

Inhaltsverzeichnis

1	Fragestellungen der Festigkeitslehre	1
2	Grundprinzipien einer Festigkeitsbetrachtung	6
2.1	Vorgehensweise beim Festigkeitsnachweis.....	6
2.2	Äußere Belastung von Bau- und Maschinenteilen	7
2.2.1	Gesamtblastungen	8
2.2.2	Belastungsarten	8
2.2.3	Belastungsfälle	9
2.3	Wirksame Spannungen.....	11
2.4	Werkstoffkennwerte	11
2.5	Zulässige Spannungen.....	11
3	Spannungen, Verzerrungen, Stoffgesetze.....	12
3.1	Spannung als verteilte innere Kraft	12
3.2	Allgemeine Spannungsdefinition	13
3.3	Normal- und Schubspannungen beim Zugstab.....	15
3.4	Verschiebungen und Verzerrungen	17
3.4.1	Verformungen bei einachsigen Zug	17
3.4.2	Verformungen durch Schubbelastungen	19
3.4.3	Allgemeine Formänderungen: Verzerrungen.....	20
3.5	Zusammenhänge zwischen Spannungen und Verzerrungen: Stoffgesetze.....	21
3.5.1	Zugversuch.....	21
3.5.2	Spannungs-Dehnungs-Kurven für verschiedene Materialien	23
3.5.3	Elastisches und nichtelastisches Materialverhalten.....	24
3.5.4	HOOKESches Gesetz bei Zug	25
3.5.5	Querdehnung.....	25
3.5.6	Volumendehnung.....	26
3.5.7	HOOKESches Gesetz bei Schub	26
3.6	Wärmedehnung und Wärmespannung	29
4	Stäbe und Stabsysteme.....	32
4.1	Spannungen und Verformungen bei Stäben	32
4.1.1	Stäbe mit konstanter Normalkraft und konstantem Querschnitt	32
4.1.2	Stäbe mit veränderlichem Querschnitt	33
4.1.3	Stäbe mit veränderlicher Belastung.....	35
4.2	Statisch bestimmte Stabsysteme	38
4.3	Statisch unbestimmte Stabsysteme	40
4.3.1	Verschiebungsmethode	40
4.3.2	Superpositionsmethode	42
4.4	Reihen- und Parallelschaltung elastischer Stabsysteme	46
4.4.1	Reihenschaltung von Stäben	46
4.4.2	Parallelschaltung von Stäben	48

4.4.3	Kombinationen.....	50
4.5	Festigkeitsnachweis bei Stäben	53
5	Biegung von Balken und balkenartigen Tragwerken.....	56
5.1	Schnittgrößen und ihre Wirkung	56
5.2	Normalspannung infolge des Biegemoments	57
5.2.1	Berechnung der Normalspannung.....	57
5.2.2	Unterscheidung von einachsiger und/oder schiefer Biegung.....	61
5.2.3	Biegespannungsverteilung und maximale Biegespannung bei einachsiger Biegung.....	62
5.2.4	Festigkeitsnachweis bei Biegung	63
5.3	Flächenträgheitsmomente	66
5.3.1	Definition der Flächenträgheitsmomente	66
5.3.2	Berechnung der Flächenträgheitsmomente einzelner Querschnittsprofile ...	67
5.3.3	Flächenträgheitsmomente und Widerstandsmomente bei Biegung.....	70
5.3.4	Flächenträgheitsmomente für parallel verschobene Bezugsachsen.....	72
5.3.5	Flächenträgheitsmomente beliebig zusammengesetzter Querschnittsflächen.....	74
5.3.6	Flächenträgheitsmomente für gedrehtes Bezugssystem	78
5.3.7	Hauptachsen und Hauptträgheitsmomente	80
5.4	Biegeverformungen von Balken	82
5.4.1	Differentialgleichungen der Biegelinie	83
5.4.2	Ermittlung der Biegelinie durch Integration der Differentialgleichung	85
5.4.3	Einbereichsprobleme	86
5.4.4	Mehrbereichsprobleme	90
5.4.5	Biegelinien und Verformungen von grundlegenden Balkenproblemen	92
5.4.6	Ermittlung der Biegelinie durch Superposition grundlegender Belastungsfälle	94
5.4.7	Federkonstanten für Balken	98
5.5	Statisch unbestimmte Balkenprobleme.....	99
5.6	Schiefe oder zweiachsige Biegung	102
5.6.1	Zweiachsige Biegung mit y und z als Hauptachsen.....	103
5.6.2	Zweiachsige Biegung für den Fall, dass y und z keine Hauptachsen sind .	104
6	Schubbeanspruchungen	109
6.1	Schubbeanspruchung beim Abschervorgang.....	109
6.2	Schubspannungen bei Klebverbindungen	110
6.3	Schubspannungen beim Balken und bei balkenartigen Strukturen	112
6.3.1	Balken mit Vollquerschnitt	113
6.3.2	Balken mit dünnwandigen Profilen.....	115
6.3.3	Lage der Schubmittelpunkte bei dünnwandigen Querschnittsprofilen	119
6.4	Festigkeitsnachweis bei Schub	119
7	Torsion von Wellen und Tragstrukturen	121
7.1	Wellen oder Strukturen mit Kreis- bzw. Kreisringquerschnitt	121
7.1.1	Berechnung der Schubspannung	122
7.1.2	Verdrehwinkel infolge Torsionsbelastung	124

7.1.3	Kreisringquerschnitt.....	125
7.1.4	Torsionsfederkonstanten von Wellen.....	127
7.2	Strukturen mit beliebigem Querschnitt.....	129
7.2.1	Schubspannungen und maximale Schubspannungen.....	130
7.2.2	Verdrehwinkel und spezifischer Verdrehwinkel.....	130
7.2.3	Torsionsflächenträgheitsmomente und Torsionswiderstandsmomente für grundlegende Querschnitte	130
7.3	Festigkeitsnachweis bei Torsion.....	133
8	Mehrachsig und überlagerte Beanspruchungen.....	135
8.1	Einteilung der auftretenden Spannungszustände.....	135
8.2	Ebener Spannungszustand.....	136
8.2.1	Spannungen an einem Volumenelement	136
8.2.2	Spannungen an einem gedrehten Volumenelement	137
8.2.3	Hauptnormalspannungen	138
8.2.4	Hauptschubspannung	139
8.2.5	MOHRscher Spannungskreis.....	140
8.2.6	Sonderfälle des ebenen Spannungszustandes.....	143
8.3	Ebener Verzerrungszustand.....	148
8.4	Verallgemeinertes HOOKEsches Gesetz	149
8.4.1	HOOKEsches Gesetz beim ebenem Spannungszustand	149
8.4.2	HOOKEsches Gesetz beim ebenen Verzerrungszustand	150
8.5	Festigkeitsberechnung bei mehrachsigen Spannungszuständen.....	151
8.5.1	Festigkeitsbedingung	152
8.5.2	Festigkeits-hypothesen	152
8.6	Überlagerung grundlegender Belastungen	153
8.6.1	Zug- und Biegebelastung bei Balken und balkenartigen Strukturen.....	154
8.6.2	Biege- und Torsionsbelastung von Wellen	158
8.6.3	Zug- und Torsionsbelastung in einer Rohrstruktur	162
9	Stabilitätsprobleme bei Stäben und Balken.....	165
9.1	Knicken von Stäben.....	165
9.1.1	Ermittlung der Knickkraft.....	166
9.1.2	Knickfälle nach EULER	168
9.1.3	Knickkraft, freie Knicklänge und Knickspannung.....	168
9.2	Kippen von Balken.....	172
10	Energiemethoden.....	175
10.1	Arbeit der äußeren Kräfte: Formänderungsarbeit.....	176
10.2	Arbeit der inneren Kräfte: Elastische Energie.....	176
10.2.1	Elastische Energiedichte beim einachsigen Spannungszustand.....	176
10.2.2	Elastische Energiedichte beim ebenen Spannungszustand	178
10.2.3	Elastische Energiedichte bei reiner Schubbeanspruchung.....	178
10.2.4	Elastische Energie bei Zug- oder Druckbelastung eines Stabs	178
10.2.5	Elastische Energie bei Biegebelastung von Balken und balkenartigen Strukturen.....	179

10.2.6	Elastische Energie bei Torsionsbelastung von Wellen und Tragstrukturen	179
10.2.7	Elastische Energie bei überlagerter Belastung	180
10.3	Arbeitssatz der Elastostatik.....	180
10.4	Satz von CASTIGLIANO	182
10.4.1	Hilfskraft	186
10.4.2	Hilfsmoment.....	187
10.5	Satz von MENABREA	187
11	Klausuraufgaben	192
11.1	Aufgabenstellungen.....	192
11.2	Ergebnisse.....	201
Anhang	210
A1	Werkstoffkennwerte für die Festigkeitsberechnung.....	210
A2	Sicherheitsfaktoren für die Festigkeitsberechnung.....	211
A3	Dichte, Querdehnzahlen und Wärmeausdehnungskoeffizienten von Werkstoffen	211
A4	Wichtige Formelzeichen.....	212
Literatur	215
Sachwortverzeichnis	216