

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	22
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 Kabineninnendruck 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
Verlustrhöhe 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 Prandtlischen 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

<i>Widerstand von Körpern: Willkommen in der realen Welt!</i>	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

<i>Umströmung stumpfer Körper – einfache Lösungen für den täglichen Gebrauch</i>	263
Kugelumströmung	263
Ideale, reibungsfreie Umströmung einer Kugel (Potentialströmung)	263
Reibungsbehaftete Umströmung der Kugel	263
Einfluss der Rauheit	265
Turbulenzfaktor	266
Turbulenzgrad	266
Zylindrumströmung	268
Ideale reibungsfreie Umströmung eines Zylinders (Potentialströmung)	268
Reibungsbehaftete Umströmung eines Zylinders	268

Teil V

<i>Impuls und Drall in Strömungen</i>	271
--	------------

Kapitel 22

<i>Impuls – was uns alle antreibt</i>	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.

336

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