

Contents

	Vorwort (zur 2. Auflage)	<i>XIII</i>
	Einführung	<i>XV</i>
1	Statik	<i>1</i>
1.1	Grundbegriffe	<i>1</i>
1.1.1	Starrer Körper	<i>1</i>
1.1.2	Gleichgewicht	<i>1</i>
1.1.3	Kraft – Kraftsysteme	<i>2</i>
1.1.4	Schnittprinzip – Freischneiden	<i>3</i>
1.2	Ebenes, zentrales Kraftsystem	<i>3</i>
1.2.1	Zerlegen und Zusammensetzen von Kräften	<i>3</i>
1.2.1.1	Analytisch	<i>3</i>
1.2.1.2	Grafisch (Krafteckverfahren)	<i>6</i>
1.2.2	Gleichgewicht	<i>7</i>
1.2.3	Demonstrationsbeispiel (Wandkran)	<i>7</i>
1.2.4	Hinweise und Tipps	<i>8</i>
1.3	Ebenes, allgemeines Kraftsystem	<i>9</i>
1.3.1	Kräftepaar und Moment	<i>9</i>
1.3.1.1	Kräftepaar	<i>9</i>
1.3.1.2	Moment einer Kraft in Bezug auf eine Achse	<i>10</i>
1.3.1.3	Versetzungs-/Verschiebungsmoment	<i>12</i>
1.3.2	Ermittlung der Resultierenden	<i>13</i>
1.3.2.1	Analytisch	<i>13</i>
1.3.2.2	Grafisch (zur Information)	<i>15</i>
1.3.3	Gleichgewicht	<i>17</i>
1.3.4	Demonstrationsbeispiel	<i>17</i>
1.3.5	Hinweise und Tipps	<i>19</i>
1.4	Schwerpunktberechnung	<i>20</i>
1.4.1	Definition, Körper- und Volumenschwerpunkt	<i>20</i>
1.4.2	Flächenschwerpunkt	<i>21</i>
1.4.3	Linienschwerpunkt	<i>21</i>

1.4.4	Flächenschwerpunkt zusammengesetzter Flächen – Demonstrationsbeispiel	22
1.4.5	Hinweise und Tipps	24
1.5	Ebene Tragwerke	24
1.5.1	Modelle – Grundformen des starren Körpers	25
1.5.2	Modelle von Lager- und Verbindungsarten	26
1.5.3	Modelle der Belastung	28
1.5.4	Auflagerreaktionen einfacher Tragwerke	30
1.5.5	Zusammengesetzte Tragwerke	31
1.5.5.1	Tragwerksarten (Auswahl)	31
1.5.5.2	Statische Bestimmtheit	32
1.5.5.3	Auflager- und Verbindungsreaktionen zusammengesetzter Tragwerke	33
1.5.6	Hinweise und Tipps	35
1.6	Schnittreaktionen	36
1.6.1	Grundbegriffe	36
1.6.2	Ermittlung von Schnittreaktionen in Tragwerken	38
1.6.3	Zusammenhang zwischen Querkraft und Schnittmoment	41
1.6.4	Schnittreaktionen im Kreisbogenträger – Demonstrationsbeispiel	42
1.6.5	Hinweise und Tipps	45
1.7	Haftung und Reibung (Reibungslehre)	47
1.7.1	Einführung	47
1.7.1.1	Haftreibungsproblem	48
1.7.1.2	Gleitreibungsproblem	48
1.7.2	Lösung von Reibungsaufgaben bei Haft- und Gleitreibung	50
1.7.3	Reibung in Führungen und Gewinden	54
1.7.3.1	Reibung in Führungen	54
1.7.3.2	Reibung in Gewinden	55
1.7.4	Seilreibung	57
1.7.5	Rollreibung	60
1.7.6	Hinweise und Tipps	61
1.8	Ebene Fachwerke	61
1.8.1	Begriff und statische Bestimmtheit	61
1.8.2	Ermittlung der Stabkräfte	62
1.8.3	Seil unter Eigengewicht	64
1.8.4	Ausblick und Hinweise	68
1.9	Räumliches Kraftsystem – Raumstatik	69
1.9.1	Kraft, Moment, Gleichgewichtsbedingungen	69
1.9.2	Auflagerreaktionen einfacher Tragwerke	70
1.9.3	Ermittlung von Schnittreaktionen	74
1.9.4	Hinweise und Tipps	80
1.10	Zusammenfassung	80

2	Festigkeitslehre	83
2.1	Mathematischer Vorspann – Flächenmomente n -ter Ordnung	83
2.1.1	Definition	83
2.1.2	Berechnung von Flächenträgheitsmomenten einzelner Flächen	85
2.1.3	Transformation von FTM zwischen parallelen Koordinatensystemen	88
2.1.4	Ermittlung von FTM zusammengesetzter Flächen	89
2.1.5	FTM bei Drehung des Koordinatensystems	91
2.1.6	Hauptträgheitsachsen und Hauptträgheitsmomente	92
2.1.7	Hinweise und Tipps	94
2.2	Grundlagen der Festigkeitslehre	95
2.2.1	Einführung	95
2.2.2	Beanspruchungsarten und Lastfälle	96
2.2.3	Spannungsbegriff – Spannungszustand	98
2.2.3.1	Vorbetrachtung	98
2.2.3.2	Definition der Spannung	98
2.2.3.3	Einachsiger Spannungszustand	99
2.2.3.4	Spannungszustand reiner Schub	103
2.2.3.5	Überlagerung der Spannungszustände	104
2.2.4	Formänderungen – Verzerrungszustand	105
2.2.4.1	Vorbetrachtung	105
2.2.4.2	Verschiebungen und Verzerrungen	106
2.2.4.3	Ebener Verzerrungszustand	107
2.2.5	Werkstoffverhalten – Stoffgesetz	110
2.2.5.1	Zugversuch – Hooke'sches Gesetz	110
2.2.5.2	Thermische Dehnung – Temperaturspannungen	113
2.2.5.3	Ausblick	115
2.2.6	Formänderungsarbeit	116
2.2.7	Grundaufgaben der Festigkeitslehre	117
2.3	Zug-Druck-Beanspruchung	119
2.3.1	Zug-Druck-Spannung	119
2.3.2	Formänderung	121
2.3.2.1	Formänderungsberechnung	121
2.3.2.2	Berechnung statisch unbestimmter Tragwerke	123
2.3.3	Flächenpressung und Lochleibung	125
2.3.4	Formänderungsenergie	125
2.3.5	Hinweise und Tipps	126
2.4	Abscherbeanspruchung	127
2.4.1	Beispiele	127
2.4.2	Ermittlung der Abscherspannung	127
2.5	Biegebeanspruchung – Biegung	128
2.5.1	Voraussetzungen	128
2.5.2	Spannungsberechnung bei gerader Biegung	129
2.5.3	Spannungsberechnung bei schiefer Biegung	134
2.5.4	Formänderung bei Biegung	136
2.5.4.1	Voraussetzungen	136

2.5.4.2	Differentialgleichung der elastischen Linie	136
2.5.4.3	Überlagerungsverfahren	144
2.5.5	Ergänzungen	146
2.5.5.1	Träger aus inhomogenem Werkstoff – Schichtbalken	146
2.5.5.2	Ausblick	148
2.5.6	Formänderungsenergie	150
2.5.7	Hinweise und Tipps	150
2.6	Torsionsbeanspruchung – Torsion	152
2.6.1	Torsion von Kreis- oder Kreisringquerschnitten	152
2.6.1.1	Voraussetzungen	152
2.6.1.2	Spannungsberechnung	154
2.6.1.3	Formänderungsberechnung	155
2.6.1.4	Statische Unbestimmtheit bei Torsion	155
2.6.1.5	Formänderungsenergie	156
2.6.2	Torsion von nichtkreisförmigen Vollquerschnitten (Einblick)	156
2.6.3	Torsion dünnwandiger Profile	159
2.6.3.1	Dünnwandig, geschlossene Profile	159
2.6.3.2	Dünnwandig, offene Profile	162
2.6.3.3	Vergleich zwischen dünnwandig geschlossenen und offenen Profilen	164
2.6.4	Formänderungsenergie	165
2.6.5	Hinweise und Tipps	165
2.7	Querkraftschub	166
2.7.1	Voraussetzungen	167
2.7.2	Einfach zusammenhängende Vollquerschnitte	167
2.7.2.1	Spannungsberechnung	168
2.7.2.2	Formänderung und Formänderungsenergie	170
2.7.2.3	Demonstrationsbeispiel	170
2.7.3	Querkraftschubbeanspruchung dünnwandiger Profile	172
2.7.3.1	Vorbemerkungen	172
2.7.3.2	Dünnwandig, geschlossene Profile	172
2.7.3.3	Dünnwandig, offene Profile	173
2.7.3.4	Demonstrationsbeispiel	174
2.7.3.5	Schubmittelpunkt	175
2.7.4	Hinweise und Tipps	177
2.8	Zusammengesetzte Beanspruchung	179
2.8.1	Vorbemerkungen	179
2.8.2	Zusammengesetzte Normalbeanspruchung	180
2.8.3	Zusammengesetzte Normal- und Tangentialbeanspruchung	182
2.8.3.1	Vorbemerkungen	182
2.8.3.2	Festigkeitshypothesen und Vergleichsspannungen	183
2.8.3.3	Anwendung auf die Bewertung von Wellen	185
2.8.4	Hinweise und Tipps	188
2.9	Energiemethoden	189
2.9.1	Vorbemerkungen	189

2.9.2	Prinzip der virtuellen Arbeit	190
2.9.3	Äußere Arbeit und Einflusszahlen	192
2.9.4	Sätze von Castigliano	194
2.9.5	Formänderungsberechnung statisch bestimmter Tragwerke	196
2.9.6	Auflager- und Schnittreaktionsermittlung statisch unbestimmter Tragwerke	199
2.9.6.1	Vorbemerkungen	199
2.9.6.2	Anwendung des Satzes von Castigliano	199
2.9.6.3	Demonstrationsbeispiele	200
2.9.7	Hinweise und Tipps	206
2.10	Einführung in die Stabilitätstheorie	207
2.10.1	Vorbemerkungen	207
2.10.2	Knickung gerader Stäbe	208
2.10.2.1	Elastisches Knicken	208
2.10.2.2	Unelastisches Knicken	213
2.10.3	Hinweise und Tipps	214
2.11	Mehrachsiges Spannungszustände	216
2.11.1	Vorbemerkungen	216
2.11.2	Dünnwandige Behälter (Membrantheorie)	219
2.11.2.1	Voraussetzungen	219
2.11.2.2	Spannungsermittlung	220
2.11.2.3	Demonstrationsbeispiel	222
2.11.2.4	Hinweise und Tipps	223
2.11.3	Ebene, rotationssymmetrische Probleme	224
2.11.4	Dickwandiges Rohr	226
2.11.4.1	Formänderungs- und Spannungsermittlung	226
2.11.4.2	Beispiel	228
2.11.5	Rotierende Scheibe	229
2.11.5.1	Voraussetzungen	229
2.11.5.2	Formänderungs- und Spannungsermittlung	229
2.11.5.3	Beispiele	232
2.11.6	Kreisringplatte	234
2.11.6.1	Voraussetzungen	234
2.11.6.2	Ermittlung der Plattendurchsenkung	235
2.11.6.3	Beispiele	239
2.11.7	Hinweise und Tipps	242
2.12	Ergänzungen	244
2.12.1	Werkstoffmechanik	244
2.12.1.1	Vorbemerkungen	244
2.12.1.2	Bruchverhalten	245
2.12.1.3	Dauerfestigkeit	247
2.12.2	Bruchmechanik	249
2.12.2.1	Voraussetzungen	249
2.12.2.2	Linear-elastische Bruchmechanik	250
2.12.2.3	Dauer des stabilen Risswachstums – Lebensdauer	253

2.12.2.4	Ausblick	254
2.12.3	Plastizitätstheorie	255
2.12.3.1	Voraussetzungen	255
2.12.3.2	Traglastberechnung in Fachwerken	256
2.12.3.3	Traglastmoment im Stab unter reiner Biegung	259
2.13	Zusammenfassung	260

3 Kinematik 263

3.1	Kinematik des Punktes	263
3.1.1	Punktbahn	263
3.1.2	Geschwindigkeit und Beschleunigung	264
3.1.3	Geradlinige Bewegung	265
3.1.4	Beispiel zur geradlinigen Bewegung	268
3.1.5	Ebene Bewegung	269
3.1.6	Darstellung der Punktbeziehung in anderen Koordinaten	271
3.2	Kinematik des starren Körpers	273
3.2.1	Bewegungsarten des starren Körpers	273
3.2.2	Kinematik der Rotation um eine feste Achse	274
3.2.3	Kinematik der allgemeinen Bewegung	276
3.2.4	Ebene Bewegung	276
3.2.4.1	Überlagerung von Translation und Rotation	276
3.2.4.2	Rotation um den Momentanpol	278
3.2.4.3	Demonstrationsbeispiel	279
3.2.5	Relativbewegung	281
3.3	Hinweise und Zusammenfassung	284

4 Kinetik 287

4.1	Kinetik des Massenpunktes	287
4.1.1	Kinetisches Grundgesetz	287
4.1.2	Kinetostatische Methode	288
4.1.3	Arbeits- und Energiesatz	293
4.1.4	Impuls- und Drehimpulssatz	298
4.1.5	Hinweise und Tipps	300
4.2	Kinetik des Massenpunktsystems	300
4.2.1	Schwerpunktsatz	301
4.2.2	Arbeits- und Energiesatz	303
4.2.3	Impuls- und Drehimpulssatz	305
4.3	Rotation eines starren Körpers um eine feste Achse	308
4.3.1	Kinetisches Grundgesetz	308
4.3.2	Axiale Massenträgheitsmomente	309
4.3.3	Deviationsmomente, Hauptachsen, Hauptträgheitsmomente	312
4.3.4	Arbeits- und Energiesatz	314
4.3.5	Drehimpulssatz	315
4.3.6	Gegenüberstellung wichtiger Größen bei Translation und Rotation	319
4.3.7	Demonstrationsbeispiel	320

4.3.8	Hinweise und Tipps	323
4.4	Ebene Bewegung eines starren Körpers	324
4.4.1	Kinetostatische Methode	324
4.4.2	Arbeits- und Energiesatz	327
4.4.3	Impuls- und Drehimpulsatz	329
4.5	Ebene Bewegung eines Systems starrer Körper	330
4.5.1	Zwangsbedingungen	330
4.5.2	Kinetostatische Methode	332
4.5.3	Arbeitssatz	334
4.5.4	Hinweise und Tipps	337
4.6	Stoßprobleme	338
4.6.1	Grundbegriffe, Voraussetzungen	338
4.6.2	Gerader zentrischer Stoß	339
4.6.3	Gerader exzentrischer Stoß	342
4.6.4	Drehstoß	344
4.7	Mechanische Schwingungen	345
4.7.1	Grundbegriffe	346
4.7.2	Freie ungedämpfte Schwingungen mit einem Freiheitsgrad	348
4.7.2.1	Schwingungsmodelle	348
4.7.2.2	Bewegungsgleichung	348
4.7.2.3	Lösung der Bewegungsgleichung	350
4.7.2.4	Schwingungssysteme mit mehreren Federn	351
4.7.3	Freie gedämpfte Schwingungen mit einem Freiheitsgrad	353
4.7.3.1	Dämpfungsarten	354
4.7.3.2	Bewegungsgleichung	354
4.7.3.3	Lösungen der Bewegungsgleichung	355
4.7.4	Erzwungene gedämpfte Schwingungen mit einem Freiheitsgrad	358
4.7.4.1	Bewegungsgleichungen für verschiedene Erregerarten eines Längsschwingers	358
4.7.4.2	Lösung der Bewegungsgleichung	360
4.7.5	Beispiele	363
4.7.6	Hinweise und Tipps	367
4.8	Zusammenfassung	368
5	Numerische Methoden	371
5.1	Einführende Hinweise	371
5.2	Von der Berechnungsformel zum Algorithmus – Beispiele	371
5.2.1	Ermittlung des Schwerpunktes und der Flächenträgheitsmomente zusammengesetzter Flächen	371
5.2.2	Schnittreaktionen im Stab	374
5.2.3	Formänderung bei Biegung	376
5.3	Überblick zu Simulationsverfahren	377
5.3.1	Übertragungsmatrizenverfahren	378
5.3.2	Finite-Element-Methode	380
5.3.2.1	Vorbemerkungen	380

5.3.2.2	Grundidee der FEM	380
5.3.2.3	Demonstrationsbeispiel	384
5.3.2.4	Anwendungsspektrum	386
5.3.3	Randelementmethode	387
5.3.4	Simulation von Mehrkörpersystemen	388
5.4	Zusammenfassung	389

Anhang 391

Ausgewählte Werkstoffkennwerte	391
Haft- und Gleitreibungskoeffizienten (Auswahl)	391
Elastizitätsmodul E , Schubmodul G und linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient α_{th} ausgewählter Werkstoffe	392

Ergänzende Literatur 393

Lehrbücher und Aufgabensammlungen zur Technischen Mechanik (Auswahl)	395
Tabellen- und Taschenbücher (Auswahl)	393

Sachwörterverzeichnis 395