

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Was ist Mechanik?	1
1.2	Einige Meilensteine in der Geschichte der Mechanik	3
1.3	Einteilung der Mechanik	5
1.4	Einteilung und Inhalte des Buches	5
1.5	Ziele des Buches	8
<hr/>		
<b>Teil I Grundlagen der Statik</b>		
<b>2</b>	<b>Grundbegriffe</b>	<b>13</b>
2.1	Die Newtonsche Kraft	13
2.1.1	Definition Betrag einer Kraft	13
2.1.2	Definition des Kraftvektors	15
2.1.3	Flächen- und Volumenkräfte	16
2.1.4	Lastermittlung für Ingenieurkonstruktionen	17
2.1.5	Freischneiden und Freikörperbild	20
2.1.6	Einteilung von Kräften	22
2.1.7	Aufgaben zu Abschnitt 2.1	23
2.2	Der Starrkörper	26
2.3	Der Freiheitsgrad eines Körpers	26
2.4	Lager- und Reaktionskräfte	27
2.4.1	Allgemeines	27
2.4.2	Lagerarten für ebene Systeme	28
2.4.3	Lagerarten für räumliche Systeme	31
2.4.4	Zwischenlagerungen	33
2.4.5	Aufgaben zu Abschnitt 2.4	35
<b>3</b>	<b>Axiome, Gesetze und Idealisierungen</b>	<b>37</b>
3.1	Das Gleichgewichtsaxiom zweier Kräfte am Starrkörper	37
3.2	Wechselwirkung zwischen zwei Kräften: Gesetz und Axiom	40
3.3	Das Axiom vom Kräfteparallelogramm	41

3.4	Gleichgewicht verschiedenartiger Kräfte . . . . .	44
3.4.1	Das Gravitationsgesetz von Newton für zwei Massen . . . . .	44
3.4.2	Das Coulombsche Gesetz für zwei elektrische Ladungen . . . . .	45
3.4.3	Kräfte auf stromdurchflossene Leiter im magnetischen Feld . . . . .	47
3.4.4	Das Hookesche Gesetz für Schraubenfedern . . . . .	49
3.5	Statisch äquivalente Kraftsysteme und Gleichgewicht von Kraftsystemen . . . . .	50
3.6	Anwendung der Axiome auf idealisierte Körper . . . . .	51
3.7	Aufgaben zu Kapitel 3 . . . . .	55
<b>4</b>	<b>Zentrale Kraftsysteme in der Ebene . . . . .</b>	<b>59</b>
4.1	Vom realen System zum zentralen Kraftsystem . . . . .	59
4.2	Zeichnerische Lösungen der drei Grundaufgaben . . . . .	60
4.2.1	Erste Grundaufgabe: Reduktion auf eine Einzelkraft . . . . .	60
4.2.2	Zweite Grundaufgabe: Gleichgewicht . . . . .	62
4.2.3	Praktische Berechnung von zentralen Kraftsystemen . . . . .	64
4.2.4	Gleichgewicht von drei Kräften . . . . .	68
4.2.5	Das Superpositionsgesetz . . . . .	70
4.2.6	Dritte Grundaufgabe: Zerlegung einer Kraft . . . . .	72
4.2.7	Zerlegung eines Kraftvektors in kartesischen Koordinaten . . . . .	73
4.2.8	Aufgaben zu Abschnitt 4.2 . . . . .	75
4.3	Rechnerische Lösungen der drei Grundaufgaben . . . . .	81
4.3.1	Erste Grundaufgabe: Reduktion auf eine Einzelkraft . . . . .	81
4.3.2	Zweite Grundaufgabe: Gleichgewicht . . . . .	82
4.3.3	Dritte Grundaufgabe: Zerlegung einer Kraft . . . . .	84
4.3.4	Die Systemmatrix . . . . .	85
4.4	Statische Bestimmtheit eines Massenpunktes in der Ebene . . . . .	86
4.5	Numerische Methoden für Gleichgewichtsaufgaben . . . . .	89
4.6	Aufgaben zu den Abschnitten 4.3 bis 4.5 . . . . .	91
<b>5</b>	<b>Nichtzentrale Kraftsysteme in der Ebene . . . . .</b>	<b>95</b>
5.1	Vom realen System zum nichtzentralen Kraftsystem . . . . .	95
5.2	Reduktion von zwei parallelen Kräften . . . . .	96
5.3	Das Kräftepaar und dessen Moment . . . . .	97
5.3.1	Definitionen und Gesetze . . . . .	97
5.3.2	Reduktion und Gleichgewicht für Momente von Kräftepaaren . . . . .	101
5.4	Parallelverschiebung einer Kraft . . . . .	103
5.5	Das polare Moment einer Kraft . . . . .	103
5.6	Aufgaben zu den Abschnitten 5.2 bis 5.5 . . . . .	106
5.7	Die drei Grundaufgaben der Starrkörperstatik . . . . .	109
5.7.1	Erste Grundaufgabe: Reduktion . . . . .	109
5.7.2	Zweite Grundaufgabe: Gleichgewicht . . . . .	114
5.7.3	Statisch äquivalente Gleichgewichtsbedingungen für den Starrkörper . . . . .	116
5.7.4	Dritte Grundaufgabe: Zerlegung einer Kraft . . . . .	118
5.7.5	Die Systemmatrix . . . . .	120

5.8	Statische Bestimmtheit eines Starrkörpers in der Ebene . . . . .	121
5.9	Aufgaben zu den Abschritten 5.7 und 5.8 . . . . .	126
<b>6</b>	<b>Kraftsysteme im Raum . . . . .</b>	<b>131</b>
6.1	Darstellung von Kraftvektoren in kartesischen Koordinaten . . . . .	131
6.2	Zentrale Kraftsysteme im Raum . . . . .	132
6.2.1	Erste Grundaufgabe: Reduktion auf eine Einzelkraft . . . . .	132
6.2.2	Zweite Grundaufgabe: Gleichgewicht . . . . .	134
6.2.3	Dritte Grundaufgabe: Zerlegung einer Kraft . . . . .	136
6.2.4	Statische Bestimmtheit eines Massenpunktes im Raum . . . . .	137
6.2.5	Aufgaben zu Abschnitt 6.2 . . . . .	137
6.3	Nichtzentrale Kraftsysteme im Raum . . . . .	139
6.3.1	Der Momentenvektor eines Kräftepaars . . . . .	139
6.3.2	Parallelverschiebung einer Kraft . . . . .	141
6.3.3	Der polare Momentenvektor einer Kraft . . . . .	142
6.3.4	Der axiale Momentenvektor einer Kraft . . . . .	145
6.3.5	Aufgaben zu den Abschnitten 6.3.1 bis 6.3.4 . . . . .	147
6.3.6	Erste Grundaufgabe: Reduktion . . . . .	148
6.3.7	Zweite Grundaufgabe: Gleichgewicht . . . . .	152
6.3.8	Statisch äquivalente Gleichgewichtsbedingungen . . . . .	152
6.3.9	Dritte Grundaufgabe: Zerlegung einer Kraft . . . . .	154
6.3.10	Statische Bestimmtheit eines Starrkörpers im Raum . . . . .	155
6.3.11	Aufgaben zu den Abschnitten 6.3.6 bis 6.3.10 . . . . .	158
<b>7</b>	<b>Kinematik des Starrkörpers in der Ebene . . . . .</b>	<b>161</b>
7.1	Die finite ebene Bewegung eines Körpers . . . . .	161
7.2	Die infinitesimale ebene Bewegung eines Körpers . . . . .	162
7.3	Drei Grundaufgaben der Starrkörperkinematik . . . . .	164
7.3.1	Erste Grundaufgabe: Verschiebungen eines Starrkörpers ermitteln . . . . .	164
7.3.2	Zweite Grundaufgabe: Momentanpol eines Starrkörpers ermitteln . . . . .	166
7.3.3	Dritte Grundaufgabe: Polplan eines mehrteiligen Systems ermitteln . . . . .	169
7.4	Verschiebungen von Punkten in kartesischen Koordinaten . . . . .	172
7.5	Kinematische Bestimmtheit eines Starrkörpers in der Ebene . . . . .	173
7.6	Statische und kinematische Bestimmtheit eines Starrkörpers in der Ebene . . . . .	175
7.7	Aufgaben zu Kapitel 7 . . . . .	176
<hr/>		
<b>Teil II</b>	<b>Anwendungen der Statik</b>	
<b>8</b>	<b>Schwerpunkte . . . . .</b>	<b>183</b>
8.1	Der Schwerpunkt einer Körpergruppe . . . . .	183
8.1.1	Definition und Berechnung . . . . .	183
8.1.2	Aufgaben zu Abschnitt 8.1 . . . . .	186
8.2	Der Schwerpunkt eines inhomogenen Körpers . . . . .	187

8.3	Geometrische Mittelpunkte für Volumina, Flächen und Linien . . . . .	188
8.3.1	Volumenmittelpunkte . . . . .	188
8.3.2	Flächenmittelpunkte . . . . .	188
8.3.3	Linienmittelpunkte . . . . .	190
8.4	Praktische Auswertung der Integrale . . . . .	191
8.5	Die Resultierende von Streckenlasten . . . . .	202
8.6	Geometrische Mittelpunkte für zusammengesetzte Körper . . . . .	204
8.7	Aufgaben zu den Abschnitten 8.2 bis 8.6 . . . . .	213
8.8	Die zwei Regeln von Pappus-Guldin . . . . .	218
8.8.1	Herleitung der Regeln . . . . .	218
8.8.2	Aufgaben zu Abschnitt 8.8 . . . . .	220
<b>9</b>	<b>Gleichgewicht von Balkentragwerken . . . . .</b>	<b>223</b>
9.1	Einteilung von Tragwerken und statische Systeme . . . . .	223
9.2	Praktische Berechnung von Gleichgewicht für Tragwerke . . . . .	224
9.3	Einteilige Tragwerke in der Ebene . . . . .	224
9.3.1	Statische Bestimmtheit und Gleichgewicht . . . . .	224
9.3.2	Aufgaben zu Abschnitt 9.3 . . . . .	232
9.4	Mehrteilige Tragwerke . . . . .	236
9.4.1	Statische Bestimmtheit und Gleichgewicht . . . . .	236
9.4.2	Dreigelenkbogen . . . . .	239
9.4.3	Gelenkbalken (Gerberträger) . . . . .	242
9.4.4	Aufgaben zu Abschnitt 9.4 . . . . .	246
9.5	Einteilige Tragwerke im Raum . . . . .	250
9.5.1	Statische Bestimmtheit und Gleichgewicht . . . . .	250
9.5.2	Aufgaben zu Abschnitt 9.5 . . . . .	252
<b>10</b>	<b>Gleichgewicht von Fachwerken . . . . .</b>	<b>255</b>
10.1	Grundlagen und Einteilungen . . . . .	255
10.2	Idealisierungen und Regeln für das ideale Fachwerk . . . . .	258
10.3	Statische Bestimmtheit von Fachwerken . . . . .	259
10.4	Die drei Bildungsgesetze . . . . .	263
10.5	Praktische Berechnung von Stabkräften . . . . .	266
10.5.1	Nullstäbe . . . . .	266
10.5.2	Das Knotenpunktverfahren: Grundgedanke . . . . .	267
10.5.3	Das zeichnerische Knotenpunktverfahren . . . . .	268
10.5.4	Das rechnerische Knotenpunktverfahren . . . . .	270
10.5.5	Das numerische Knotenpunktverfahren . . . . .	271
10.5.6	Das Rittersche Schnittverfahren . . . . .	277
10.6	Aufgaben zu Kapitel 10 . . . . .	278

<b>11 Werkzeuge und Maschinen</b> .....	283
11.1 Begriffe .....	283
11.2 Kinematische Untersuchungen für Bewegungs- und Ruhezustand .....	284
11.3 Gleichgewicht an verschieblichen Systemen mit Haltekraftgrößen .....	286
11.4 Kraft- und Wegübertragung in Hebeln .....	290
11.5 Momenten- und Drehwinkelübertragungen in Getrieben .....	297
11.5.1 Übertragungsfaktoren in ruhenden Systemen .....	297
11.5.2 Momentenwandlung, Drehzahl und Übersetzung in bewegten Systemen	299
11.5.3 Übertragung von Kräfte- und Bewegungsgrößen in Radpaaren .....	303
11.5.4 Mehrstufige Getriebe .....	308
11.6 Kraft- und Wegübertragung in Flaschenzügen .....	311
11.7 Kräfte in Zahnradgetrieben .....	316
11.7.1 Allgemeines .....	316
11.7.2 Die Zahnradkraft .....	316
11.8 Aufgaben zu Kapitel 11 .....	323
<b>12 Schnittgrößen</b> .....	331
12.1 Definition von Schnittgrößen .....	331
12.2 Gleichgewichtsmethode für einteilige Balkentragwerke .....	333
12.3 Zusammenhang zwischen Belastungen und Schnittgrößen .....	337
12.4 Praktische Berechnung von Schnittgrößen .....	339
12.5 Berechnen der Schnittgrößen durch Lösen der Differenzialgleichungen .....	350
12.6 Schnittgrößen in räumlichen Tragwerken .....	354
12.7 Schnittgrößen in Werkzeugen und Maschinen .....	357
12.8 Aufgaben zu Kapitel 12 .....	361
<b>13 Reibung</b> .....	367
13.1 Grundlagen zur Reibung .....	367
13.2 Reibungsgesetze für Haft- und Gleitreibung .....	369
13.2.1 Vier Zustände eines Körpers bei Reibung .....	369
13.2.2 Haftreibung für Gleichgewicht im Zustand I .....	370
13.2.3 Das Haftreibungsgesetz im Grenzzustand II .....	371
13.2.4 Die beschleunigte Bewegung im Zustand III .....	372
13.2.5 Das Gleitreibungsgesetz im Zustand IV mit gleichförmiger Bewegung	372
13.3 Praktische Berechnung von Systemen mit Reibung .....	373
13.4 Haftreibungswinkel, Haftreibungskegel und Selbsthemmung .....	376
13.5 Reibung in Keilen .....	379
13.6 Reibung in Schrauben und Gewinden .....	381
13.6.1 Schrauben mit Flachgewinde .....	381
13.6.2 Schrauben mit Spitzgewinde .....	383
13.6.3 Schrauben mit Vorspannkraft .....	385
13.7 Seilreibung .....	386
13.8 Wirkungsgrad für allgemeine Reibungsverluste .....	390
13.9 Aufgaben zu Kapitel 13 .....	391

<b>14</b>	<b>Arbeit, Potenzial und Stabilität</b>	399
14.1	Die Arbeit einer Kraft entlang einer Bahn	399
14.1.1	Vorberichtigungen zum Arbeitsbegriff	399
14.1.2	Berechnung der Arbeit im allgemeinen Fall	400
14.1.3	Das Arbeitsdifferenzial in kartesischen Koordinaten	402
14.1.4	Arbeit bei einer Kreisbewegung	404
14.1.5	Aufgaben zu Abschnitt 14.1	405
14.2	Das Prinzip der virtuellen Arbeit	407
14.2.1	Definitionen der virtuellen Arbeiten von Kräften und Momenten	407
14.2.2	Herleitung des Prinzips der virtuellen Arbeit	408
14.2.3	Praktische Berechnung von Systemen mit einem Freiheitsgrad	410
14.2.4	Berechnung von Haltekräften in verschieblichen Systemen	411
14.2.5	Festlegung einzelner Systemparameter für Gleichgewicht	413
14.2.6	Ermittlung von Gleichgewichtslagen bei verschieblichen Systemen	413
14.2.7	Berechnung von Kraftgrößen in statisch bestimmten Systemen	414
14.2.8	Variationelle Verschiebungen für Systeme mit mehreren Freiheitsgraden	420
14.2.9	Aufgaben zu Abschnitt 14.2	423
14.3	Potenzialkräfte	424
14.3.1	Wegunabhängigkeit von Gewichts- und Federkräften	424
14.3.2	Potenzialfunktionen für Gewichts- und Federkräfte	426
14.3.3	Das P.d.v.A für starre Körper mit Potenzialkräften	427
14.4	Stabilität von Gleichgewichtslagen	430
14.4.1	Allgemeines	430
14.4.2	Stabilität von Potenzialsystemen	431
14.4.3	Praktische Untersuchung der Stabilität von Systemen mit einem Freiheitsgrad	432
14.4.4	Aufgaben zu Abschnitt 14.4	436
<b>15</b>	<b>Anhang</b>	437
A	Einheiten	437
B	Notwendige und hinreichende Bedingungen in der Statik	437
C	Grundlagen der Vektorrechnung	438
C.1	Rechenoperationen	439
C.2	Vektorbasis und Basisdarstellung von Vektoren	441
D	Grundlagen der Matrixrechnung	442
E	Anhang zu Kraftsystemen in der Ebene	444
E.1	Beweis des Reduktionsgesetzes (5.9) für Drehmomente in der Ebene	444
E.2	Beweis der Gleichgewichtsbedingungen (5.10) für Drehmomente in der Ebene	444
E.3	Beweis der statisch äquivalenten Gleichgewichtsbedingungen (5.27)	445
F	Anhang zu Kraftsystemen im Raum	446
F.1	Beweis des Verschiebungsgesetzes (6.18.1) für Drehmomentenvektoren	446
F.2	Beweis des Reduktionsgesetzes (6.18.2) für Drehmomentenvektoren	446
F.3	Beweise zu den Regeln (6.29) des axialen Momentenvektors	447

E Lösungen zu den Aufgaben .....	448
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>455</b>
<b>Index.....</b>	<b>457</b>