

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.		v
Kapitel 1	Eigenschaften von Flüssigkeiten und Gasen	1
LE 1.1	Feste Körper, Flüssigkeiten, Gase (Teil 1)	1
	Die klassischen Aggregatzustände 1 • Intermolekulare Kräfte 2 • Feste Körper und Flüssigkeiten 2 • Schmelzen und Erstarren 3	
LE 1.2	Feste Körper, Flüssigkeiten, Gase (Teil 2)	3
	Gase 3 • Verdampfen und Kondensieren 4	
LE 1.3	Fluide	6
	Die Kontinuumshypothese 6 • Die Grenzen der Kontinuumshypothese 7 • Die Schubspannungsfreiheit in der Ruhe 9	
LE 1.4	Extensive und intensive Größen	10
	Kontinuumshypothese und Infinitesimalrechnung 10 • Dichte und spezifisches Volumen 11 • Volumenkräfte und Oberflächenkräfte 11 • Kraftdichte und Spannungsvektor 12 • Extensive und intensive Größen 13	
LE 1.5	Der Druck	14
LE 1.6	Die thermische Zustandsgleichung	17
	Ideale Gase 17 • Flüssigkeiten 17 • Inkompressible Fluide 18	
LE 1.7	Die Zähigkeit	19
	Elastizität und Zähigkeit 19 • Die physikalischen Ursachen der Zähigkeit 20	
LE 1.8	Nicht-newtonsche Fluide	23
	Viskose Fluide 23 • Elastoviskose Fluide 24 • Zusammenstellung der Einteilung von Medien nach ihrem mechanischen Verhalten 26 • Normalspannungseffekte 27	
LE 1.9	Die Grenzflächenspannung (Teil 1)	28
	Die physikalischen Ursachen der Grenzflächenspannung 28 • Die Grenzflächenspannung oder spezifische Grenzflächenenergie 29	
LE 1.10	Die Grenzflächenspannung (Teil 2)	30
	Randwinkel und Haftspannung 30 • Krümmungsdruck 32	
Kapitel 2	Hydrostatik	34
LE 2.1	Das Eulersche Grundgesetz der Hydrostatik	34
	Grundgleichungen 34 • Die Herleitung des Eulerschen Grundgesetzes 35 • Die Grundbedingung der Hydrostatik 37	
LE 2.2	Das Eulersche Grundgesetz der Hydrostatik bei barotroper Schichtung	38
	Der Spezialfall rotorfreier Kraftdichte 38 • Barotrope Schichtung 39	

LE 2.3	Das Eulersche Grundgesetz der Hydrostatik für inkompressible Fluide	41
LE 2.4	Kräfte auf Behälterwände.	45
LE 2.5	Die Vertikalkraft	47
LE 2.6	Die Horizontalkraft	49
LE 2.7	Der hydrostatische Auftrieb.	53
Kapitel 3	Kinematik	56
LE 3.1	Lagrangesche und Eulersche Darstellung. Gradient, lokale und substantielle Ableitung 57	56
LE 3.2	Transporttheorem, Geschwindigkeit, Beschleunigung Die Geschwindigkeit 58 • Das Transporttheorem 59 • Die Beschleunigung 60	58
LE 3.3	Stromlinien, Bahnlinien, Streichlinien Die Stromlinien 61 • Bahnlinien und Streichlinien 61 • Sichtbarmachung von Stromlinien, Bahnlinien und Streichlinien 62 • Richtungsstationäre und stationäre Strömungen 62	61
LE 3.4	Die Kontinuitätsgleichung (Teil 1) Bilanzgleichungen 65 • Die Kontinuitätsgleichung für ein materielles Volumen 66 • Die Kontinuitätsgleichung für ein raumfestes Volumen 67 • Die Kontinuitätsgleichung in differentieller Form 68	65
LE 3.5	Die Kontinuitätsgleichung (Teil 2) Stromröhre und Stromfaden 70 • Die Kontinuitätsgleichung für einen Stromfaden 70 • Stationäre Strömungen 72 • Inkompressible Fluide 73	70
Kapitel 4	Eulersche und Bernoullische Gleichung	75
LE 4.1	Der Impulssatz Der Impulssatz für ein materielles Volumen 75 • Das Transporttheorem für den Impulssatz 76 • Der Impulssatz für ein raumfestes Volumen 78 • Der Impulssatz in differentieller Form (die Eulersche Bewegungsgleichung) 78	75
LE 4.2	Die Eulersche Bewegungsgleichung in Bahnlinienkoordinaten. Die radiale Druckgleichung. Die Eulersche Bewegungsgleichung in Bahnlinienkoordinaten 79 • Die Eulersche Bewegungsgleichung in Stromlinienkoordinaten 81 • Die radiale Druckgleichung 81	79
LE 4.3	Die Bernoullische Gleichung für inkompressible Fluide (Teil 1). Stationäre Strömungen 84 • Kavitation 85 • Die Strömungsberechnung für reibungsfreie inkompressible Fluide 85	82
LE 4.4	Die Bernoullische Gleichung für inkompressible Fluide (Teil 2). Instationäre Strömungen durch einen ruhenden Stromfaden 90 • Quasi-stationäre Behandlung instationärer Probleme 95	90

Kapitel 5	Rohrhydraulik	96
LE 5.1	Die Rohrströmung	96
	Die Hagen-Poiseuille-Strömung 96 • Die laminare und die turbulente Rohrströmung 98	
LE 5.2	Die Bernoullische Gleichung mit Strömungsverlusten und Energiezufuhr.	100
LE 5.3	Druckverluste durch Reibung.	102
	Rohre mit kreisförmigem Querschnitt 102 • Rohre mit nicht-kreisförmigem Querschnitt 104	
LE 5.4	Druckverluste durch Einbauten (Teil 1).	106
	Ablösung 107	
LE 5.5	Druckverluste durch Einbauten (Teil 2).	109
	Sekundärströmung infolge gekrümmter Stromlinien 109 • Die Bernoullische Gleichung für sich vereinigende Stromfäden 111	
LE 5.6	Rohrleitungsberechnung	113
	Kennlinien von Strömungsmaschinen 113 • Rohrleitungs- oder Anlagenkennlinien 114	
Kapitel 6	Impulssatz und Drehimpulssatz	117
LE 6.1	Der Impulssatz für einen Stromfaden (Teil 1).	117
	Stationäre Strömungen 119	
LE 6.2	Der Impulssatz für einen Stromfaden (Teil 2).	123
	Stationäre Strömungen durch sich verzweigende Stromfäden 123	
LE 6.3	Der Impulssatz für einen Stromfaden (Teil 3).	128
	Die instationäre Strömung eines inkompressiblen Fluids durch einen ruhenden Stromfaden 128 • Die Umströmung von Körpern 130	
LE 6.4	Der Drehimpulssatz.	133
	Der Drehimpulssatz für ein materielles Volumen. 133 • Der Drehimpulssatz für einen Stromfaden 134	
LE 6.5	Die Eulersche Strömungsmaschinenhauptgleichung	136
	Betrachtungsweise von Bewegungen 136 • Herleitung der Strömungsmaschinenhauptgleichung 138 • Der Zusammenhang von Drehimpuls, Arbeit und Leistung 138	
Kapitel 7	Gasdynamik	146
LE 7.1	Der Energiesatz für ein materielles Volumen	146
	Der Spezialfall rotorfreier Kraftdichte 148	
LE 7.2	Der Energiesatz für einen Stromfaden	149
	Die Bernoullische Gleichung der Gasdynamik 151	
LE 7.3	Gibbssche Gleichung und Entropieungleichung	153
	Die Gibbssche Gleichung mit der inneren Energie 153 • Zustandsgrößen, Zustandsgleichungen 154 • Thermodynamisches Gleichgewicht, lokales thermodynamisches Gleichgewicht 155 • Die Gibbssche Gleichung mit der	

	Enthalpie 155 • Die Gibbssche Gleichung für inkompressible Fluide 156 • Die Entropieungleichung 157	
LE 7.4	Ideale Gase. Die Strömungsberechnung für reibungsfreie ideale Gase 158 Die thermische und die kalorische Zustandsgleichung für ein ideales Gas 158 • Die Isentropengleichung 160 • Die Strömungsberechnung für reibungsfreie ideale Gase 161	
LE 7.5	Schallgeschwindigkeit und Schallausbreitung 162 Die Schallgeschwindigkeit 163 • Die Schallausbreitung in ruhenden Medien 164 • Die Schallausbreitung in bewegten Medien 165	
LE 7.6	Die Bernoullische Gleichung für ein ideales Gas 166 Ruhegrößen und kritische Größen 167 • Das c,a-Diagramm 168	
LE 7.7	Isentrope stationäre Stromfadentheorie 170 Die Ausgangsgleichungen 170	
LE 7.8	Die Flächen-Geschwindigkeits-Beziehung 172	
LE 7.9	Die Durchflussfunktion 175	
LE 7.10	Der senkrechte Verdichtungsstoß 177 Die Bilanzgleichungen 177 • Die Stoßrelationen 178 • Das Stoßrohr 179	
LE 7.11	Der schiefe Verdichtungsstoß 181 Die Bilanzgleichungen 182 • Die Umströmung von Körpern 183	
LE 7.12	Die Lavaldüse. 184	
LE 7.13	Thermodynamische Wirkungsgrade 186	
Kapitel 8	Die Navier-Stokessche Gleichung. 191	
LE 8.1	Der Spannungstensor 191	
LE 8.2	Der allgemeine Newtonsche Schubspannungsansatz 194	
LE 8.3	Die Navier-Stokessche Gleichung 198 Der Impulssatz bei Berücksichtigung des Cauchyschen Axioms 198 • Der Impulssatz für inkompressible newtonsche Fluide 198 • Die Strömungsberechnung für inkompressible newtonsche Fluide 199	
LE 8.4	Lösungen der Navier-Stokesschen Gleichung. 202	
LE 8.5	Näherungsgleichungen 208 Schleichströmungen 208 • Grenzschichtströmungen 209	
LE 8.6	Schleichströmungen 209 Die Kugelumströmung 210 • Das ebene Gleitlager 211	
Kapitel 9	Ebene und wirbelfreie Strömungen. 215	
LE 9.1	Wirbelstärke und Zirkulation 215	
LE 9.2	Ebene Strömungen 219 Die Stromlinien 219 • Der Geschwindigkeitsbetrag 219 • Der Volumenstrom 220 • Die Wirbelstärke 220 • Die Wirbeltransportgleichung 221 • Reduktion des Differentialgleichungssystems auf eine einzige Differential-	

	gleichung 221	
LE 9.3	Wirbelfreie Strömungen (Potentialströmungen)	223
	Die Kontinuitätsgleichung 223 • Die Bewegungsgleichung 223	
LE 9.4	Die Grundgleichungen für ebene Potentialströmungen	227
LE 9.5	Anwendung der Funktionentheorie (Teil 1).	228
	Komplexes Potential und Geschwindigkeit 228 • Die Parallelströmung 229 • Der Potentialwirbel 230	
LE 9.6	Anwendung der Funktionentheorie (Teil 2).	233
	Die Quell- oder Senkenströmung 233 • Die Dipolströmung 234	
LE 9.7	Die Umströmung eines Kreiszylinders	237
	Die Umströmung eines Kreiszylinders ohne Zirkulation 238 • Die Umströmung eines Kreiszylinders mit Zirkulation 240 • Die allgemeinste Umströmung eines Kreiszylinders 241	
LE 9.8	Die Methode der konformen Abbildung	242
	Die Methode der konformen Abbildung 242 • Die ebene Platte 243 • Joukowski-Profil 245	
LE 9.9	Kräfte auf umströmte Körper	246
LE 9.10	Rotationssymmetrische Potentialströmungen	250
	Die Parallelströmung 252 • Die Punktquelle 252	
LE 9.11	Die Singularitätenmethode	254
Kapitel 10	Wirbelströmungen.	257
LE 10.1	Das Biot-Savartsche Gesetz.	257
LE 10.2	Die ebene Wirbelschicht	264
	Die einfache Diskontinuitätsfläche 265 • Der ebene Freistrahle 266	
LE 10.3	Der Thomsonsche Satz	267
	Der allgemeine Thomsonsche Satz 267 • Der spezielle Thomsonsche Satz 269	
LE 10.4	Die Helmholtzschen Wirbelsätze	271
	Der 1. Helmholtzsche Wirbelsatz 271 • Die beiden anderen Helmholtzschen Wirbelsätze 272	
LE 10.5	Rankinewirbel und Hamel-Oseen-Wirbel.	273
LE 10.6	Die Umströmung eines Tragflügels endlicher Spannweite	276
	Das Wirbelsystem 276 • Die Entstehung des Wirbelsystems 277 • Der induzierte Widerstand 278	
Kapitel 11	Dimensionsanalyse und Ähnlichkeitslehre	282
LE 11.1	Dimensionsanalyse	283
	Die Aufgabe 283 • Der dimensionsanalytische Algorithmus 284 • Zusammenfassung 287 • Die anschauliche Interpretation von dimensionslosen Kennzahlen am Beispiel der Reynoldszahl 287	

LE 11.2	Ähnlichkeitslehre	289
	Die Modellgesetze 289 • Reynoldsähnlichkeit 290 • Mehrparametrische Probleme 291	
Kapitel 12	Grenzschichttheorie	297
LE 12.1	Grenzschichten	297
	Die Temperaturgrenzschicht 298 • Die Strömungsgrenzschicht 298	
LE 12.2	Die Prandtlschen Grenzschichtgleichungen (Teil 1)	301
	Herleitung der Grenzschichtgleichungen 301 • Das Randwertproblem 307	
LE 12.3	Die Prandtlschen Grenzschichtgleichungen (Teil 2)	308
	Der Einfluss der Wandkrümmung 308 • Der Zusammenhang zwischen dem Druckgradienten und der Form des Geschwindigkeitsprofils 310 • Die Mises-Transformation 312 • Instationäre Strömungen 313	
LE 12.4	Grenzschichtdicken	314
	Die 99%-Dicke 314 • Die Verdrängungsdicke 314 • Die Impulsverlustdicke 316 • Der Formparameter 318	
LE 12.5	Wandschubspannung und Reibungswiderstand	319
	Die Wandschubspannung 319 • Der Reibungswiderstand 319 • Der Impulssatz der Grenzschichttheorie 320	
LE 12.6	Die Plattenströmung	322
Kapitel 13	Turbulente Strömungen	326
LE 13.1	Laminare, periodische und turbulente Strömungen	326
	Die Umströmung eines Kreiszylinders 327 • Einteilung der Strömungszustände 327 • Die hydrodynamische Stabilitätstheorie 328	
LE 13.2	Die Reynoldssche Gleichung	329
	Mittelwert und Schwankungen 329 • Herleitung der Reynoldsschen Gleichung 330 • Zähigkeitsspannungstensor und Reynoldsspannungstensor 332 • Der Turbulenzgrad 333	
LE 13.3	Wirbelzähigkeit, Mischungswegansatz, Ähnlichkeitshypothese	335
	Die Wirbelzähigkeit 335 • Der Mischungswegansatz 336	
LE 13.4	Turbulente Wandgrenzschichten	337
	Die Grenzschichtgleichungen für turbulente Strömungen 337 • Das Dreischichtenmodell der Wandgrenzschicht 339 • Der Wandbereich 339 • Der Außenbereich 342 • Die Gesamtzähigkeit 343	
LE 13.5	Die turbulente Rohrströmung	344
	Das logarithmische Gesetz 344 • Näherungsformeln für den Wandbereich 346 • Die Rohrreibungszahl 347 • Das 1/7-Potenz-Gesetz 348	
LE 13.6	Die turbulente Plattenströmung	350
	Instabilität und Umschlag 350 • Das 1/7-Potenz-Gesetz 350	

Kapitel 14	Umströmung von Körpern	354
LE 14.1	Kräfte auf umströmte Körper	354
LE 14.2	Der Widerstandsbeiwert von Kreisscheibe, Kugel und Zylinder	358
	Die Kreisscheibe 358 • Die Kugel 359 • Der unendlich lange Zylinder 360	
	• Der Zylinder endlicher Länge 360	
LE 14.3	Körper geringsten Widerstandes	362
LE 14.4	Bauwerksaerodynamik	363
LE 14.5	Windkanaleinbauten	365
	Düse 365 • Siebe 367 • Gleichrichter 368	
Kapitel 15	Strömungsmesstechnik	369
LE 15.1	Das Pitotrohr	369
	Methode 369 • Einflüsse auf die Messung 370	
LE 15.2	Die (statische) Drucksonde	371
LE 15.3	Das Prandtl'sche Staurohr	373
LE 15.4	Hitzdrahtanemometrie	374
LE 15.5	Laser-Doppler-Anemometry	376
LE 15.6	Particle-Image-Velocimetry	377
LE 15.7	Volumenstrommessung	378
	Messprinzipien 378 • Einlaufdüsen 379 • Messblenden 379 • Die industrielle Durchflussmessung nach DIN 381 • Venturirohre 383 • Coriolis-Massenstrommessung 384 • Schwebekörper, Rotameter 384	
LE 15.8	Viskosimetrie	386
	Das Ausflussviskosimeter 386 • Das Couette-Viskosimeter 387	
Feedback		389
Anhang		503
1.	Zum Rechnen mit Tensoren	503
2.	Kurven im Raum	524
3.	Wiederholungen aus der Funktionentheorie	525
4.	Tabellen und Diagramme	528
5.	Weiterführende Literatur	542
6.	Symbolverzeichnis	546
Namen- und Sachverzeichnis		551