Inhaltsverzeichnis

Einleitung 21

Über dieses Buch 21
Konventionen in diesem Buch 21
Wie dieses Buch strukturiert ist 21
Teil I: Methodik, Werkzeuge und Klassifizierung von Strömungen 21
Teil II: Hydrostatik 21
Teil III: Aerostatik 22
Teil IV: Strömung von Fluiden – es kommt Bewegung ins System 22
Teil V: Impuls und Drall in Strömungen 22
Teil VI: Kompressible Strömungen – vergessen Sie (fast) alles bis dato Gelernte 22
Teil VII: Top-Ten-Teil 23
Anhang 23
Symbole, die in diesem Buch verwendet werden 23
Wie es weitergeht 23

Teil I
Methodik, Werkzeuge und Klassifizierung von Strömungen 25

Kapitel 1
Charakteristische Merkmale der Strömungsmechanik 27

Um was geht es denn bei der Strömungsmechanik? 27
Was die Strömungsmechanik von anderen Wissensgebieten unterscheidet 28
Veränderung der Arbeitsweise von Strömungsmechanikern im Verlauf der Geschichte 30

Kapitel 2
So arbeiten Strömungsmechaniker 33

Strömungssimulation in Windkanälen 34
Wozu werden Windkanäle benötigt? 34
Konstruktionsprinzipien von Windkanälen 36
Strömungssimulation mit numerischen Methoden: CFD 39
Historische Entwicklung von CFD 39
Wie die CFD eingesetzt wird 39

Kapitel 3
Gliederung und Begriffsdefinitionen – Ordnung muss sein 41

Fluid oder Festkörper 41
Gliederung der Strömungsmechanik 41
Bahnlinie und Stromlinie 43
Stromfaden und Stromröhre 47

Kapitel 4
Klassifizierung von Strömungen oder wie man sich das Leben einfach gestalten kann 49

Reibung – reale und ideale Fluide 49
Zeitverhalten – stationäre, instationäre und quasistationäre Strömungen 52
Dimensionen – ein-, zwei- oder dreidimensionale Strömungen 54
Kompressibilität – kompressible und inkompressible Strömungen 55
Mach-Zahl im Strömungsfeld 56
Fließverhalten 64

Teil II
Hydrostatik 67

Kapitel 5
Druck oder was uns alle belastet 69

Druck als Zustandsgröße 71
Druckbegriffe – alles nur eine Frage des Standpunkts 72
Druck als physikalische Größe 73
Hydrostatischer Druck 74
Hydrostatisches oder Pascalsches Paradoxon 76
Verbundene Gefäße oder kommunizierende Röhren 77
Begrenzung der Saugwirkung einer Pumpe 79
Kavitation 81
Druckmessung 82
Korrekturen: Einfluss von Temperatur und Luftfeuchte 84
Einbau von Drucksonden – statische Größen und Totalgrößen 86

Kapitel 6
Statischer Auftrieb oder das tragische Ende eines Goldschmiedes 91

Statischer Auftrieb nach dem Prinzip des Archimedes 91
Warum Ihre Badezimmerwaage lügt 93
Statischer Auftrieb als Ergebnis von Druckdifferenzen 93
Die Problematik des Schiffshebewerks 96
Grenzen des archimedischen Auftriebs 98

Kapitel 7
Oberflächenspannung – warum der Wasserläufer nicht versinkt 101

Teilchenkräfte – was den Regentropfen zusammenhält 101
Kapillarwirkung 105
Einfache Methoden zur Bestimmung der Oberflächenspannung 106
Kapillarmethode 106
Tropfen- oder Stalagmometermethode 107
Ringmethode 108

Kapitel 8
Druckkräfte auf Begrenzungsflächen 109

Belastung einer ebenen horizontalen Fläche 109
Belastung einer ebenen senkrechten Fläche 110
Betrag der Kraft F 110
Lage des Kraftangriffspunktes D 111
Belastung einer ebenen geneigten Fläche 114
Belastung einer gekrümmten, abwickelbaren Fläche 114
Abwickelbare Flächen 115
Berechnung der horizontalen Kraftkomponente 115
Berechnung der vertikalen Kraftkomponente 116
Berechnung der resultierenden Gesamtkraft 116
Belastung einer nicht-abwickelbaren Fläche 117
Berechnung der horizontalen Kraftkomponenten 117
Berechnung der vertikalen Kraftkomponente 118
Berechnung der resultierenden Gesamtkraft 119

Kapitel 9
Fluide unter Beschleunigung 121

Niveauflächen – überall der gleiche Druck 121
Fluide unter dem Einfluss einer translatorischen Beschleunigung 122
Fluide unter dem Einfluss einer rotatorischen Beschleunigung 122
Druck im Inneren eines rotierenden Fluids 125
Kraft auf einen Deckel infolge eines rotierenden Fluids 126

Kapitel 10
Stabilität schwimmender oder schwebender Körper 129

Prinzip der statischen Stabilität 129
Berechnung des Stabilitätsmaßes 131

Teil III
Aerostatik 133

Kapitel 11
Aufbau der Erdatmosphäre 135

Die Erdatmosphäre als Wärmekraftmaschine 135
Der Systembegriff der Thermodynamik 135
Wetter als Ergebnis von Wärmeaustauschprozessen 137
Chemische Zusammensetzung der Erdatmosphäre 138
Aufbau der Erdatmosphäre 138
Luftdruck als Funktion der Höhe 143
Hydrostatische Grundgleichung 143
Polytrope Zustandsänderung 143
Zusammenhang zwischen Höhe, Druck, Temperatur und Dichte 144

Kapitel 12
Internationale Standardatmosphäre ISA – eine Norm, die nie erfüllt wird 147

Aufbau der Standardatmosphäre 147
Temperaturverteilung 148
Weitere sinnvolle Parameter, die Sie berechnen könnten 150

Kapitel 13
Höhendefinitionen 153

Geometrische und absolute Höhe 153
Geopotentielle Höhe 154
Druckhöhe 155
Höhenmessung 155
Verfahren während des Fluges 156
Bedeutung der Druckhöhe für den Flugverkehr 157
Dichtehöhe 158

Teil IV
Strömung von Fluiden – es kommt Bewegung ins System 161

Kapitel 14
Basisgleichungen der Strömungsmechanik 163

Kontinuitätsgleichung – die Leitung ist dicht 163
Volumenstrom 163
Massestrom 164

Energieerhaltungssatz 165
Drei gute Gründe, den Kabineninndruck in einem Flugzeug niedrig zu halten 167
Enthalpie und innere Energie 169
Kalorische Zustandsgleichungen 169
Innere Energie und Enthalpie fester und flüssiger Phasen 170
Innere Energie und Enthalpie idealer Gase 170
Vom ersten Hauptsatz der Thermodynamik zur Bernoulligleichung 171
Was Herr Bernoulli alles nicht berücksichtigt 171

Kapitel 15
Ausfluss aus Behältern – die (fast) verdorbene Feier 177

Verlustfreies Ausströmen aus Behältern 177
Verlustbehaftetes Ausfließen aus Behältern 179
Verlusthöhe und Druckverlust 181
Verlustziffer und Ausflusskoeffizient 181

Kapitel 16
Strömungen mit Energietransport 183

Berücksichtigung von Arbeitsmaschinen in der Bilanz 183
Sinn und Unsinn eines Kraftwerks mit negativer Energiebilanz 184
Turbinenbetrieb 185
Pumpbetrieb 188

Kapitel 17
Modellgesetze 191

Die Simulationsproblematik oder die Quadratur des Kreises 191
Dimensionsanalyse 194
Kennzahlen, die Sie wirklich benötigen 196
Mach-Zahl 196
Reynolds-Zahl 196
Froude-Zahl 199

Kapitel 18
Rohrströmung 201

Unterschiedliche Strömungsqualitäten 201
Laminare Rohrströmung 201
Turbulente Rohrströmung 202
Druckverlust bei Rohrströmungen 203

Druckverlust infolge des Rohrreibungswiderstands 203
Berechnung der Rohrreibungszahl 205
Hydraulisch glatte Rohre 206
Vollständig raue Rohre 207
Übergangsgebiet zwischen glatt und rau 207
Druckverlust infolge von Einbauten 208
Richtungsänderung 209
Eintrittsverluste 211
Austrittsverluste 212
Stufendiffusor 213
Konischer Diffusor 213
Stufendüse 214
Konische Düse 215
Druckverlust im Gesamtsystem 216
Hydraulischer Ersatzdurchmesser 216
Normblenden 217

Kapitel 19
Grenzschichtströmungen 221

Entstehung einer Grenzschicht 222
Strömungsgrenzschicht 223
Temperaturgrenzschicht 224
Grundzüge der Prandtlschen Grenzschichttheorie 227
Laminare Strömungsgrenzschicht 227
Laminare Temperaturgrenzschicht 229
Turbulente Strömungsgrenzschicht 230
Turbulente Temperaturgrenzschicht 234
Ablösung der Grenzschicht 235
Entstehung eines Ablösegebiets 235
Die Kármánsche Wirbelstraße – hübsch anzuschauen, aber auch lästig 236
Nachlaufdelle 237
Transition 238
Natürliche Transition 238
Erzwungene Transition 239

Kapitel 20
Widerstand von Körpern: Willkommen in der realen Welt! 245

Ursache des Widerstands – ein Makel der realen Welt 245
Reibungswiderstand 246
Druck- oder Formwiderstand – alles nur eine Frage der Formgebung 247
Entstehung des Druckwiderstands 247
Verringerung des Druckwiderstands oder warum der Golfball Dellen hat 248
Induzierter Widerstand – auch bei reibungsfreier Strömung 251
Entstehung des induzierten Widerstands 251
Einflussfaktoren auf den induzierten Widerstand 252
Auswirkungen des induzierten Widerstands – erfreulich als auch unerfreulich 253
Interferenzwiderstand – des einen Freud, des anderen Leid 256
Gesamtwiderstand und quadratisches Widerstandsgesetz 257
Dimensionslose Beiwerte in der Strömungsmechanik 259

Kapitel 21
Umströmung stumpfer Körper – einfache Lösungen für den täglichen Gebrauch 263

Kugelumströmung 263
Ideale, reibungsfreie Umströmung einer Kugel (Potentialströmung) 263
Reibungsbehaftete Umströmung der Kugel 263
Einfluss der Rauheit 265
Turbulenzfaktor 266
Turbulenzgrad 266
Zylinderumströmung 268
Ideale reibungsfreie Umströmung eines Zylinders (Potentialströmung) 268
Reibungsbehaftete Umströmung eines Zylinders 268

Teil V
Impuls und Drall in Strömungen 271

Kapitel 22
Impuls – was uns alle antreibt 273

Auswirkung einer Strömung auf ein durchströmtes System 274
Definition eines Kontrollraums 274
Folgen aus dem dynamischen Grundgesetz 274
Analyse der auftretenden Kräfte 276
Vorgehensweise zur Lösung von Impulsaufgaben 278

Kapitel 23
Drallerhaltung – warum wir (fast) alle beim Reckturnen so schlecht waren 281

Drallerhaltung beziehungsweise Drehimpulserhaltung 281
Starrer Körper in Rotation 282
Gesamtdrehimpuls des starren Körpers 282
Analogie zwischen Impuls und Drehimpuls 283
Drehimpulserhaltung 285
Einfluss der Drehimpulserhaltung bei Wetterphänomenen – Tornado 287
Anwendung des Drallsatzes auf Strömungsmaschinen 288
Drall am Beispiel einer axialen Strömungsmaschine 288
Drall am Beispiel einer radialen Strömungsmaschine 289

Teil VI
Kompressible Strömungen – vergessen Sie (fast) alles bis dato Gelernte 291

Kapitel 24
Vom Unterschall zum Überschall 293

Thermodynamische Grundbegriffe und Annahmen 293
Ideales Gas 293
Innere Energie und Enthalpie 294
Entropie und zweiter Hauptsatz der Thermodynamik 295
Zustandsänderungen 297
Isentrope Strömungen 297
Statische Größen und Totalgrößen 299
Kesselgleichungen 302
Stoßwellen 304
Mach-Kegel 304
Charakteristische Mach-Zahl 304
Senkrechter Verdichtungsstoß 306
Schräger Verdichtungsstoß 313
Expansionsströmungen im Überschall – Prandtl–Meyer-Expansion 318
Düsenströmungen 319
Arbeitsprinzip einer Düse 320
Laval-Düse 324
Nicht-Angepasste Düse 327
Verdichtungs- und Verdünnungswellen in Überschallfreistrahlen 328
Ausströmgeschwindigkeit 329
Diffusorströmungen 331

Teil VII
Top Ten Teil 333

Kapitel 25
Zehn Ratschläge, um Spaß an der Strömungsmechanik zu haben 335

Grau ist alle Praxis - schön ist nur die Theorie. 335
Lassen Sie sich nicht von der scheinbaren Komplexität eines Problems beeindrucken. 335
Beschäftigen Sie sich mit Wetterphänomenen. 335
Betreiben Sie strömungsmechanische Archäologie. 336
Trainieren Sie Ihre Fähigkeit, Größenordnungen abzuschätzen. 336
Begeistern Sie Ihr Umfeld für strömungsmechanische Aspekte. 336
Studieren Sie die Biographien berühmter Forscher auf dem Gebiet der Strömungsmechanik. 336
Lesen Sie! 337
Programmieren Sie! 338
Nehmen Sie das Ganze nicht zu ernst! 338

Anhang A: Lösungen der Beispiele 339

Anhang B: In diesem Buch verwendete Symbole 385

Stichwortverzeichnis 391