

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Kinematik</b>		<b>1.7.</b>	<b>Aufgaben A 1.1. bis A 1.8 und Lösungen</b>	<b>51</b>
1.1.	Punktkinematik . . . . .	13	<b>2.</b>	<b>Statik. Kräfte. Kraftdichte. Spannungen, Kräftegruppen. Hydrostatik</b>	
1.1.1.	Beispiel: Die Wurfparabel im homogenen Schwerfeld . . . . .	16	2.1.	Kräfte, Kraftdichte, Spannun- gen, Gleichgewicht . . . . .	57
1.1.2.	Beispiel: Punktbevewegung auf Führungsbahnen . . . . .	17	2.1.1.	Mittlere Normalspannung und deviatorische Spannungen . . . . .	67
1.1.3.	Das begleitende Dreiein der Bahnkurve . . . . .	18	2.2.	Kräftegruppen . . . . .	69
1.2.	Kinematik des starren Körpers	19	2.2.1.	Die ebene Kräftegruppe. Rechnerische und graphische Reduktion, Gleichgewichts- bedingungen . . . . .	73
1.2.1.	Sonderfälle der Kinematik des starren Körpers . . . . .	22	2.2.2.	Zur Symmetrie des Spannungstensors . . . . .	76
1.3.	Kinematik des verformbaren Körpers . . . . .	25	2.2.3.	Die parallele Kräftegruppe. Kräftemittelpunkt, Schwer- punkt, Statische Momente . . . . .	76
1.3.1.	Dehnung und Gleitung . . . . .	28	2.3.	Hydrostatik . . . . .	80
1.3.2.	Dilatation und deviatorische Verzerrungen . . . . .	30	2.3.1.	«Schwere» Flüssigkeit . . . . .	81
1.3.3.	Stromlinien und Stromröhre. Lokale und konvektive Be- schleunigung . . . . .	31	2.3.2.	«Gepreßte» Flüssigkeit . . . . .	83
1.3.4.	Kinematische Rand- bedingungen . . . . .	35	2.3.3.	Das Druckfeld schwerer Flüssigkeiten auf Behälter- wände . . . . .	86
1.4.	Ergänzungen und Beispiele zur Punkt- und Starrkörper- kinematik . . . . .	36	2.3.4.	Der hydrostatische Auftrieb . . . . .	91
1.4.1.	Der Geschwindigkeitsplan bei ebener Bewegung . . . . .	36	2.4.	Flächenträgheitsmomente und ihre Transformationseigen- schaften . . . . .	95
1.4.2.	Zur Kinematik des Planeten- getriebes . . . . .	37	2.5.	Statik der Linientragwerke . . . . .	98
1.4.3.	Das Kardangelenk . . . . .	38	2.5.1.	Zur Stabstatik . . . . .	99
1.4.4.	Die Zentralbewegung, Polar- koordinaten . . . . .	39	2.5.2.	Fachwerke . . . . .	121
1.5.	Ergänzungen und Beispiele zur Verformungskinematik . . . . .	41	2.5.3.	Seile . . . . .	126
1.5.1.	Die einachsige homogene Deformation . . . . .	41	2.6.	Aufgaben A 2.1 bis A 2.15 und Lösungen . . . . .	129
1.5.2.	Die natürlichen Koordinaten der Stromlinie . . . . .	42	<b>3.</b>	<b>Arbeit. Leistung. Potentielle Energie</b>	
1.5.3.	Zum Verzerrungstensor. Der ebene Verzerrungszustand . . . . .	43	3.1.	Arbeit, Leistung einer Einzel- kraft und eines Kräftepaares	143
1.6.	Satz von der Erhaltung der Masse. Kontinuitätsgleichung	46	3.1.1.	Beispiel: Zur Arbeitsleistung von Einzelkräften . . . . .	144
1.6.1.	Stationäre Strömung durch ein konisches Rohr, <i>Eulersche</i> und <i>Lagrangesche</i> Darstellung . . . . .	50			

3.1.2.	Beispiel: Zur Arbeitsleistung eines Kräftepaars . . . . .	145	5.5.	Aufgaben A 5.1 bis A 5.3 und Lösungen . . . . .	211
3.2.	Leistungsdichte, Stationäres und drehungsfreies Kraftfeld. Potentielle Energie . . . . .	145	6.	<b>Ausgewählte Kapitel der Elastostatik</b>	
3.3.	Potential der äußeren Kräfte	147	6.1.	Kontinuumstheorie der linearisierten Elastostatik . .	215
3.3.1.	Homogenes paralleles Schwerfeld. Gewichtspotential . . . . .	147	6.1.1.	Thermoelastische Verschiebungen . . . . .	218
3.3.2.	Kugelsymmetrisches Potentialkraftfeld . . . . .	148	6.1.2.	Das Prinzip von <i>de Saint Venant</i> . . . . .	223
3.4.	Potential der inneren Kräfte	149	6.1.3.	Anstrengungshypothesen . .	223
3.4.1.	Das elastische Potential (Federpotential) des <i>Hooke</i> -schen Körpers . . . . .	151	6.2.	Der gerade Stab . . . . .	225
3.4.2.	Die barotrope Flüssigkeit . .	154	6.2.1.	Schubspannungen und Schubdeformationen zufolge Querkraft . . . . .	227
3.5.	Die <i>Lagrangesche</i> Darstellung der Formänderungsarbeit. <i>Kirchhoffscher</i> Spannungstensor . . . . .	154	6.2.2.	Ermittlung der Biegelinie mit Hilfe der «Momentenbelastung» . . . . .	232
3.6.	Aufgabe A 3.1 und Lösung . .	156	6.2.3.	Wärmespannungen . . . . .	237
4.	<b>Materialgleichungen</b>		6.2.4.	Torsion . . . . .	240
4.1.	Der elastische Körper. Das <i>Hooke</i> sche Gesetz . . . . .	158	6.3.	Durchlaufträger und Rahmen	259
4.1.1.	Der linear elastische Körper. <i>Hooke</i> sches Gesetz . . . . .	158	6.3.1.	Der ebene Stockwerksrahmen	263
4.1.2.	Eine Bemerkung zur Anisotropie . . . . .	166	6.4.	Eben gekrümmte Stäbe . . .	264
4.1.3.	Eine Bemerkung zur Nichtlinearität . . . . .	167	6.4.1.	Schwach gekrümmte Stäbe .	268
4.2.	Der viskoelastische Körper . .	170	6.5.	Scheiben . . . . .	271
4.2.1.	<i>Newton</i> sche Flüssigkeit . . .	170	6.5.1.	Wärmespannungen . . . . .	278
4.2.2.	Lineare Viskoelastizität . . .	173	6.6.	Platten . . . . .	279
4.2.3.	Ein nichtlineares viskoelastisches Materialgesetz . .	178	6.6.1.	Wärmespannungen . . . . .	283
4.3.	Der zähplastische Körper . .	180	6.7.	Rotationsschalen . . . . .	285
4.3.1.	Der starr-plastische Körper . .	181	6.7.1.	Wärmespannungen . . . . .	291
4.3.2.	Der ideal elastisch-plastische Körper . . . . .	183	6.8.	Kontaktprobleme ( <i>Hertz</i> sche Pressung) . . . . .	292
4.3.3.	Der visko-plastische Körper . .	186	6.9.	Spannungsfreie Temperaturfelder. Das <i>Fouriersche</i> Wärmeleitgesetz . . . . .	296
4.4.	Aufgabe A 4.1 und Lösung . .	187	6.10.	Zur elastisch-viskoelastischen Analogie . . . . .	297
5.	<b>Prinzip der virtuellen Arbeit</b>		6.11.	Aufgaben A 6.1 bis A 6.21 und Lösungen . . . . .	300
5.1.	Beispiel: Der Dreigelenkbogen	191	7.	<b>Dynamik fester und flüssiger Körper. Impulssatz (Schwerpunktsatz) und Drallsatz (Drehimpuls- oder Impulsmomentensatz) für materielle Volumina und Kontrollvolumina</b>	
5.2.	Einflußlinien statisch bestimmter Tragsysteme . . .	193	7.1.	Impulssatz . . . . .	319
5.3.	Konservative Systeme . . . .	195	7.2.	Drallsatz (Drehimpuls- bzw. Impulsmomentensatz) . . . .	322
5.4.	Prinzip der virtuellen komplementären Arbeit . . .	201	7.3.	Anwendungen auf (durchströmte) Kontrollvolumina . .	325
5.4.1.	Der Satz von <i>Castigliano</i> und <i>Menabrea</i> . . . . .	202			
5.4.2.	Die <i>Betti</i> sche Methode . . . .	208			
5.4.3.	Die Transformation der Prinzipie am Beispiel des <i>Bernoulli-Euler</i> -Balkens . . .	210			

7.4.	Anwendungen auf starre Körper . . . . .	331	8.6.	Eine Bemerkung zum ersten Hauptsatz der Thermodynamik (Energiesatz) . . .	392
7.4.1.	Rollendes Rad (bei Vernachlässigung der «Rollreibung») . . .	333	8.7.	Aufgaben A 8.1 bis A 8.5 und Lösungen . . . . .	393
7.4.2.	Seiltrieb . . . . .	334	9.	<b>Stabilitätsprobleme</b>	
7.4.3.	Dynamik der Kollermühle . . .	335	9.1.	Stabilität einer Gleichgewichtslage . . . . .	398
7.4.4.	Drehkran mit Ausleger . . .	336	9.1.1.	Beispiel: Das Balanceproblem starrer Zylinder . . .	402
7.4.5.	Auswuchten von Rotoren . . .	337	9.1.2.	Beispiel: Ein Ausweichproblem (Knicken) . . . . .	404
7.4.6.	Der Kreiselkompaß . . . . .	337	9.1.3.	Beispiel: Zur Stabilität eines flachen Dreigelenkbogens . . .	407
7.4.7.	Der lineare Schwinger . . . . .	338	9.1.4.	Beispiel: Knickung des elastischen Stabes ( <i>Eulerstab</i> )	409
7.4.8.	Nichtlineare Schwinger . . .	347	9.1.5.	Die Plattenbeulung . . . . .	414
7.4.9.	Lineare Schwingerketten . . .	354	9.2.	Stabilität der Grundbewegung. Beispiel: Fliehkraftregler . . .	415
7.5.	Biegeschwingungen eines elastischen Balkens . . . . .	358	9.2.1.	Beispiel: Stabilität des dreiachsigen momentenfreien Kreisels . . . . .	418
7.6.	Schallwellen im linear elastischen Körper . . . . .	361	9.3.	Stabilitätsgrenze einer Gleichgewichtslage bei elasto-plastischem Materialverhalten: Die Traglast . . .	419
7.7.	Aufgaben A 7.1 bis A 7.12 und Lösungen . . . . .	362	9.3.1.	Beispiel: Die Traglast eines einfachen Rahmens . . . . .	424
8.	<b>Erstintegrale des dynamischen Grundgesetzes. Arbeits- und Energiesatz der Mechanik</b>		9.4.	Zur Stabilität der Grundbewegung bei elasto-plastischem Materialverhalten: Die <i>Melanschen</i> Einspielsätze . . .	426
8.1.	Arbeitssatz . . . . .	374	9.5.	Zur Stabilität der Kanalströmung mit Gefälle. Schießen und Strömen . . .	428
8.2.	Energiesatz der Mechanik . . .	375	9.6.	Zur Flatterinstabilität . . . . .	431
8.3.	Die kinetische Energie des starren Körpers . . . . .	376	9.7.	Aufgaben A 9.1 bis A 9.7 und Lösungen . . . . .	433
8.4.	Einige Anwendungen auf Systeme mit einem Freiheitsgrad . . . . .	377	10.	<b>Die Lagrangeschen Bewegungsgleichungen</b>	
8.4.1.	Stoß auf einen linearen Schwinger . . . . .	377	10.1.	Freie Schwingungen eines elastisch gelagerten Fundamentes . . . . .	440
8.4.2.	Zur Grundschwingung eines linear elastischen Balkens . . .	378	10.2.	Pendel mit beweglichem Aufhängepunkt . . . . .	443
8.4.3.	Beschleunigung eines Motorfahrzeuges . . . . .	379	10.3.	Ein Dreimassenschwinger mit Saite . . . . .	446
8.4.4.	Umkehrlagen eines Reibungsschwingers . . . . .	379	10.4.	Ein Zweimassenschwinger mit Balken . . . . .	447
8.5.	Die <i>Bernoulli</i> -Gleichung der Hydromechanik . . . . .	380	10.5.	«Rahmensystem» mit Dämpfung . . . . .	449
8.5.1.	<i>Torricellische</i> Ausflußformel . . .	384			
8.5.2.	Umströmung eines ruhenden starren Körpers . . . . .	385			
8.5.3.	Wandströmung . . . . .	385			
8.5.4.	Standrohrdruckmessung an einer Rohrleitung . . . . .	386			
8.5.5.	<i>Prandtl</i> rohr und Staurohr . . . . .	386			
8.5.6.	Flüssigkeitsschwingung in einem U-Rohr . . . . .	388			
8.5.7.	Druckanstieg bei Rohrweiterung . . . . .	390			
8.5.8.	<i>Bernoulli</i> -Gleichung in rotierenden Bezugssystemen . . .	390			

10.6.	Der Unwuchterreger . . . . .	450	12.2.2.	Querstoß auf einen verformbaren (elastischen) Balken . . .	498
10.7.	Aufgaben A 10.1 bis A 10.3 und Lösungen . . . . .	452	12.3.	Vollkommen elastischer und unelastischer Stoß . . . . .	499
11.	<b>Einige Näherungsverfahren der Dynamik und Statik</b>		12.3.1.	Stoß zweier Punktmassen . . .	500
11.1.	Das <i>Rayleigh-Ritz-Galerkinsche</i> Näherungsverfahren . . . . .	455	12.4.	Das «ballistische» Pendel und der Stoßmittelpunkt . . . . .	502
11.2.	Beispiele: Linearisierte elastische Systeme vom Typ «Schwere Masse» — «Weiche Feder». Ersatzsystem mit einem Freiheitsgrad . . . . .	459	12.5.	Plötzliche Fixierung einer Achse . . . . .	503
11.2.1.	Längsschwingung . . . . .	460	12.6.	Ergänzung zum Längs- und Querstoß auf den elastischen Stab . . . . .	504
11.2.2.	Biegeschwingung . . . . .	461	12.7.	Stoß auf einen elastischen dünnen Stab. Wellenausbreitung . . . . .	505
11.2.3.	Torsionsschwingung . . . . .	462	12.8.	Druckstoß in einer geraden Rohrleitung . . . . .	507
11.2.4.	Stockwerksrahmen . . . . .	463	12.9.	Aufgaben A 12.1 bis A 12.3 und Lösungen . . . . .	511
11.2.5.	Schwere Masse auf dünner elastischer Kreisplatte . . . . .	465	13.	<b>Ergänzungen zur Hydro-mechanik</b>	
11.3.	Beispiele: Elastische Systeme mit «abstrakten» Ersatzsystemen . . . . .	465	13.1.	Zirkulation und Wirbelvektor . . .	514
11.3.1.	Biegeschwingungen eines vorgespannten Balkens . . . . .	465	13.2.	Der hydrodynamische Auftrieb . . . . .	517
11.3.2.	Knicklast eines elastisch gebetteten <i>Eulerstabes</i> . . . . .	467	13.3.	Die <i>Navier-Stokes-Gleichungen</i> . Ähnlichkeitsströmungen . . . . .	521
11.3.3.	Der Drillwiderstand eines elastischen Stabes mit Rechteckquerschnitt . . . . .	468	13.3.1.	Viskose Rohrströmung . . . . .	523
11.4.	Die Methode der finiten Elemente (FEM) . . . . .	469	13.3.2.	Eine laminare Grenzschicht . . .	525
11.4.1.	Ein Balkenelement . . . . .	469	13.4.	Potentialströmungen. Singularitätenmethode . . . . .	527
11.4.2.	Ein Scheibenelement . . . . .	473	13.4.1.	Beispiele . . . . .	528
11.5.	Linearisierung nichtlinearer Bewegungsgleichungen . . . . .	476	13.4.2.	Singularitätenmethode . . . . .	530
11.6.	Numerische Integration einer nichtlinearen Bewegungsgleichung . . . . .	478	13.4.3.	Kräfte in ebener, stationärer Strömung. Formeln von <i>Blasius</i> . . . . .	533
11.7.	Aufgaben A 11.1 bis A 11.10 und Lösungen . . . . .	480	13.4.4.	<i>v.-Kármánsche</i> Wirbelstraße. <i>Strouhalzahl</i> . . . . .	535
12.	<b>Stoßvorgänge</b>		13.4.5.	Die hydrodynamische Druckfunktion an einer bewegten ebenen Behälterwand . . . . .	536
12.1.	Stoßgleichungen . . . . .	493	13.4.6.	Ausströmen eines Gases aus einem Überdruckkessel . . . . .	538
12.1.1.	Beispiel: Stoß auf ein starres Plattenpendel . . . . .	494	13.5.	Aufgaben A 13.1 bis A 13.4 und Lösungen . . . . .	540
12.1.2.	Beispiel: Längsstoß auf einen verformbaren (elastischen) Stab . . . . .	495	Anhang . . . . .		545
12.2.	<i>Lagrangesche</i> Stoßgleichungen . . . . .	496	Literaturhinweise . . . . .		550
12.2.1.	Beispiel: Stoß auf eine Stabkette . . . . .	497	Sachwortverzeichnis . . . . .		555