



Inhaltsverzeichnis

Wolfgang H. Müller, Ferdinand Ferber

Technische Mechanik für Ingenieure

ISBN: 978-3-446-41423-5

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-41423-5>

sowie im Buchhandel.

Inhaltsverzeichnis

1	Statik	1
1.1	Grundbegriffe.....	1
1.1.1	Zum Kraftbegriff	1
1.1.2	Einteilung der Kräfte, das Schnitt- und das Wechselwirkungsprinzip.....	3
1.2	Kräfte in einem Angriffspunkt	6
1.2.1	Zusammensetzen von Kräften	6
1.2.2	Zerlegen von Kräften in der Ebene: Komponentendarstellung.....	9
1.2.3	Gleichgewicht von Kräften in einem Angriffspunkt.....	12
1.2.4	Zentrale Kräftegruppe im Gleichgewicht: Haltekraft auf schiefer Ebene	14
	Lösung im kartesischen Koordinatensystem	14
	Vektorielle Berechnung der Haltekraft.....	15
1.2.5	Zentrale Kräftegruppe im Gleichgewicht: Verkettete Pendelstäbe.....	15
	Lösung im kartesischen Koordinatensystem	15
	Stabkräfte vektoriell berechnet.....	17
1.2.6	Zentrale Kräftegruppen im Raum und Vergleich mit zwei Dimensionen	18
1.3	Allgemeine Kräftesysteme: Gleichgewicht des starren Körpers.....	20
1.3.1	Moment beliebig verteilter Kräftegruppen im Raum.....	20
	Zwei zueinander parallele Kräfte.....	20
	Definition des Momentes einer Kraft	23
	Zum Gesamtmoment ebener Kräftesysteme	24
	Kräfte an einer Sechseckscheibe.....	24
	Beispiel: Das Moment eines Kräftepaares.....	24
1.3.2	Gleichgewichtsbedingungen für beliebige Kräftesysteme in der Ebene..	26
1.3.3	Gleichgewicht illustriert an einem System von Pendelstäben	28
1.3.4	Vektorielle Deutung des Momentes	29
	Definition des Momentenvektors.....	29
	Bemerkungen zum Kreuzprodukt von Vektoren	30
	Ein Quader unter dem Einfluss äußerer Kräfte.....	33
1.3.5	Allgemeine Kräftegruppen im Raum.....	34
	Zusammenfassung der Gleichgewichtsbedingungen	34
	Rahmen im Raum	35
1.3.6	Grafische Verfahren zur Behandlung allgemeiner 2-D-Kräftegruppen...	37
	Die CULMANNsche Gerade	37

	Das Seileck	38
1.4.	Der Schwerpunkt	41
1.4.1	Schwerpunkt einer Gruppe paralleler Kräfte	41
1.4.2	Spezielle Linienkräfte (Streckenlasten): Gleichstrecken- und Dreieckslast	44
1.4.3	Massenschwerpunkt eines Volumens	45
1.4.4	Zum Flächenschwerpunkt.....	48
	Flächenschwerpunkt eines Dreiecks	51
	Flächenschwerpunkt einer Parabel	52
	Flächenschwerpunkt eines Kreises	53
1.4.5	Zum Linienschwerpunkt.....	54
1.5	Lager, Trag- und Fachwerke	56
1.5.1	Freiheitsgrade, Lager und ihre technische Realisierung	56
	Einwertige Lager	56
	Zweiwertige Lager.....	56
	Dreiwertige Lager.....	57
1.5.2	Tragwerke.....	58
1.5.3	Fachwerke.....	59
	Definition des idealen Fachwerks.....	59
	Prinzipielle Berechnung der Stabkräfte: Knotenpunktverfahren	61
	Der RITTERSche Schnitt	63
	Der CREMONA-Plan	65
1.6	Der biegesteife Träger	66
1.6.1	Schnittgrößen – Begriffsbildung.....	66
1.6.2	Zur Berechnung von Schnittgrößen am geraden Balken	68
	Gerader Balken unter Einzellasten	68
	Balken auf zwei Stützen unter Einzellast (Dreipunktbiegeprobe)	71
	Kragträger unter Einzellast und Momentenwirkung.....	72
	Zusammenhang zwischen Belastung und Schnittgrößen.....	73
	Integration der Differentialgleichungen für Querkraft- und Momentenfläche	74
	Randbedingungen für die Querkraft- und für die Momentenfläche.....	75
	Übergangsbedingungen für die Querkraft- und für die Momentenfläche	76
	Momentenfläche bei komplizierteren Belastungen.....	77
	Ein vergleichendes Beispiel.....	79
1.6.3	Zur Berechnung von Schnittgrößen am Rahmentragwerk.....	83
	Der rechtwinklige Rahmen	83

	Beliebiger gerader Träger	85
	Der stetig gekrümmte Träger – Theorie.....	87
	Der stetig gekrümmte Träger – ein Halbkreisbogen	89
1.7.	Reibungsphänomene.....	90
1.7.1	Gleitreibung und Haftreibung.....	90
1.7.2	Reibung an der schiefen Ebene.....	93
1.7.3	Spezielle Anwendungen des Reibungsphänomens	96
	Der PRONYsche Zaum (Reibungsbremse)	96
	Schraube	98
	Umschlingungsreibung	102
	Seilbremse	104
	Reibung am Keil.....	107
2	Festigkeitslehre.....	109
2.1	Einführung; Begriffe	109
2.1.1	Aufgabe der Festigkeitslehre	109
2.1.2	Beanspruchungsarten.....	110
2.1.3	Begriff der Spannung.....	111
2.2	Zug- und Druckbeanspruchung	113
2.2.1	Zug- und Druckspannung in Bauteilen.....	113
2.2.2	Beispiel: Spannungsverteilung in einem konischen Stab	115
2.2.3	Beispiel: Stab gleicher Festigkeit	116
2.2.4	Die Längenänderung des Zug- oder Druckstabes	117
2.2.5	Die Querdehnung des Zug- oder Druckstabes.....	120
2.2.6	Verformung statisch bestimmter Stabsysteme.....	121
2.2.7	Statisch unbestimmte Stabsysteme	122
2.2.8	Behinderte Wärmeausdehnung.....	124
2.3	Schubbeanspruchung und HOOKESches Gesetz	125
2.3.1	Spannungen infolge Schublast.....	125
2.3.2	Verformung infolge Schublast.....	125
2.4	Biegebeanspruchung des Balkens.....	126
2.4.1	Biegespannungsformel	126
2.4.2	Trägheits- und Widerstandsmomente für einfache Querschnittsformen	129
2.4.3	Satz von STEINER.....	131
2.4.4	Die Normalspannungen im Balken infolge Querkraftbiegung	134

2.5	Schub infolge Querkraft beim Biegeträger.....	136
2.5.1	Zur Berechnung der Schubspannungen	136
2.5.2	Berechnung der Schubspannungen für spezielle Trägerformen	138
2.5.3	Schubspannungen im geschweißten, geklebten und genieteten Träger	140
2.5.4	Schubmittelpunkt.....	142
2.6	Die elastische Linie des Biegeträgers (Biegelinie).....	143
2.6.1	Die Differentialgleichung der Biegelinie.....	143
2.6.2	Beispiel: Der eingespannte Balken.....	146
2.6.3	Beispiel: Träger auf zwei Stützen.....	146
2.6.4	Anwendung auf statisch unbestimmte Systeme.....	148
2.6.5	MOHRsche Analogie; eine praktische, rechnerisch-zeichnerische Methode zur Ermittlung der Biegelinie	149
2.6.6	Wahre Auflager und Ersatzlager sind identisch.....	150
2.6.7	Schlusslinie als geneigte Gerade.....	152
2.6.8	Ein Zahlenbeispiel	153
2.6.9	Zusammenfassung: Auffinden der Biegelinie mit Hilfe der MOHRschen Analogie	154
2.6.10	Ermittlung von Verformungen mithilfe des Superpositionsprinzips.....	156
2.6.11	Schiefe Biegung (Begriff der Hauptträgheitsachsen)	156
2.7	Axiale Verdrehung/Torsion	163
2.7.1	Schubspannungen am Kreisquerschnitt	163
2.7.2	Polares Trägheitsmoment für Kreisprofile.....	164
2.7.3	Dünnwandige geschlossene Hohlprofile und dünnwandige offene Profile	166
2.7.4	Beliebige offene Profile, dickwandige Hohlprofile	169
2.7.5	Verformung infolge Torsion, Verdrehwinkel	170
	Spezifischer Winkel, Drehfederkonstante	171
	Darstellung des Torsionsmomentes (M_T -Fläche).....	172
2.8	Zusammengesetzte Beanspruchung	173
2.8.1	Einführung.....	173
2.8.2	Normalspannungen aus Normalkräften und Biegung.....	174
2.8.3	Schubspannungen aus Querkraft und Torsion	176
2.8.4	Begriff des Spannungstensors im ebenen Fall	177
2.8.5	Begriff des Spannungstensors im räumlichen Fall	181
2.8.6	Der MOHRsche Kreis	183
2.8.7	Vergleichsspannungen.....	189

2.9	Stabilitätsprobleme	190
2.9.1	Einführung	190
2.9.2	Ein erstes Stabilitätsproblem	190
2.9.3	Zur Phänomenologie von Stabilitätsproblemen	192
2.9.4	Die EULERSche Knickgleichung	192
2.9.4	Die vier EULERSchen Knicktypen	195
3	Dynamik	199
3.1	Punktförmige Massen	199
3.1.1	Kinematik eines einzelnen Massenpunktes	199
	Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung im Eindimensionalen	199
	Beispiele zur eindimensionalen Bewegung	202
	Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung im Raum	208
	Koordinatensysteme	210
3.1.2	Kinetik des Massenpunktes	214
	Die NEWTONSchen Gesetze	214
	Dynamik des freien Massenpunktes	215
	Geführte Bewegungen	217
	Bewegungen unter dem Einfluss von Reibungskräften	221
3.1.3	Der Impulssatz	224
3.1.4	Der Energiesatz der Mechanik	227
3.1.5	Drehimpuls und Momentensatz	232
3.2	Die Dynamik von Massenpunktsystemen	232
3.2.1	Kinematik	232
3.2.2	Kinetik	234
3.2.3	Impuls- und Schwerpunktsatz für Massenpunktsysteme	236
3.2.4	Drehimpulssatz für Massenpunktsysteme	237
3.2.5	Der Energie- und Arbeitssatz für Massenpunktsysteme	241
3.2.6	Eine Anwendung des Impuls- und des Energiesatzes: Zentrische Stöße zwischen kugelförmigen Massen	242
3.2.7	Körper mit zeitveränderlicher Masse	245
3.3	Die Dynamik des starren Körpers	248
3.3.1	Starrkörperkinematik	248
	Freiheitsgrade des starren Körpers	248
	Translation des starren Körpers	249
	Rotation des starren Körpers um eine feste Achse	250

	Allgemeine Bewegung des starren Körpers in der Ebene.....	252
	Zwei Beispiele zur Kinematik des starren Körpers	255
	Der Momentanpol.....	258
3.3.2	Starrkörperkinetik.....	259
	Einleitende Bemerkungen.....	259
	Rotation eines starren Körpers um eine feste Achse.....	259
	Ein Beispiel zur Aufstellung der Bewegungsgleichung von um eine feste Achse rotierenden Körpern.....	263
	Energie- und Arbeitssatz bei Rotation um eine feste Achse	264
	Weitere Beispiele zur Bewegung starrer Körper: Reibungsbremse und Walze	265
	Analogie zwischen der geradlinigen Bewegung eines Massenpunktes und der Starrkörperrotation um eine feste Achse	268
	Kinetik von ebenen starren Körpern (Scheiben).....	269
	Beispiel I zur Starrkörperbewegung von Scheiben.....	271
	Beispiel II zur Starrkörperbewegung von Scheiben: Die ATWOODSche Fallmaschine.....	274
	Beispiel III zur Starrkörperbewegung von Scheiben: Das Jojo	275
	Beispiel IV zur Starrkörperbewegung von Scheiben.....	275
	Impuls-, Arbeits- und Energiesatz bei der Bewegung starrer Körper in der Ebene.....	278
	Ein Beispiel zum Energiesatz ebener starrer Körper	280
3.4	Schwingungen.....	282
3.4.1	Grundbegriffe der Schwingungslehre	282
3.4.2	Freie, ungedämpfte Schwingungen mit einem Freiheitsgrad.....	285
	Bewegungsgleichungen und ihre Lösung	285
	Alternativen und ergänzende Betrachtungen mithilfe des Energiesatzes	287
	Beispiele für die freie ungedämpfte Schwingung mit einem Freiheitsgrad	289
	Federkonstanten	290
3.4.3	Freie, gedämpfte Schwingungen mit einem Freiheitsgrad.....	294
	COULOMB-Reibung.....	294
	Geschwindigkeitsproportionale Reibung: Der lineare Dämpfer (Dashpot)	295
	Ein komplizierteres Beispiel für eine Schwingung mit Dämpfung	300
3.4.4	Angefachte Schwingungen	301
	Angefachte Schwingungen ohne Dämpfung	301

	Angefachte Schwingungen mit geschwindigkeitsproportionaler Dämpfung	304
3.4.5	Schwingungen mit endlich vielen Freiheitsgraden	308
	Motivation und Erinnerung.....	308
	Bewegungsgleichung der freien, ungedämpften Schwingung mit zwei Freiheitsgraden.....	309
	Erzwungene Schwingung mit zwei Freiheitsgraden.....	314
4	Kontinuumsmechanik.....	317
4.1	Bilanzgleichungen der Masse.....	317
4.1.1	Bilanzgleichung der Masse in globaler Form	317
4.1.2	Massendichte und Umschreibung der globalen Massenbilanz	318
4.1.3	LEIBNIZsche Regel zur Differentiation von Parameterintegralen und REYNOLDSSches Transporttheorem.....	320
4.1.4	Lokale Massenbilanz in regulären Punkten	324
4.1.5	Alternativschreibweisen der Massenbilanz in regulären Punkten; Endziel des Mechanikers	326
4.2	Bilanzgleichungen des Impulses	328
4.2.1	Bilanzgleichung des Impulses in globaler Form.....	328
4.2.2	Das CAUCHYSche Tetraederargument.....	331
4.2.3	Bilanzgleichung des Impulses in lokaler Form.....	332
4.2.4	Eine Bemerkung zum REYNOLDSSchen Transporttheorem	334
4.3	Einfache Materialgleichungen	336
4.3.1	Das reibungsfreie Fluid.....	336
4.3.2	Das NAVIER-STOKES-Fluid.....	337
4.3.3	Der linear-elastische HOOKESche Körper	337
4.4	Bilanzgleichungen des Drehimpulses	342
4.4.1	Die lokale Bilanz des Drehimpulses	342
4.4.2	Die globale Bilanz des Drehimpulses	344
4.5	Einführung in die lineare Elastizitätstheorie.....	345
4.5.1	Der eindimensionale Zugstab neu gesehen.....	345
4.5.2	Die LAMÉ-NAVIERschen Gleichungen.....	347
4.5.3	Der axial schwingende Zugstab.....	352
4.5.4	Die Schwingungsgleichung der Geigensaite	353
4.5.5	Die Schwingungsgleichung einer Membran.....	357
4.5.6	Lösungsmethoden für Wellengleichungen	360
	Das Charakteristikenverfahren nach D'ALEMBERT.....	360

	Das Separationsverfahren nach BERNOULLI	363
	Zur Äquivalenz der Lösungsverfahren nach D'ALEMBERT und BERNOULLI.....	368
4.6	Einführung in die Hydromechanik	371
4.6.1	Massenbilanz bei der Rohrströmung	371
4.6.2	Der hydrostatische Druck	374
4.6.3	Die BERNOULLISCHE Gleichung	375
4.6.4	Der Auftrieb nach ARCHIMEDES	376
5	Energiemethoden	379
5.1	Energiebilanzen.....	379
5.1.1	Lokale und globale Bilanz der kinetischen Energie.....	379
5.1.2	Zum Begriff der inneren Energie.....	381
5.1.3	Gesamtbilanz der Energie oder Energieerhaltungssatz.....	381
5.1.4	Bilanz der inneren Energie	384
5.1.5	Energiebilanz bei der Rohrströmung	386
5.2	Entropiebilanz und zweiter Hauptsatz.....	387
5.2.1	Globale und lokale Entropiebilanz	387
5.2.2	Die GIBBSSCHE Gleichung.....	389
5.2.3	Eine Anwendung der GIBBSSCHEN Gleichung: Gummielastizität vs. HOOKESCHES Gesetz.....	391
5.3	Die Sätze von Castigliano, Betti und Maxwell.....	398
5.3.1	Potentialcharakter von Formänderungsenergie, komplementärer Formänderungsenergie, freier Energie und freier Enthalpie.....	398
5.3.2	Formänderungsenergiegedichte linear-elastischer Körper	402
5.3.3	Komplementäre Formänderungsenergiegedichte linear-elastischer Körper.....	405
5.3.4	Formänderungsenergiegedichten für Balken.....	406
5.3.5	Formänderungsenergie in der Elastostatik.....	408
5.3.6	Die Sätze von MAXWELL und BETTI	409
5.3.7	Anwendung der Sätze von BETTI und MAXWELL auf statisch bestimmte und unbestimmte Systeme	413
5.3.8	Die Sätze von CASTIGLIANO für diskret belastete Systeme	416
5.3.9	Eine Anwendung der Sätze von CASTIGLIANO auf ein statisch bestimmtes System	418
5.4	Energiefunktionale und ihre Extrema	418
5.4.1	Eine erste Motivation zur Minimierung von Energieausdrücken	418
5.4.2	Hinführung zur Variationsrechnung	421

5.4.3	Die EULERSche Variationsgleichung	422
5.5	Das Prinzip der virtuellen Verschiebungen (PdvV).....	426
5.5.1	Das PdvV in der elementaren Technischen Mechanik	426
5.5.2	Das PdvV in der höheren Technischen Mechanik	429
5.5.3	Das PdvV vom Standpunkt der Variationsrechnung	431
5.5.4	Das PdvV – Statik starrer Systeme	434
5.5.5	Beispiele zum PdvV in der Statik starrer Systeme	435
	Berechnung von Kräften und Momenten.....	435
	Berechnung von stabilen Lagen.....	437
	Das Prinzip von TORRICELLI	438
	Der GERBERträger.....	439
5.5.6	Das PdvV – Statik deformierbarer Systeme	440
5.5.7	Ein Beispiel zum PdvV in der Statik deformierbarer Systeme	441
5.5.8	PdvV – Allgemeine Belastungsfälle für HOOKESche Balken	443
5.5.9	PdvV – Die Näherungsmethoden von RITZ und GALERKIN	447
5.6	Das Prinzip der virtuellen Kräfte (PdvK).....	452
5.6.1	Formulierung des PdvK im Rahmen der elementaren und höheren Technischen Mechanik	452
5.6.2	Das PdvK vom Standpunkt der Variationsrechnung	455
5.6.3	Beispiele zum PdvK	457
	Verschiebungen in einem statisch bestimmten System	457
	Lagerreaktionen in einem statisch unbestimmten System	458
5.6.4	Eine rezeptmäßige Auswertung des PdvK: Das 1-Kraft-Konzept.....	459
5.7	Dynamische Energieprinzipie	463
5.7.1	Das D’ALEMBERTSche Prinzip in LAGRANGEScher Fassung.....	463
5.7.2	Ableitung der Bewegungsgleichung des starren Körpers mithilfe des D’ALEMBERTSchen Prinzips in LAGRANGEScher Fassung	465
5.7.3	Ein Beispiel zum D’ALEMBERTSchen Prinzip in LAGRANGEScher Fassung.....	474
5.7.4	Das HAMILTONSche Prinzip und die LAGRANGEFunktion.....	476
5.7.5	Generalisierte Koordinaten	478
5.7.6	Die EULER-LAGRANGESchen-Bewegungsgleichungen	479
5.7.7	Beispiel I zu den EULER-LAGRANGESchen Bewegungsgleichungen: Geführte Punktmasse	481
5.7.8	Beispiel II zu den EULER-LAGRANGESchen Bewegungsgleichungen: Massenpunktsystem mit zwei generalisierten Koordinaten.....	482
5.7.9	Beispiel III zu den EULER-LAGRANGESCHEN Bewegungsgleichungen: Mehrere Punktmassen im Verbund.....	484

5.7.10 Beispiel IV zu den EULER-LAGRANGESchen Bewegungsgleichungen: Punktmassen und starrer Körper im Verbund.....	486
5.7.11 Beispiel V zu den EULER-LAGRANGESchen Bewegungsgleichungen: Konservative Starrkörperbewegung	487
5.7.12 Beispiel VI zu den EULER-LAGRANGESchen Bewegungsgleichungen: Ein nicht konservatives System	488
5.7.13 Die LAGRANGESchen Bewegungsgleichungen 1. Art	490
5.7.14 Beispiel I zu den LAGRANGESchen Bewegungsgleichungen 1. Art.....	492
5.7.15 Beispiel II zu den LAGRANGESchen Bewegungsgleichungen 1. Art.....	496
5.7.16 Klassifizierung kinematischer Bedingungen	497
5.7.17 Beispiele zu holonom-rheonomen Nebenbedingungen	500
5.7.18 Die HAMILTONSchen Bewegungsgleichungen.....	501
5.7.19 Beispiel I zu den HAMILTONSchen Gleichungen: Wurf im Schwerfeld der Erde	506
5.7.20 Beispiel II zu den HAMILTONSchen Gleichungen: Der 1-D-Massenschwinger	507
Stichwort- und Namensregister.....	509
Hinweise zur beigefügten CD-ROM	522