

# Inhaltsverzeichnis

Die mit \* gekennzeichneten Kapitel und Abschnitte sind nur in den umfassenden Büchern „*Statik und Elastomechanik, Teil A der Technischen Mechanik*“ und „*Dynamik, Teil B der Technischen Mechanik*“ enthalten.

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 Einführung</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Definition der Mechanik . . . . .   | 1         |
| 1.2 Einteilung der Mechanik . . . . .   | 1         |
| 1.2.1 Einteilung nach den Eigenschaften der Körper . . . . .                                    | 1         |
| 1.2.2 Einteilung nach den physikalischen Vorgängen . . . . .                                    | 1         |
| 1.3 Physikalische Größen und Einheiten . . . . .  | 2         |
| 1.3.1 Physikalische Größen . . . . .  | 2         |
| 1.3.2 Einheiten . . . . .   | 2         |
| 1.3.3 Dimensionsalgebra und Dimensionsanalyse . . . . .   | 3         |
| 1.4 Aufgaben . . . . .  | 4         |
| <b>2 Die Kraft und ihre Darstellung</b>   | <b>6</b>  |
| 2.1 Kräftedarstellung . . . . .   | 6         |
| 2.2 Axiome der Kräftegeometrie . . . . .  | 7         |
| 2.2.1 Axiom der Gleichwertigkeit von Kräften . . . . .  | 7         |
| 2.2.2 Verschiebungssatz für Kräfte am starren Körper . . . . .                                  | 7         |
| 2.2.3 Erstarrungsprinzip . . . . .  | 7         |
| 2.2.4 Parallelogrammaxiom . . . . .   | 8         |
| 2.3 Zusammensetzen und Zerlegen von Kräften . . . . .   | 8         |
| 2.3.1 Grafische Methode . . . . .   | 8         |
| 2.3.2 Rechnerische Methode . . . . .  | 9         |
| 2.3.3 Zerlegung einer Kraft . . . . .   | 9         |
| 2.3.4 Zusammenfassen paralleler Kräfte . . . . .  | 10        |
| 2.3.4.1 Zwei parallele Kräfte mit gleicher Richtung . . . . .                                   | 10        |
| 2.3.4.2 Zwei parallele, unterschiedlich große Kräfte entgegengesetzter Richtung . . . . .       | 10        |
| 2.3.4.3 Zwei parallele, entgegengesetzt gerichtete Kräfte gleicher Größe (Kräftepaar) . . . . . | 10        |
| 2.4 Aufgaben . . . . .  | 11        |
| <b>3 Das Moment und seine Darstellung</b>   | <b>12</b> |
| 3.1 Das Kräftepaar . . . . .  | 12        |
| 3.2 Eigenschaften des Kräftepaars . . . . .   | 13        |
| 3.3 Versetzungsmoment . . . . .   | 13        |
| 3.4 Moment einer Kraft . . . . .  | 14        |
| 3.5 Zusammenfassen von allgemeinen Lastgruppen . . . . .  | 15        |
| 3.6 Aufgaben . . . . .  | 16        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4 Grundgesetze der Mechanik</b>                           | <b>18</b> |
| 4.1 Gleichgewichtsaxiom . . . . .                            | 18        |
| 4.2 Dynamisches Grundgesetz . . . . .                        | 18        |
| 4.3 Reaktionsaxiom . . . . .                                 | 19        |
| <b>5 Schnittprinzip, Auflager, Bindungen, Freiheitsgrade</b> | <b>20</b> |
| 5.1 Begriffe . . . . .                                       | 20        |
| 5.2 Befreiungs- und Schnittprinzip . . . . .                 | 21        |
| 5.3 Bindungen und Freiheitsgrade . . . . .                   | 21        |
| 5.4 Aufgaben . . . . .                                       | 23        |
| <b>6 Gleichgewicht der starren Körper</b>                    | <b>24</b> |
| 6.1 Gleichgewichtsbedingungen . . . . .                      | 24        |
| 6.2 Zwei Kräfte . . . . .                                    | 24        |
| 6.3 Drei Kräfte . . . . .                                    | 24        |
| 6.4 Der ebene Starrkörper . . . . .                          | 26        |
| 6.5 Statische Bestimmtheit und Freiheitsgrade . . . . .      | 28        |
| 6.6 Ebene Systeme aus starren Körpern . . . . .              | 30        |
| 6.7 Räumliche Systeme . . . . .                              | 31        |
| 6.8 Elastisch verbundene Starrkörpersysteme . . . . .        | 33        |
| 6.8.1 Längsfedern . . . . .                                  | 33        |
| 6.8.2 Zusammenschaltung von linearen Federn . . . . .        | 34        |
| 6.8.3 Drehfedern . . . . .                                   | 35        |
| 6.9 Stabilität von Gleichgewichtslagen *                     | 36        |
| 6.10 Aufgaben . . . . .                                      | 37        |
| <b>7 Verteilte Kräfte, Schwerpunkt</b>                       | <b>43</b> |
| 7.1 Begriffe . . . . .                                       | 43        |
| 7.1.1 Volumenkräfte . . . . .                                | 43        |
| 7.1.2 Oberflächenkräfte . . . . .                            | 44        |
| 7.1.3 Linienkräfte . . . . .                                 | 46        |
| 7.2 Schwerpunktsberechnung . . . . .                         | 47        |
| 7.2.1 Schwerpunkt von Körpern . . . . .                      | 47        |
| 7.2.2 Schwerpunkt von Flächen . . . . .                      | 48        |
| 7.2.3 Schwerpunkt von Linien . . . . .                       | 49        |
| 7.2.4 Schwerpunktlage in speziellen Körpern . . . . .        | 50        |
| 7.2.5 Summenformeln . . . . .                                | 50        |
| 7.3 GULDINSche Regeln . . . . .                              | 51        |
| 7.4 Aufgaben . . . . .                                       | 52        |
| <b>8 Schnittkräfte in ebenen Fachwerken</b>                  | <b>55</b> |
| 8.1 Definitionen, Voraussetzungen . . . . .                  | 55        |
| 8.2 Berechnung statisch bestimmter Fachwerke . . . . .       | 55        |
| 8.2.1 Knotengleichgewicht . . . . .                          | 55        |
| 8.2.2 RITTER-Schnittverfahren . . . . .                      | 57        |
| 8.2.3 Nullstäbe . . . . .                                    | 58        |
| 8.3 Aufgaben . . . . .                                       | 58        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>9 Das Seil unter ebener, paralleler Last*</b>                            | <b>61</b> |
| <b>10 Schnittlasten im Balken</b>   | <b>62</b> |
| 10.1 Voraussetzungen, Definitionen und Begriffe . . . . .                   | 62        |
| 10.2 Schnittlastenberechnung aus Gleichgewichtsbeziehungen . . . . .        | 63        |
| 10.3 Schnittgrößen in der Nähe von Einzellasten und Zwischenbedingungen     | 68        |
| 10.4 Differentialgleichungen der Schnittgrößen von geraden Balken . . . . . | 69        |
| 10.5 Typische Eigenschaften von Zustandslinien . . . . .                    | 71        |
| 10.6 Schnittlasten in ebenen Bogenträgern *                                 | 71        |
| 10.7 Schnittlasten in ebenen Rahmen *                                       | 71        |
| 10.8 Schnittlasten bei räumlicher Belastung *                               | 71        |
| 10.9 Aufgaben . . . . .   | 72        |
| <b>11 Haftung und Bewegungswiderstände</b>                                  | <b>75</b> |
| 11.1 Haftung und Reibung auf ebener Unterlage . . . . .                     | 75        |
| 11.1.1 Grundlagen . . . . .   | 75        |
| 11.1.2 Haften . . . . .   | 75        |
| 11.1.3 Reibung . . . . .  | 79        |
| 11.2 Seilhaftung und Seilreibung . . . . .                                  | 81        |
| 11.2.1 Seilhaftung . . . . .  | 81        |
| 11.2.2 Seilreibung . . . . .  | 82        |
| 11.3 Weitere Bewegungswiderstände . . . . .                                 | 83        |
| 11.3.1 Reibung in zylindrischen Lagern . . . . .                            | 84        |
| 11.3.2 Rollwiderstand . . . . .   | 84        |
| 11.3.3 Verluste bei der Umlenkung von Seilen . . . . .                      | 86        |
| 11.3.4 Bewegungswiderstände in Flüssigkeiten und Gasen . . . . .            | 86        |
| 11.3.5 Werkstoffdämpfung . . . . .  | 88        |
| 11.3.6 Allgemeine Dämpfungsgesetze . . . . .                                | 88        |
| 11.4 Aufgaben . . . . .   | 89        |
| <b>12 Prinzip der virtuellen Verrückungen*</b>                              | <b>93</b> |
| <b>13 Spannungen und Verformungen</b>                                       | <b>94</b> |
| 13.1 Spannungen . . . . .   | 94        |
| 13.2 Verzerrungen und Verschiebungen . . . . .                              | 96        |
| 13.2.1 Verschiebungen . . . . .   | 96        |
| 13.2.2 Verzerrungen . . . . .   | 97        |
| 13.2.3 Volumendehnung . . . . .   | 98        |
| 13.3 Das HOOKESche Gesetz . . . . .   | 99        |
| 13.4 Reales Werkstoffverhalten . . . . .                                    | 101       |
| 13.5 Der ebene Spannungszustand *   | 101       |
| 13.6 Der räumliche Spannungszustand *                                       | 101       |
| 13.7 Gleichgewicht im Kontinuum *   | 101       |
| 13.8 Festigkeitshypothesen, Werkstoffeigenschaften *                        | 101       |
| 13.9 Aufgaben . . . . .   | 102       |

|   |            |
|---|------------|
| <b>14 Elastische Stäbe</b>  | <b>104</b> |
| 14.1 Der Einzelstab . . . . .   | 104        |
| 14.1.1 Spannungsverteilung . . . . .  | 104        |
| 14.1.2 Verformung . . . . .   | 105        |
| 14.1.3 Dehnsteifigkeit und Federkurveilinie . . . . .                             | 105        |
| 14.2 Verformung von Stabwerken *  | 107        |
| 14.3 Aufgaben . . . . .   | 107        |
| <b>15 Torsion gerader Stäbe</b>   | <b>110</b> |
| 15.1 Stäbe mit kreisringförmigem Querschnitt . . . . .                            | 110        |
| 15.2 Dünnwandige geschlossene Hohlquerschnitte *                                  | 113        |
| 15.3 Dünnwandige offene Querschnitte *  | 113        |
| 15.4 Aufgaben . . . . .   | 113        |
| <b>16 Flächenträgheitsmomente</b>   | <b>116</b> |
| 16.1 Definitionen . . . . .   | 116        |
| 16.2 Allgemeine Gesetzmäßigkeiten . . . . .                                       | 117        |
| 16.3 STEINERScher Satz . . . . .  | 118        |
| 16.4 Drehung des Koordinatensystems *   | 119        |
| 16.5 Trägheitsmomente von zusammengesetzten Flächen . . . . .                     | 119        |
| 16.6 Aufgaben . . . . .   | 120        |
| <b>17 Balkenbiegung</b>   | <b>122</b> |
| 17.1 Grundlagen der ebenen Biegung gerader Balken . . . . .                       | 122        |
| 17.2 Differentialgleichung der Biegelinie und Normalspannungsverteilung . . . . . | 124        |
| 17.3 Biegelinie und Randbedingungen . . . . .                                     | 127        |
| 17.4 Superpositionsprinzip . . . . .  | 132        |
| 17.5 Schiefe Biegung *  | 133        |
| 17.6 Verformung von Rahmen *  | 133        |
| 17.7 Biegung gekrümmter Balken *  | 133        |
| 17.8 Aufgaben . . . . .   | 133        |
| <b>18 Querkraftschub*</b>   | <b>137</b> |
| <b>19 Energiemethoden in der Elastostatik*</b>                                    | <b>137</b> |
| <b>20 Stabilitätsprobleme der Elastostatik*</b>                                   | <b>137</b> |
| <b>21 Einführung in die Methode der Finiten Elemente*</b>                         | <b>137</b> |
| <b>22 Kinematik des Punktes</b>   | <b>138</b> |
| 22.1 Definitionen . . . . .   | 138        |
| 22.2 Beschreibung im kartesischen Inertialsystem . . . . .                        | 139        |
| 22.2.1 Geradlinige Bewegung . . . . .   | 139        |
| 22.2.2 Schiefer Wurf . . . . .  | 141        |
| 22.3 Beschreibung mit natürlichen Koordinaten . . . . .                           | 143        |
| 22.4 Beschreibung mit Zylinderkoordinaten . . . . .                               | 144        |
| 22.5 Aufgaben . . . . .   | 147        |

|  |     |
|--|-----|
| <b>23 Kinematik des Starrkörpers</b>   | 152 |
| 23.1 Translation und Rotation . . . . .  | 152 |
| 23.2 Der Vektor der Winkelgeschwindigkeit . . . . .                            | 152 |
| 23.3 Geschwindigkeits- und Beschleunigungszustand eines Starrkörpers . . . . . | 153 |
| 23.4 Ebene Bewegung des starren Körpers . . . . .                              | 155 |
| 23.5 Aufgaben . . . . .  | 159 |
| <b>24 Relativbewegung*</b>   | 164 |
| <b>25 Kräfte- oder Schwerpunktsatz</b>   | 165 |
| 25.1 Axiome der Kinetik . . . . .  | 165 |
| 25.2 Der Impuls . . . . .  | 165 |
| 25.3 Der Schwerpunktsatz . . . . .   | 166 |
| 25.4 Systeme mit veränderlicher Masse *  | 171 |
| 25.5 Aufgaben . . . . .  | 172 |
| <b>26 Massenträgheitsmomente</b>   | 177 |
| 26.1 Definition und wichtige Eigenschaften . . . . .                           | 177 |
| 26.2 Satz von HUYGENS und STEINER . . . . .                                    | 178 |
| 26.3 Hauptträgheitsmomente und Hauptachsen . . . . .                           | 179 |
| 26.4 Aufgaben . . . . .  | 182 |
| <b>27 Momentensatz</b>   | 184 |
| 27.1 Drall eines Körpers . . . . .   | 184 |
| 27.2 Momentensatz . . . . .  | 188 |
| 27.3 Die ebene Bewegung des starren Körpers . . . . .                          | 189 |
| 27.4 Die räumliche Drehung und die EULERSchen Gleichungen *                    | 193 |
| 27.5 Drehung um eine raumfeste Achse . . . . .                                 | 194 |
| 27.6 Kinetik der räumlichen Bewegung in einem Relativsystem *                  | 196 |
| 27.7 Kreiseldynamik *  | 196 |
| 27.8 Aufgaben . . . . .  | 197 |
| <b>28 Energie und Arbeit</b>   | 201 |
| 28.1 Grundbegriffe . . . . .   | 201 |
| 28.1.1 Leistung . . . . .  | 201 |
| 28.1.2 Arbeit von Kräften und Momenten . . . . .                               | 202 |
| 28.1.3 Kinetische Energie . . . . .  | 203 |
| 28.1.4 Potentielle Energie . . . . .   | 204 |
| 28.2 Der Arbeitssatz der Mechanik . . . . .                                    | 206 |
| 28.3 Aufgaben . . . . .  | 210 |
| <b>29 Einfache lineare Schwinger</b>   | 215 |
| 29.1 Bewegungsgleichungen und Kenngrößen . . . . .                             | 215 |
| 29.2 Eigenschwingungen oder freie Schwingungen . . . . .                       | 217 |
| 29.2.1 Lösungsansatz . . . . .   | 217 |
| 29.2.2 Freie, ungedämpfte Schwingungen . . . . .                               | 218 |
| 29.2.3 Freie, schwach gedämpfte Schwingungen . . . . .                         | 221 |
| 29.2.4 Freie, stark gedämpfte Schwingung . . . . .                             | 222 |
| 29.3 Erzwungene Schwingungen bei harmonischer Erregung . . . . .               | 223 |

|   |            |
|---|------------|
| 29.4 Mechanisch-elektrische Analogie . . . . .                      | 226        |
| 29.5 Freie Schwingungen von Systemen mit mehreren Freiheitsgraden * | 227        |
| 29.6 Erzwungene Schwingungen von Mehrfreiheitsgradsystemen *        | 227        |
| 29.7 Einblick in die Schwingungen von Kontinua *                    | 227        |
| 29.8 Der Rayleigh-Quotient *  | 227        |
| 29.9 Aufgaben . . . . .   | 227        |
| <b>30 Impuls- und Drallsatz</b>                                     | <b>231</b> |
| 30.1 Impulssatz . . . . .   | 231        |
| 30.2 Drallsatz . . . . .  | 232        |
| 30.3 Einfache Stoßvorgänge . . . . .                                | 233        |
| 30.4 Aufgaben . . . . .   | 238        |
| <b>31 Das Prinzip von d'Alembert*</b>                               | <b>244</b> |
| <b>32 Die Lagrangesche Gleichungen*</b>                             | <b>244</b> |
| <b>33 Hydromechanik*</b>  | <b>244</b> |
| <b>34 Einführung in die Vektorrechnung*</b>                         | <b>244</b> |
| <b>35 Tafeln und Tabellen</b>                                       | <b>245</b> |
| 35.1 Schwerpunkte . . . . .   | 245        |
| 35.2 Flächenträgheitsmomente . . . . .                              | 247        |
| 35.3 Werkstoffwerte . . . . .                                       | 248        |
| 35.4 Haftbeiwerte und Reibkoeffizienten . . . . .                   | 248        |
| 35.5 Biegelinien . . . . .  | 249        |
| 35.6 Massenträgheitsmomente . . . . .                               | 250        |
| <b>36 Literatur</b>   | <b>251</b> |
| <b>37 Ergebnisse und Kontrollwerte der Aufgaben</b>                 | <b>252</b> |
| <b>38 Stichwortverzeichnis</b>                                      | <b>265</b> |