

Alfred Böge

Technische Mechanik

Statik – Dynamik – Fluidmechanik – Festigkeitslehre

28. Auflage

STUDIUM



**VIEWEG+
TEUBNER**

Alfred Böge

Technische Mechanik

Lehr- und Lernsystem Technische Mechanik

- **Technische Mechanik (Lehrbuch)**
von A. Böge
- **Aufgabensammlung Technische Mechanik**
von A. Böge und W. Schlemmer
- **Lösungen zur Aufgabensammlung Technische Mechanik**
von A. Böge und W. Schlemmer
- **Formeln und Tabellen zur Technischen Mechanik**
von A. Böge

Alfred Böge

Technische Mechanik

Statik – Dynamik – Fluidmechanik – Festigkeitslehre

28., verbesserte Auflage

Mit 569 Abbildungen, 15 Tabellen, 22 Arbeitsplänen,
15 Lehrbeispielen und 40 Übungseinheiten

Unter Mitarbeit von Gert Böge, Wolfgang Böge,
Walter Schlemmer und Wolfgang Weißbach

STUDIUM



VIEWEG+
TEUBNER

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über
<<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

Das Lehrbuch Technische Mechanik erschien bis zur 22. Auflage
unter dem Titel Mechanik und Festigkeitslehre.

Die Liste der Auflagen seit 1970 zeigt die intensive Weiterentwicklung des Werkes:

- 12., überarbeitete Auflage 1970
- 13., überarbeitete Auflage 1971
- 14., unveränderte Auflage 1972
- 15., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage 1974
- 16., durchgesehene Auflage 1975
- 17., überarbeitete Auflage 1979
- 18., überarbeitete Auflage 1981
- 19., überarbeitete Auflage 1983
- 20., überarbeitete Auflage 1984
- 21., verbesserte Auflage 1990
- 22., überarbeitete und erweiterte Auflage 1992
- 23., neu bearbeitete Auflage 1995
- 24., überarbeitete Auflage 1999
- 25., überarbeitete Auflage 2001
- 26., überarbeitete und erweiterte Auflage 2003
- 27., überarbeitete Auflage 2006
- 28., verbesserte Auflage 2009

Alle Rechte vorbehalten

© Vieweg+Teubner | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2009

Lektorat: Thomas Zipsner | Imke Zander

Vieweg+Teubner ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.
www.viewegteubner.de



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: KünkelLopka Medienentwicklung, Heidelberg

Satz: Druckhaus Thomas Müntzer, Bad Langensalza

Druck und buchbinderische Verarbeitung: Těšinská Tiskárna, a. s., Tschechien

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Printed in Czech Republic

ISBN 978-3-8348-0747-2

Vorwort zur 28. Auflage

Dieses Lehrbuch für Studierende an Fach- und Fachhochschulen ist Hauptteil des Lehr- und Lernsystems TECHNISCHE MECHANIK von A. Böge mit der umfangreichen *Aufgabensammlung*, dem *Lösungsbuch* und der *Formelsammlung* mit Mathematik-Anhang.

Der Lehrbuchtext ist zweispaltig gesetzt und blockweise in **Lernschritte** unterteilt. Die linke Buchseite enthält den ausführlichen Lehrtext mit hervorgehobenen Sätzen und Regeln. Daneben in der rechten Spalte wird das Problem durch Zeichnungen, mathematische Entwicklungen und Beispiele erläutert.

Übungen schließen jeden größeren Lernabschnitt ab. **Lehrbeispiele** zeigen die Form schriftlicher Arbeiten in Schule und Beruf.

Arbeitspläne machen die erarbeiteten Lösungsverfahren durchschaubar und erleichtern ihre Anwendung.

Die am Ende eines Lernabschnitts im Raster angegebenen Aufgabennummern beziehen sich auf das Buch „Aufgabensammlung Technische Mechanik“. Im Abschnitt Festigkeitslehre (Kapitel 5.12) wird in die Berechnungsmethoden für Maschinenelemente eingeführt.

Das Lehr- und Lernsystem Technische Mechanik hat sich auch an Fachgymnasien, Fachoberschulen und Bundeswehrfachschulen bewährt.

In Österreich wird damit an den Höheren Technischen Lehranstalten gearbeitet.

Für Zuschriften steht die E-Mail-Adresse *aboege@t-online.de* zur Verfügung.

Braunschweig, Januar 2009

Alfred Böge

Inhaltsverzeichnis

1 Statik in der Ebene	1
1.1 Grundlagen	2
1.1.1 Die Aufgaben der Statik	2
1.1.2 Physikalische Größen in der Statik	2
1.1.2.1 Die Kraft F	3
1.1.2.2 Das Kraftmoment oder Drehmoment M	4
1.1.2.3 Das Kräftepaar	4
1.1.3 Übungen zur Berechnung von Drehmomenten	5
1.1.4 Bewegungsmöglichkeiten (Freiheitsgrade) eines Körpers	6
1.1.4.1 Freiheitsgrade im Raum	6
1.1.4.2 Freiheitsgrade in der Ebene	6
1.1.5 Gleichgewicht des Körpers in der Ebene (Gleichgewichtsbedingungen)	6
1.1.6 Der Parallelogrammsatz für Kräfte	8
1.1.6.1 Zusammensetzen von zwei nichtparallelen Kräften (Kräfte reduktion)	8
1.1.6.2 Zerlegen einer Kraft F in zwei nichtparallele Kräfte F_1 und F_2	9
1.1.6.3 Zerlegen einer Kraft F in zwei parallele Kräfte	9
1.1.6.4 Übungen zum Parallelogrammsatz für Kräfte	10
1.1.7 Das Freimachen der Bauteile	11
1.1.7.1 Zweck und Beschreibung des Verfahrens, Oberflächen- und Volumenkräfte	11
1.1.7.2 Seile, Ketten, Riemen	12
1.1.7.3 Zweigelenkstäbe	13
1.1.7.4 Berührungsflächen (ebene Stützflächen)	13
1.1.7.5 Rollkörper (gewölbte Stützflächen)	14
1.1.7.6 Einwertige Lager (Loslager)	15
1.1.7.7 Zweiwertige Lager (Festlager)	15
1.1.7.8 Dreiwertige Lager	17
1.1.8 Übungen zum Freimachen	18
1.2 Die Grundaufgaben der Statik	21
1.2.1 Zentrales und allgemeines Kräftesystem	21
1.2.2 Die zwei Hauptaufgaben	21
1.2.3 Die zwei Lösungsmethoden	22
1.2.4 Die vier Grundaufgaben der Statik im zentralen ebenen Kräftesystem	22
1.2.4.1 Rechnerische Ermittlung der Resultierenden (erste Grundaufgabe)	22

1.2.4.2	Zeichnerische Ermittlung der Resultierenden (zweite Grundaufgabe)	26
1.2.4.3	Rechnerische Ermittlung unbekannter Kräfte (dritte Grundaufgabe), die rechnerischen Gleich- gewichtsbedingungen.	28
1.2.4.4	Zeichnerische Ermittlung unbekannter Kräfte (vierte Grundaufgabe), die zeichnerische Gleichgewichtsbedingung	32
1.2.4.5	Übungen zur dritten und vierten Grundaufgabe	35
1.2.5	Die vier Grundaufgaben der Statik im allgemeinen ebenen Kräftesystem.	38
1.2.5.1	Rechnerische Ermittlung der Resultierenden (fünfte Grundaufgabe), der Momentensatz	38
1.2.5.2	Zeichnerische Ermittlung der Resultierenden (sechste Grundaufgabe), das Seileckverfahren	40
1.2.5.3	Rechnerische Ermittlung unbekannter Kräfte (siebte Grundaufgabe), die rechnerischen Gleich- gewichtsbedingungen.	44
1.2.5.4	Übung zur Stützkraftberechnung.	46
1.2.5.5	Zeichnerische Ermittlung unbekannter Kräfte (achte Grundaufgabe), die zeichnerischen Gleich- gewichtsbedingungen.	48
1.2.6	Systemanalytisches Lösungsverfahren zur Stützkraft- berechnung	53
1.2.6.1	Herleitung der Systemgleichungen	53
1.2.6.2	Zusammenstellung der Systemgleichungen	60
1.2.6.3	Beschreibung des Programmlaufs zur Stützkraft- berechnung.	61
1.2.6.4	Übung zum systemanalytischen Lösungsverfahren zur Stützkraftberechnung.	62
1.2.7	Stützkraftermittlung beim räumlichen Kräftesystem (Getriebewelle)	64
1.3	Statik der ebenen Fachwerke	68
1.3.1	Gestaltung von Fachwerkträgern	68
1.3.2	Die Gleichgewichtsbedingungen am statisch bestimmten Fachwerkträger.	69
1.3.3	Ermittlung der Stabkräfte im Fachwerkträger	70
1.3.3.1	Das Knotenschnittverfahren	70
1.3.3.2	Das Ritter'sche Schnittverfahren	72
1.3.3.3	Der Cremonaplan	74

2	Schwerpunktslehre	76
2.1	Begriffsbestimmung für Schwerlinie, Schwerebene und Schwerpunkt	76
2.2	Der Flächenschwerpunkt	77
2.2.1	Flächen haben einen Schwerpunkt.	77
2.2.2	Schwerpunkte einfacher Flächen	78
2.2.3	Schwerpunkte zusammengesetzter Flächen.	79
2.2.3.1	Rechnerische Bestimmung des Flächenschwerpunkts	79
2.2.3.2	Übungen zur Bestimmung des Flächenschwerpunkts.	81
2.3	Der Linienschwerpunkt	83
2.3.1	Linien haben einen Schwerpunkt	83
2.3.2	Schwerpunkte einfacher Linien	83
2.3.3	Schwerpunkte zusammengesetzter Linien (Linienzüge)	84
2.3.3.1	Rechnerische Bestimmung des Linienschwerpunkts	84
2.4	Guldin'sche Regeln	86
2.4.1	Volumenberechnung	86
2.4.2	Oberflächenberechnung	86
2.4.3	Übungen mit den Guldin'schen Regeln	87
2.5	Gleichgewichtslagen und Standsicherheit	87
2.5.1	Gleichgewichtslagen.	87
2.5.1.1	Stabiles Gleichgewicht	87
2.5.1.2	Labiles Gleichgewicht	87
2.5.1.3	Indifferentes Gleichgewicht	87
2.5.2	Standsicherheit	88
2.5.2.1	Kippmoment, Standmoment, Standsicherheit	88
2.5.2.2	Übung zur Standsicherheit	89
3	Reibung	90
3.1	Grunderkenntnisse über die Reibung	90
3.2	Gleitreibung und Haftreibung	91
3.2.1	Reibungswinkel, Reibungszahl und Reibungskraft	91
3.2.2	Ermittlung der Reibungszahlen μ , und μ_0	92
3.2.3	Der Reibungskegel	93
3.2.4	Übungen zur Lösung von Reibungsaufgaben	95
3.3	Reibung auf der schiefen Ebene	100
3.3.1	Verschieben des Körpers nach oben (1. Grundfall)	100
3.3.1.1	Zugkraft F wirkt unter beliebigem Zugwinkel	100
3.3.1.2	Zugkraft F wirkt parallel zur schiefen Ebene	101
3.3.1.3	Zugkraft F wirkt waagrecht	103

3.3.2	Halten des Körpers auf der schiefen Ebene (2. Grundfall)	105
3.3.2.1	Haltekraft F wirkt unter beliebigem Zugwinkel	105
3.3.2.2	Haltekraft F wirkt parallel zur schiefen Ebene	106
3.3.2.3	Haltekraft F wirkt waagrecht	108
3.3.3	Verschieben des Körpers nach unten (3. Grundfall)	110
3.3.3.1	Schubkraft F wirkt unter beliebigem Schubwinkel.	110
3.3.3.2	Schubkraft F wirkt parallel zur schiefen Ebene	111
3.3.3.3	Schubkraft F wirkt waagrecht	112
3.3.4	Übungen zur Reibung auf der schiefen Ebene	113
3.4	Reibung an Maschinenteilen	114
3.4.1	Prismenführung und Keilnut	114
3.4.2	Zylinderführung	115
3.4.3	Lager	116
3.4.3.1	Reibung am Tragzapfen (Querlager)	116
3.4.3.2	Reibung am Spurzapfen (Längslager)	117
3.4.3.3	Übungen zur Trag- und Spurzapfenreibung	118
3.4.4	Schraube und Schraubgetriebe.	119
3.4.4.1	Bewegungsschraube mit Flachgewinde.	119
3.4.4.2	Bewegungsschraube mit Spitz- oder Trapezgewinde	120
3.4.4.3	Befestigungsschraube mit Spitzgewinde	121
3.4.4.4	Übungen zur Schraube.	122
3.4.5	Seilreibung	124
3.4.5.1	Grundgleichung der Seilreibung	124
3.4.5.2	Aufgabenarten und Lösungsansätze	124
3.4.5.3	Übungen zur Seilreibung	125
3.4.6	Bremsen	128
3.4.6.1	Backen- oder Klotzbremsen.	128
3.4.6.2	Bandbremsen	132
3.4.6.3	Scheiben- und Kegelbremsen	133
3.4.7	Rollwiderstand (Rollreibung).	134
3.4.8	Fahrwiderstand	134
3.4.9	Übungen zum Rollwiderstand und Fahrwiderstand	135
3.4.10	Rolle und Rollenzug.	138
3.4.10.1	Feste Rolle (Leit- oder Umlenkrolle)	138
3.4.10.2	Lose Rolle	139
3.4.10.3	Rollenzug	141
3.4.10.4	Übung zum Rollenzug	142

4 Dynamik	143
4.1 Allgemeine Bewegungslehre	144
4.1.1 Größen und v, t -Diagramm, Ordnung der Bewegungen	144
4.1.2 Übungen mit dem v, t -Diagramm	146
4.1.3 Gesetze und Diagramme der gleichförmigen Bewegung, Geschwindigkeitsbegriff.	148
4.1.4 Gesetze und Diagramme der gleichmäßig beschleunigten (verzögerten) Bewegung, Beschleunigungsbegriff	150
4.1.5 Arbeitsplan zur gleichmäßig beschleunigten oder verzögerten Bewegung	153
4.1.6 Freier Fall und Luftwiderstand.	157
4.1.6.1 Freier Fall ohne Luftwiderstand.	157
4.1.6.2 Luftwiderstand F	157
4.1.6.3 Freier Fall mit Luftwiderstand.	158
4.1.7 Übungen zur gleichmäßig beschleunigten und verzögerten Bewegung	160
4.1.8 Zusammengesetzte Bewegungen	164
4.1.8.1 Kennzeichen der zusammengesetzten Bewegung	164
4.1.8.2 Überlagerungsprinzip	165
4.1.8.3 Zusammensetzen und Zerlegen von Wegen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen.	165
4.1.9 Übungen zur zusammengesetzten Bewegung	166
4.1.9.1 Überlagerung von zwei gleichförmig geradlinigen Bewegungen	166
4.1.9.2 Überlagerung von gleichförmiger und gleichmäßig beschleunigter Bewegung	167
4.2 Gleichförmige Drehbewegung (Kreisbewegung)	176
4.2.1 Die Drehzahl n	176
4.2.2 Die Umfangsgeschwindigkeit v_u	177
4.2.3 Richtung der Umfangsgeschwindigkeit v_u	177
4.2.4 Umfangsgeschwindigkeit v_u und Drehzahl n	177
4.2.4.1 Zahlenwertgleichungen für die Umfangs- geschwindigkeit	178
4.2.5 Umfangsgeschwindigkeit und Mittelpunktsgeschwindigkeit	178
4.2.6 Die Winkelgeschwindigkeit ω	179
4.2.7 Winkelgeschwindigkeit und Umfangsgeschwindigkeit.	179
4.2.7.1 Zahlenwertgleichung für die Winkelgeschwindigkeit.	180
4.2.8 Baugrößen und Größen der Bewegung in Getrieben.	180
4.2.9 Übersetzung i (Übersetzungsverhältnis)	181
4.3 Gleichmäßig beschleunigte (verzögerte) Drehbewegung	182
4.3.1 Gegenüberstellung der allgemeinen Größen mit den entsprechenden Kreisgrößen	182

4.3.2	Winkelbeschleunigung α	183
4.3.3	Der Drehwinkel im ω, t -Diagramm	183
4.3.4	Die Tangentialbeschleunigung α_T	184
4.3.5	Arbeitsplan zur Kreisbewegung (Vergleiche mit Abschnitt 4.1.5)	184
4.4	Dynamik der geradlinigen Bewegung (Translation)	188
4.4.1	Das Trägheitsgesetz (Beharrungsgesetz), erstes Newton'sches Axiom	188
4.4.2	Masse, Gewichtskraft und Dichte	189
4.4.3	Das dynamische Grundgesetz, zweites Newton'sches Axiom	191
4.4.4	Die gesetzliche und internationale Einheit für die Kraft	193
4.4.5	Übungen zum dynamischen Grundgesetz	193
4.4.6	Prinzip von d'Alembert	195
4.4.7	Arbeitsplan zum Prinzip von d'Alembert	197
4.4.8	Übungen zum Prinzip von d'Alembert	197
4.4.9	Impuls (Bewegungsgröße) und Impulserhaltungssatz	202
4.5	Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad	203
4.5.1	Arbeit W einer konstanten Kraft F	203
4.5.2	Zeichnerische Darstellung der Arbeit W	204
4.5.3	Federarbeit W_f (Formänderungsarbeit) als Arbeit einer veränderlichen Kraft	205
4.5.4	Übungen mit der Größe Arbeit	206
4.5.5	Leistung P	209
4.5.6	Wirkungsgrad η	210
4.5.7	Übungen mit den Größen Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad	212
4.6	Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad bei der Drehbewegung (Kreisbewegung)	213
4.6.1	Gegenüberstellung der allgemeinen Größen mit den entsprechenden Kreisgrößen	213
4.6.2	Drehtarbeit W_{rot} (Rotationsarbeit)	214
4.6.3	Drehleistung P_{rot} (Rotationsleistung)	215
4.6.4	Zahlenwertgleichung für die Drehleistung P_{rot}	215
4.6.5	Wirkungsgrad, Drehmoment und Übersetzung	216
4.6.6	Übungen zu Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad und Übersetzung bei Drehbewegung	216
4.7	Energie	218
4.7.1	Energie, Begriffsbestimmung und Einheit	218
4.7.2	Potenzielle Energie E_{pot} und Hubarbeit W_h	219
4.7.3	Kinetische Energie E_{kin} und Beschleunigungsarbeit W_a	220
4.7.4	Spannungsennergie E_s und Formänderungsarbeit W_f	220
4.7.5	Energieerhaltungssatz für technische Vorgänge	221
4.7.6	Übungen zum Energieerhaltungssatz	222

4.8	Gerader zentrischer Stoß	224
4.8.1	Stoßbegriff, Kräfte und Geschwindigkeiten beim Stoß	224
4.8.2	Merkmale des geraden zentrischen Stoßes	224
4.8.3	Elastischer Stoß	225
4.8.4	Unelastischer Stoß	227
	4.8.4.1 Schmieden und Nietten	227
	4.8.4.2 Rammern von Pfählen, Eintreiben von Keilen	228
4.8.5	Wirklicher Stoß	228
4.8.6	Übungen zum geraden zentrischen Stoß	230
4.9	Dynamik der Drehbewegung (Rotation)	232
4.9.1	Das dynamische Grundgesetz für die Drehbewegung	232
4.9.2	Trägheitsmoment J und Trägheitsradius i	233
	4.9.2.1 Definition des Trägheitsmoments	233
	4.9.2.2 Übung zum Trägheitsmoment	234
	4.9.2.3 Verschiebesatz (Steiner'scher Satz)	236
	4.9.2.4 Reduzierte Masse m_{red} und Trägheitsradius i	238
4.9.3	Übung zum dynamischen Grundgesetz für die Drehung	239
4.9.4	Drehimpuls (Drall) und Impulserhaltungssatz für die Drehung	239
4.9.5	Kinetische Energie E_{rot} (Rotationsenergie)	240
4.9.6	Energieerhaltungssatz für Drehung	241
4.9.7	Fliehkraft	242
	4.9.7.1 Zentripetalbeschleunigung und Zentripetalkraft	242
	4.9.7.2 Übungen zur Fliehkraft	243
4.9.8	Gegenüberstellung der translatorischen und rotatorischen Größen	245
4.10	Mechanische Schwingungen	246
4.10.1	Begriff	246
4.10.2	Ordnungsbegriffe	246
4.10.3	Die harmonische Schwingung	246
	4.10.3.1 Die Bewegungsgesetze der harmonischen Schwingung	246
	4.10.3.1.1 Auslenkung-Zeit-Gesetz	247
	4.10.3.1.2 Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz	247
	4.10.3.1.3 Beschleunigung-Zeit-Gesetz	247
	4.10.3.2 Die Graphen der harmonischen Schwingung	248
	4.10.3.3 Zusammenstellung der wichtigsten Größen und Gleichungen der harmonischen Schwingung	249
	4.10.3.4 Rückstellkraft F_R , Richtgröße D und lineares Kraftgesetz bei der harmonischen Schwingung	250
4.10.4	Das Schraubenfederpendel	251
	4.10.4.1 Rückstellkraft F_R und Federrate R	251
	4.10.4.2 Periodendauer T des Schraubenfederpendels	253
4.10.5	Das Torsionsfederpendel	254
	4.10.5.1 Federrate R , Rückstellmoment M_R und Perioden- dauer T	254

4.10.5.2	Experimentelle Bestimmung von Trägheitsmomenten J aus der Periodendauer	255
4.10.6	Das Schwerependel (Fadenpendel)	256
4.10.7	Schwingung einer Flüssigkeitssäule	257
4.10.8	Analogiebetrachtung zum Schraubenfederpendel, Torsionsfederpendel, Schwerependel und zur schwingenden Flüssigkeitssäule	258
4.10.9	Dämpfung, Energiezufuhr, erzwungene Schwingung, Resonanz	258
4.10.9.1	Dämpfung	258
4.10.9.2	Energieminderung durch Dämpfung	259
4.10.9.3	Energiezufuhr	259
4.10.9.4	Die erzwungene Schwingung und Resonanz	260
4.10.9.5	Das Amplituden-Frequenz-Diagramm	261

5 Festigkeitslehre 262

5.1	Grundbegriffe	264
5.1.1	Die Aufgabe der Festigkeitslehre	264
5.1.2	Das Schnittverfahren zur Bestimmung des inneren Kräftesystems	265
5.1.3	Spannung und Beanspruchung	266
5.1.4	Die beiden Spannungsarten (Normalspannung σ und Schubspannung τ)	267
5.1.5	Die fünf Grundbeanspruchungsarten	268
5.1.5.1	Zugbeanspruchung (Zug)	268
5.1.5.2	Druckbeanspruchung (Druck)	269
5.1.5.3	Abscherbeanspruchung (Abscheren)	269
5.1.5.4	Biegebeanspruchung (Biegung)	269
5.1.5.5	Torsionsbeanspruchung (Torsion, Verdrehung)	270
5.1.5.6	Kurzzeichen für Spannung und Beanspruchung	270
5.1.6	Die zusammengesetzte Beanspruchung	270
5.1.7	Bestimmen des inneren Kräftesystems (Schnittverfahren) und der Beanspruchungsarten	271
5.1.7.1	Das allgemeine innere Kräftesystem	271
5.1.7.2	Arbeitsplan zur Bestimmung des inneren Kräftesystems und der Beanspruchungsarten	272
5.1.7.3	Übungen zum Schnittverfahren	272
5.2	Beanspruchung auf Zug	278
5.2.1	Spannung	278
5.2.2	Erkennen des gefährdeten Querschnitts in zugbeanspruchten Bauteilen	278
5.2.2.1	Profilstäbe mit Querbohrung	279
5.2.2.2	Zuglaschen	279
5.2.2.3	Zugschrauben	279

5.2.2.4	Herabhängende Stäbe oder Seile	280
5.2.2.5	Ketten	280
5.2.3	Elastische Formänderung (Hooke'sches Gesetz)	280
5.2.3.1	Verlängerung Δl und Dehnung ϵ	281
5.2.3.2	Querdehnung ϵ_q	281
5.2.3.3	Poisson-Zahl μ	282
5.2.3.4	Das Hooke'sche Gesetz	282
5.2.3.5	Wärmespannung	283
5.2.3.6	Formänderungsarbeit W_f	283
5.2.4	Reißlänge	284
5.3	Beanspruchung auf Druck	285
5.4	Übungen zur Zug- und Druckbeanspruchung	286
5.5	Flächenpressung	288
5.5.1	Begriff und Hauptgleichung	288
5.5.2	Flächenpressung an geneigten Flächen	288
5.5.3	Flächenpressung am Gewinde	290
5.5.4	Flächenpressung in Gleitlagern, Niet- und Bolzenverbindungen	291
5.5.5	Flächenpressung an gewölbten Flächen (Hertz'sche Gleichungen)	292
5.5.5.1	Pressung zwischen Kugel und Ebene oder zwischen zwei Kugeln	292
5.5.5.2	Pressung zwischen Zylinder und Ebene oder zwischen zwei Zylindern	292
5.5.6	Übungen zur Flächenpressung	293
5.6	Beanspruchung auf Abscheren	295
5.6.1	Spannung	295
5.6.2	Elastische Formänderung (Hooke'sches Gesetz für Schub)	297
5.7	Flächenmomente 2. Grades I und Widerstandsmomente W	303
5.7.1	Gleichmäßige und lineare Spannungsverteilung (Gegenüberstellung)	303
5.7.2	Definition der Flächenmomente 2. Grades	304
5.7.3	Herleitungübung	305
5.7.4	Übungen mit Flächen- und Widerstandsmomenten einfacher Querschnitte	306
5.7.5	Axiale Flächenmomente 2. Grades symmetrischer Querschnitte	312
5.7.6	Axiale Flächenmomente 2. Grades unsymmetrischer Querschnitte (Steiner'scher Verschiebesatz)	313
5.7.6.1	Erste Herleitung des Steiner'schen Satzes	314
5.7.6.2	Zweite Herleitung des Steiner'schen Satzes	315