

**Berichte aus der Strömungstechnik**

**Klaus Gersten**

**Einführung in die Strömungsmechanik**

**Shaker Verlag  
Aachen 2003**

# Inhalt

|                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I. Statik der Fluide</b>                                                | <b>11</b> |
| 1. Dichte                                                                  | 11        |
| 2. Druck                                                                   | 12        |
| 3. Hydrostatik                                                             | 14        |
| 3.1. Grundgleichung der Hydrostatik                                        | 14        |
| 3.2. Druckkraft auf eine ebene Wand                                        | 20        |
| 3.3. Druckkraft auf eine gekrümmte Wand                                    | 24        |
| 3.4. Statischer Auftrieb (Gesetz von <i>Archimedes</i> )                   | 29        |
| 3.5. Fluid in gleichförmiger Beschleunigung                                | 30        |
| 3.6. Fluid in gleichförmiger Rotation                                      | 31        |
| 4. Aerostatik                                                              | 34        |
| 4.1. Grundgleichungen                                                      | 34        |
| 4.2. Isotherme Atmosphäre                                                  | 35        |
| 4.3. Isentrope Atmosphäre                                                  | 36        |
| 4.4. Polytrope Atmosphäre (Standard-Atmosphäre)                            | 38        |
| <br>                                                                       |           |
| <b>II. Dynamik der Fluide</b>                                              | <b>40</b> |
| 5. Beschreibung von Strömungen                                             | 40        |
| 6. Viskosität                                                              | 42        |
| 7. Massenerhaltungssatz (Kontinuitätsgleichung)                            | 45        |
| 8. Energiesatz (Erster Hauptsatz der Thermodynamik)                        | 48        |
| 8.1. Allgemeiner Energiesatz                                               | 48        |
| 8.2. Energiesatz für Stromröhren                                           | 52        |
| 8.3. Inkompressible reibungslose Strömungen ( <i>Bernoulli-Gleichung</i> ) | 54        |
| 8.4. <i>Bernoulli-Gleichung</i> ohne Höhenglied                            | 56        |
| 8.5. Offene Gerinneströmungen                                              | 60        |
| 8.6. Inkompressible Strömungen mit Energiezufuhr (ohne Reibung)            | 64        |
| 8.7. Inkompressible Strömungen mit Reibung (ohne Energiezufuhr)            | 67        |

---

|       |                                                                 |     |           |
|-------|-----------------------------------------------------------------|-----|-----------|
| 9.    | Kompressible Strömungen durch Stromröhren                       | 73  | A         |
| 9.1.  | Grundgleichungen für isentrope Strömungen                       | 73  |           |
| 9.2.  | Ausströmen aus einem Kessel                                     | 76  |           |
| 9.3.  | Massenstromdichte                                               | 80  |           |
| 9.4.  | <i>Laval</i> -Düse                                              | 81  |           |
| 10.   | Impulssatz                                                      | 83  |           |
| 11.   | Impulsmomentensatz (Drallsatz)                                  | 91  |           |
| 12.   | Grundlegende Strömungserscheinungen                             | 93  | L         |
| 12.1. | Turbulenz                                                       | 93  |           |
| 12.2. | <i>Reynolds</i> -Zahl                                           | 96  | $\Lambda$ |
| 12.3. | Rohrströmung                                                    | 98  |           |
| 12.4. | Reibungsschicht (Grenzschicht)                                  | 101 |           |
| 12.5. | Widerstand                                                      | 104 |           |
| 12.6. | Widerstand der längsangeströmten ebenen Platte                  | 107 |           |
| 12.7. | Ablösung                                                        | 109 |           |
| 12.8. | Kugelumströmung                                                 | 111 |           |
| 13.   | Bewegungsgleichungen für inkompressible Strömungen              | 115 |           |
| 13.1. | Kontinuitätsgleichung                                           | 115 |           |
| 13.2. | Impuls-Gleichungen ( <i>Navier-Stokes</i> -Gleichungen)         | 116 |           |
| 13.3. | Drehung und Zirkulation                                         | 120 |           |
| 13.4. | <i>Eulersche</i> Bewegungsgleichungen                           | 123 |           |
| 13.5. | Bewegungsgleichungen in Zylinderkoordinaten                     | 124 |           |
| 14.   | Potentialströmungen                                             | 126 |           |
| 14.1. | Potential- und Stromfunktion                                    | 126 |           |
| 14.2. | Kreiszyylinderströmung                                          | 133 |           |
| 14.3. | Strömungen um Profile                                           | 137 |           |
| 15.   | Schleichende Strömungen (Kleine <i>Reynolds</i> -Zahlen)        | 140 |           |
| 16.   | Laminare Grenzschichtströmungen (Große <i>Reynolds</i> -Zahlen) | 145 |           |
| 16.1. | Grenzschichtgleichungen                                         | 145 |           |
| 16.2. | Impulssatz der Grenzschicht                                     | 149 |           |
| 16.3. | Näherungslösung für die laminare Plattengrenzschicht            | 150 |           |
| 17.   | Turbulente Strömungen                                           | 153 |           |
| 17.1. | Gleichungen für turbulente Grenzschichten                       | 153 |           |
| 17.2. | Mischungsweghypothese von <i>Prandtl</i>                        | 157 |           |
| 17.3. | Universelles Geschwindigkeitsgesetz                             | 158 |           |
| 17.4. | Turbulenter Freistrah                                           | 160 |           |
| 17.5. | Näherungslösung für die turbulente Plattengrenzschicht          | 164 |           |
| 18.   | Instationäre Strömungen                                         | 166 |           |
| 18.1. | Integralsätze                                                   | 166 |           |
| 18.2. | Vektorfelder                                                    | 169 |           |
| 18.3. | Bewegungsgleichungen                                            | 171 |           |

|                                               |         |
|-----------------------------------------------|---------|
| Inhalt                                        | 9       |
| <hr/>                                         |         |
| <i>Anhang</i> . . . . .                       | 176     |
| Dimensionsanalyse . . . . .                   | 176     |
| Verzeichnis der verwendeten Symbole . . . . . | 179     |
| Widerstandszahlen . . . . .                   | 182     |
| Stoffwerte für Wasser und Luft . . . . .      | 187     |
| <br><i>Literatur</i> . . . . .                | <br>188 |
| <i>Namen- und Sachverzeichnis</i> . . . . .   | 191     |