

---

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung, Überblick und Grundlagen</b>                | <b>1</b>  |
| 1.1      | Theoretische, vorwiegend mathematische Strömungslehre      | 3         |
| 1.2      | Technische Strömungslehre oder Hydraulik                   | 3         |
| <b>2</b> | <b>Eigenschaften von Fluiden</b>                           | <b>5</b>  |
| 2.1      | Molekularer Aufbau – Mikrostruktur                         | 5         |
| 2.2      | Widerstand gegen Formänderungen (Elastizität, Viskosität)  | 7         |
| 2.3      | Gaskinetische Erklärung der inneren Reibung                | 12        |
| 2.4      | Volumenänderung und Zustandsgleichung für Gase             | 15        |
| 2.5      | Oberflächen- oder Grenzflächenspannung und Kapillarität    | 17        |
| <b>3</b> | <b>Hydro- und Aerostatik</b>                               | <b>31</b> |
| 3.1      | Flüssigkeitsdruck $p$                                      | 31        |
| 3.2      | Flüssigkeitsdruck in Kraftfeldern                          | 32        |
| 3.3      | Druckkraft auf ebene Behälterwände                         | 39        |
| 3.4      | Hydrostatischer Auftrieb, Druckkraft auf gekrümmte Flächen | 42        |
| <b>4</b> | <b>Hydro- und Aerodynamik</b>                              | <b>45</b> |
| 4.1      | Stromfadentheorie  | 45        |
| 4.1.1    | Grundbegriffe  | 45        |
| 4.1.2    | Grundgleichungen der Stromfadentheorie                     | 50        |
| 4.1.3    | Stromfadentheorie in Einzelausführungen                    | 57        |
| 4.1.3.1  | Bewegung auf konzentrischen Kreisbahnen<br>(Wirbel)        | 57        |
| 4.1.3.2  | Wirbelquell- oder Wirbelsenkströmung                       | 59        |
| 4.1.3.3  | Drehbewegung unter Berücksichtigung der<br>Schwere         | 60        |
| 4.1.3.4  | Verschiedene Druckbegriffe und deren Messung               | 63        |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 4.1.3.5 | Ausströmen aus einem Behälter . . . . .   | 67  |
| 4.1.3.6 | Gasdynamische Betrachtungen. Die Strömung in<br>der Laval-Düse. Der senkrechte Verdichtungsstoß . . . . .     | 70  |
| 4.2     | Reibungsfreie, ebene und räumliche Strömungen . . . . .   | 86  |
| 4.2.1   | Kontinuität (= Massenerhaltung) . . . . .   | 86  |
| 4.2.2   | Eulersche Bewegungsgleichungen . . . . .  | 87  |
| 4.2.3   | Ebene, stationäre, inkompressible Potentialströmung . . . . .   | 88  |
| 4.2.4   | Beispiele für elementare und zusammengesetzte<br>Potentialströmungen . . . . .                                | 94  |
| 4.2.5   | Potentialströmungen um vorgegebene Körper . . . . .   | 103 |
| 4.3     | Strömung mit Reibung . . . . .  | 109 |
| 4.3.1   | Impulssatz mit Anwendungen . . . . .  | 109 |
| 4.3.1.1 | Durchströmen eines Krümmers . . . . .   | 111 |
| 4.3.1.2 | Düse und Diffusor frei ausblasend . . . . .   | 114 |
| 4.3.1.3 | Carnotscher Stoßdiffusor . . . . .  | 116 |
| 4.3.1.4 | Borda-Mündung . . . . .   | 117 |
| 4.3.1.5 | Schub eines luftatmenden Triebwerkes . . . . .  | 119 |
| 4.3.1.6 | Widerstand eines Halbkörpers im Kanal . . . . .   | 120 |
| 4.3.2   | Drehimpulssatz mit Anwendung . . . . .  | 122 |
| 4.3.2.1 | Durchströmen eines radialen Laufrades . . . . .   | 123 |
| 4.3.3   | Grundsätzliches zum Reibungseinfluss – Kennzahlen . . . . .   | 125 |
| 4.3.4   | Laminare und turbulente Strömung . . . . .  | 128 |
| 4.3.5   | Geschwindigkeitsverteilung und Druckabfall<br>in Kreisrohren bei laminarer und turbulenter Strömung . . . . . | 130 |
| 4.3.6   | Laminare und turbulente Strömung durch raue Rohre<br>(Nikuradse-Diagramm) . . . . .                           | 137 |
| 4.3.7   | Strömung in der Einlaufstrecke . . . . .  | 140 |
| 4.3.8   | Geschwindigkeitsschwankungen und scheinbare<br>Schubspannungen . . . . .                                      | 143 |
| 4.3.9   | Prandtl'scher Mischungswegansatz<br>für die Schwankungsgeschwindigkeiten . . . . .                            | 146 |
| 4.3.10  | Allgemeine Form der Navier-Stokes-Gleichungen . . . . .   | 149 |
| 4.3.11  | Spezielle Lösungen der Navier-Stokes-Gleichungen . . . . .  | 152 |
| 4.3.12  | Einführung in die Grenzschichttheorie . . . . .   | 157 |
| 4.3.13  | Energiesatz . . . . .   | 167 |
| 4.3.14  | Widerstand und Druckverlust . . . . .   | 169 |
| 4.3.15  | Ähnlichkeitsbetrachtungen . . . . .   | 175 |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>5</b> | <b>Vertiefende Übungsaufgaben</b>   | <b>179</b> |
| 5.1      | Aufgabe: Einstömen in einen Tauchbehälter (Sinkendes Schiff)              | 179        |
| 5.2      | Aufgabe: Schwingende Flüssigkeitssäule (U-Rohrmanometer)                  | 181        |
| 5.3      | Aufgabe: Zeitabhängige Ausströmung aus einem Behälter<br>(Anlaufströmung) | 183        |
| 5.4      | Aufgabe: Allgemeines Ausflussproblem                                      | 184        |
| 5.5      | Aufgabe: Verallgemeinertes Überströmproblem                               | 186        |
| 5.6      | Aufgabe: Windenergieanlage  | 189        |
| 5.7      | Aufgabe: Reibungswiderstand bei der Umströmung einer ebenen<br>Platte     | 192        |
| 5.8      | Aufgabe: Plötzlich beschleunigte Platte<br>(Rayleigh-Stokes-Problem)      | 194        |
| 5.9      | Aufgabe: Kompressibles Ein- und Ausströmen                                | 195        |
| 5.10     | Aufgabe: Lavalströmung  | 199        |
| 5.11     | Aufgabe: Geschwindigkeit beim freien Fall (Fallschirmspringer)            | 200        |
| 5.12     | Aufgabe: Auftriebsbeiwerte von Flugzeugen (Start und Reiseflug)           | 201        |
|          | <b>Dimensionen und Einheiten der wichtigsten auftretenden Größen</b>      | <b>205</b> |
|          | <b>Die Autoren</b>  | <b>207</b> |
|          | <b>Ausgewählte Literatur</b>  | <b>209</b> |
|          | Allgemeine Strömungslehre   | 209        |
|          | Teilgebiete der Strömungslehre  | 209        |
|          | <b>Sachverzeichnis</b>  | <b>211</b> |