

Kolumban Hutter

# Fluid- und Thermodynamik

Eine Einführung

Mit 185 Abbildungen



Springer

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	1
1.1 Historische Notizen und Abgrenzung des Fachgebietes .....	1
1.2 Eigenschaften von Flüssigkeiten .....	3
<b>2. Hydrostatik</b> .....	13
2.1 Der Flüssigkeitsdruck .....	15
2.2 Grundgleichung der Hydrostatik .....	18
2.3 Druckverteilung in einem dichtebeständigen, schweren Fluid .	22
2.4 Hydrostatischer Auftrieb schwimmender Körper .....	30
2.5 Hydrostatik im beschleunigten Bezugssystem .....	40
2.6 Druckverteilung in der Atmosphäre .....	44
<b>3. Hydrodynamik idealer Fluide</b> .....	49
3.1 Kinematische Grundbegriffe .....	49
3.1.1 Bewegung, Geschwindigkeit .....	49
3.1.2 Stromlinien, Bahnlinien, Streichlinien .....	53
3.2 Massenbilanz, Kontinuität .....	62
3.3 Impulsbilanz .....	71
3.4 Die Bernoullische Gleichung .....	77
3.5 Einfache Anwendungen der Bernoullischen Gleichung .....	82
3.6 Globale Formulierung des Impulssatzes .....	97
3.7 Anwendungen des Impulssatzes .....	100
3.7.1 Reaktionskräfte in durchströmten Rohren .....	100
3.7.2 Bordamündung .....	100
3.7.3 Aufprallen eines Freistrahles auf eine Wand .....	104
3.7.4 Mischvorgänge .....	105
3.7.5 Wassersprung .....	109
3.8 Strömungen um unendlich lange Tragflügel .....	112
3.8.1 Strömung durch ein periodisches Flügelgitter .....	112
3.8.2 Strömung um einen Einzelflügel .....	117
3.9 Drallbilanz .....	122
3.10 Anwendungen des Drallsatzes .....	127

3.10.1	Segnersches Wasserrad .....	127
3.10.2	Eulersche Turbinengleichung .....	130
<b>4.</b>	<b>Viskose Flüssigkeiten .....</b>	<b>133</b>
4.1	Dynamische Grundgleichungen viskoser Flüssigkeiten .....	133
4.1.1	Newtonsche Fluide .....	137
4.1.2	Dilatante und pseudoplastische, dichtebeständige Fluide	144
4.2	Ebene Schichtenströmungen .....	149
4.3	Anwendungen .....	156
4.3.1	Couette Viskosimeter .....	156
4.3.2	Drehkegel-Viskosimeter .....	159
4.3.3	Öldruckpolster .....	160
4.3.4	Filmströmung .....	163
4.3.5	Einfluß des Eigengewichtes bei der ebenen Poiseuille Strömung .....	165
4.3.6	Gleitlagertheorie .....	166
4.4	Dreidimensionale Kriechströmung eines pseudo-plastischen Fluids mit freier Oberfläche .....	172
<b>5.</b>	<b>Rohrströmungen .....</b>	<b>187</b>
5.1	Laminare Rohrströmungen .....	188
5.1.1	Das Gesetz von Hagen-Poiseuille .....	188
5.1.2	Laminare Strömung in zylindrischen Rohren allgemei- nen Querschnitts .....	191
5.1.3	Ausfluß aus einem Gefäß .....	194
5.2	Turbulente Strömungen in Rohren .....	199
5.2.1	Widerstandszahl .....	199
5.2.2	Einiges zur Turbulenz nach Prandtl und von Kármán .	205
5.2.3	Druckverlustberechnung in turbulenten Rohrströmun- gen .....	210
<b>6.</b>	<b>Thermodynamik .....</b>	<b>217</b>
6.1	Grundsätzliches sowie geschichtliche Bemerkungen .....	217
6.2	Allgemeine Begriffe und Definitionen .....	226
6.2.1	System .....	226
6.2.2	Zustand, Prozeß .....	227
6.2.3	Extensive, intensive, spezifische, molare Zustandsgröße	228
6.2.4	Adiabate und diatherme Wände .....	231
6.2.5	Empirische Temperatur, Gastemperatur, Tempera- turskalen .....	232
6.3	Thermische Zustandsgleichungen .....	236
6.3.1	Ideales Gas .....	236
6.3.2	Reale Gase .....	238
6.3.3	Das phänomenologische Modell von van der Waals ....	240
6.4	Reversible und irreversible thermodynamische Prozesse .....	244

6.4.1	Reversible Expansion und Verdichtung eines Gases . . .	247
6.5	Der erste Hauptsatz . . . . .	248
6.5.1	Mechanische Energien . . . . .	248
6.5.2	Der erste Hauptsatz . . . . .	251
6.5.3	Die kalorische Zustandsgleichung der Fluide . . . . .	259
6.5.4	Einfache Anwendungen des 1. Hauptsatzes . . . . .	262
6.5.5	Spezifische Wärmen bei realen Gasen . . . . .	270
6.6	Der zweite Hauptsatz — Prinzip der Irreversibilität . . . . .	272
6.6.1	Vorbemerkungen . . . . .	272
6.6.2	Der zweite Hauptsatz für einfache adiabate Systeme . .	275
6.7	Verallgemeinerung des 2. HS für nicht-adiabate Systeme . . . .	288
6.8	Anwendungen des zweiten Hauptsatzes . . . . .	297
6.8.1	Einfache Beispiele . . . . .	297
6.8.2	Auswertung des einfachen Entropieprinzips für eine wärmeleitende viskose Flüssigkeit . . . . .	302
6.9	Zustandsgleichungen . . . . .	310
6.9.1	Kanonische Zustandsgleichungen . . . . .	310
6.9.2	Spezifische Wärmen und andere thermodynamische Größen . . . . .	315
6.9.3	Anwendung auf ideale Gase . . . . .	321
6.9.4	Isentrope Prozesse in kalorisch idealen Gasen . . . . .	323
<b>7.</b>	<b>Gasdynamik . . . . .</b>	<b>325</b>
7.1	Einleitende Bemerkungen . . . . .	325
7.2	Ausbreitung kleiner Störungen in einem Gas . . . . .	326
7.2.1	Grundgleichungen . . . . .	326
7.2.2	Ebene Wellen und Kugelwellen . . . . .	332
7.2.3	Eigenschwigungsansatz nach Bernoulli . . . . .	340
7.3	Stationäre, isentrope Stromfadentheorie . . . . .	343
7.4	Stoßtheorie . . . . .	356
7.4.1	Grundsätzliches . . . . .	356
7.4.2	Sprungbedingungen . . . . .	358
7.4.3	Stationäre Stöße bei einfachen Fluiden unter adiabata- ten Bedingungen . . . . .	363
<b>8.</b>	<b>Dimensionsanalyse . . . . .</b>	<b>371</b>
8.1	Maß-Systeme und Dimensionen . . . . .	372
8.2	Theorie der dimensionsbehafteten Gleichungen . . . . .	375
8.2.1	Dimensionshomogenität . . . . .	375
8.2.2	Das Theorem von Buckingham . . . . .	378
8.2.3	Systematische Berechnung von dimensionslosen Pro- dukten . . . . .	382
8.3	Algebraische Theorie der Dimensionsanalyse . . . . .	389
8.3.1	Transformation von Grundeinheiten . . . . .	389
8.3.2	Exakte Definition der Dimensionshomogenität . . . . .	391

8.3.3	Kalkül der dimensionslosen Produkte .....	395
8.4	Theorem von Buckingham .....	400
8.4.1	Beweis des Theorems von Buckingham .....	400
8.4.2	Anwendungen der Theorie .....	403
8.5	Ähnlichkeit und Modellversuche .....	414
8.5.1	Theorie .....	414
8.5.2	Anwendungen .....	421
<b>A.</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>425</b>
<b>A</b>	<b>Vektoranalysis und Integralsätze</b> .....	<b>425</b>
A.1	Der Gradient .....	425
A.2	Der Gaußsche Satz und die Divergenz .....	427
A.3	Der Stokessche Satz und die Rotation .....	433
<b>Index</b> .....		<b>438</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....		<b>445</b>