	<i>Vorgehensweise</i>	271
3.7.2	<i>Vorhersage des Rißfortschritts unter Einstufenbeanspruchung.</i>	273
3.7.3	<i>Vorhersage des Rißfortschritts unter betriebsähnlichen Beanspruchungen</i>	275
3.7.3.1	<i>Empirische Verfahren</i>	276
3.7.3.2	<i>Halbempirische Verfahren</i>	277
3.7.3.3	<i>Rißschließ-Verfahren</i>	279
3.7.3.4	<i>Näherungslösung nach Schijve</i>	279
4	Bemessung und Nachweisführung	281
4.1	Bemessungsrichtlinien	281
4.1.1	<i>Statische, dauerfeste und betriebsfeste Bemessungsweise . . .</i>	281
4.1.2	<i>Schwingbruchsichere und schadenstolerante Bauweise</i>	282
4.1.3	<i>Kriterien für das Bauteil-Versagen</i>	284
4.1.4	<i>Statistische Betrachtungsweise</i>	287

4.2	Optimierung	291
4.2.1	<i>Zur Realisierung des Bemessungskonzepts</i>	291
4.2.2	<i>Zugehörige Verfahren</i>	292
4.2.3	<i>Zur Einleitung von Versuchskräften in Bauteile</i>	294
4.2.4	<i>Verkürzung der Versuchszeit</i>	296
4.3	Nachweisführung	300
4.3.1	<i>Kriterien und Verfahren</i>	300
4.3.2	<i>Nachweisversuche</i>	301
4.3.3	<i>Unvermeidbare und beabsichtigte Beanspruchungsänderungen</i>	305
4.3.4	<i>Empfehlungen zur Vorgehensweise bei der rechnerischen Nachweisführung</i>	308
	Stichwortverzeichnis	313