

# Inhaltsverzeichnis

Arbeitspläne . . . . .	XV
Lehrbeispiele . . . . .	XVII
Übungen . . . . .	XIX
Tabellenverzeichnis . . . . .	XXI
<b>1 Statik in der Ebene . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1 Grundlagen . . . . .	2
1.1.1 Die Aufgaben der Statik . . . . .	2
1.1.2 Physikalische Größen in der Statik . . . . .	2
1.1.3 Übungen zur Berechnung von Drehmomenten . . . . .	5
1.1.4 Bewegungsmöglichkeiten (Freiheitsgrade) eines Körpers . . . . .	6
1.1.5 Gleichgewicht des Körpers in der Ebene (Gleichgewichtsbedingungen) . . . . .	6
1.1.6 Der Parallelogrammsatz für Kräfte . . . . .	8
1.1.7 Das Freimachen der Bauteile . . . . .	11
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
1.2.5 Die vier Grundaufgaben der Statik im allgemeinen ebenen Kräftesystem . . . . .	38
1.2.6 Systemanalytisches Lösungsverfahren zur Stützkraftberechnung . .	55
1.2.7 Stützkraftermittlung im räumlichen Kräftesystem (Getriebewelle) .	66
1.3 Statik der ebenen Fachwerke . . . . .	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
<b>2 Schwerpunktslehre . . . . .</b>	<b>77</b>
2.1 Begriffsbestimmung für Schwerlinie, Schwerebene und Schwerpunkt . .	77
2.2 Der Flächenschwerpunkt . . . . .	78
2.2.1 Flächen haben einen Schwerpunkt . . . . .	78
2.2.2 Schwerpunkte ausgewählter Flächen . . . . .	79
2.2.3 Schwerpunkte zusammengesetzter Flächen . . . . .	80
2.3 Der Linienschwerpunkt . . . . .	84
2.3.1 Linien haben einen Schwerpunkt . . . . .	84
2.3.2 Schwerpunkte ausgewählter Linien . . . . .	84
2.3.3 Schwerpunkte zusammengesetzter Linien (Linienzüge) . . . . .	85

2.4	Guldin'sche Regeln . . . . .	87
2.4.1	Volumenberechnung . . . . .	87
2.4.2	Oberflächenberechnung . . . . .	87
2.4.3	Übungen mit den Guldin'schen Regeln . . . . .	88
2.5	Gleichgewichtslagen und Standsicherheit . . . . .	88
2.5.1	Gleichgewichtslagen . . . . .	88
2.5.2	Standsicherheit . . . . .	89
3	<b>Reibung</b> . . . . .	91
3.1	Grunderkenntnisse über die Reibung . . . . .	91
3.2	Gleitreibung und Haftriebung . . . . .	92
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
3.3	Reibung auf der schießen Ebene . . . . .	101
3.3.1	Verschieben des Körpers nach oben (1. Grundfall) . . . . .	101
3.3.2	Halten des Körpers auf der schießen Ebene (2. Grundfall) . . . . .	106
3.3.3	Verschieben des Körpers nach unten (3. Grundfall) . . . . .	111
3.3.4	Übungen zur Reibung auf der schießen Ebene . . . . .	115
3.4	Reibung an Maschinenteilen . . . . .	116
3.4.1	Prismenführung und Keilnut . . . . .	116
3.4.2	Zylinderführung . . . . .	117
3.4.3	Lager . . . . .	118
3.4.4	Schraube und Schraubgetriebe . . . . .	121
3.4.5	Seilreibung . . . . .	126
3.4.6	Bremsen . . . . .	130
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
4	<b>Dynamik</b> . . . . .	145
4.1	Allgemeine Bewegungslehre . . . . .	146
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
4.1.7	Übungen zur gleichmäßig beschleunigten und verzögerten Bewegung . . . . .	162

---

4.1.8	Zusammengesetzte Bewegungen . . . . .	166
4.1.9	Übungen zur zusammengesetzten Bewegung . . . . .	168
4.2	Gleichförmige Drehbewegung (Kreisbewegung) . . . . .	178
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
4.2.5	Umfangsgeschwindigkeit und Mittelpunktsgeschwindigkeit . . . . .	180
4.2.6	Winkelgeschwindigkeit . . . . .	181
4.2.7	Winkelgeschwindigkeit und Umfangsgeschwindigkeit . . . . .	181
4.2.8	Baugrößen und Größen der Bewegung in Getrieben . . . . .	182
4.2.9	Übersetzung (Übersetzungsverhältnis) . . . . .	183
4.3	Gesetze und Diagramme der gleichmäßig beschleunigten (verzögerten) Drehbewegung . . . . .	184
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	Tangentialbeschleunigung . . . . .	186
4.3.5	Arbeitsplan zur Kreisbewegung (Vergleich mit 4.1.5) . . . . .	186
4.4	Dynamik der geradlinigen Bewegung (Translation) . . . . .	190
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
4.5	Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad . . . . .	205
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
4.6	Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad bei der Drehbewegung (Kreisbewegung) . . . . .	215
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
4.7	Energie . . . . .	220
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
4.8	Gerader zentrischer Stoß . . . . .	226
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
4.8.5	Wirklicher Stoß . . . . .	230
4.8.6	Übungen zum geraden zentrischen Stoß . . . . .	232
4.9	Dynamik der Drehbewegung (Rotation) . . . . .	234
4.9.1	Das dynamische Grundgesetz für die Drehbewegung . . . . .	234
4.9.2	Trägheitsmoment und Trägheitsradius . . . . .	235
4.9.3	Übung zum dynamischen Grundgesetz für die Drehung . . . . .	241
4.9.4	Drehimpuls (Draill) 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
4.9.8	Gegenüberstellung der translatorischen und rotatorischen Größen	247
4.10	Mechanische Schwingungen . . . . .	248
4.10.1	Begriff . . . . .	248
4.10.2	Ordnungsbegriffe . . . . .	248
4.10.3	Die harmonische Schwingung . . . . .	248
4.10.4	Das Schraubenfederpendel . . . . .	253
4.10.5	Das Torsionsfederpendel . . . . .	256
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

---

<b>5 Festigkeitslehre . . . . .</b>	<b>265</b>
5.1 Grundbegriffe . . . . .	267
5.1.1 Die Aufgaben der Festigkeitslehre . . . . .	267
5.1.2 Das Schnittverfahren zur Bestimmung des inneren Kräftesystems . . . . .	268
5.1.3 Spannung und Beanspruchung . . . . .	269
5.1.4 Die beiden Spannungsarten (Normalspannung und Schubspannung) . . . . .	270
5.1.5 Die fünf Grundbeanspruchungsarten . . . . .	271
5.1.6 Die zusammengesetzte Beanspruchung . . . . .	273
5.1.7 Bestimmung des inneren ebenen Kräftesystems (Schnittverfahren) und der Beanspruchungsarten . . . . .	274
5.2 Beanspruchung auf Zug . . . . .	281
5.2.1 Spannung . . . . .	281
5.2.2 Erkennen des gefährdeten Querschnitts in zugbeanspruchten Bauteilen . . . . .	281
5.2.3 Elastische Formänderung (Hooke'sches Gesetz) . . . . .	283
5.2.4 Reißlänge . . . . .	287
5.3 Beanspruchung auf Druck . . . . .	288
5.4 Übungen zur Zug- und Druckbeanspruchung . . . . .	289
5.5 Flächenpressung . . . . .	291
5.5.1 Begriff und Hauptgleichung . . . . .	291
5.5.2 Flächenpressung an geneigten Flächen . . . . .	291
5.5.3 Flächenpressung im Gewinde . . . . .	293
5.5.4 Flächenpressung in Gleitlagern, Niet- und Bolzenverbindungen . . . . .	294
5.5.5 Flächenpressung an gewölbten Flächen (Hertz'sche Gleichungen) . . . . .	295
5.5.6 Übungen zur Flächenpressung . . . . .	296
5.6 Beanspruchung auf Abscheren . . . . .	299
5.6.1 Spannung . . . . .	299
5.6.2 Hooke'sches Gesetz für Schubbeanspruchung . . . . .	301
5.7 Flächenmomente 2. Grades und Widerstandsmomente . . . . .	307
5.7.1 Gleichmäßige und lineare Spannungsverteilung (Gegenüberstellung) . . . . .	307
5.7.2 Definition der Flächenmomente 2. Grades . . . . .	308
5.7.3 Herleitungübungen . . . . .	310
5.7.4 Übungen mit Flächen- und Widerstandsmomenten einfacher Querschnitte . . . . .	311
5.7.5 Axiale Flächenmomente 2. Grades symmetrischer Querschnitte . . . . .	319
5.7.6 Axiale Flächenmomente 2. Grades einfach symmetrischer/unsymmetrischer Querschnitte (Steiner'scher Verschiebesatz) . . . . .	320
5.7.7 Übungen mit Flächen- und Widerstandsmomenten zusammengesetzter Querschnitte . . . . .	323
5.8 Beanspruchung auf Torsion . . . . .	328
5.8.1 Spannungsverteilung . . . . .	328
5.8.2 Herleitung der Torsions-Hauptgleichung . . . . .	329

---

5.8.3	Formänderung bei Torsion . . . . .	331
5.8.4	Formänderungsarbeit . . . . .	332
5.9	Beanspruchung auf Biegung . . . . .	335
5.9.1	Spannungsarten und inneres Kräftesystem bei Biegeträgern . . . . .	335
5.9.2	Bestimmung der Biegemomente und Querkräfte an beliebigen Trägerstellen . . . . .	336
5.9.3	Spannungsverteilung im Trägerquerschnitt bei Biegung . . . . .	336
5.9.4	Herleitung der Biege-Hauptgleichung . . . . .	337
5.9.5	Spannungsverteilung im einfach symmetrischen Querschnitt . . . . .	339
5.9.6	Gültigkeitsbedingungen für die Biege-Hauptgleichung . . . . .	339
5.9.7	Übungen zur Berechnung des Biegemomenten- und Querkraftverlaufs bei den wichtigsten Trägerarten und Belastungen . . . . .	340
5.9.8	Träger gleicher Biegespannung . . . . .	350
5.9.9	Formänderung bei Biegung . . . . .	353
5.9.10	Übungen zur Durchbiegungsgleichung . . . . .	356
5.10	Beanspruchung auf Knickung . . . . .	361
5.10.1	Grundbegriffe . . . . .	361
5.10.2	Elastische Knickung (Eulerfall) . . . . .	362
5.10.3	Unelastische Knickung (Tetmajerfall) . . . . .	365
5.10.4	Arbeitsplan für Knickungsberechnungen . . . . .	366
5.10.5	Knickung im Stahlbau . . . . .	369
5.10.6	Übung zur Knickung . . . . .	374
5.11	Zusammengesetzte Beanspruchung . . . . .	376
5.11.1	Zug und Biegung . . . . .	376
5.11.2	Druck und Biegung . . . . .	377
5.11.3	Übung zur zusammengesetzten Beanspruchung durch Normalspannungen . . . . .	378
5.11.4	Biegung und Torsion . . . . .	379
5.12	Festigkeit, zulässige Spannung, Sicherheit . . . . .	386
5.12.1	Festigkeitswerte im Spannungs-Dehnungs-Diagramm . . . . .	386
5.12.2	Einflüsse auf die Festigkeit des Bauteils . . . . .	387
5.12.3	Spannungsbegriffe . . . . .	391
5.12.4	Dauerbruchsicherheit . . . . .	393
5.12.5	Übungen zur Dauerfestigkeit . . . . .	394
6	<b>Fluidmechanik</b> . . . . .	397
6.1	Statik der Flüssigkeiten (Hydrostatik) . . . . .	397
6.1.1	Eigenschaften der Flüssigkeiten . . . . .	397
6.1.2	Hydrostatischer Druck (Flüssigkeitsdruck, hydraulische Pressung) . . . . .	398
6.1.3	Druckverteilung in einer Flüssigkeit ohne Berücksichtigung der Schwerkraft, das Druck-Ausbreitungsgesetz . . . . .	398
6.1.4	Anwendungen des Druck-Ausbreitungsgesetzes . . . . .	399

---

6.1.5	Druckverteilung in einer Flüssigkeit unter Berücksichtigung der Schwerkraft . . . . .	403
6.1.6	Kommunizierende Röhren . . . . .	405
6.1.7	Bodenkraft . . . . .	405
6.1.8	Seitenkraft . . . . .	406
6.1.9	Auftriebskraft . . . . .	408
6.1.10	Schwimmen . . . . .	409
6.1.11	Gleichgewichtslagen schwimmender Körper . . . . .	410
6.1.12	Stabilität eines Schiffes . . . . .	411
6.2	Dynamik der Fluide (Hydrodynamik, Strömungsmechanik) . . . . .	413
6.2.1	Übersicht . . . . .	413
6.2.2	Erhaltungssätze der Strömung . . . . .	414
6.2.3	Strömung in Rohrleitungen . . . . .	427
	<b>Allgemeine Tabellen</b> . . . . .	433
	<b>Sachwortverzeichnis</b> . . . . .	437