

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Aufgabenstellungen der Dynamik | 1 |
| 1.2 | Einige Meilensteine in der Geschichte der Dynamik | 3 |
| 1.3 | Einteilung und Inhalte des Buches | 5 |
| 1.4 | Ziele des Buches | 6 |
| 2 | Die Kinematik des Punktes | 9 |
| 2.1 | Die geradlinige Bewegung von Punkten | 9 |
| 2.1.1 | Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung | 9 |
| 2.1.2 | Integrationsaufgaben | 14 |
| 2.1.3 | Die sechs Grundaufgaben der Punktkinematik | 16 |
| 2.1.4 | Aufgaben zu Abschnitt 2.1 | 21 |
| 2.2 | Die räumliche Bewegung von Punkten | 26 |
| 2.2.1 | Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung | 26 |
| 2.2.2 | Raumfeste kartesische Koordinaten | 28 |
| 2.2.3 | Zylinderkoordinaten | 31 |
| 2.2.4 | Natürliche Koordinaten | 37 |
| 2.2.5 | Zusammenfassung zu den verschiedenen Koordinatensystemen | 45 |
| 2.2.6 | Aufgaben zu Abschnitt 2.2 | 46 |
| 2.3 | Kreisbewegungen von Punkten um feste und momentane Achsen | 51 |
| 2.3.1 | Kreisbewegungen um feste Achsen in mitrotierenden kartesischen Koordinaten | 51 |
| 2.3.2 | Kreisbewegungen um momentane richtungstreue Achsen | 55 |
| 2.3.3 | Kreisbewegungen um momentane Achsen mit Richtungsänderungen | 59 |
| 2.3.4 | Aufgaben zu Abschnitt 2.3 | 64 |
| 3 | Kinetik des Massenpunktes | 69 |
| 3.1 | Die drei Newtonschen Axiome der klassischen Mechanik | 69 |
| 3.2 | Das dynamische Grundgesetz für den Massenpunkt | 71 |
| 3.2.1 | Vektorielle Formulierung des dynamischen Grundgesetzes und Ersatzmodell | 71 |
| 3.2.2 | Das dynamische Grundgesetz in raumfesten kartesischen Koordinaten | 73 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 3.2.3 | Lösungsschritte für Aufgaben der Kinetik | 74 |
| 3.2.4 | Geführte Bewegungen | 78 |
| 3.2.5 | Das dynamische Grundgesetz in Zylinderkoordinaten | 79 |
| 3.2.6 | Das dynamische Grundgesetz in natürlichen Koordinaten | 82 |
| 3.2.7 | Das dynamische Grundgesetz in mitrotierenden kartesischen Koordinaten | 84 |
| 3.2.8 | Zusammenfassung zu den verschiedenen Koordinatensystemen | 85 |
| 3.2.9 | Aufgaben zu Abschnitt 3.2 | 85 |
| 3.3 | Kraftgesetze der Kinetik | 89 |
| 3.3.1 | Einteilung von Kräften | 89 |
| 3.3.2 | Das lineare Kraftgesetz für Federn | 90 |
| 3.3.3 | Das lineare Kraftgesetz für Dämpfer | 90 |
| 3.3.4 | Das Reibungsgesetz nach Coulomb | 91 |
| 3.3.5 | Der Rollwiderstand am Rad | 92 |
| 3.3.6 | Kraftgesetze für Bewegungen in einem fluiden Medium | 94 |
| 3.3.7 | Lösungen für geschwindigkeitsabhängige Beschleunigungen | 97 |
| 3.3.8 | Das Gravitationsgesetz | 100 |
| 3.3.9 | Die Keplerschen Gesetze | 103 |
| 3.3.10 | Aufgaben zu Abschnitt 3.3 | 106 |
| 3.4 | Das Prinzip von d'Alembert | 110 |
| 3.4.1 | Kräfte- und Momentengleichgewichtsbedingungen | 110 |
| 3.4.2 | Zentrifugalkräfte | 111 |
| 3.4.3 | Aufgaben zu Abschnitt 3.4 | 113 |
| 4 | Der Arbeitssatz und der Energiesatz für den Massenpunkt | 115 |
| 4.1 | Die Arbeit einer Kraft entlang einer Bahn | 115 |
| 4.1.1 | Vorbetrachtungen zum Arbeitsbegriff | 115 |
| 4.1.2 | Berechnung der Arbeit im allgemeinen Fall | 116 |
| 4.1.3 | Das Arbeitsdifferenzial in raumfesten kartesischen Koordinaten | 118 |
| 4.1.4 | Das Arbeitsdifferenzial in Zylinderkoordinaten | 118 |
| 4.1.5 | Das Arbeitsdifferenzial in natürlichen Koordinaten | 118 |
| 4.1.6 | Das Arbeitsdifferenzial in mitrotierenden kartesischen Koordinaten .. | 119 |
| 4.1.7 | Leistung und Wirkungsgrad | 125 |
| 4.1.8 | Arbeit und Leistung bei einer Kreisbewegung | 127 |
| 4.1.9 | Aufgaben zu Abschnitt 4.1 | 128 |
| 4.2 | Der Arbeitssatz für den Massenpunkt | 132 |
| 4.2.1 | Herleitung des Arbeitssatzes | 132 |
| 4.2.2 | Aufgaben zu Abschnitt 4.2 | 133 |
| 4.3 | Der Energiesatz für Gewichts- und Federkräfte | 134 |
| 4.3.1 | Kräfte mit und ohne Potenzialeigenschaften | 134 |
| 4.3.2 | Potenzialfunktionen für Gewichts- und Federkräfte | 135 |
| 4.3.3 | Herleitung des Energiesatzes für Gewichts- und Federkräfte | 137 |
| 4.3.4 | Der Energiesatz für beliebige Systeme | 138 |
| 4.3.5 | Aufgaben zu Abschnitt 4.3 | 141 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.4 | Vektoranalysis der Potenzialkräfte | 147 |
| 4.4.1 | Eigenschaften von Potenzialkräften | 148 |
| 4.4.2 | Der Energiesatz für Potenzialkräfte | 151 |
| 4.4.3 | Aufgaben zu Abschnitt 4.4 | 152 |
| 5 | Kinematik und Kinetik des Massenpunktsystems | 155 |
| 5.1 | Kinematik des Massenpunktsystems | 155 |
| 5.1.1 | Kinematische Größen des Schwerpunktes | 155 |
| 5.1.2 | Die Winkelgeschwindigkeit des starren Massenpunktsystems | 158 |
| 5.1.3 | Aufgaben zu Abschnitt 5.1 | 162 |
| 5.2 | Grundlagen der Kinetik für das Massenpunktsystem | 163 |
| 5.3 | Der Schwerpunktsatz für das Massenpunktsystem | 165 |
| 5.3.1 | Vektorielle Formulierung des Schwerpunktsatzes | 165 |
| 5.3.2 | Der Schwerpunktsatz in verschiedenen Koordinatensystemen | 166 |
| 5.3.3 | Aufgaben zu Abschnitt 5.3 | 168 |
| 5.4 | Der Momentensatz für das Massenpunktsystem | 169 |
| 5.4.1 | Der Momentensatz mit dem Beschleunigungsvektor | 169 |
| 5.4.2 | Der Momentensatz mit dem Drehimpulsvektor | 170 |
| 5.5 | Der Momentensatz für das starre Massenpunktsystem in der Ebene | 172 |
| 5.5.1 | Herleitung der skalaren Gleichungen | 172 |
| 5.5.2 | Lösungsschritte bei Verwendung des Momentensatzes | 176 |
| 5.5.3 | Aufgaben zu Abschnitt 5.5 | 179 |
| 5.6 | Der Momentensatz für die Rotation des starren Massenpunktsystems um eine feste Achse | 182 |
| 5.6.1 | Herleitung der skalaren Gleichungen | 182 |
| 5.6.2 | Bedingungen für einen idealen Rotor und Auswuchten | 186 |
| 5.6.3 | Aufgaben zu Abschnitt 5.6 | 189 |
| 5.7 | Der Arbeitssatz und der Energiesatz für das Massenpunktsystem | 191 |
| 5.7.1 | Herleitung des Arbeitssatzes und des Energiesatzes | 191 |
| 5.7.2 | Der Energiesatz für das starre Massenpunktsystem | 194 |
| 5.7.3 | Die kinetische Energie für das starre Massenpunktsystem | 195 |
| 5.7.4 | Aufgaben zu Abschnitt 5.7 | 198 |
| 6 | Kinematik und Kinetik der ebenen Bewegung starrer Körper | 201 |
| 6.1 | Der starre Körper | 201 |
| 6.2 | Die ebene Bewegung, Translation und Rotation | 202 |
| 6.3 | Kinematik der ebenen Bewegung starrer Körper | 205 |
| 6.3.1 | Translation und Rotation | 205 |
| 6.3.2 | Rollen und Gleiten | 209 |
| 6.3.3 | Der momentane Geschwindigkeitspol | 211 |
| 6.3.4 | Regeln zur Bestimmung von Geschwindigkeiten und des Geschwindigkeitspols | 212 |
| 6.3.5 | Rastpolbahn und Gangpolbahn | 214 |
| 6.3.6 | Der momentane Beschleunigungspol | 217 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 6.3.7 | Relativbewegungen in rotierenden Bezugssystemen | 217 |
| 6.3.8 | Aufgaben zu Abschnitt 6.3 | 220 |
| 6.4 | Kinetik der ebenen Bewegung starrer Körper | 225 |
| 6.5 | Massenträgheitsmomente | 228 |
| 6.5.1 | Massenträgheitsmomente für einfache Körper bezüglich der Schwerpunkte | 228 |
| 6.5.2 | Massenträgheitsmomente bei Verschiebung der Achsen: Der Satz von Steiner | 231 |
| 6.5.3 | Aufgaben zu den Abschnitten 6.4 und 6.5 | 236 |
| 6.6 | Rollen und Gleiten | 238 |
| 6.6.1 | Grundgleichungen | 238 |
| 6.6.2 | Aufgaben zu Abschnitt 6.6 | 240 |
| 6.7 | Der Energiesatz für den starren Körper in der ebenen Bewegung | 243 |
| 6.7.1 | Formulierung des Energiesatzes | 243 |
| 6.7.2 | Aufgaben zu Abschnitt 6.7 | 246 |
| 6.8 | Schnittgrößen in bewegten Systemen | 247 |
| 6.8.1 | Aufgaben zu Abschnitt 6.8 | 249 |
| 7 | Grundlagen der Rotordynamik | 251 |
| 7.1 | Der Schwerpunktsatz und der Momentensatz | 251 |
| 7.2 | Massenträgheitsmomente und Massenträgheitsmatrix | 253 |
| 7.2.1 | Definitionen | 253 |
| 7.2.2 | Auffinden von Hauptachsen | 254 |
| 7.2.3 | Massenträgheitsmomente für einfache Körper bezüglich der Schwerpunkte | 256 |
| 7.2.4 | Massenträgheitsmomente bei Parallelverschiebung der Koordinatenachsen: Der Satz von Steiner | 260 |
| 7.2.5 | Massenträgheitsmomente bei Verdrehung der Koordinatenachsen | 262 |
| 7.2.6 | Bedingungen für einen idealen Rotor und Auswuchten | 266 |
| 7.3 | Arbeit, Energie, Leistung, Drehimpuls und Energiesatz | 269 |
| 7.4 | Aufgaben zu den Abschnitten 7.1 bis 7.3 | 271 |
| 7.5 | Die kritische Drehzahl von Rotoren mit biegeelastischer Welle | 277 |
| 7.5.1 | Der Laval-Läufer | 277 |
| 7.5.2 | Aufgaben zu Abschnitt 7.5 | 279 |
| 8 | Kinematik und Kinetik der räumlichen Bewegung starrer Körper | 281 |
| 8.1 | Kinematik der Relativbewegungen | 282 |
| 8.1.1 | Zeitableitungen im bewegten Bezugssystem | 282 |
| 8.1.2 | Der Winkelgeschwindigkeits- und der Winkelbeschleunigungsvektor . | 285 |
| 8.1.3 | Aufgaben zu Abschnitt 8.1 | 288 |
| 8.2 | Kinematik im Raum mit Euler Winkeln | 291 |
| 8.2.1 | Erklärung der Euler Winkel an einem Beispiel | 291 |
| 8.2.2 | Beschreibung rotierender Bezugssysteme mit Euler Winkeln | 292 |
| 8.2.3 | Aufgaben zu Abschnitt 8.2 | 296 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 8.3 | Kinetik starrer Körper im Inertialsystem | 297 |
| 8.3.1 | Der Schwerpunktsatz für den starren Körper | 297 |
| 8.3.2 | Der Momentensatz für den starren Körper | 298 |
| 8.3.3 | Alternative Herleitung des Momentensatzes für ebene Bewegungen .. | 299 |
| 8.4 | Kinetik starrer Körper in bewegten Bezugssystemen | 300 |
| 8.4.1 | Der Schwerpunktsatz in bewegten Bezugssystemen | 300 |
| 8.4.2 | Der Momentensatz in bewegten Bezugssystemen | 304 |
| 8.4.3 | Koordinatendarstellungen des Momentensatzes | 305 |
| 8.4.4 | Die permanente, stabile Verdrehung des momentenfreien Kreisel's ... | 311 |
| 8.4.5 | Aufgaben zu Abschnitt 8.4 | 313 |
| 8.5 | Der Momentensatz mit Euler Winkeln | 318 |
| 8.5.1 | Der Fall $\Omega = \psi + \theta$ | 318 |
| 8.5.2 | Der Fall $\Omega = \omega$ | 320 |
| 8.5.3 | Aufgaben zu Abschnitt 8.5 | 323 |
| 9 | Impuls, Drehimpuls und Stoß starrer Körper | 329 |
| 9.1 | Impuls- und Impulserhaltungssatz | 329 |
| 9.1.1 | Impuls- und Impulserhaltungssatz für den starren Körper | 329 |
| 9.1.2 | Impuls- und Impulserhaltungssatz für das System starrer Körper | 331 |
| 9.1.3 | Aufgaben zu Abschnitt 9.1 | 333 |
| 9.2 | Drehimpuls- und Drehimpulserhaltungssatz | 336 |
| 9.2.1 | Drehimpuls- und Drehimpulserhaltungssatz für den starren Körper .. | 336 |
| 9.2.2 | Der Drehimpulssatz für den starren Körper mit Drehung um eine Hauptachse. | 337 |
| 9.2.3 | Der Drehimpulssatz für ebene Bewegungen des starren Körpers | 337 |
| 9.2.4 | Drehimpuls- und Drehimpulserhaltungssatz für das System starrer Körper | 339 |
| 9.2.5 | Aufgaben zu Abschnitt 9.2 | 341 |
| 9.3 | Der Stoß starrer Körper | 344 |
| 9.3.1 | Begriffe zum Stoß und Einteilung des Stoßes | 344 |
| 9.3.2 | Annahmen zum Stoß | 346 |
| 9.4 | Der gerade zentrische Stoß | 347 |
| 9.4.1 | Voraussetzungen zum geraden zentrischen Stoß | 347 |
| 9.4.2 | Erster Sonderfall: Der elastische Stoß | 348 |
| 9.4.3 | Zweiter Sonderfall: Der plastische Stoß | 348 |
| 9.4.4 | Allgemeiner Fall: Der elastisch-plastische Stoß | 349 |
| 9.4.5 | Aufgaben zu Abschnitt 9.4 | 356 |
| 9.5 | Der exzentrische Stoß | 359 |
| 9.5.1 | Formulierung des Impuls- und des Drehimpulssatzes | 359 |
| 9.5.2 | Aufgaben zu Abschnitt 9.5 | 364 |

| | |
|---|-----|
| 10 Grundlagen der Schwingungslehre | 369 |
| 10.1 Einteilung von Schwingungen nach verschiedenen Merkmalen | 370 |
| 10.2 Einteilung von Schwingungen nach dem zeitlichen Verlauf | 372 |
| 10.3 Die Zeigerdarstellung und die Überlagerung von Schwingungen | 374 |
| 10.4 Freie ungedämpfte Schwingungen | 376 |
| 10.4.1 Schwingungsbewegungen starrer Körper | 376 |
| 10.4.2 Ersatzsysteme elastischer Systeme | 378 |
| 10.4.3 Ersatzfedern bei Federschaltungen | 380 |
| 10.4.4 Vertikale Schwingungen starrer Körper im Schwerfeld | 383 |
| 10.4.5 Pendelschwingungen starrer Körper im Schwerfeld | 384 |
| 10.4.6 Pendelschwingungen des federgelagerten starren Körpers im Schwerfeld | 385 |
| 10.4.7 Energiebetrachtungen | 387 |
| 10.4.8 Aufgaben zu Abschnitt 10.4. | 388 |
| 10.5 Freie gedämpfte Schwingungen | 393 |
| 10.5.1 Die Normalform für freie gedämpfte Schwingungen | 393 |
| 10.5.2 Starke Dämpfung mit $D > 1$ | 394 |
| 10.5.3 Grenzdämpfung mit $D = 1$ | 395 |
| 10.5.4 Schwache Dämpfung mit $D < 1$ | 396 |
| 10.5.5 Dämpfung durch trockene Reibung | 401 |
| 10.5.6 Schwingungen des feder- und dämpfergelagerten Körperpendels | 403 |
| 10.5.7 Aufgaben zu Abschnitt 10.5. | 404 |
| 10.6 Erzwungene gedämpfte Schwingungen | 406 |
| 10.6.1 Vier Fälle mit periodischen Anregungen | 406 |
| 10.6.2 Vereinheitlichte Lösung für die gedämpfte Schwingung mit Anregung | 408 |
| 10.6.3 Schwingungen um die statische Ruhelage | 410 |
| 10.6.4 Tabellarische Zusammenfassung der Lösungen | 411 |
| 10.6.5 Erzwungene ungedämpfte Schwingungen | 413 |
| 10.6.6 Ergebnisse für die Beispiele aus Abschnitt 10.6.1 | 415 |
| 10.6.7 Aufgaben zu Abschnitt 10.6. | 420 |
| A Anhang | 425 |
| A.1 Grundlagen der Vektorrechnung | 425 |
| A.1.1 Rechenoperationen | 426 |
| A.1.2 Vektorbasis und Basisdarstellung von Vektoren | 428 |
| A.1.3 Basiswechsel in der Ebene und Koordinatentransformation | 429 |
| A.2 Beweis der Gleichungen (4.51) | 430 |
| A.3 Herleitungen zum Abschnitt 8.1 | 431 |
| A.4 Lösungen zu den Aufgaben | 433 |
| A.5 Lehrprogramme mit verschiedenen Schwerpunkten | 441 |
| Literaturverzeichnis | 443 |
| Index | 445 |