

Inhalt

Vorwort	5
1 Dichte, Druck und Kräfte	11
1.1 Dichte von Flüssigkeiten	11
1.2 Dichte von Gasen	13
1.3 Schweredruck in Flüssigkeiten	15
1.4 Dimension des Druckes	17
1.5 Kommunizierende Gefäße	17
1.6 Kräfte auf die Gefäßwände	18
1.7 Auftrieb (Archimedisches Prinzip)	19
1.8 Druck und Energie	21
1.9 Wandkräfte in Rohren	23
1.10 Luftdruck	25
1.11 Barometrische Höhenformel	26
1.12 Kamin	28
1.13 Übungsaufgaben	32
2 Idealisierte Strömung	33
2.1 Kontinuitätsgleichung	33
2.2 Bernoulli-Gleichung	34
2.3 Anwendungen	35
2.3.1 Hydrodynamisches Paradoxon	35
2.3.2 Venturi-Düse	35
2.3.3 Staurohr nach Prandtl	37
2.4 Rohrströmung aus einem Hochbehälter	38
2.4.1 Geschwindigkeit und Druckverlauf	38
2.4.2 Kavitation	39
2.5 Kavitation an Maschinenteilen	41
2.6 Energiegewinnung mit Fluiden	42
2.6.1 Nutzung der potentiellen Energie des Fluids	42
2.6.2 Nutzung der kinetischen Energie des Fluids	43
2.7 Gasströmung und Bernoulli-Gleichung	44
2.8 Übungsaufgaben	46
3 Reale Strömung	48
3.1 Newtons Reibungsgesetz	48
3.2 Viskosität von Gasen	49
3.3 Viskosität von Flüssigkeiten	51
3.4 Abweichungen vom Newton-Reibungsgesetz	52
3.5 Laminare und turbulente Strömungsformen	52
3.6 Reynolds-Zahl	56
3.7 Kinematische Viskosität	57

3.8	Übergang zur Turbulenz	58
3.9	Ähnlichkeit bei Strömungen	61
3.10	Übungsaufgaben	63
4	Rohrströmung	64
4.1	Druckverlust	64
4.2	Laminare Rohrströmung (Gesetz von Hagen-Poiseuille)	65
4.3	Turbulente Strömung	69
4.3.1	Druckverlust bei Vorgabe des Volumenstroms	70
4.3.2	Druckverlust bei Vorgabe der Druckdifferenz	73
4.4	Leistungsbedarf	75
4.5	Strömungen in Rohren von Solaranlagen	77
4.6	Druckverlust durch Einbauteile	78
4.7	Druckhöhe und Druckhöhenverlust	81
4.7.1	Druckhöhenverlust für waagerechte Rohrleitungen	81
4.7.2	Druckhöhenverlust bei Wasserkraftanlagen	82
4.8	Strömungswiderstand bei isothermer Gasströmung	86
4.9	Übungsaufgaben	92
5	Bewegungsgleichungen für Fluide	95
5.1	Lokale und konvektive Beschleunigungen	95
5.2	Druckkräfte	98
5.3	Euler-Gleichung	99
5.4	Zusammenhang mit der Gleichung von Bernoulli	100
5.5	Allgemeine Kontinuitätsgleichung	106
5.6	Impulssatz für Strömungen	109
5.7	Reaktionskraft	111
5.7.1	Kräfte auf die Rohrwand	112
5.7.2	Rückstoß	114
5.7.3	Rückstoß bei Torricelli-Ausströmung	115
5.7.4	Strahldruck auf eine Platte	116
5.7.5	Stoßverlust	117
5.8	Drall (Drehimpuls)	119
5.9	Übungsaufgaben	122
6	Strömungen kompressibler Fluide	124
6.1	Bernoulli-Gleichung für stationäre adiabatische Gasströmung	124
6.2	Schall und Schallgeschwindigkeit in Gasen	125
6.3	Strömungen durch eine konvergente Düse	128
6.4	Laval-Düse	133
6.5	Mach-Zahl	138
6.6	Geschwindigkeit und Düsenquerschnitt	139
6.7	Übungsaufgaben	141

7	Umströmung von Körpern	143
7.1	Grenzschicht	143
7.2	c_w -Wert	146
7.3	Laminare Umströmung	147
7.3.1	Sinken einer Kugel bei laminarer Umströmung	148
7.3.2	Entstaubung mit Wirbelsenke	149
7.4	Turbulente Umströmung	151
7.4.1	Sinken einer Kugel bei turbulenter Umströmung	153
7.4.2	Leistungsbedarf bei Bewegung im Fluid	154
7.5	Überschall-Umströmung	155
7.6	Widerstandsläufer	156
7.6.1	Schalenkreuz als Messgerät	156
7.6.2	Schalenkreuz als Antrieb	159
7.6.3	Tiefschlächtiges Wasserrad	160
7.7	Übungsaufgaben	162
8	Strömungsmaschinen	164
8.1	Funktionsprinzip von Strömungsmaschinen	164
8.2	Kreiselpumpe	166
8.3	Euler-Gleichungen für Strömungsmaschinen	168
8.4	Pelton-Turbine	170
8.5	Energie und Leistung bei freier Umströmung	175
8.5.1	Vereinfachter Propeller	175
8.5.2	Vereinfachte Windkraftanlage – Betz-Gesetz	177
8.6	Übungsaufgaben	181
9	Potenzialströmung	183
9.1	Strömungspotenzial	183
9.2	Ebene Parallelströmung	185
9.3	Zirkulation	185
9.4	Radialströmung	186
9.5	Zirkulationsströmung	188
9.6	Wirbelquelle (Radial- plus Zirkulationsströmung)	191
9.7	Dipolströmung (Quelle – Senke)	193
9.8	Virtuelle Doppelquelle	197
9.9	Reale Zylinderumströmung	198
9.10	Konforme Abbildung	201
9.10.1	Lineare Funktion $\zeta = az + b$	202
9.10.2	Inversion $\zeta = 1/z$	202
9.10.3	Logarithmus $\zeta = \ln z$	204
9.11	Anwendung: Halbkörper	205
9.12	Joukowski-Transformation	208
9.13	Strömungsvergleich Platte – Zylinder	211
9.14	Übungsaufgaben	214

10	Tragflügel	215
10.1	Magnus-Effekt	215
10.2	Schräg angeströmte Platte	219
10.3	Strömungskräfte auf eine kreisbogenförmige Platte	225
10.4	Tragflügel	227
10.4.1	Profile	227
10.4.2	Kennzahlen für Tragflügel	228
10.4.3	Kraftrichtungen am Tragflügel	230
10.4.4	Winkelverhältnisse am Tragflügel	231
10.4.5	Randeflüsse	233
10.5	Übungsaufgaben	236
11	Windkraftanlagen	238
11.1	Schnelllaufzahl	238
11.2	Winkelbeziehungen am Rotor	240
11.3	Die Kräfte am Rotorblatt	242
11.4	Optimale Rotorblattausslegung	243
11.5	Biegemoment am Rotorblatt	245
11.6	Schubkraft auf die Rotorebene	246
11.7	Drehmoment an der Rotorwelle	248
11.8	Leistungsregelung	250
11.9	Übungsaufgaben	251
12	Lösungen	252
13	Literatur	309
	Quellenverzeichnis	309
	Weiterführende Literatur	309
	Sachwortverzeichnis	311
	Formelzeichen	318