

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|------|
| Verzeichnis der Tabellen | XIII |
| Bezeichnungen, Dimensionen, Einheiten | XIV |
| 4 Elementare Strömungsvorgänge dichte­veränderlicher Fluide | 1 |
| 4.1 Überblick | 1 |
| 4.2 Dichte­veränderliche Fluide im Ruhezustand (Aerostatik) | 2 |
| 4.2.1 Ausgangsgleichungen | 2 |
| 4.2.2 Gasdruck auf feste Begrenzungsflächen | 5 |
| 4.2.2.1 Druck in einem abgeschlossenen Behälter | 5 |
| 4.2.2.2 Schwebende Körper | 6 |
| 4.2.3 Beispiele zur Mechanik und Thermodynamik ruhender Gase | 6 |
| 4.2.3.1 Ruhende Atmosphäre | 6 |
| 4.2.3.2 Quasistatische Arbeitsprozesse bei Gasen | 8 |
| 4.3 Stromfaden­theorie dichte­veränderlicher Fluide (Gase) | 10 |
| 4.3.1 Einführung | 10 |
| 4.3.2 Stationäre Faden­strömung eines dichte­veränderlichen Fluids | 10 |
| 4.3.2.1 Voraussetzungen und Annahmen | 10 |
| 4.3.2.2 Ausgangsgleichungen der stationären Faden­strömung | 11 |
| 4.3.2.3 Ausbreitungsgeschwindigkeit schwacher Druckstörungen (Schallgeschwindigkeit) | 13 |
| 4.3.2.4 Kennzahlen und Druckbeiwert der Strömung dichte­veränder- licher Fluide | 16 |
| 4.3.2.5 Bei konstanter Entropie stetig verlaufende stationäre Strömung | 20 |
| 4.3.2.6 Mit normalem Verdichtungsstoß un­stetig verlaufende stationäre Strömung | 24 |
| 4.3.2.7 Anwendungen zur stationären Faden­strömung dichte­veränder- licher Fluide | 30 |
| 4.3.3 Instationäre Faden­strömung eines dichte­veränderlichen Fluids | 41 |
| 4.3.3.1 Voraussetzungen und Annahmen | 41 |
| 4.3.3.2 Lineare Theorie der instationären Faden­strömung | 42 |
| 4.3.3.3 Anwendungen zur instationären Faden­strömung dichte­veränderlicher Fluide | 49 |
| 4.4 Strömung dichte­veränderlicher Fluide (Gase) in Rohrleitungen | 58 |
| 4.4.1 Einführung | 58 |
| 4.4.2 Gasströmung in geradlinig verlaufenden Rohren | 59 |
| 4.4.2.1 Grundlagen zur Berechnung der Gasströmung in Rohrleitungen | 59 |
| 4.4.2.2 Reibungslose Rohrströmung mit Wärmeumsatz (Rayleigh) | 64 |
| 4.4.2.3 Adiabate Rohrströmung mit Reibung (Fanno) | 69 |
| 4.4.2.4 Rohrströmung bei konstanter Temperatur (isotherm) | 75 |
| 4.5 Umlenkung stationärer ebener Übers­challströmungen durch Wellen und Stöße | 76 |
| 4.5.1 Einführung | 76 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.5.2 | Schiefe Störfront | 78 |
| 4.5.2.1 | Voraussetzungen und Annahmen | 78 |
| 4.5.2.2 | Grundlegende Erkenntnisse | 78 |
| 4.5.2.3 | Einfluß des Umlenk- und Frontwinkels | 81 |
| 4.5.3 | Elementare Strömungsumlenkung bei Überschallanströmung | 82 |
| 4.5.3.1 | Schwache Umlenkung bei supersonischer Strömung (lineare Theorie) | 82 |
| 4.5.3.2 | Starke stetige Umlenkung (konstante Entropie) | 85 |
| 4.5.3.3 | Starke unstetige Umlenkung (schiefer Verdichtungsstoß) | 90 |
| 4.5.3.4 | Hypersonische Strömung | 102 |
| 4.6 | Drehungsfreie und drehungsbehaftete Strömungen dichte­veränderlicher Fluide (Gase) → Kap. 5.3.3 bzw. 5.4.4 | |
| 4.7 | Laminare Grenzschichten dichte­veränderlicher Fluide (Gase) → Kap. 6.3.2 | |
| | Literatur zu Kapitel 4 | 109 |
| 5 | Drehungsfreie und drehungsbehaftete Strömungen | 112 |
| 5.1 | Überblick | 112 |
| 5.2 | Begriffe und Gesetze drehungsfreier und drehungsbehafteter Strömungen | 113 |
| 5.2.1 | Einführung | 113 |
| 5.2.2 | Geschwindigkeitspotentiale | 113 |
| 5.2.2.1 | Geschwindigkeitsfeld, Drehungsfeld (Wirbelfeld) | 113 |
| 5.2.2.2 | Skalares Geschwindigkeitspotential (Quellpotential) | 114 |
| 5.2.2.3 | Vektoriell­es Geschwindigkeitspotential (Wirbelpotential) | 115 |
| 5.2.3 | Drehbewegung (Wirbelströmung) | 115 |
| 5.2.3.1 | Drehung | 115 |
| 5.2.3.2 | Zusammenhang von Drehung und Entropie (Crocco, Vazsonyi) | 115 |
| 5.2.3.3 | Räumliche Erhaltung der Drehung (Räumlicher Wirbelerhaltungssatz) | 116 |
| 5.2.3.4 | Zeitliche Änderung der Drehung (Wirbeltransportgleichung) | 117 |
| 5.2.4 | Zirkulationsströmung | 118 |
| 5.2.4.1 | Zirkulation | 118 |
| 5.2.4.2 | Zusammenhang von Zirkulation und Drehung (Stokes) | 120 |
| 5.2.4.3 | Zusammenhang von Zirkulation und Geschwindigkeitspotential | 122 |
| 5.2.4.4 | Zeitliche Änderung der Zirkulation | 122 |
| 5.2.5 | Wirbelsätze für die Wirbellinie und den Wirbelfaden | 124 |
| 5.2.5.1 | Allgemeines | 124 |
| 5.2.5.2 | Definitionen | 124 |
| 5.2.5.3 | Räumliche Erhaltungseigenschaft | 125 |
| 5.2.5.4 | Zeitliche Erhaltungseigenschaft | 126 |
| 5.3 | Drehungsfreie reibungslose Strömungen (Potentialströmungen) | 127 |
| 5.3.1 | Voraussetzungen und grundlegende Beziehungen | 127 |
| 5.3.2 | Stationäre Potentialströmungen dichte­beständiger Fluide ohne freie Oberfläche | 130 |
| 5.3.2.1 | Ausgangsgleichungen | 130 |
| 5.3.2.2 | Grundlagen der ebenen Potentialströmungen dichte­beständiger Fluide | 132 |
| 5.3.2.3 | Lösungsansätze ebener Potentialströmungen dichte­beständiger Fluide | 135 |
| 5.3.2.4 | Beispiele ebener Potentialströmungen dichte­beständiger Fluide | 140 |
| 5.3.2.5 | Grundlagen der räumlichen Potentialströmungen dichte­beständiger Fluide | 157 |
| 5.3.2.6 | Beispiele räumlicher Potentialströmungen dichte­beständiger Fluide | 158 |
| 5.3.3 | Stationäre Potentialströmungen dichte­veränderlicher Fluide (Gase) | 163 |
| 5.3.3.1 | Ausgangsgleichungen | 163 |
| 5.3.3.2 | Exakte Lösungen ebener Potentialströmungen dichte­veränderlicher Fluide | 165 |

| | |
|--|-----|
| 5.3.3.3 Ebene Potentialströmungen dichteveränderlicher Fluide bei kleiner Störung | 168 |
| 5.3.3.4 Lösungsansätze und Ähnlichkeitsregeln ebener linearisierter Potentialströmungen dichteveränderlicher Fluide | 173 |
| 5.3.3.5 Räumliche Potentialströmungen dichteveränderlicher Fluide | 186 |
| 5.3.4 Instationäre Potentialströmungen mit freier Flüssigkeitsoberfläche (Oberflächenwellen) | 188 |
| 5.3.4.1 Grundlagen und Bestimmungsgleichungen | 188 |
| 5.3.4.2 Gerade fortschreitende Oberflächenwellen | 192 |
| 5.3.4.3 Überlagerte Oberflächenwellen | 196 |
| 5.3.4.4 Schiffswellen | 197 |
| 5.4 Zirkulationsbehaftete reibungslose Strömungen (Potentialwirbelströmungen) | 198 |
| 5.4.1 Voraussetzungen und grundlegende Beziehungen | 198 |
| 5.4.2 Stationäre Potentialwirbelströmungen dichtebeständiger Fluide | 200 |
| 5.4.2.1 Beliebige geformter Wirbelfaden | 200 |
| 5.4.2.2 Einzelner ebener Potentialwirbel (Stabwirbel) | 202 |
| 5.4.2.3 Mehrere parallel verlaufende ebene Potentialwirbel (Wirbelsysteme) | 205 |
| 5.4.2.4 Potentialwirbelschichten | 212 |
| 5.4.3 Tragflügeltheorie dichtebeständiger Fluide | 217 |
| 5.4.3.1 Grundlagen der Theorie des Auftriebs | 217 |
| 5.4.3.2 Tragflügel unendlicher Spannweite (Profiltheorie) | 219 |
| 5.4.3.3 Tragflügel endlicher Spannweite (räumliche Tragflügeltheorie) | 227 |
| 5.4.3.4 Tragflügelsysteme | 234 |
| 5.4.4 Stationäre Wirbelströmungen dichteveränderlicher Fluide | 240 |
| 5.4.4.1 Ebener Potentialwirbel | 240 |
| 5.4.4.2 Freie Wirbelschicht | 241 |
| 5.4.4.3 Wirbelfeld (Drehung) hinter einem gekrümmten Verdichtungsstoß | 242 |
| 5.5 Verwandte Probleme der Potentialtheorie | 244 |
| 5.5.1 Einführung | 244 |
| 5.5.2 Grundsätzliche Erkenntnisse der erweiterten Potentialtheorie | 244 |
| 5.5.2.1 Potentialströmung mit freier Stromlinie | 244 |
| 5.5.2.2 Schleichende Potentialströmung (Hele-Shaw) | 251 |
| 5.5.2.3 Instationäre Wirbelausbreitung in einem viskosen Fluid | 252 |
| 5.5.3 Sickerströmung durch poröses Medium | 257 |
| 5.5.3.1 Filtergesetz (Darcy) | 257 |
| 5.5.3.2 Sickerströmung als potentialtheoretische Aufgabe | 259 |
| 5.5.3.3 Grundwasserströmung | 260 |
| Literatur zu Kapitel 5 | 262 |
| 6 Grenzschichtströmungen | 267 |
| 6.1 Überblick | 267 |
| 6.2 Grundzüge der Grenzschicht-Theorie | 268 |
| 6.2.1 Einführung | 268 |
| 6.2.2 Begriff der Grenzschicht und ihr grundsätzliches Verhalten | 270 |
| 6.2.2.1 Strömungsgrenzschicht | 270 |
| 6.2.2.2 Temperaturgrenzschicht | 275 |
| 6.2.2.3 Diffusionsgrenzschicht | 277 |
| 6.2.3 Ausgangsgleichungen der Grenzschicht-Theorie (Prandtl) | 277 |
| 6.2.3.1 Grundgesetze der Strömung mit Reibungs- und Temperatureinfluß | 277 |
| 6.2.3.2 Formulierung der Grenzschicht-Theorie | 279 |
| 6.2.3.3 Stoffgesetze innerhalb der Grenzschicht | 282 |
| 6.3 Grenzschichtströmung an festen Wänden | 283 |
| 6.3.1 Einführung | 283 |
| 6.3.2 Laminare Grenzschichten an festen Wänden | 283 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 6.3.2.1 | Grenzschichtgleichungen der laminaren ebenen Scherströmung | 283 |
| 6.3.2.2 | Folgerungen aus den Grenzschichtgleichungen | 289 |
| 6.3.2.3 | Laminare Grenzschicht an der längsangeströmten ebenen Platte | 295 |
| 6.3.2.4 | Laminare ebene Grenzschicht mit Druckgradient der Außenströmung | 309 |
| 6.3.2.5 | Laminare Grenzschicht an Körpern mit gekrümmter Oberfläche . . . | 316 |
| 6.3.3 | Turbulente Grenzschichten an festen Wänden | 318 |
| 6.3.3.1 | Grenzschichtgleichungen der turbulenten ebenen Scherströmung . . . | 318 |
| 6.3.3.2 | Geschwindigkeitsprofile der turbulenten Strömungsgrenzschicht . . . | 323 |
| 6.3.3.3 | Turbulente Grenzschicht an der längsangeströmten ebenen Platte . . . | 326 |
| 6.3.3.4 | Turbulente ebene Grenzschicht mit Druckgradient der Außenströmung | 335 |
| 6.3.4 | Integralverfahren der Grenzschicht-Theorie | 340 |
| 6.3.4.1 | Allgemeines | 340 |
| 6.3.4.2 | Integralbeziehungen der Strömungsgrenzschicht | 341 |
| 6.3.4.3 | Quadraturverfahren zur Berechnung der Strömungsgrenzschicht bei einem homogenen Fluid | 347 |
| 6.3.5 | Abgelöste Grenzschicht bei umströmten Körpern | 351 |
| 6.3.5.1 | Grundsätzliche Erkenntnisse | 351 |
| 6.3.5.2 | Abgelöste Strömung an gewölbten Körpern | 352 |
| 6.3.5.3 | Abgelöste Strömung um Körper mit scharfen Kanten | 358 |
| 6.4 | Grenzschichtströmung ohne feste Begrenzung | 361 |
| 6.4.1 | Einführung | 361 |
| 6.4.2 | Freie Strömungsgrenzschicht | 361 |
| 6.4.2.1 | Reibungsbehaftete Trennungsschicht (ebener Halbstrahl) | 361 |
| 6.4.2.2 | Reibungsbehafteter Freistrahle | 363 |
| 6.4.2.3 | Reibungsbehaftete Nachlaufströmung | 372 |
| 6.4.3 | Besondere turbulente Scherströmungen | 374 |
| 6.4.3.1 | Intermittenz bei turbulenter Strömung | 374 |
| 6.4.3.2 | Strahlablenkung durch feste Wand (Coanda-Effekt) | 375 |
| | Literatur zu Kapitel 6 | 377 |
| | Bibliographie | 000 |
| | Namenverzeichnis (Band 1 und 2) | 000 |
| | Sachverzeichnis | 000 |
| | Ergänzungen zu Band 1 (4. Auflage) | 000 |

Band 1

Grundlagen und elementare Strömungsvorgänge dichtebeständiger Fluide

- 1 Einführung in die Fluidmechanik
 - 2 Grundgesetze der Fluid- und Thermofluidmechanik
 - 3 Elementare Strömungsvorgänge dichtebeständiger Fluide
- Sachverzeichnis

Fluidmechanik

Band 2: Elementare Strömungsvorgänge
dichteveränderlicher Fluide sowie Potential- und
Grenzschichtströmungen

Truckenbrodt, E.A.

2008, XVII, 419 S., Hardcover

ISBN: 978-3-540-79023-5