

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
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

Teil I Grundlagen der Statik

2	Grundbegriffe	13
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
3	Axiome, Gesetze und Idealisierungen	37
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 Hooke'sche 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
4	Zentrale Kraftsysteme in der Ebene	59
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
5	Nichtzentrale Kraftsysteme in der Ebene	95
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 Abschnitten 5.7 und 5.8	126
6	Kraftsysteme im Raum	131
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 Kräftepaares	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
7	Kinematik des Starrkörpers in der Ebene	161
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

Teil II Anwendungen der Statik

8	Schwerpunkte	183
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
9	Gleichgewicht von Balkentragwerken	223
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
10	Gleichgewicht von Fachwerken	255
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

11 Werkzeuge und Maschinen	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
12 Schnittgrößen	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
13 Reibung	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

14 Arbeit, Potenzial und Stabilität	399
14.1 Die Arbeit einer Kraft entlang einer Bahn	399
14.1.1 Vorbetrachtungen 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
15 Anhang	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
Literaturverzeichnis	455
Index	457