

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	36
2.3.1 Hydrodynamisches Paradoxon	36
2.3.2 Venturi-Düse	36
2.3.3 Staurohr nach Prandtl	38
2.4 Rohrströmung aus einem Hochbehälter	38
2.4.1 Geschwindigkeit und Druckverlauf	38
2.4.2 Kavitation	41
2.5 Energie und Leistung bei strömenden Flüssigkeiten	42
2.6 Energie und Leistung bei der Windströmung	43
2.7 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	55
3.7 Übergang zur Turbulenz	58
3.8 Ähnlichkeit bei Strömungen	61
3.9 Übungsaufgaben	62

4 Rohrströmung	63
4.1 Laminare Rohrströmung (Gesetz von Hagen-Poiseuille)	63
4.2 Druckverlust	67
4.2.1 Druckverlust bei laminarer Strömung	68
4.2.2 Druckverlust bei turbulenter Strömung	69
4.2.3 Verlustberechnung	70
4.3 Leistungsbedarf	74
4.4 Druckverlust durch Einbauteile	77
4.5 Druckhöhe und Druckhöhenverlust	79
4.5.1 Druckhöhenverlust für waagerechte Rohrleitungen	79
4.5.2 Druckhöhenverlust bei Wasserkraftanlagen	80
4.6 Strömungswiderstand bei isothermer Gasströmung	84
4.7 Übungsaufgaben	90
5 Bewegungsgleichungen für Fluide	93
5.1 Lokale und konvektive Beschleunigungen	93
5.2 Druckkräfte	96
5.3 Euler-Gleichung	97
5.4 Zusammenhang mit der Gleichung von Bernoulli	98
5.5 Allgemeine Kontinuitätsgleichung	104
5.6 Impulssatz für Strömungen	108
5.7 Reaktionskraft	110
5.7.1 Kräfte auf die Rohrwand	111
5.7.2 Rückstoß	113
5.7.3 Rückstoß bei Torricelli-Ausströmung	114
5.7.4 Strahldruck auf eine Platte	115
5.7.5 Stoßverlust	116
5.8 Drall (Drehimpuls)	118
5.9 Übungsaufgaben	121
6 Strömungen kompressibler Fluide	123
6.1 Bernoulli-Gleichung für stationäre adiabatische Gasströmung	123
6.2 Schall und Schallgeschwindigkeit in Gasen	124
6.3 Strömung durch eine konvergente Düse	126
6.4 Laval-Düse	134
6.5 Mach-Zahl	137
6.6 Geschwindigkeit und Düsenquerschnitt	138
6.7 Übungsaufgaben	140
7 Strömungsmaschinen	141
7.1 Funktionsprinzip von Strömungsmaschinen	141
7.2 Kreiselpumpe	143
7.3 Euler-Gleichungen für Strömungsmaschinen	145
7.4 Pelton-Turbine	147
7.5 Energie und Leistung bei freier Umströmung	152
7.5.1 Vereinfachter Propeller	152
7.5.2 Vereinfachte Windkraftanlage – Betz-Gesetz	154
7.6 Übungsaufgaben	158

8 Potenzialströmung	159
8.1 Strömungspotenzial	159
8.2 Ebene Parallelströmung	161
8.3 Zirkulation	161
8.4 Radialströmung	162
8.5 Zirkulationsströmung	164
8.6 Wirbelquelle (Radial- plus Zirkulationsströmung)	167
8.7 Dipolströmung (Quelle – Senke)	169
8.8 Virtuelle Doppelquelle	173
8.9 Reale Zylinderumströmung	174
8.10 Konforme Abbildung	176
8.10.1 Lineare Funktion $\zeta = az + b$	177
8.10.2 Inversion $\zeta = 1/z$	178
8.10.3 Logarithmus $\zeta = \ln z$	180
8.11 Anwendung: Halbkörper	180
8.12 Joukowski-Transformation	183
9 Umströmung von Körpern	187
9.1 Grenzschicht	187
9.2 c_w -Wert	190
9.3 Laminare Umströmung	191
9.3.1 Sinken einer Kugel bei laminarer Umströmung	192
9.3.2 Entstaubung mit Wirbelsenke	193
9.4 Turbulente Umströmung	195
9.4.1 Sinken einer Kugel bei turbulenter Umströmung	197
9.4.2 Leistungsbedarf bei Bewegung im Fluid	198
9.4.3 Schalenkreuz als Messgerät	199
9.4.4 Schalenkreuz als Antrieb	202
9.5 Überschall-Umströmung	203
9.6 Übungsaufgaben	205
10 Tragflügel und Rotorblätter	207
10.1 Magnus-Effekt	207
10.2 Strömungsvergleich Platte – Zylinder	211
10.3 Schräg angestromte Platte	213
10.4 Strömungskräfte auf eine kreisbogenförmige Platte	218
10.5 Tragflügel	221
10.5.1 Profile	221
10.5.2 Kennzahlen für Tragflügel	222
10.5.3 Kraftrichtungen am Tragflügel	224
10.5.4 Winkelverhältnisse am Tragflügel	225
10.5.5 Randeinflüsse	227
10.6 Rotoren von Windkraftanlagen	229
10.6.1 Schnelllaufzahl	229
10.6.2 Winkelbeziehungen am Rotor	231
10.6.3 Die Kräfte am Rotorblatt	233
10.6.4 Optimale Rotorblattauslegung	234

10.6.5 Leistungsregelung	236
10.6.6 Schubkraft auf die Rotorebene	237
11 Lösungen	240
12 Literatur	277
Quellenverzeichnis	277
Weiterführende Literatur	277
Sachwortverzeichnis	279
Formelzeichen	287