

# Inhaltsverzeichnis

## Technische Mechanik

J. Wittenburg, H.A. Richard, J. Zierep, K. Bühler

### Mechanik fester Körper

J. Wittenburg, H.A. Richard

<b>1</b>	<b>Kinematik</b> .....	<b>1</b>
1.1	Kinematik des Punktes .....	1
	1.1.1 Lage, Lagekoordinaten – 1.1.2 Geschwindigkeit, Beschleunigung	
1.2	Kinematik des starren Körpers .....	2
	1.2.1 Winkellage, Koordinatentransformation – 1.2.2 Winkelgeschwindigkeit – 1.2.3 Winkelbeschleunigung	
1.3	Kinematik des Punktes mit Relativbewegung .....	9
1.4	Freiheitsgrade der Bewegung, Kinematische Bindungen .....	10
1.5	Virtuelle Verschiebungen .....	10
1.6	Kinematik offener Gliederketten .....	11
<b>2</b>	<b>Statik starrer Körper</b> .....	<b>13</b>
2.1	Grundlagen .....	13
	2.1.1 Kraft, Moment – 2.1.2 Äquivalenz von Kräftesystemen – 2.1.3 Zerlegung von Kräften – 2.1.4 Resultierende von Kräften mit gemeinsamem Angriffspunkt – 2.1.5 Reduktion von Kräftesystemen – 2.1.6 Ebene Kräftesysteme – 2.1.7 Schwerpunkt, Massenmittelpunkt – 2.1.8 Das 3. Newton'sche Axiom „actio = reactio“ – 2.1.9 Innere Kräfte und äußere Kräfte – 2.1.10 Eingeprägte Kräfte und Zwangskräfte – 2.1.11 Gleichgewichtsbedingungen für einen starren Körper – 2.1.12 Schnittprinzip – 2.1.13 Arbeit, Leistung – 2.1.14 Potenzialkraft, Potenzielle Energie – 2.1.15 Virtuelle Arbeit, Generalisierte Kräfte – 2.1.16 Prinzip der virtuellen Arbeit	
2.2	Lager, Gelenke .....	23
	2.2.1 Lagerreaktionen, Lagerwertigkeit – 2.2.2 Statisch bestimmte Lagerung – 2.2.3 Berechnung von Lagerreaktionen	
2.3	Fachwerke .....	26
	2.3.1 Statische Bestimmtheit – 2.3.2 Nullstäbe – 2.3.3 Knotenschnittverfahren – 2.3.4 Ritter'sches Schnittverfahren für ebene Fachwerke – 2.3.5 Prinzip der virtuellen Arbeit – 2.3.6 Methode der Stabvertauschung	
2.4	Ebene Seil- und Kettenlinien .....	27
	2.4.1 Gewichtsloses Seil mit Einzelgewichten – 2.4.2 Schwere Gliederkette – 2.4.3 Schweres Seil – 2.4.4 Schweres Seil mit Einzelgewicht – 2.4.5 Rotierendes Seil	
2.5	Coulomb'sche Reibungskräfte .....	30
	2.5.1 Ruhereibungskräfte – 2.5.2 Gleitreibungskräfte	
2.6	Stabilität von Gleichgewichtslagen .....	33
<b>3</b>	<b>Kinetik starrer Körper</b> .....	<b>33</b>
3.1	Grundlagen .....	33
	3.1.1 Inertialsystem und absolute Beschleunigung – 3.1.2 Impuls – 3.1.3 Newton'sche Axiome – 3.1.4 Impulssatz, Impulserhaltungssatz – 3.1.5 Kinetik der Punktmasse im beschleunigten Bezugssystem – 3.1.6 Trägheitsmomente, Trägheitstensor – 3.1.7 Drall – 3.1.8 Drallsatz (Axiom von Euler) – 3.1.9 Drallerhaltungssatz – 3.1.10 Kinetische Energie – 3.1.11 Energieerhaltungssatz – 3.1.12 Arbeitssatz	
3.2	Kreiselmechanik .....	40
	3.2.1 Reguläre Präzession – 3.2.2 Nutation – 3.2.3 Linearisierte Kreisgleichungen – 3.2.4 Präzessionsgleichungen	

3.3	Bewegungsgleichungen für holonome Mehrkörpersysteme . . . . .	43
	3.3.1 Synthetische Methode – 3.3.2 Lagrange'sche Gleichung – 3.3.3 D'Alembert'sches Prinzip	
3.4	Stöße . . . . .	45
	3.4.1 Vereinfachende Annahmen über Stoßvorgänge – 3.4.2 Stöße an Mehrkörpersystemen – 3.4.3 Der schiefe exzentrische Stoß – 3.4.4 Gerader zentraler Stoß – 3.4.5 Gerader Stoß gegen ein Pendel	
3.5	Körper mit veränderlicher Masse . . . . .	48
3.6	Gravitation, Satellitenbahnen . . . . .	49
3.7	Stabilität . . . . .	51
4	<b>Schwingungen</b> . . . . .	<b>51</b>
4.1	Lineare Eigenschwingungen . . . . .	52
	4.1.1 Systeme mit einem Freiheitsgrad – 4.1.2 Eigenschwingungen bei endlich vielen Freiheitsgraden	
4.2	Erzwungene lineare Schwingungen . . . . .	54
	4.2.1 Systeme mit einem Freiheitsgrad – 4.2.2 Erzwungene Schwingungen bei endlich vielen Freiheitsgraden	
4.3	Lineare parametererregte Schwingungen . . . . .	59
4.4	Freie Schwingungen eindimensionaler Kontinua . . . . .	60
	4.4.1 Saite, Zugstab, Torsionsstab – 4.4.2 Biegeschwingungen von Stäben	
4.5	Näherungsverfahren zur Bestimmung von Eigenkreisfrequenzen . . . . .	63
	4.5.1 Rayleigh-Quotient – 4.5.2 Ritz-Verfahren	
4.6	Autonome nichtlineare Schwingungen mit einem Freiheitsgrad . . . . .	66
	4.6.1 Methode der kleinen Schwingungen – 4.6.2 Harmonische Balance – 4.6.3 Störungsrechnung nach Lindstedt – 4.6.4 Methode der multiplen Skalen	
4.7	Erzwungene nichtlineare Schwingungen . . . . .	69
	4.7.1 Harmonische Balance – 4.7.2 Methode der multiplen Skalen – 4.7.3 Subharmonische, superharmonische und Kombinationsresonanzen	
5	<b>Festigkeitslehre, Elastizitätstheorie</b> . . . . .	<b>71</b>
5.1	Kinematik des deformierbaren Körpers . . . . .	71
	5.1.1 Verschiebungen, Verzerrungen, Verzerrungstensor – 5.1.2 Kompatibilitätsbedingungen – 5.1.3 Koordinatentransformation – 5.1.4 Hauptdehnungen, Dehnungshauptachsen – 5.1.5 Mohr'scher Dehnungskreis	
5.2	Spannungen . . . . .	73
	5.2.1 Normal- und Schubspannungen, Spannungstensor – 5.2.2 Koordinatentransformation – 5.2.3 Hauptnormalspannungen, Spannungshauptachsen – 5.2.4 Hauptschubspannungen – 5.2.5 Kugeltensor, Spannungsdeviator – 5.2.6 Ebener Spannungszustand, Mohr'scher Spannungskreis – 5.2.7 Volumenkraft, Gleichgewichtsbedingungen	
5.3	Hookesches Gesetz . . . . .	75
5.4	Geometrische Größen für Stab- und Balkenquerschnitte . . . . .	76
	5.4.1 Flächenmomente 2. Grades – 5.4.2 Statische Flächenmomente – 5.4.3 Querschubzahlen – 5.4.4 Schubmittelpunkt oder Querkraftmittelpunkt – 5.4.5 Torsionsflächenmoment – 5.4.6 Wölbwiderstand	
5.5	Schnittgrößen in Stäben und Balken . . . . .	84
	5.5.1 Definition der Schnittgrößen für gerade Stäbe – 5.5.2 Berechnung von Schnittgrößen für gerade Stäbe	
5.6	Spannungen in Stäben und Balken . . . . .	87
	5.6.1 Zug und Druck – 5.6.2 Gerade Biegung – 5.6.3 Schiefe Biegung – 5.6.4 Druck und Biegung, Kern eines Querschnitts – 5.6.5 Biegung von Stäben aus Verbundwerkstoff – 5.6.6 Biegung von gekrümmten Stäben – 5.6.7 Reiner Schub – 5.6.8 Torsion ohne Wölbbehinderung (Saint-Venant-Torsion) – 5.6.9 Torsion mit Wölbbehinderung	
5.7	Verformungen von Stäben und Balken . . . . .	92
	5.7.1 Zug und Druck – 5.7.2 Gerade Biegung – 5.7.3 Schiefe Biegung – 5.7.4 Stab auf elastischer Bettung (Winkler-Bettung) – 5.7.5 Biegung von Stäben aus Verbundwerkstoff – 5.7.6 Querkraftbiegung – 5.7.7 Torsion ohne Wölbbehinderung (Saint-Venant-Torsion) – 5.7.8 Torsion mit Wölbbehinderung	
5.8	Energimethoden der Elastostatik . . . . .	100
	5.8.1 Formänderungsenergie, Äußere Arbeit – 5.8.2 Prinzip der virtuellen Arbeit – 5.8.3 Arbeitsgleichung oder Verfahren mit einer Hilfskraft – 5.8.4 Sätze von Castigliano – 5.8.5 Steifigkeitsmatrix, Nachgiebigkeitsmatrix, Satz von Maxwell und Betti – 5.8.6 Statisch unbestimmte Systeme, Kraftgrößenverfahren – 5.8.7 Satz von Menabrea – 5.8.8 Verfahren von Ritz für Durchbiegungen	
5.9	Rotierende Stäbe und Ringe . . . . .	107
5.10	Flächentragwerke . . . . .	108
	5.10.1 Scheiben – 5.10.2 Platten – 5.10.3 Schalen	

5.11	<b>Dreidimensionale Probleme</b> .....	113
	5.11.1 Einzelkraft auf Halbraumoberfläche (Boussinesq-Problem) – 5.11.2 Einzelkraft im Vollraum (Kelvin-Problem) – 5.11.3 Druckbehälter, Kesselformeln – 5.11.4 Kontaktprobleme, Hertz'sche Formeln – 5.11.5 Kerbspannungen	
5.12	<b>Stabilitätsprobleme</b> .....	116
	5.12.1 Knicken von Stäben – 5.12.2 Biegedrillknicken – 5.12.3 Kippen – 5.12.4 Plattenbeulung – 5.12.5 Schalenbeulung	
5.13	<b>Finite Elemente</b> .....	121
	5.13.1 Elementmatrizen, Formfunktionen – 5.13.2 Matrizen für das Gesamtsystem – 5.13.3 Aufgabenstellungen bei Finite-Elemente-Rechnungen	
5.14	<b>Übertragungsmatrizen</b> .....	126
	5.14.1 Übertragungsmatrizen für Stabsysteme – 5.14.2 Übertragungsmatrizen für rotierende Scheiben – 5.14.3 Ergänzende Bemerkungen	
5.15	<b>Festigkeithypothesen</b> .....	131
5.16	<b>Kerbspannungen, Kerbwirkung</b> .....	132
	5.16.1 Spannungsverteilungen an Kerben – 5.16.2 Elastizitätstheoretische Lösungen grundlegender Kerbprobleme – 5.16.3 Kerbfaktoren – 5.16.4 Kerbwirkung	
<b>6</b>	<b>Plastizitätstheorie, Bruchmechanik</b> .....	<b>137</b>
6.1	<b>Grundlagen der Plastizitätstheorie</b> .....	137
	6.1.1 Fließkriterien – 6.1.2 Fließregeln – 6.1.3 Gleitlinien	
6.2	<b>Elementare Theorie technischer Umformprozesse</b> .....	138
	6.2.1 Schrankensatz für Umformleistung – 6.2.2 Streifen-, Scheiben- und Röhrenmodell	
6.3	<b>Traglast</b> .....	140
	6.3.1 Fließgelenke, Fließschnittgrößen – 6.3.2 Traglastsätze – 6.3.3 Traglasten für Durchlaufträger – 6.3.4 Traglasten für Rahmen	
6.4	<b>Grundlagen der Bruchmechanik</b> .....	142
	6.4.1 Spannungsverteilungen an Rissen, Spannungsintensitätsfaktoren – 6.4.2 Bruchmechanische Bewertung der Bruchgefahr – 6.4.3 Ermüdungsrissausbreitung	
6.5	<b>Zusammenwirken von Festigkeitsberechnung und Bruchmechanik</b> .....	146

## Strömungsmechanik

J. Zierep, K. Bühler

<b>7</b>	<b>Einführung in die Strömungsmechanik</b> .....	<b>146</b>
7.1	Eigenschaften von Fluiden .....	146
7.2	Newton'sche und nichtnewton'sche Medien .....	148
7.3	Hydrostatik und Aerostatik .....	148
7.4	Gliederung der Darstellung: Nach Viskositäts- und Kompressibilitätseinflüssen .....	149
<b>8</b>	<b>Hydrodynamik: Inkompressible Strömungen mit und ohne Viskositätseinfluss</b> .....	<b>149</b>
8.1	<b>Eindimensionale reibungsfreie Strömungen</b> .....	149
	8.1.1 Grundbegriffe – 8.1.2 Grundgleichungen der Stromfadentheorie – 8.1.3 Anwendungsbeispiele	
8.2	<b>Zweidimensionale reibungsfreie, inkompressible Strömungen</b> .....	154
	8.2.1 Kontinuität – 8.2.2 Euler'sche Bewegungsgleichungen – 8.2.3 Stationäre ebene Potenzialströmungen – 8.2.4 Anwendungen elementarer und zusammengesetzter Potenzialströmungen – 8.2.5 Stationäre räumliche Potenzialströmungen	
8.3	<b>Reibungsbehaftete inkompressible Strömungen</b> .....	160
	8.3.1 Grundgleichungen für Masse, Impuls und Energie – 8.3.2 Kennzahlen – 8.3.3 Lösungseigenschaften der Navier-Stokes'schen Gleichungen – 8.3.4 Spezielle Lösungen für laminare Strömungen – 8.3.5 Turbulente Strömungen – 8.3.6 Grenzschichttheorie – 8.3.7 Impulssatz – 8.3.8 Anwendungsbeispiele	
8.4	<b>Druckverlust und Strömungswiderstand</b> .....	170
	8.4.1 Durchströmungsprobleme – 8.4.2 Umströmungsprobleme	
8.5	<b>Strömungen in rotierenden Systemen</b> .....	182
<b>9</b>	<b>Gasdynamik</b> .....	<b>183</b>
9.1	Erhaltungssätze für Masse, Impuls und Energie .....	183
9.2	<b>Allgemeine Stoßgleichungen</b> .....	184
	9.2.1 Rankine-Hugoniot-Relation – 9.2.2 Rayleigh-Gerade – 9.2.3 Schallgeschwindigkeit – 9.2.4 Senkrechter Stoß – 9.2.5 Schiefer Stoß – 9.2.6 Busemann-Polare – 9.2.7 Herzkurve	
9.3	<b>Kräfte auf umströmte Körper</b> .....	190

9.4	Stromfadentheorie .....	191
	9.4.1 Lavaldüse .....	
9.5	Zweidimensionale Strömungen .....	194
	9.5.1 Kleine Störungen, $M_\infty \leq 1$ – 9.5.2 Transformation auf Charakteristiken –	
	9.5.3 Prandtl-Meyer-Expansion [16, 17] – 9.5.4 Düsenströmungen –	
	9.5.5 Profilumströmungen – 9.5.6 Transsonische Strömungen	
<b>10</b>	<b>Gleichzeitiger Viskositäts- und Kompressibilitätseinfluss .....</b>	<b>204</b>
10.1	Eindimensionale Rohrströmung mit Reibung .....	204
10.2	Kugelumströmung, Naumann-Diagramm für $c_w$ .....	206
10.3	Grundsätzliches über die laminare Plattengrenzschicht .....	206
10.4	$(M, Re)$ -Ähnlichkeit in der Gasdynamik .....	208
10.5	Auftriebs- und Widerstandsbeiwerte aktueller Tragflügel .....	209
	<b>Formelzeichen der Mechanik .....</b>	<b>211</b>
	<b>Formelzeichen der Strömungsmechanik .....</b>	<b>215</b>
	<b>Literatur .....</b>	<b>216</b>