

Inhaltsverzeichnis

Teil I Statik starrer Körper 1

1	Einführung in die Vektorrechnung	3
1.1	Grundgedanken der Vektorrechnung	3
1.2	Das Skalarprodukt	11
1.3	Das Vektorprodukt	16
1.4	Das Spatprodukt	23
1.5	Das doppelte Vektorprodukt	25
1.6	Anwendung der Vektorrechnung in der Geometrie	26
2	Kraftsysteme	29
2.1	Kraft und Moment	30
2.2	Definition von Kraftsystemen	35
2.2.1	Allgemeine Anmerkungen zu Kraftsystemen	35
2.2.2	Ebene Kraftsysteme	43
2.3	Kraftdichten	48
3	Schwerpunktberechnungen	51
3.1	Materieller Körper und Massenmittelpunkt	51
3.2	Linien-, Flächen- und Volumenschwerpunkte	58
3.2.1	Linienschwerpunkte	58
3.2.2	Flächenschwerpunkte	61
3.2.3	Volumenschwerpunkte	67
3.3	Schwerpunkt und Gravitation	69
3.4	Linien- und Flächenlasten	72
4	Strukturelemente	79
4.1	Schnittprinzip und Lagerreaktionen	80
4.2	Untersuchung der Lösbarkeit von Starrkörperberechnungen	84
4.3	Statisch bestimmte Fachwerkberechnung	92
4.3.1	Statische Bestimmtheit von Fachwerken	94
4.3.2	Zweidimensionale Fachwerkberechnung	96
4.4	Balkenberechnung	104
4.4.1	Geradlinige Balken	105
4.4.2	Differentialgleichung der Schnittgrößen beim geraden Balken	121
4.4.3	Superpositionseigenschaften	131

x | *Inhaltsverzeichnis*

- 4.4.4 Rahmentragwerke 131
- 4.5 Seilberechnung 137
 - 4.5.1 Fall 1: Seile mit Einzellasten 138
 - 4.5.2 Seile unter Streckenlast 139
 - 4.5.3 Fall 2: Seile mit projizierter Streckenlast 143
 - 4.5.4 Fall 3: Eigengewicht 147
- 4.6 Momentenfreie Bögen 149

5 Reibung 153

- 5.1 Hafreibung 153
- 5.2 Seilreibung 161

Teil II Statik elastischer Körper 167

6 Eindimensionaler Spannungs- und Verzerrungszustand 169

- 6.1 Experimentelle Beobachtungen 170
- 6.2 Der eindimensionale, linear elastische Festkörper 171
 - 6.2.1 Kinematik 171
 - 6.2.2 Materialeigenschaften 174
 - 6.2.3 Gleichgewichtsbedingungen 177
 - 6.2.4 Temperaturoausdehnung 182
- 6.3 Fachwerkberechnung 185

7 Mehrdimensionale Spannungs- und Verzerrungszustände 195

- 7.1 Grundgleichungen der Elastostatik 195
- 7.1.1 Der dreidimensionale Spannungszustand 196
- 7.1.2 Gleichgewichtsbedingungen 206
- 7.1.3 Verzerrungs- und Verschiebungszustände 209
- 7.1.4 Lineare und isotrope Elastizität 212
- 7.2 Spannungsmaße 220
 - 7.2.1 Hydrostatische und deviatorische Spannungen 220
 - 7.2.2 Vergleichsspannungen 222
 - 7.2.3 Hauptspannungen 223
- 7.3 Erweiterte Betrachtungen der Elastostatik 229
- 7.4 Thermo-Elastizität 236
- 7.5 Zweidimensionale Elastostatik 237
 - 7.5.1 Ebener Spannungszustand 237
 - 7.5.2 Ebener Verzerrungszustand 245
- 7.6 Koordinatentransformation 246

8 Technische Balkentheorie 253

- 8.1 Spannungs-Schnittgrößenzusammenhang 254
- 8.2 Einfache Biegung des geraden Balkens 256
 - 8.2.1 Reine Biegung 256
 - 8.2.2 Technische Biegetheorie 261
 - 8.2.3 Biegung mit Normalkraft 270
 - 8.2.4 Unstetige Lasten – Föppl-Symbolik 271

8.3	Querschnittswerte	281
8.3.1	Flächenschwerpunkte	281
8.3.2	Statische Momente	281
8.3.3	Flächenmomente	282
8.4	Zweiachsige Biegung	293
8.5	Torsionstheorie	302
8.5.1	Reine Torsion	302
8.5.2	Technische Torsionstheorie	313
8.5.3	Dünnwandige, geschlossene Hohlquerschnitte	315
8.5.4	Dünnwandige, offene Hohlquerschnitte	321
8.5.5	Vergleich dünnwandiger Profile	324
8.6	Biegung mit Querkraft	325
8.6.1	Berechnung der Schubspannung einfacher Querschnitte	325
8.6.2	Schubspannungen bei dünnwandigen, offenen Profilen	329
8.6.3	Schubweiche Balken	341
8.7	Superposition von Lösungen	345
8.8	Föppl-Klammern bei Zug/Druck und Torsion	346
8.9	Knicken von Stäben	349
8.9.1	Gelenkstab mit Feder	350
8.9.2	Eulersche Knickfälle	351
8.10	Balken auf nachgiebiger Unterlage	360

9	Energetische Betrachtungen	369
9.1	Grundbegriffe der Energiemethoden	369
9.1.1	Formänderungsenergie dreidimensionaler Festkörper	372
9.1.2	Biegung	373
9.1.3	Torsion	374
9.1.4	Superposition von Formänderungsenergien	376
9.2	Sätze von Maxwell, Betti und Castiglano	376
9.3	Prinzip der virtuellen Verschiebungen	389

Teil III Dynamik starrer Körper 397

10	Kinematik von Punktmassen und starren Körpern	399
10.1	Dreidimensionale Punktbewegung	399
10.1.1	Bewegung, Geschwindigkeit und Beschleunigung	400
10.1.2	Bogenlängendarstellung der Bewegung	403
10.1.3	Ebene Kreisbewegung	406
10.1.4	Geradlinige Bewegung	410
10.2	Dreidimensionale Starrkörperbewegung	411
10.3	Ebene Starrkörperbewegung	416
10.4	Bewegte Bezugssysteme	425
10.5	Bewegte Bezugssysteme in der Starrkörpermechanik	433
10.6	Kreiselkinematik	434
11	Bilanzgleichungen der Mechanik	439
11.1	Masse-, Impuls- und Drehimpuls	439

11.2	Massenbilanz	440
11.3	Impulssatz für Punktmassen	441
11.4	Spezielle Kräfte	446
11.4.1	Federkraft	446
11.4.2	Widerstandskräfte	448
11.5	Schwingende Systeme	456
11.5.1	Freie Schwingung	456
11.5.2	Erzwungene Schwingung	465
11.5.3	Konstante Erregerkraft	468
11.5.4	Harmonische Erregerkraft	469
11.5.5	Fußpunkterregung	473
11.6	Massenmittelpunkt und Massenträgheitsmomente	474
11.6.1	Massenmittelpunkt	475
11.6.2	Massenträgheitsmomente	476
11.7	Impuls- und Drehimpulsbilanz bei Starrkörpern	497
11.7.1	Massenmittelpunktsatz	497
11.7.2	Drehimpulssatz	498
11.8	Der Fall der Statik	504
11.9	Ebene Starrkörperbewegung	504
11.10	Impuls- und Drallsatz im bewegten Bezugssystem	514
11.10.1	Impulssatz für Punktmassen im bewegten Bezugssystem	514
11.10.2	Impuls- und Drallsatz im körperfesten Bezugssystem	520
12	Bilanz der mechanischen Leistung / Energiesatz	531
12.1	Energiebetrachtungen bei Punktmassen (geradlinige Bewegung)	531
12.2	Energiebetrachtung bei Punktmassen	538
12.3	Energiebetrachtungen bei Starrkörperbewegungen	543
13	Der Stoß	551
13.1	Grundbetrachtungen des Stoßes	551
13.2	Gerader, zentraler Stoß	554
13.3	Schiefer, zentraler Stoß	559
13.4	Exzentrischer Stoß	561
A	Dimension und Einheit	563
B	Analysis	565
B.1	Funktionen	565
B.1.1	Lineare Funktion	565
B.1.2	Trigonometrische Funktionen	566
B.1.3	Betragsfunktion	568
B.1.4	Areafunktionen	569
B.2	Funktionen und deren Ableitungen	571
B.2.1	Produktregeln	573
B.2.2	Kettenregel	575
B.3	Flächen- und Volumenintegrale	577

C	Lineare Algebra	583
C.1	Matrizenrechnung	583
C.2	Homogene Gleichungssysteme	589
C.3	Lösung von zwei Gleichungen für zwei Unbekannte	589
C.4	Berechnung der Eigenvektoren	591
C.5	Einführung in die Tensorrechnung	596

Literaturverzeichnis 599

Index 601