
Hubert Marschall

Aufgabensammlung zur technischen Strömungslehre

Inhaltsverzeichnis

1	Kinematik der Flüssigkeiten	1
1.1	Flüssigkeiten als Kontinuum	1
1.2	Lagrange und Eulersche Beschreibungsweise	2
1.3	Bahnlinie, Stromlinie, Streichlinie	2
1.4	Zeitableitungen	5
1.5	Deformations- und Drehgeschwindigkeitstensor	6
1.5.1	Komponenten des Dehnungsgeschwindigkeitstensors	7
1.5.2	Hauptachsensystem	8
1.6	Potentialströmungen	9
1.7	Reynoldsches Transporttheorem	10
1.8	Aufgaben zur Kinematik	12
A1.1	Fluidbeschreibungsweisen und Stromlinien	12
A1.2	Strom-, Bahn- und Streichlinie	12
A1.3	Fluidbeschreibungsweisen, Stromlinien und Streichlinie	13
A1.4	Bahnlinie, Dehnungsgeschwindigkeit und Potentialströmung ...	13
A1.5	Dehnungsgeschwindigkeit und implizite Stromlinie	14
A1.6	Kinematik, Eigenwertproblem zu den Hauptspannungen	14
2	Grundgleichungen der Kontinuumsmechanik	15
2.1	Kontinuitätsgleichung	15
2.2	Impulssatz	16
2.3	Drallsatz	18
2.4	Impuls- und Drallsatz im beschleunigten Bezugssystem	18
2.4.1	Impulssatz im beschleunigten Bezugssystem	20
2.4.2	Drallsatz im beschleunigten Bezugssystem	21
2.4.3	Anwendung des Drallsatzes im Turbomaschinenbau	21
2.5	Energiegleichung	24
2.6	Aufgaben zu den Bilanzgleichungen	26

A2.1	Zwei sich treffender Strahlen	26
A2.2	Schwebende Kugel in Brunnen	27
A2.3	Blutströmung in Aorta	28
A2.4	Wasserwerfer	29
A2.5	Kolbenbewegung in Zylinder	30
A2.6	Rotierender Zerstäuber	31
A2.7	Flügelgrenschichtbeeinflussung durch Plasma-Aktuator	32
A2.8	Strömung durch unendliches Gitter	33
2.7	Aufgaben zu Turbomaschinen	34
A2.9	Einzelnes Pumpenlaufrad	34
A2.10	Einfache Axialpumpe mit Leit- und Laufrad	35
A2.11	Axialverdichter eines Flugtriebwerks	36
A2.12	Einstufige Turbine	37
A2.13	Axialturbine	38
A2.14	Drehmomentenwandler	39
A2.15	Mehrstufiger Axialverdichter	40
A2.16	Axial-Radial Verdichter	41
3	Materialgleichungen	43
4	Bewegungsgleichungen für Newtonsche Flüssigkeiten	47
4.1	Reibungsbehaftete Strömungen	47
4.1.1	Navier-Stokessche Gleichungen	47
4.1.2	Die Reynoldszahl	48
4.2	Reibungsfreie Strömungen	50
4.2.1	Eulersche Gleichung	50
4.2.2	Bernoullische Gleichung	51
4.2.3	Bernoullische Gleichung für Potentialströmungen	51
4.2.4	Bernoullische Gleichung im rotierenden Bezugssystem	52
4.2.5	Wirbelsätze	54
4.2.6	Wirbelfaden	57
4.3	Aufgaben für Newtonsche Flüssigkeiten	61
A4.1	Filmströmung an Wand	61
A4.2	Strömung um eine mit Öl geschmierte Welle	62
A4.3	Strömung in porösem Kanal	63
A4.4	Luftströmungen durch Erdrotation	64
A4.5	Strömung auf geneigtem Transportband	65
A4.6	Flüssigkeitsfilm an Draht	66
A4.7	Kühlung eines Flugkörpers	67
A4.8	Kunststoffrohrherstellung in Schleudervorrichtung	68
A4.9	Spin-coating	69
A4.10	Wasserfilm auf Hausdach	70

A4.11	Farbe auf einer Wand	71
A4.12	Bewegung eines Wirbelfadens	72
A4.13	Widerstandsbeiwert einer Kugel	73
5	Hydrostatik	75
5.1	Druckverteilung in einer ruhenden Flüssigkeit	75
5.2	Kraft auf Flächen	76
5.2.1	Kraft und Moment auf die ebene Fläche	76
5.2.2	Auftrieb	79
5.2.3	Kraft auf gekrümmte Flächen, Ersatzkörper	80
5.2.4	Freie Oberflächen	82
5.3	Aufgaben zur Hydrostatik	85
A5.1	Dichtemessung	85
A5.2	Überdruckbehälter	86
A5.3	Schleusenanlage	87
A5.4	Reservoir	88
A5.5	Sammelbecken einer Kläranlage	89
A5.6	Gekrümmte Wehrmauer	90
A5.7	Kolben und Klappe in Rohrsystem	91
A5.8	Wehr mit zylindrischer Walze	92
A5.9	Kontaktwinkel	93
6	Laminare Schichtenströmung	95
6.1	Stationäre Schichtenströmung	95
6.2	Hagen-Poiseuille-Strömung	98
6.3	Aufgaben zur laminaren Schichtenströmung	103
A6.1	Strömung zwischen zwei Platten	103
A6.2	Kreisrohr	104
A6.3	Plattenströmung	105
A6.4	Gegenläufige Platten	106
A6.5	Magnetisch getriebene Kanalströmung	107
A6.6	Strömung an Kabelummantelung	108
7	Stromfadentheorie	111
7.1	Die Bilanzgleichungen der Stromfadentheorie	112
7.1.1	Die Kontinuitätsgleichung	112
7.1.2	Der Impulssatz	113
7.1.3	Die Energiegleichung	113
7.2	Verluste in der Stromfadentheorie	115
7.2.1	Verluste infolge Querschnittsveränderungen	116
7.2.2	Reibungsverluste	119
7.2.3	Verluste durch Krümmer, Ventile, und Rohrverzweigungen	120

7.2.4	Reibungsverluste in turbulenter Rohrströmung	120
7.3	Aufgaben zur Stromfadentheorie	125
A7.1	Belüftungsgebläse eines Tunnels	125
A7.2	Flüssigkeitsstrahlpumpe	126
A7.3	Pumpspeicherkraftwerk	127
A7.4	Rauchgaszugverstärker	128
A7.5	Mikropumpe	129
A7.6	Drosselklappe in Kanal	130
A7.7	Taucherglocke	131
7.4	Aufgaben zur turbulenten Strömung	132
A7.8	Wasserfontäne	132
A7.9	Eisenguss	133
A7.10	Trinkwasserversorgung aus Hochbehälter	134
A7.11	Rohrverzweigung	135
8	Themenübergreifende Aufgaben	137
A8.1	Eine ebene reibungsbehaftete Potentialströmung	137
A8.2	Strömung zwischen Platten	138
A8.3	Hubschrauber	139
A8.4	Radialpumpe	140
A8.5	Trinkwasserleitung	141
A8.6	Turbulente Rohrströmung	142
A8.7	Speichersee	143
A8.8	Düsenstrahl trifft Schräge Platte	144
A8.9	Rotameter	146
A8.10	Wasserstrahl	147
A8.11	Tornado	148
A8.12	Hydraulikpumpe	149
A8.13	Luftgetriebenes Fahrzeug	150
A8.14	Widerstandsbeiwert einer U-Bahn	151
A8.15	Zyklonrohr	152
A8.16	Druck und Spannung in gegebenem Geschwindigkeitsfeld	153
A8.17	Abgasturbolader	154
A8.18	Turbinenstufe eines Stauwasserkraftwerks	155
A8.19	Bewässerungsalage	156
A8.20	Handpumpe	157
A8.21	Umwälzanlage	158
A8.22	Rotierende Rohrströmung	159
9	Lösungen zu den Aufgaben	161

A	Elemente der Tensorrechnung	285
A.1	Kartesisches Koordinatensystem	285
A.2	Indeschreibweise	286
A.3	Rechenregeln	287
A.3.1	Das Punktprodukt	287
A.3.2	Das Vektorprodukt	288
A.3.3	Das Tensorprodukt	289
A.4	Der Nabla-Operator	290
A.5	Gaußscher Integralsatz	292
A.6	Zylinderkoordinaten	293
B	Übersicht zu Materiellen- und Feldkoordinaten	297
C	Formelsammlung	299
	Literaturverzeichnis	305
	Sachverzeichnis	307