

---

Hubert Marschall

# Aufgabensammlung zur technischen Strömungslehre

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kinematik der Flüssigkeiten</b> .....	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
<b>2</b>	<b>Grundgleichungen der Kontinuumsmechanik</b> .....	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
<b>3</b>	<b>Materialgleichungen .....</b>	<b>43</b>
<b>4</b>	<b>Bewegungsgleichungen für Newtonsche Flüssigkeiten .....</b>	<b>47</b>
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
<b>5</b>	<b>Hydrostatik</b> .....	<b>75</b>
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
<b>6</b>	<b>Laminare Schichtenströmung</b> .....	<b>95</b>
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
<b>7</b>	<b>Stromfadentheorie</b> .....	<b>111</b>
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
<b>8</b>	<b>Themenübergreifende Aufgaben</b>	<b>137</b>
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
<b>9</b>	<b>Lösungen zu den Aufgaben</b>	<b>161</b>

<b>A</b>	<b>Elemente der Tensorrechnung</b> .....	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>B</b>	<b>Übersicht zu Materiellen- und Feldkoordinaten</b> .....	297
<b>C</b>	<b>Formelsammlung</b> .....	299
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	305
	<b>Sachverzeichnis</b> .....	307