

# Inhaltsverzeichnis

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 1       | Strömungstechnische Grundlagen                     | 1  |
| 1.1     | Hydrostatik  | 1  |
| 1.1.1   | Der hydrostatische Druck                           | 1  |
| 1.1.2   | Druckkraft auf Wände                               | 5  |
| 1.1.3   | Auftrieb und Schwimmen                             | 7  |
| 1.1.4   | Schwimmstabilität                                  | 9  |
| 1.1.5   | Rotierende Flüssigkeit                             | 11 |
| 1.1.6   | Oberflächenspannung                                | 12 |
| 1.2     | Dimensionsanalyse und hydromechanische Ähnlichkeit | 14 |
| 1.2.1   | Dimensionsanalyse                                  | 14 |
| 1.2.2   | Hydromechanische Ähnlichkeit                       | 15 |
| 1.2.3   | Das Reynoldsche Modellgesetz                       | 17 |
| 1.3     | Hydromechanik                                      | 17 |
| 1.3.1   | Reibungsfreie Rohrströmung                         | 18 |
| 1.3.2   | Meßtechnik   | 21 |
| 1.3.2.1 | Messungen mit Sonden                               | 22 |
| 1.3.2.2 | Messungen mit Düsen und Blenden                    | 23 |
| 1.3.2.3 | Rotierende Meßgeräte                               | 24 |
| 1.3.2.4 | Thermische Meßgeräte                               | 25 |
| 1.3.2.5 | Ausfluß- und Überfallmessungen                     | 25 |
| 1.3.3   | Strömung mit Reibung                               | 26 |
| 1.3.3.1 | Widerstandsgesetz                                  | 26 |
| 1.3.3.2 | Laminare Strömung                                  | 27 |
| 1.3.3.3 | Turbulente Strömung                                | 29 |
| 1.3.4   | Besondere Widerstände                              | 31 |
| 1.3.4.1 | Eintritts- und Umlenkerluste                       | 32 |
| 1.3.4.2 | Querschnittsänderungen                             | 32 |
| 1.3.4.3 | Absperrorgane, Armaturen                           | 34 |
| 1.3.4.4 | Rohrverzweigungen                                  | 35 |
| 1.3.5   | Impulssatz für strömende Medien                    | 35 |
| 1.3.6   | Flüssigkeitsbehälter                               | 39 |
| 1.4     | Gasdynamik   | 41 |
| 1.4.1   | Schallgeschwindigkeit                              | 41 |
| 1.4.2   | Kompressibilität strömender Gase                   | 43 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 1.4.3   | Strömungsgesetze   | 45  |
| 1.4.4   | Überschalldüse   | 47  |
| 1.4.5   | Rohrströmung kompressibler Medien                                    | 51  |
| 1.4.6   | Bewegung eines Körpers im Überschallbereich und der Verdichtungsstoß | 51  |
| 1.4.6.1 | Der Mach'sche Kegel  | 51  |
| 1.4.6.2 | Der gerade Verdichtungsstoß  | 52  |
| 1.4.6.3 | Der schräge Verdichtungsstoß   | 55  |
| 1.4.6.4 | Auswirkungen des Verdichtungsstoßes auf umströmte Körper             | 57  |
| 2       | Das umströmte Profil - Aerodynamik und Flugtechnik                   | 59  |
| 2.1     | Ebene Strömung   | 59  |
| 2.1.1   | Grundlagen   | 59  |
| 2.1.2   | Strömungsbilder  | 64  |
| 2.1.2.1 | Quelle   | 64  |
| 2.1.2.2 | Dipolströmung  | 66  |
| 2.1.2.3 | Kreiszylinderströmung  | 67  |
| 2.1.2.4 | Zirkulationsströmung   | 69  |
| 2.1.2.5 | Parallelströmung mit Zirkulation am Kreiszylinder                    | 70  |
| 2.1.2.6 | Überlagerung von Quelle und Zirkulation                              | 72  |
| 2.2     | Das umströmte Profil   | 82  |
| 2.2.1   | Profilentwicklung  | 82  |
| 2.2.1.1 | Methode der konformen Abbildung                                      | 82  |
| 2.2.1.2 | Singularitätenmethode  | 83  |
| 2.2.2   | Hydrodynamischer Auftrieb  | 84  |
| 2.2.3   | Profilgeometrie  | 86  |
| 2.2.4   | Der Luftwiderstand   | 88  |
| 2.2.5   | Strömungsparameter   | 91  |
| 2.2.6   | Druckverteilung und endliche Flügellänge                             | 94  |
| 2.2.7   | Der Windkanal  | 96  |
| 2.2.8   | Besonderheiten im Überschallbereich                                  | 97  |
| 2.2.9   | Tabellen und Diagramme   | 99  |
| 2.3     | Die Luftschaube  | 102 |
| 2.4     | Flugdynamik am Hubschrauber  | 107 |
| 2.4.1   | Der Hubschrauber als Fluggerät                                       | 107 |
| 2.4.2   | Schwebeflug  | 108 |
| 2.4.3   | Steuerung  | 109 |
| 2.4.4   | Vertikalflug   | 110 |
| 2.4.5   | Horizontalflug   | 112 |
| 2.4.6   | Autorotation   | 116 |
| 3       | Grundlagen der Strömungsmaschinen                                    | 119 |
| 3.1     | Übersicht und Einteilung   | 119 |
| 3.2     | Das Schaufelgitter   | 119 |
| 3.3     | Berechnungsmethoden  | 122 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 3.4     | Energieumsatz   | 123 |
| 3.5     | Verluste und Wirkungsgrade                                | 125 |
| 3.6     | Strömungsverhältnisse am Laufrad                          | 131 |
| 3.7     | Hauptgleichung für Strömungsmaschinen                     | 132 |
| 3.8     | Minderleistung  | 134 |
| 3.9     | Gleich- und Überdruckverfahren                            | 136 |
| 3.10    | Die spezifische Drehzahl                                  | 140 |
| 3.11    | Wahl des Schaufelwinkel $\beta_2$                         | 142 |
| 3.12    | Saugfähigkeit und Kavitation, Überschallströmung          | 145 |
| 3.13    | Einlaufziffer und Schaufelzahl                            | 149 |
| 3.14    | Achsschub   | 151 |
| 4       | Betriebsverhalten der Strömungsmaschine                   | 154 |
| 4.1     | Die Drosselkurve  | 154 |
| 4.2     | Das Kennfeld  | 156 |
| 4.3     | Arbeitspunkt und Betriebsverhalten der Arbeitsmaschine    | 157 |
| 4.4     | Regelverfahren  | 160 |
| 4.5     | Betriebsverhalten der Turbine                             | 161 |
| 5       | Gebläse und Verdichter                                    | 163 |
| 5.1     | Einführung und Übersicht                                  | 163 |
| 5.2     | Radiale und axiale Maschinen                              | 165 |
| 5.3     | Gekühlte Verdichter                                       | 168 |
| 5.4     | Gestaltung  | 169 |
| 5.4.1   | Radialmaschine  | 169 |
| 5.4.1.1 | Laufrad   | 169 |
| 5.4.1.2 | Leitorgane  | 171 |
| 5.4.2   | Axialmaschine   | 171 |
| 5.5     | Bautypen und besondere Einsatzgebiete                     | 172 |
| 5.6     | Sonderbauarten  | 177 |
| 5.6.1   | Schraubenverdichter                                       | 177 |
| 5.6.2   | Rootsgebläse  | 178 |
| 5.6.3   | Zellenverdichter  | 178 |
| 5.7     | Berechnung des axialen Gitters nach der Tragflügeltheorie | 179 |
| 5.8     | Übungsbeispiel  | 183 |
| 6       | Kreiselpumpe  | 187 |
| 6.1     | Bauformen, Wirkungsweise und Gestaltung                   | 187 |

|   |     |
|---|-----|
| 6.2 Übungsbeispiel  | 191 |
| 6.2.1 Ausgangsdaten   | 191 |
| 6.2.2 Bauform und Stufenzahl  | 192 |
| 6.2.3 Leistung und Wellendurchmesser  | 192 |
| 6.2.4 Saugmund  | 193 |
| 6.2.5 Eintrittskante der Laufschaufel   | 194 |
| 6.2.6 Schaufelaustrittskante  | 195 |
| 6.2.7 Gestaltung des Laufrades  | 198 |
| 6.2.8 Entwurf der Laufschaufel  | 198 |
| 6.2.9 Leitorgane  | 200 |
| 6.2.9.1 Schaufelloser Ringraum  | 200 |
| 6.2.9.2 Leitrad   | 201 |
| 6.2.9.3 Rückföhrrad   | 202 |
| 6.2.9.4 Spiralgehäuse   | 203 |
| 6.2.10 Zusätzliche Auslegungshinweise   | 204 |
| 7 Wasserturbinen  | 206 |
| 7.1 Einführung  | 206 |
| 7.2 Freistrahlтурbinen  | 206 |
| 7.3. Francisturbine   | 211 |
| 7.4 Kaplanturbine   | 221 |
| 7.5 Vergleichende Betrachtung   | 226 |
| 8 Strömungswandler  | 228 |
| 8.1 Einführung  | 228 |
| 8.2 Der hydrodynamische Dehzahlwandler (hydraulische Kupplung)                | 230 |
| 8.3 Der hydrodynamische Momentenwandler (hydraulisches Getriebe)              | 234 |
| 8.4 Anwendungen des hydrodynamischen Wandlers                                 | 238 |
| 8.5 Das Leistungsteilungsgetriebe   | 239 |
| 8.6 Betriebliche Hinweise für Strömungsgtriebe                                | 242 |
| 9 Gasturbinen   | 243 |
| 9.1 Der Gasturbinenprozeß - Thermodynamik des Prozesses und Aufbau der Anlage | 243 |
| 9.1.1 Offener Prozeß  | 243 |
| 9.1.2 Prozeß mit Wärmetauscher  | 246 |
| 9.1.3 Zwischenkühlung und Zwischenerhitzung                                   | 247 |
| 9.1.4 Geschlossener Prozeß  | 248 |
| 9.2 Bauelemente der Gasturbine  | 249 |
| 9.2.1 Verdichter  | 249 |
| 9.2.2 Brennkammer   | 249 |
| 9.2.3 Turbine   | 250 |
| 9.2.4 Zusammenfassung   | 252 |

|  |         |
|--|---------|
| 9.3 Strahlantriebe   | 252     |
| 9.3.1 Strahltriebwerk                                      | 252     |
| 9.3.2 Schubrohr  | 255     |
| 9.4 Abgasturbolader  | 255     |
| 9.5 Die Gasturbine als Antrieb für Straßenfahrzeuge        | 261     |
| <br>10 Energieerzeugung                                    | <br>265 |
| 10.1 Energieerzeugung im Dampfkraftwerk                    | 265     |
| 10.1.1 Der Dampfkraftprozeß                                | 265     |
| 10.1.2 Die wichtigsten Baueinheiten                        | 269     |
| 10.1.2.1 Kessel  | 269     |
| 10.1.2.2 Kondensator                                       | 270     |
| 10.1.2.3 Kühlkreislauf                                     | 271     |
| 10.1.2.4 Wasseraufbereitung                                | 272     |
| 10.2 Nutzbarmachung von Kernenergie                        | 274     |
| 10.3 Wasserkraftanlagen                                    | 277     |
| 10.4 Energiebedarf und Spitzenlastdeckung                  | 279     |
| 10.5 Kopplung von Erzeugung elektrischer Energie und Wärme | 280     |
| <br>11 Die Dampfturbine                                    | <br>283 |
| 11.1 Aufbau der Dampfturbine                               | 286     |
| 11.2 Beschauflung  | 289     |
| 11.3 Regelung  | 289     |
| 11.4 Anfahren und Abstellen der Turbine                    | 292     |
| 11.5 Berechnungsbeispiel                                   | 293     |
| <br>12 Die Rakete  | <br>298 |
| 12.1 Einführung  | 298     |
| 12.2 Rechnerische Grundlagen                               | 298     |
| 12.3 Flüssigkeitsrakete                                    | 300     |
| 12.4 Feststoffrakete                                       | 303     |
| 12.5 Steuerung der Rakete                                  | 304     |
| 12.6 Raketenflugmechanik                                   | 305     |
| <br>Anhang   | <br>    |
| Tafeln   | 309     |
| Literaturverzeichnis                                       | 316     |
| Sachwortregister   | 318     |