

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>9</b>
<b>Kapitel 1 Einleitung</b>	<b>11</b>
1.1 Motivation .....	12
1.2 Grundlegende Charakteristika von Fluiden .....	17
1.2.1 Das Kontinuum und seine Grenze .....	18
1.2.2 Viskosität .....	19
1.2.3 Kompressibilität .....	21
1.2.4 Grenzflächenspannung .....	22
1.2.5 Nichtlineare Dynamik .....	23
Zusammenfassung .....	25
<b>Kapitel 2 Hydrostatik</b>	<b>27</b>
2.1 Gleichgewichtsbedingung .....	28
2.2 Konstante Dichte .....	29
2.2.1 Kommunizierende Gefäße .....	30
2.2.2 Hydrostatische Druckkräfte .....	33
2.3 Variable Dichte .....	38
2.3.1 Ideales Gas .....	38
2.3.2 Ruhende Atmosphäre .....	39
2.4 Kapillarität .....	42
2.4.1 Laplace-Druck .....	43
2.4.2 Kontaktwinkel .....	45
2.4.3 Steighöhe in Kapillaren .....	46
2.4.4 Ausblick auf die kapillare Dynamik .....	48
Zusammenfassung .....	52
Aufgaben .....	53
<b>Kapitel 3 Hydrodynamische Grundlagen</b>	<b>57</b>
3.1 Kinematik .....	58
3.1.1 Substantielle Ableitung .....	59
3.1.2 Linien in einem strömenden Fluid .....	61
3.1.3 Visualisierung und Messung der Bewegung eines Fluids .....	63
3.1.4 Lokale Deformation eines Fluids .....	65
3.2 Reynolds' Transport-Theorem .....	69
3.3 Erhaltungsgleichungen für reibungsfreie Fluide .....	71
3.3.1 Massenerhaltung .....	71
3.3.2 Impulserhaltung .....	72

3.3.3	Drallerhaltung .....	73
3.3.4	Erhaltung der Gesamtenergie .....	74
3.3.5	Thermodynamische Energie .....	75
3.4	Bemerkungen zur Euler-Gleichung .....	75
	Zusammenfassung .....	77
	Aufgaben .....	78
<b>Kapitel 4</b>	<b>Bewegung entlang von Stromfäden und Stromlinien</b>	<b>81</b>
4.1	Stromfadentheorie .....	82
4.1.1	Massenerhaltung für einen stationären Stromfaden .....	82
4.1.2	Impulserhaltung bei der Rohrströmung .....	83
4.1.3	Energieerhaltung entlang eines Stromfadens .....	84
4.2	Integration längs und senkrecht zu Stromlinien .....	85
4.2.1	Bernoulli-Gleichung .....	85
4.2.2	Bemerkungen zur Bernoulli-Gleichung .....	87
4.2.3	Impulsbilanz senkrecht zur Stromlinie .....	89
4.3	Anwendungen der Bernoulli-Gleichung .....	90
4.3.1	Bernoulli-Konstante für eine homogene Anströmung .....	90
4.3.2	Strömung längs einer festen Wand .....	91
4.3.3	Venturi-Rohr .....	92
4.3.4	Prandtl'sches Staurohr .....	93
4.3.5	Verlustloses Ausströmen aus einem Behälter .....	95
4.4	Energiesatz für kompressible Strömungen .....	99
4.4.1	Thermodynamische Größen im Staupunkt .....	99
4.4.2	Wärmezufuhr bei konstantem Druck .....	100
4.5	Anwendung des Impulssatzes .....	101
4.5.1	Strahlimpuls .....	101
4.5.2	Strahlablenkung an einer Schneide .....	102
4.5.3	Pelton-Schaufelrad .....	103
4.5.4	Schub und Leistung eines Strahls .....	105
4.5.5	Propeller und Windturbine .....	108
4.5.6	Turbinen und Pumpen .....	112
	Zusammenfassung .....	118
	Aufgaben .....	119
<b>Kapitel 5</b>	<b>Strömungen mit und ohne Vortizität</b>	<b>125</b>
5.1	Die Stromfunktion .....	127
5.2	Wirbeldynamische Grundlagen .....	128
5.2.1	Vortizität .....	128
5.2.2	Helmholtz-Gleichung .....	129
5.2.3	Helmholtz'sche Wirbelsätze .....	131
5.2.4	Zirkulationstheorem von Kelvin .....	131

5.3	Potentialströmungen .....	132
5.3.1	Cauchy-Riemannsche Differentialgleichungen .....	133
5.3.2	Komplexe Darstellung von Potentialströmungen .....	135
5.4	Ebene Wirbelströmungen .....	137
5.4.1	Festkörperrotation .....	137
5.4.2	Potentialwirbel .....	137
5.4.3	Rankine-Wirbel .....	138
5.4.4	Ebene Senkenströmung .....	140
5.4.5	Wirbelsenkenströmung .....	140
5.4.6	Abflußwirbel .....	141
5.5	Oberflächenwellen .....	142
5.5.1	Schwerewellen .....	143
5.5.2	Einfluß von Oberflächenspannung und Tiefe .....	147
5.5.3	Flachwasserwellen .....	148
	Zusammenfassung .....	152
	Aufgaben .....	154
<b>Kapitel 6</b>	<b>Kompressible, reibungsfreie Strömungen</b>	<b>157</b>
6.1	Schallausbreitung .....	158
6.1.1	Wellengleichung und Schallgeschwindigkeit .....	158
6.1.2	Machscher Kegel .....	161
6.2	Verdichtungsstoß .....	162
6.2.1	Verdichtungswelle .....	162
6.2.2	Stationärer, senkrechter Verdichtungsstoß .....	164
6.2.3	Thermodynamisches Argument gegen einen Verdünnungsstoß ..	167
6.2.4	Instationärer Stoß .....	169
6.2.5	Schwacher Stoß .....	171
6.2.6	Schräger Verdichtungsstoß .....	171
6.3	Stationärer, kompressibler Stromfaden .....	175
6.3.1	Infinitesimale Variationen .....	175
6.3.2	Geschwindigkeit entlang eines kompressiblen Stromfadens ....	177
6.3.3	Zustandsgrößen und kritische Werte .....	179
6.3.4	Kompressible Strömung durch Düsen .....	183
	Zusammenfassung .....	191
	Aufgaben .....	193
<b>Kapitel 7</b>	<b>Viskose Strömungen</b>	<b>195</b>
7.1	Grundgleichungen .....	196
7.1.1	Spannungstensor .....	196
7.1.2	Navier-Stokes-Gleichung .....	199
7.1.3	Wärmetransportgleichung .....	201
7.1.4	Mechanische Ähnlichkeit .....	201
7.1.5	Dimensionsanalyse .....	204

7.2	Schleichende Strömungen .....	208
7.2.1	Eckenströmungen .....	209
7.2.2	Dünne Filme .....	209
7.3	Rohrströmung .....	211
7.3.1	Laminare, inkompressible Rohrströmung .....	212
7.3.2	Rohrhydraulik .....	214
7.4	Laminare Grenzschicht .....	216
7.4.1	Grenzschichtgleichungen .....	217
7.4.2	Blasius-Profil .....	220
7.4.3	Ablösung der Grenzschicht .....	226
7.5	Turbulente Strömungen .....	228
7.5.1	Übergang zur Turbulenz .....	229
7.5.2	Gleichungen für turbulente Strömungen .....	232
7.5.3	Wirbelviskosität .....	234
7.5.4	Prandtlscher Mischungsweg .....	234
7.5.5	Mittlere Geschwindigkeit in Wandnähe .....	236
7.5.6	Turbulente Grenzschicht einer ebenen Platte .....	239
7.5.7	Wandrauhigkeit .....	243
7.5.8	Turbulente inkompressible Rohrströmung .....	245
7.6	Kraftwirkung auf Körper .....	249
7.6.1	Durchströmung von Rohrleitungen .....	249
7.6.2	Umströmung von Körpern .....	254
7.6.3	Kutta-Joukowski-Formel .....	256
	Zusammenfassung .....	264
	Aufgaben .....	266
<b>Anhang A</b>	<b>Kleines mathematisches Repetitorium</b> .....	<b>271</b>
A.1	Produkte mit Vektoren .....	271
A.2	Vektorielle Ableitungen .....	273
A.3	Fundamentalsatz der Vektoranalysis .....	274
A.4	Formeln für Volumen- und Flächenintegrale .....	275
A.5	Taylor-Entwicklung .....	275
<b>Anhang B</b>	<b>Operatoren und Navier-Stokes-Gleichung in Zylinderkoordinaten</b> .....	<b>277</b>
<b>Anhang C</b>	<b>Ausbreitung eines senkrechten Verdichtungsstoßes</b> .....	<b>281</b>
<b>Anhang D</b>	<b>Druckverteilung in einer Laval-Düse</b> .....	<b>283</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>287</b>
	<b>Sachregister</b> .....	<b>291</b>