

Höhere Technische Mechanik

Nach Vorlesungen

István Szabó

6. Auflage

Mit 446 Abbildungen



Springer

Inhaltsverzeichnis.

I. Die Prinzipien der Mechanik.

§ 1. Das Prinzip der virtuellen Arbeiten als allgemeines Grundgesetz der Statik.	2
1. Einleitende Bemerkungen und der Begriff der virtuellen Verrückung	2
2. Das Prinzip der virtuellen Verrückungen für ein Körpersystem	3
3. Beispiele und Anwendungen.	6
a) Die doppelschiefe Ebene.	6
b) Klappbrücke.	7
c) Zugbrücke.	7
d) Das Torricellische Prinzip.	8
4. Die Arten des Gleichgewichtes (stabiles und labiles Gleichgewicht)	9
§ 2. Anwendungen des Prinzips der virtuellen Arbeiten auf die Elastizitätstheorie (Energimethoden der Elastizitätslehre).	12
1. Das elastische Fachwerk.	12
2. Das Prinzip der virtuellen Verrückungen für linear elastische Systeme	14
3. Elastische Systeme aus Hookeschem Material.	17
4. Das Prinzip der virtuellen Kräfte.	19
5. Die Formänderungsarbeit für spezielle Belastungen eines geraden Stabes.	21
a) Reiner Zug bzw. Druck.	21
b) Reine Biegebeanspruchung.	22
c) Durch Querkräfte hervorgerufener Schubspannungszustand	23
d) Durch Torsion hervorgerufener Schubspannungszustand	24
6. Die Sätze von CASTIGLIANO.	26
a) Ihre Herleitung	26
b) Beispiele.	27
α) Kragbalken mit Momentenbelastung	27
β) Gelenkig gelagerter Balken mit Einzellast	28
c) Eine Bemerkung.	28
d) Anwendung des ersten Castiglianoschen Satzes zur Bestimmung von Reaktions- und Schnittlasten bei statisch unbestimmten Systemen	29
7. Das Ritzsche Verfahren.	30
Übungen zu § 1 und § 2.	37
§ 3. Das Prinzip von D'ALEMBERT.	53
1. Einleitende Bemerkungen. Das Problem des Schwingungsmittelpunktes und seine Lösung durch HUYGENS.	53
2. JAKOB BERNOTTIXIS Problem	54
3. Das Prinzip von D'ALEMBERT.	55
4. Beispiele.	58
a) Drehung eines starren Körpers um eine feste Achse.	58
b) Förderkorb.	58
c) Abrollen auf der schiefen Ebene.	58
d) Bewegung auf der Doppelschiefebene.	59

§ 4. Das Hamiltonsche Prinzip	59
1. Einleitende Bemerkungen.	59
2. Die Lagrangesche Zentralgleichung.	59
3. Das Hamiltonsche Prinzip.	60
4. Die Prinzipien von MATJERTUIS, GAUSS und HERTZ.	61
§ 5. Schwingungen von Saiten (Seilen), Membranen und Stäben	62
1. Die Bewegungsgleichung einer Saite.	62
2. Allgemeine Bewegungsgleichungen eines dehnbaren Fadens	69
3. Die Bewegung einer Membran.	71
a) Die rechteckige Membran.	73
b) Die kreisförmige Membran.	74
4. Stabschwingungen.	76
a) Longitudinalschwingungen.	76
b) Torsionsschwingungen.	78
c) Transversalschwingungen von Stäben.	78
d) Erzwungene Transversalschwingungen von Stäben.	82
5. Näherungsweise Ermittlung der ersten Eigenkreisfrequenz von Saiten, Membranen und Stäben nach RAYLEIGH.	83
a) Schwingende Saite.	84
b) Durch Einzelmasse belastete Saite.	84
c) Transversal schwingender Stab mit Einzelmasse.	85
d) Kreisförmige Membran.	86
§ 6. Lagrangesche Bewegungsgleichungen	86
1. Vorbereitende Bemerkungen.	86
2. Die Bewegungsgleichungen.	87
3. Ein Beispiel: Das Doppelpendel.	89
§ 7. Die räumliche (Dreh-)Bewegung eines starren Körpers	90
1. Bewegung eines starren Körpers um einen raumfesten Punkt. Die Eulerschen Gleichungen.	91
2. Die kinetische Energie. Das Trägheitsellipsoid.	93
3. Die kräftefreie Bewegung. Der Kreisel.	94
a) Der Körper dreht sich mit konstanter Winkelgeschwindigkeit um eine Hauptträgheitsachse.	95
b) Der Kreisel.	96
4. Das Moment der Kreiselwirkung. Der viationswiderst and	97
5. Der schwere Kreisel. Die Eulerschen Winkel.	99
§ 8. Variationsrechnung mit Anwendungen auf die Mechanik	101
1. Einleitende und historische Bemerkungen.	101
2. Die Eulersche Differentialgleichung.	103
3. Beispiele.	106
a) Die Brachistochrone.	106
b) Rotationskörper kleinster Oberfläche.	107
c) Die Form eines homogenen schweren Seiles.	107
d) Das Prinzip von FERMAT.	108
e) Variationsproblem und Laplacesche Potentialgleichung.	108
4. Variationsproblem und Differentialgleichung	108
5. Eigenwertbestimmung nach dem Ritzschen Verfahren. Der Rayleigh- sche Quotient	110
a) Die Differentialgleichung zweiter Ordnung.	110
b) Die Differentialgleichung vierter Ordnung.	115
Übungen zu § 3 bis § 8.	117

II. Ausgewählte Probleme der höheren Elastizitätstheorie.

§9. Der allgemeine Spannungs- und Deformationszustand der linearen Elastizitätstheorie	142
1. Spannungen und Gleichgewichtsbedingungen	L42
2. Die Deformationsgleichungen	145
3. Die Differentialgleichungen für die Verschiebungen und Spannungen	146
§10. Der ebene Spannungszustand	148
1. Einleitende Bemerkungen	148
2. Der Mohrsche Spannungskreis	149
3. Die Verträglichkeitsbedingung und die Differentialgleichungen für die Spannungen	152
4. Die Airysche Spannungsfunktion	153
5. Beispiele von Airyschen Spannungsfunktionen	154
6. Ebener Spannungszustand in Polarkoordinaten	157
a) Bohrung in einer Vollscheibe mit Radialdruck	159
b) Reine Biegung eines kreisbogenförmigen Balkens	159
§11. Der rotationssymmetrische Spannungszustand	161
1. Gleichgewichtsbedingungen und Deformationsgleichungen	161
2. Spezialfälle an Kreiszyllindern und Kreisrohren	162
ä) Mittlerer Bereich eines sehr langen Rohres bzw. Zylinders	162
a) Der ebene Deformationszustand	164
β) Der Fall freier Zylinderenden	164
γ) Der Fall belasteter Zylinderenden	165
b) Der ebene Spannungszustand	165
c) Beispiele	166
a) Kreiszyllindrisches Rohr mit innerer und äußerer Belastung	166
β) Rotierender Vollkreiszyllinder	167
3. Die Differentialgleichungen für die Verschiebungen im allgemeinen rotationssymmetrischen Fall ohne Massenkräfte	167
4. Der durch eine Einzelkraft belastete elastische Halbraum	169
5. Die Theorie der Härte von HEINRICH HERTZ	171
6. Die Theorie des Stoßes elastischer Körper nach HERTZ	176
§ 12. Theorie der dünnen Platten mit kleiner Durchbiegung. (Kirchhoffsche Plattentheorie).	179
1. Erklärungen	j°
2. Spannungen, Schnittlasten, Gleichgewichtsbedingungen	$J \ll Q$
3. Die Deformationen. Die Plattengleichung	JQJ
4. Die Randbedingungen und Auflagerlasten	IQO
a) Eingespannter Rand	$Ig3$
b) Frei gestützter Rand	$Ig4$
c) Kräftefreier Rand	Igg
5. Einfache Anwendungen der Plattengleichung	$ig\beta$
a) Der Plattenstreifen	186
b) Am Rande eingespannte elliptische Platte unter konstanter Last	$ig\beta$
6. Die freigelagerte rechteckige Platte	187
a) Platte mit gleichmäßiger Vollast	188
b) Belastung durch eine Einzelkraft	188
7. Die Kreisplatte	189
8. Spezielle Belastungs- und Lagerungsfälle von Kreisplatten	192
a) Die eingespannte Platte unter gleichmäßiger Last	192
b) Freigestützte Platte unter gleichmäßiger Last	192
c) Platte mit Einzellast im Mittelpunkt	193

9. Plattenschwingungen.	193
a) Die freigestützte Rechteckplatte.	193
b) Die eingespannte Kreisplatte.	194
c) Bestimmung der ersten Eigenkreisfrequenz nach der Energiemethode	195
§ 13. Einblick in die Schalentheorie	197
1. Erklärungen.	197
2. Membrantheorie rotationssymmetrischer Schalen mit ebensolchen Lasten.	198
3. Beispiele für Membranspannungszustände.	200
a) Die Kugelschale.	200
a) Belastung durch Eigengewicht.	200
β) Konstanter Innendruck.	200
γ) Hydrostatischer Druck.	201
b) Kegelschale.	201
4. Biegebeanspruchung rotationssymmetrischer Schalen.	201
Übungen zu § 9 bis § 13.	204
§ 14. Torsion von Stäben	272
1. Einleitende Bemerkungen.	272
2. Die Theorie von DE SAINT-VENANT.	273
3. Beispiele.	278
a) Der elliptische Stab.	278
b) Der schmale rechteckige Stab.	280
c) Der rechteckige Stab.	282
4. Das Membrangleichnis (Seifenhautmethode) und das hydrodynamische Gleichnis.	289
5. Torsion bei behinderter Querschnittsverwölbung.	292
a) Wölbkrafttorsion eines I-Trägers.	293
b) Der rechteckige Stab.	296
Übungen zu § 14.	302
§ 15. Instabilitätsprobleme	312
1. Einleitende Bemerkungen.	312
2. Die Durchbiegung (Elastika) des geknickten Stabes.	313
a) Lösung durch Iteration.	313
b) Lösung mit Hilfe der Störungsrechnung.	315
3. Knickung im elastischen Bereich (Eulersche Theorie) und im nicht-elastischen Bereich.	317
4. Das Kippen eines auf Biegung beanspruchten Trägers mit schmalem Rechteckquerschnitt.	319
5. Knickung kreisförmiger Ringe und Rohre unter Außendruck	322
a) Die Differentialgleichung der Biegelinie.	322
b) Knickung unter gleichmäßigem Außendruck.	323
a) Knicken eines Ringes von kreisförmigem Querschnitt	325
β) Beulen einer Kreiszyinderschale unter Außendruck.	325
6. Beulung von Platten.	325
7. Die Theorie der Beulung von Schalen.	330
8. Biegedrillknickung von axial gedrückten Stäben.	332
Übungen zu § 15.	339
III. Einblick in die Plastizitätstheorie.	
§ 16. Allgemeine Betrachtungen	363
1. Einführende Bemerkungen über Ziele und Entwicklung der Plastizitätstheorie.	«>ad 366
2. Physikalische Voraussetzungen.	366
3. Der Spannungs- und Deformationszustand.	367
a) Der Spannungszustand.	367
b) Der Deformationszustand.	369

4. Fließbedingungen und Verfestigungsgesetze. Bruchhypothesen.	371
5. Die Spannungs-Deformations-Beziehungen.	374
a) Elastisches Material.	374
b) Die Gesetze von NEWTON, KELVIN und MAXWELL.	374
c) Das Gesetz von HENCKY.	375
d) Das differentielle Spannungs-Deformations-Gesetz nach DE ST.- VENANT, LEVY-V. MISES und PRANDTL-REUSS.	376
e) Finites oder differentielles Gesetz ?.	377
6. Die Deformationsenergie.	378
7. Die Lösungen von Problemen der Plastizitätstheorie.	379
17. Anwendungen.	380
1. Theorie der plastischen Balkenbiegung.	380
2. Beispiele und Ergänzungen zur Balkentheorie.	383
a) Durchführung der Lösung für idealplastisches Material und recht- eckigen Querschnitt.	383
b) Beispiele.	384
a) Gleichmäßig belasteter frei aufliegender Balken.	384
β) Durch Einzellast belasteter Kragträger.	385
c) Die Berechnung der Durchbiegung.	386
d) Die Schubspannungen.	387
3. Plastische Torsion.	387
4. Das achsensymmetrische Problem.	394
5. Knickung von Stäben nach Überschreiten der Proportionalitätsgrenze a) Die Knicktheorie nach ENGESSER-V. KARMAN.	401
b) Die Knicktheorie nach SHANLEY.	404
6. Das Problem des ebenen plastischen Fließens und die Theorie der Gleitlinien.	405
7. Der Walzvorgang als Beispiel für ein technologisches Formgebungs- verfahren.	410
Übungen zu § 16 und § 17.	412
IV. Theorie der Flüssigkeiten und Gase.	
18. Ideale Flüssigkeiten.	429
1. Die Eulerschen Grundgleichungen.	430
2. Die Kontinuitäts- und Zustandsgleichung.	431
3. Erhaltung der Masse, Impuls- und Energiesatz.	433
19. Dynamik inkompressibler idealer Flüssigkeiten.	434
1. Die allgemeinen Gleichungen und grundsätzliche Bemerkungen	434
2. Die Helmholtzschen Wirbelsätze.	437
3. Potentialströmungen.	438
4. Ebene stationäre Potentialströmung.	441
5. Beispiele ebener Potentialströmungen.	444
a) Parallelströmung.	444
b) Quelllinienströmung.	444
c) Wirbellinienströmung.	445
d) Quell- und Senkenströmung. Doppelquelle (Dipol).	445
6. Strömung um einen Kreis.	447
a) Ausweichströmung.	447
b) Parallelströmung mit Zirkulation.	448
7. Methode der konformen Abbildung.	449
8. Beispiele zur Methode der konformen Abbildung.	451
a) Abbildung des Kreises in ein Kreiszweieck.	451
b) Die Strömung um eine Platte.	452
9. Die Bedingung von KUTTA, JouKOWaxi-Profile.	453
10. Ebene Oberflächenwellen.	454

§20. Bewegung zäher Flüssigkeiten	456
1. Die Bewegungsgleichungen von NAVIER-STOKES.	456
2. Die Stokessche Widerstandsformel für die Kugel.	460
3. Flüssigkeiten geringer Zähigkeit. Die Grenzschicht von PRANDTL	462
a) Grundsätzliche Bemerkungen.	462
b) Strömung um eine dünne Platte.	463
c) Ablösung der laminaren Grenzschicht und Wirbelbildung	465
d) Bemerkungen zur Tragflügeltheorie.	467
§21. Einblick in die Dynamik idealer Gase.	469
1. Die Grundgleichungen der Gasdynamik.	469
2. Die thermodynamischen Grundgesetze.	470
3. Ausbreitung kleiner Störungen. Die Schallgeschwindigkeit	472
4. Die Machsche Zahl.	474
5. Verdichtungsstoß oder Stoßwelle.	475
6. Stationäre und wirbelfreie Strömung.	477
7. Stationäre Stromfadentheorie.	479
§22. Potentialtheoretische Behandlung gasdynamischer Probleme	483
1. Die Differentialgleichung des Geschwindigkeitspotentials einer wirbel- freien und stationären Strömung	483
2. Ebene und parallele Anströmung eines schlanken Profils.	485
3. Strömung um schlanke Rotationskörper.	488
4. Rotationskörper kleinsten Widerstandes.	491
§ 23. Gasströmungen mit Unstetigkeitsflächen (Verdichtungs- stöße).	496
1. Die allgemeinen Stoßgleichungen.	496
2. Der eindimensionale stationäre Verdichtungsstoß	501
3. Der eindimensionale instationäre Verdichtungsstoß	501
4. Weitere Bemerkungen zur Theorie des Verdichtungsstoßes	502
Übungen zu § 18 bis § 23.	504
Anhang. Vermischte Übungsaufgaben.	529
Namen- und Sachverzeichnis	536