

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Statik in der Ebene .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Grundlagen .....</b>	<b>2</b>
1.1.1 Die Aufgaben der Statik .....	2
1.1.2 Physikalische Größen in der Statik .....	2
1.1.2.1 Kraft .....	3
1.1.2.2 Kraftmoment oder Drehmoment .....	4
1.1.2.3 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 (Kräftereduktion) .....	8
1.1.6.2 Zerlegen einer Kraft in zwei nichtparallele Kräfte .....	9
1.1.6.3 Zerlegen einer Kraft 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
<b>1.2 Die Grundaufgaben der Statik .....</b>	<b>21</b>
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	Übungen zur Stützkraftberechnung . . . . .	47
1.2.5.5	Zeichnerische Ermittlung unbekannter Kräfte (achte Grundaufgabe), die zeichnerischen Gleich- gewichtsbedingungen . . . . .	50
1.2.6	Systemanalytisches Lösungsverfahren zur Stützkraft- berechnung . . . . .	55
1.2.6.1	Herleitung der Systemgleichungen . . . . .	55
1.2.6.2	Zusammenstellung der Systemgleichungen . . . . .	62
1.2.6.3	Beschreibung des Programmablaufs zur Stützkraft- berechnung . . . . .	63
1.2.6.4	Übung zum systemanalytischen Lösungsverfahren zur Stützkraftberechnung . . . . .	64
1.2.7	Stützkraftermittlung im räumlichen Kräftesystem (Getriebewelle) . . . . .	66
1.3	<b>Statik der ebenen Fachwerke</b> . . . . .	70
1.3.1	Gestaltung von Fachwerkträgern . . . . .	70
1.3.2	Die Gleichgewichtsbedingungen am statisch bestimmten Fachwerkträger . . . . .	71
1.3.3	Ermittlung der Stabkräfte im Fachwerkträger . . . . .	72
1.3.3.1	Knotenschnittverfahren . . . . .	73
1.3.3.2	Ritter'sches Schnittverfahren . . . . .	75

<b>2 Schwerpunktslehre .....</b>	<b>77</b>
<b>2.1 Begriffsbestimmung für Schwerlinie, Schwerebene und Schwerpunkt</b>	<b>77</b>
<b>2.2 Der Flächenschwerpunkt .....</b>	<b>78</b>
2.2.1 Flächen haben einen Schwerpunkt.....	78
2.2.2 Schwerpunkte einfacher Flächen .....	79
2.2.3 Schwerpunkte zusammengesetzter Flächen.....	80
2.2.3.1 Rechnerische Bestimmung des Flächenschwerpunkts .....	80
2.2.3.2 Übungen zur Bestimmung des Flächenschwerpunkts.....	82
<b>2.3 Der Linienschwerpunkt .....</b>	<b>84</b>
2.3.1 Linien haben einen Schwerpunkt.....	84
2.3.2 Schwerpunkte einfacher Linien .....	84
2.3.3 Schwerpunkte zusammengesetzter Linien (Linienzüge).....	85
<b>2.4 Guldin'sche Regeln .....</b>	<b>87</b>
2.4.1 Volumenberechnung.....	87
2.4.2 Oberflächenberechnung .....	87
2.4.3 Übungen zu den Guldin'schen Regeln.....	88
<b>2.5 Gleichgewichtslagen und Standsicherheit .....</b>	<b>88</b>
2.5.1 Gleichgewichtslagen.....	88
2.5.2 Standsicherheit .....	89
2.5.2.1 Kippmoment, Standmoment, Standsicherheit .....	89
2.5.2.2 Übung zur Standsicherheit .....	90
<b>3 Reibung .....</b>	<b>91</b>
<b>3.1 Grunderkenntnisse über die Reibung .....</b>	<b>91</b>
<b>3.2 Gleitreibung und Haftreibung .....</b>	<b>92</b>
3.2.1 Reibungswinkel, Reibungszahl und Reibungskraft.....	92
3.2.2 Ermittlung der Reibungszahlen .....	93
3.2.3 Reibungskegel.....	94
3.2.4 Übungen zur Lösung von Reibungsaufgaben .....	96
<b>3.3 Reibung auf der schiefen Ebene .....</b>	<b>101</b>
3.3.1 Verschieben des Körpers nach oben (1. Grundfall).....	101
3.3.1.1 Zugkraft wirkt unter beliebigem Zugwinkel .....	101
3.3.1.2 Zugkraft wirkt parallel zur schiefen Ebene .....	102
3.3.1.3 Zugkraft wirkt waagerecht .....	104

3.3.2	Halten des Körpers auf der schiefen Ebene (2. Grundfall) . . . . .	106
3.3.2.1	Haltekraft wirkt unter beliebigem Zugwinkel . . . . .	106
3.3.2.2	Haltekraft wirkt parallel zur schiefen Ebene . . . . .	107
3.3.2.3	Haltekraft wirkt waagerecht . . . . .	109
3.3.3	Verschieben des Körpers nach unten (3. Grundfall) . . . . .	111
3.3.3.1	Schubkraft wirkt unter beliebigem Schubwinkel . . . . .	111
3.3.3.2	Schubkraft wirkt parallel zur schiefen Ebene . . . . .	112
3.3.3.3	Schubkraft wirkt waagerecht . . . . .	113
3.3.4	Übungen zur Reibung auf der schiefen Ebene . . . . .	115
<b>3.4</b>	<b>Reibung an Maschinenteilen . . . . .</b>	<b>116</b>
3.4.1	Prismenführung und Keilnut . . . . .	116
3.4.2	Zylinderführung . . . . .	117
3.4.3	Lager . . . . .	118
3.4.3.1	Reibung am Tragzapfen (Querlager) . . . . .	118
3.4.3.2	Reibung am Spurzapfen (Längslager) . . . . .	119
3.4.3.3	Übungen zur Trag- und Spurzapfenreibung . . . . .	120
3.4.4	Schraube und Schraubgetriebe. . . . .	121
3.4.4.1	Bewegungsschraube mit Flachgewinde. . . . .	121
3.4.4.2	Bewegungsschraube mit Spitz- oder Trapezgewinde . . . . .	122
3.4.4.3	Befestigungsschraube mit Spitzgewinde. . . . .	123
3.4.4.4	Übungen zur Schraube. . . . .	124
3.4.5	Seilreibung . . . . .	126
3.4.5.1	Grundgleichung der Seilreibung . . . . .	126
3.4.5.2	Aufgabenarten und Lösungsansätze . . . . .	127
3.4.5.3	Übungen zur Seilreibung . . . . .	127
3.4.6	Bremsen . . . . .	130
3.4.6.1	Backenbremsen . . . . .	130
3.4.6.2	Bandbremsen . . . . .	134
3.4.6.3	Scheiben- und Kegelbremsen . . . . .	135
3.4.7	Rollwiderstand (Rollreibung). . . . .	136
3.4.8	Fahrwiderstand . . . . .	136
3.4.9	Übungen zum Rollwiderstand und Fahrwiderstand . . . . .	137
3.4.10	Rolle und Rollenzug. . . . .	140
3.4.10.1	Feste Rolle (Leit- oder Umlenkrolle) . . . . .	140
3.4.10.2	Lose Rolle . . . . .	141
3.4.10.3	Rollenzug. . . . .	143
3.4.10.4	Übung zum Rollenzug . . . . .	144

<b>4 Dynamik .....</b>	<b>145</b>
<b>4.1 Allgemeine Bewegungslehre .....</b>	<b>146</b>
4.1.1 Größen und $v, t$ -Diagramm, Ordnung der Bewegungen .....	146
4.1.2 Übungen mit dem $v, t$ -Diagramm .....	148
4.1.3 Gesetze und Diagramme der gleichförmigen Bewegung, Geschwindigkeitsbegriff .....	150
4.1.4 Gesetze und Diagramme der gleichmäßig beschleunigten (verzögerten) Bewegung, Beschleunigungsbegriff .....	152
4.1.5 Arbeitsplan zur gleichmäßig beschleunigten oder verzögerten Bewegung .....	155
4.1.6 Freier Fall und Luftwiderstand .....	159
4.1.6.1 Freier Fall ohne Luftwiderstand .....	159
4.1.6.2 Luftwiderstand .....	159
4.1.6.3 Freier Fall mit Luftwiderstand .....	160
4.1.7 Übungen zur gleichmäßig beschleunigten und verzögerten Bewegung	162
4.1.8 Zusammengesetzte Bewegungen .....	166
4.1.8.1 Kennzeichen der zusammengesetzten Bewegung .....	166
4.1.8.2 Überlagerungsprinzip .....	167
4.1.8.3 Zusammensetzen und Zerlegen von Wegen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen .....	167
4.1.9 Übungen zur zusammengesetzten Bewegung .....	168
4.1.9.1 Überlagerung von zwei gleichförmig geradlinigen Bewegungen .....	168
4.1.9.2 Überlagerung von gleichförmiger und gleichmäßig beschleunigter Bewegung .....	169
<b>4.2 Gleichförmige Drehbewegung (Kreisbewegung) .....</b>	<b>178</b>
4.2.1 Drehzahl (Umdrehungsfrequenz) .....	178
4.2.2 Umfangsgeschwindigkeit .....	179
4.2.3 Richtung der Umfangsgeschwindigkeit .....	179
4.2.4 Umfangsgeschwindigkeit und Drehzahl .....	179
4.2.4.1 Zahlenwertgleichungen für die Umfangs- geschwindigkeit .....	180
4.2.5 Umfangsgeschwindigkeit und Mittelpunktsgeschwindigkeit .....	180
4.2.6 Winkelgeschwindigkeit .....	181
4.2.7 Winkelgeschwindigkeit und Umfangsgeschwindigkeit .....	181
4.2.7.1 Zahlenwertgleichung für die Winkelgeschwindigkeit .....	182
4.2.8 Baugrößen und Größen der Bewegung in Getrieben .....	182
4.2.9 Übersetzung (Übersetzungsverhältnis) .....	183
<b>4.3 Gesetze und Diagramme der gleichmäßig beschleunigten (verzögerten) Drehbewegung .....</b>	<b>184</b>
4.3.1 Gegenüberstellung der allgemeinen Größen mit den entsprechenden Kreisgrößen .....	184

4.3.2	Winkelbeschleunigung . . . . .	185
4.3.3	Der Drehwinkel im $\omega, t$ -Diagramm . . . . .	185
4.3.4	Die Tangentialbeschleunigung . . . . .	186
4.3.5	Arbeitsplan zur Kreisbewegung (Vergleich mit Abschnitt 4.1.5) . . . . .	186
<b>4.4</b>	<b>Dynamik der geradlinigen Bewegung (Translation)</b> . . . . .	<b>190</b>
4.4.1	Das Trägheitsgesetz (Beharrungsgesetz), erstes Newton'sches Axiom . . . . .	190
4.4.2	Masse, Gewichtskraft und Dichte . . . . .	191
4.4.3	Das dynamische Grundgesetz, zweites Newton'sches Axiom . . . . .	193
4.4.4	Die gesetzliche und internationale Einheit für die Kraft . . . . .	195
4.4.5	Übungen zum dynamischen Grundgesetz . . . . .	195
4.4.6	Prinzip von d'Alembert . . . . .	197
4.4.7	Arbeitsplan zum Prinzip von d'Alembert . . . . .	199
4.4.8	Übungen zum Prinzip von d'Alembert . . . . .	199
4.4.9	Impuls (Bewegungsgröße) und Impulserhaltungssatz . . . . .	204
<b>4.5</b>	<b>Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad</b> . . . . .	<b>205</b>
4.5.1	Arbeit einer konstanten Kraft . . . . .	205
4.5.2	Zeichnerische Darstellung der Arbeit . . . . .	206
4.5.3	Federarbeit (Formänderungsarbeit) als Arbeit einer veränderlichen Kraft . . . . .	207
4.5.4	Übungen mit der Größe Arbeit . . . . .	208
4.5.5	Mechanische Leistung . . . . .	211
4.5.6	Wirkungsgrad . . . . .	212
4.5.7	Übungen mit den Größen Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad . . . . .	214
<b>4.6</b>	<b>Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad bei der Drehbewegung (Kreisbewegung)</b> . . . . .	<b>215</b>
4.6.1	Gegenüberstellung der allgemeinen Größen mit den entsprechenden Kreisgrößen . . . . .	215
4.6.2	Dreharbeit (Rotationsarbeit) . . . . .	216
4.6.3	Drehleistung (Rotationsleistung) . . . . .	217
4.6.4	Zahlenwertgleichung für die Drehleistung . . . . .	217
4.6.5	Wirkungsgrad, Drehmoment und Übersetzung . . . . .	218
4.6.6	Übungen zu Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad und Übersetzung bei Drehbewegung . . . . .	218
<b>4.7</b>	<b>Energie</b> . . . . .	<b>220</b>
4.7.1	Energie – Begriffsbestimmung und Einheit . . . . .	220
4.7.2	Potenzielle Energie und Hubarbeit . . . . .	221
4.7.3	Kinetische Energie und Beschleunigungsarbeit . . . . .	222
4.7.4	Spannungsenergie und Formänderungsarbeit . . . . .	222
4.7.5	Energieerhaltungssatz . . . . .	223
4.7.6	Übungen zum Energieerhaltungssatz . . . . .	224

<b>4.8 Gerader zentrischer Stoß . . . . .</b>	<b>226</b>
4.8.1 Stoßbegriff, Kräfte und Geschwindigkeiten beim Stoß . . . . .	226
4.8.2 Merkmale des geraden zentrischen Stoßes . . . . .	226
4.8.3 Elastischer Stoß . . . . .	227
4.8.4 Unelastischer Stoß . . . . .	229
4.8.4.1 Schmieden und Nieten . . . . .	229
4.8.4.2 Rammen von Pfählen, Eintreiben von Keilen . . . . .	230
4.8.5 Wirklicher Stoß . . . . .	230
4.8.6 Übungen zum geraden zentrischen Stoß . . . . .	232
<b>4.9 Dynamik der Drehbewegung (Rotation) . . . . .</b>	<b>234</b>
4.9.1 Das dynamische Grundgesetz für die Drehbewegung . . . . .	234
4.9.2 Trägheitsmoment und Trägheitsradius . . . . .	235
4.9.2.1 Definition des Trägheitsmoments . . . . .	235
4.9.2.2 Übung zum Trägheitsmoment . . . . .	236
4.9.2.3 Verschiebesatz (Steiner'scher Satz) . . . . .	238
4.9.2.4 Reduzierte Masse und Trägheitsradius . . . . .	240
4.9.3 Übung zum dynamischen Grundgesetz für die Drehung . . . . .	241
4.9.4 Drehimpuls (Drall) und Impulserhaltungssatz für die Drehung . . . . .	241
4.9.5 Kinetische Energie (Rotationsenergie) . . . . .	242
4.9.6 Energieerhaltungssatz für Drehung . . . . .	243
4.9.7 Fliehkraft . . . . .	244
4.9.7.1 Zentripetalbeschleunigung und Zentripetalkraft . . . . .	244
4.9.7.2 Übungen zur Fliehkraft . . . . .	245
4.9.8 Gegenüberstellung der translatorischen und rotatorischen Größen . . . . .	247
<b>4.10 Mechanische Schwingungen . . . . .</b>	<b>248</b>
4.10.1 Begriff . . . . .	248
4.10.2 Ordnungsbegriffe . . . . .	248
4.10.3 Die harmonische Schwingung . . . . .	248
4.10.3.1 Die Bewegungsgesetze der harmonischen Schwingung . . . . .	248
4.10.3.1.1 Auslenkung-Zeit-Gesetz . . . . .	249
4.10.3.1.2 Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz . . . . .	249
4.10.3.1.3 Beschleunigung-Zeit-Gesetz . . . . .	249
4.10.3.2 Die Graphen der harmonischen Schwingung . . . . .	250
4.10.3.3 Zusammenstellung der wichtigsten Größen und Gleichungen der harmonischen Schwingung . . . . .	251
4.10.3.4 Rückstellkraft, Richtgröße und lineares Kraftgesetz bei der harmonischen Schwingung . . . . .	252
4.10.4 Das Schraubenfederpendel . . . . .	253
4.10.4.1 Rückstellkraft und Federrate . . . . .	253
4.10.4.2 Periodendauer des Schraubenfederpendels . . . . .	255
4.10.5 Das Torsionsfederpendel . . . . .	256
4.10.5.1 Federrate, Rückstellmoment und Periodendauer . . . . .	256

4.10.5.2	Experimentelle Bestimmung von Trägheitsmomenten aus der Periodendauer .....	257
4.10.6	Schwerependel (Fadenpendel).....	258
4.10.7	Schwingung einer Flüssigkeitssäule .....	259
4.10.8	Analogiebetrachtung zum Schraubenfederpendel, Torsionsfederpendel, Schwerependel und zur schwingenden Flüssigkeitssäule.....	260
4.10.9	Dämpfung, Energiezufuhr, erzwungene Schwingung, Resonanz .....	260
4.10.9.1	Dämpfung.....	260
4.10.9.2	Energiereduktion durch Dämpfung.....	261
4.10.9.3	Energiezufuhr.....	261
4.10.9.4	Die erzwungene Schwingung und Resonanz .....	262
4.10.9.5	Das Amplituden-Frequenz-Diagramm .....	263
<b>5</b>	<b>Festigkeitslehre .....</b>	<b>264</b>
<b>5.1</b>	<b>Grundbegriffe .....</b>	<b>266</b>
5.1.1	Die Aufgaben der Festigkeitslehre.....	266
5.1.2	Das Schnittverfahren zur Bestimmung des inneren Kräftesystems .....	267
5.1.3	Spannung und Beanspruchung .....	268
5.1.4	Die beiden Spannungsarten (Normalspannung und Schubspannung) .....	269
5.1.5	Die fünf Grundbeanspruchungsarten .....	270
5.1.5.1	Zugbeanspruchung (Zug).....	270
5.1.5.2	Druckbeanspruchung (Druck).....	271
5.1.5.3	Abscherbeanspruchung (Abscheren).....	271
5.1.5.4	Biegebeanspruchung (Biegung) .....	271
5.1.5.5	Torsionsbeanspruchung (Torsion, Verdrehung).....	272
5.1.5.6	Kurzzeichen für Spannung und Beanspruchung .....	272
5.1.6	Die zusammengesetzte Beanspruchung.....	272
5.1.7	Bestimmen des inneren ebenen Kräftesystems (Schnittverfahren) und der Beanspruchungsarten .....	273
5.1.7.1	Das allgemeine innere Kräftesystem .....	273
5.1.7.2	Arbeitsplan zur Bestimmung des inneren Kräftesystems und der Beanspruchungsarten .....	274
5.1.7.3	Übungen zum Schnittverfahren .....	274
<b>5.2</b>	<b>Beanspruchung auf Zug .....</b>	<b>280</b>
5.2.1	Spannung .....	280
5.2.2	Erkennen des gefährdeten Querschnitts in zugbeanspruchten Bauteilen.....	280
5.2.2.1	Profilstäbe mit Querbohrung .....	281
5.2.2.2	Zuglaschen .....	281
5.2.2.3	Zugschrauben .....	281

5.2.2.4	Herabhängende Stäbe oder Seile . . . . .	282
5.2.2.5	Ketten . . . . .	282
5.2.3	Elastische Formänderung (Hooke'sches Gesetz) . . . . .	282
5.2.3.1	Verlängerung und Dehnung . . . . .	283
5.2.3.2	Querdehnung . . . . .	283
5.2.3.3	Poisson-Zahl, Querzahl . . . . .	284
5.2.3.4	Das Hooke'sche Gesetz . . . . .	284
5.2.3.5	Wärmespannung . . . . .	285
5.2.3.6	Formänderungsarbeit . . . . .	285
5.2.4	Reißlänge . . . . .	286
5.3	Beanspruchung auf Druck . . . . .	287
5.4	Übungen zur Zug- und Druckbeanspruchung . . . . .	288
5.5	Flächenpressung . . . . .	290
5.5.1	Begriff und Hauptgleichung . . . . .	290
5.5.2	Flächenpressung an geneigten Flächen . . . . .	290
5.5.3	Flächenpressung am Gewinde . . . . .	292
5.5.4	Flächenpressung in Gleitlagern, Niet- und Bolzenverbindungen . . . . .	293
5.5.5	Flächenpressung an gewölbten Flächen (Hertz'sche Gleichungen) . . . . .	294
5.5.5.1	Flächenpressung zwischen Kugel und Ebene oder zwischen zwei Kugeln . . . . .	294
5.5.5.2	Flächenpressung zwischen Zylinder und Ebene oder zwischen zwei Zylindern . . . . .	294
5.5.6	Übungen zur Flächenpressung . . . . .	295
5.6	Beanspruchung auf Abscheren . . . . .	298
5.6.1	Spannung . . . . .	298
5.6.2	Hooke'sches Gesetz für Schubbeanspruchung . . . . .	300
5.7	Flächenmomente 2. Grades und Widerstandsmomente . . . . .	306
5.7.1	Gleichmäßige und lineare Spannungsverteilung (Gegenüberstellung) . . . . .	306
5.7.2	Definition der Flächenmomente 2. Grades . . . . .	307
5.7.3	Herleitungsbübung . . . . .	308
5.7.4	Übungen mit Flächen- und Widerstandsmomenten einfacher Querschnitte . . . . .	309
5.7.5	Axiale Flächenmomente 2. Grades symmetrischer Querschnitte . . . . .	315
5.7.6	Axiale Flächenmomente 2. Grades unsymmetrischer Querschnitte (Steiner'scher Verschiebesatz) . . . . .	316
5.7.6.1	Erste Herleitung des Steiner'schen Satzes . . . . .	317
5.7.6.2	Zweite Herleitung des Steiner'schen Satzes . . . . .	318

5.7.6.3	Arbeitsplan zur Berechnung axialer Flächenmomente 2. Grades .....	319
5.7.7	Übungen mit Flächen- und Widerstandsmomenten zusammengesetzter Querschnitte.....	319
5.8	<b>Beanspruchung auf Torsion .....</b>	324
5.8.1	Spannungsverteilung .....	324
5.8.2	Herleitung der Torsions-Hauptgleichung.....	325
5.8.3	Formänderung bei Torsion .....	327
5.8.4	Formänderungsarbeit .....	328
5.9	<b>Beanspruchung auf Biegung .....</b>	331
5.9.1	Spannungsarten und inneres Kräftesystem bei Biegeträgern .....	331
5.9.2	Bestimmung der Biegemomente und Querkräfte an beliebigen Trägerstellen .....	332
5.9.3	Spannungsverteilung im Trägerquerschnitt bei Biegung .....	332
5.9.4	Herleitung der Biege-Hauptgleichung .....	333
5.9.5	Spannungsverteilung im einfach symmetrischen Querschnitt .....	335
5.9.6	Gültigkeitsbedingungen für die Biege-Hauptgleichung .....	335
5.9.7	Übungen zur Berechnung des Biegemomenten- und Querkraftverlaufs bei den wichtigsten Trägerarten und Belastungen.....	336
5.9.7.1	Freiträger mit Einzellast .....	336
5.9.7.2	Freiträger mit mehreren Einzellasten .....	337
5.9.7.3	Freiträger mit konstanter Streckenlast (gleichmäßig verteilte Streckenlast) .....	338
5.9.7.4	Freiträger mit Mischlast (Einzellast und konstante Streckenlast) .....	339
5.9.7.5	Stützträger mit Einzellast .....	340
5.9.7.6	Stützträger (Kragträger) mit mehreren Einzellasten .....	341
5.9.7.7	Stützträger (Kragträger) mit konstanter Streckenlast .....	343
5.9.7.8	Stützträger mit Mischlast (Einzellast und konstante Streckenlast) .....	345
5.9.8	Träger gleicher Biegespannung .....	346
5.9.8.1	Allgemeine Anformungsgleichung .....	346
5.9.8.2	Achsen und Wellen .....	346
5.9.8.3	Biegefeder mit Rechteckquerschnitt .....	347
5.9.8.4	Konsolträger mit Einzellast .....	348
5.9.8.5	Konsolträger mit Streckenlast .....	348
5.9.9	Formänderung bei Biegung .....	349
5.9.9.1	Krümmungsradius, Krümmung .....	349
5.9.9.2	Allgemeine Durchbiegungsgleichung .....	350
5.9.9.3	Neigungswinkel der Biegelinie .....	351
5.9.10	Übungen zur Durchbiegungsgleichung .....	352
5.10	<b>Beanspruchung auf Knickung .....</b>	357
5.10.1	Grundbegriffe .....	357
5.10.2	Elastische Knickung (Eulerfall) .....	358

5.10.3	Unelastische Knickung (Tetmajerfall) . . . . .	361
5.10.4	Arbeitsplan für Knickungsberechnungen . . . . .	362
5.10.5	Knickung im Stahlbau . . . . .	365
5.10.5.1	Vorschriften . . . . .	365
5.10.5.2	Stabilitätsnachweis bei einteiligen Druckstäben . . . . .	365
5.10.5.3	Herleitung einer Entwurfsformel . . . . .	365
5.10.5.4	Arbeitsplan zum Stabilitätsnachweis . . . . .	365
5.10.5.5	Zusammengesetzte Druckstäbe . . . . .	368
5.11	Zusammengesetzte Beanspruchung . . . . .	370
5.11.1	Zug und Biegung . . . . .	370
5.11.2	Druck und Biegung . . . . .	371
5.11.3	Übung zur zusammengesetzten Beanspruchung durch Normalspannungen . . . . .	372
5.11.4	Biegung und Torsion . . . . .	373
5.11.4.1	Festigkeitshypothesen und Vergleichsspannung . . . . .	373
5.11.4.2	Vergleichsmoment . . . . .	374
5.11.4.3	Übung zu Biegung und Torsion . . . . .	375
5.12	Festigkeit, zulässige Spannung, Sicherheit . . . . .	380
5.12.1	Festigkeitswerte im Spannungs-Dehnungs-Diagramm . . . . .	380
5.12.2	Einflüsse auf die Festigkeit des Bauteils . . . . .	381
5.12.2.1	Beanspruchungsart und Festigkeit . . . . .	381
5.12.2.2	Temperatur und Festigkeit . . . . .	381
5.12.2.3	Belastungsart und Festigkeit . . . . .	381
5.12.2.4	Gestalt und Dauerfestigkeit . . . . .	383
5.12.3	Spannungsbegriffe . . . . .	385
5.12.3.1	Nennspannung . . . . .	385
5.12.3.2	Örtliche Spannung . . . . .	385
5.12.3.3	Zulässige Spannung . . . . .	385
5.12.3.4	Berechnungen im Buch . . . . .	386
5.12.3.5	Praktische Festigkeitsberechnungen im Maschinenbau . . . . .	386
5.12.4	Dauerbruchsicherheit . . . . .	387
5.12.4.1	Sicherheit bei ruhender Belastung . . . . .	387
5.12.4.2	Sicherheit bei dynamischer Belastung . . . . .	387
5.12.5	Übungen zur Dauerfestigkeit . . . . .	388
6	Fluidmechanik . . . . .	391
6.1	Statik der Flüssigkeiten (Hydrostatik) . . . . .	391
6.1.1	Eigenschaften der Flüssigkeiten . . . . .	391
6.1.2	Hydrostatischer Druck (Flüssigkeitsdruck, hydraulische Pressung) . . . . .	392
6.1.3	Druckverteilung in einer Flüssigkeit ohne Berücksichtigung der Schwerkraft, das Druck-Ausbreitungsgesetz . . . . .	392

6.1.4	Anwendungen des Druck-Ausbreitungsgesetzes .....	393
6.1.4.1	Hydraulischer Hebebock .....	393
6.1.4.2	Druckkraft auf gewölbte Böden.....	395
6.1.4.3	Beanspruchung einer Kessel- oder Rohrlängsnaht .....	395
6.1.4.4	Hydraulische Presse .....	396
6.1.5	Druckverteilung in einer Flüssigkeit unter Berücksichtigung der Schwerkraft .....	397
6.1.6	Kommunizierende Röhren .....	399
6.1.7	Bodenkraft .....	399
6.1.8	Seitenkraft .....	400
6.1.9	Auftriebskraft .....	402
6.1.10	Schwimmen .....	403
6.1.11	Gleichgewichtslagen schwimmender Körper .....	404
6.1.12	Stabilität eines Schiffes .....	405
6.2	<b>Dynamik der Fluide (Hydrodynamik, Strömungsmechanik)</b> .....	407
6.2.1	Übersicht .....	407
6.2.2	Erhaltungssätze der Strömung .....	408
6.2.2.1	Massenerhaltungssatz (Kontinuitätsgleichung) .....	408
6.2.2.2	Energieerhaltungssatz (Bernoulli'sche Gleichung) .....	410
6.2.2.2.1	Horizontale Strömung (Strömung ohne Höhenunterschied) .....	410
6.2.2.2.2	Nichthorizontale Strömung (Strömung mit Höhenunterschied) .....	411
6.2.2.2.3	Anwendung der Bernulligleichung .....	412
6.2.2.3	Impulserhaltungssatz .....	417
6.2.3	Strömung in Rohrleitungen .....	421
	<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	423