

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Tabellen	XVI
Bezeichnungen, Dimensionen, Einheiten	XVII
1 Einführung in die Fluidmechanik	1
1.1 Überblick	1
1.2 Physikalische Eigenschaften und Stoffgrößen der Fluide	3
1.2.1 Einführung	3
1.2.2 Dichteänderung	5
1.2.2.1 Grundsätzliches	5
1.2.2.2 Dichte von Fluiden	6
1.2.2.3 Schallgeschwindigkeit von Fluiden	11
1.2.3 Reibungseinfluß	12
1.2.3.1 Grundsätzliches	12
1.2.3.2 Normalviskose Fluide (newtonsche Fluide)	13
1.2.3.3 Anomalviskose Fluide (nicht-newtonsche Fluide)	16
1.2.3.4 Turbulenter Impulstransport (Wirbelviskosität)	17
1.2.4 Schwereinfluß	18
1.2.4.1 Grundsätzliches	18
1.2.4.2 Fallbeschleunigung	18
1.2.4.3 Wichte von Fluiden	18
1.2.5 Thermodynamisches Verhalten	19
1.2.5.1 Grundsätzliches	19
1.2.5.2 Wärmekapazität	19
1.2.5.3 Energetische Zustandseigenschaften	20
1.2.5.4 Wärmeleitung	24
1.2.6 Zusammenwirken mehrerer Stoffe und Aggregatzustände	26
1.2.6.1 Grundsätzliches	26
1.2.6.2 Grenzflächen (Kapillarität)	26
1.2.6.3 Hohlraumbildung (Kavitation)	30
1.3 Physikalisches Verhalten von Strömungsvorgängen	30
1.3.1 Einführung	30
1.3.2 Darstellungsmethoden strömender Fluide	31
1.3.2.1 Beschreibung von Strömungsvorgängen	31
1.3.2.2 Kennzahlen der Fluid- und Thermofluidmechanik	34
1.3.2.3 Ähnlichkeitsgesetze der Fluid- und Thermofluidmechanik	38
1.3.3 Erscheinungsformen strömender Fluide	41
1.3.3.1 Allgemeines	41
1.3.3.2 Laminare und turbulente Strömung (Reibungseinfluß)	41
1.3.3.3 Strömende und schießende Flüssigkeitsbewegung (Schwereinfluß)	44

1.3.3.4 Gasströmung mit Unter- und Überschallgeschwindigkeit (Dichte- einfluß)	45
Literatur zu Kapitel 1	48
2 Grundgesetze der Fluid- und Thermofluidmechanik	50
2.1 Überblick	50
2.2 Ruhende und gleichförmig bewegte Fluide (Statik)	51
2.2.1 Einführung	51
2.2.2 Kräfte im Ruhezustand	51
2.2.2.1 Druckkraft (Oberflächenkraft)	51
2.2.2.2 Massenkraft (Volumenkraft)	57
2.2.2.3 Kräftegleichgewicht ruhender Fluide	57
2.2.3 Mechanik ruhender Fluide	58
2.2.3.1 Statische Energiegleichung der Fluidmechanik	58
2.2.3.2 Hydrostatische Grundgleichung (Euler)	59
2.2.3.3 Niveauflächen	60
2.2.3.4 Statischer und thermischer Auftrieb (Archimedes)	62
2.3 Bewegungszustand (Kinematik)	64
2.3.1 Einführung	64
2.3.2 Größen der Bewegung	64
2.3.2.1 Geschwindigkeitsfeld	64
2.3.2.2 Kinematische Begriffe zur Beschreibung des Strömungsverlaufs ..	67
2.3.2.3 Beschleunigungsfeld	71
2.3.3 Kinematisches Verhalten eines Fluidelements	76
2.3.3.1 Gradiententensor des Geschwindigkeitsfelds	76
2.3.3.2 Drehung eines Fluidelements	77
2.3.3.3 Verformung eines Fluidelements	79
2.3.3.4 Anwendungen	81
2.3.4 Transportgleichungen der Fluid- und Thermofluidmechanik	82
2.3.4.1 Physikalische Größen und Eigenschaften	82
2.3.4.2 Transportgleichung für die Feldgröße	83
2.3.4.3 Transportgleichung für die Volumeneigenschaft	84
2.4 Massenerhaltungssatz (Kontinuität)	87
2.4.1 Einführung	87
2.4.2 Kontinuitätsgleichungen	88
2.4.2.1 Kontinuitätsgleichung für den Kontrollraum	88
2.4.2.2 Kontinuitätsgleichung für den Kontrollfaden	90
2.4.2.3 Kontinuitätsgleichung für das Fluidelement	91
2.4.3 Einführen der Stromfunktion	93
2.4.3.1 Vektorielle Stromfunktion	93
2.4.3.2 Zweidimensionale Strömung	93
2.4.3.3 Volumen- und Massenstrom	95
2.5 Impulssatz (Kinetik)	95
2.5.1 Einführung	95
2.5.2 Impulsgleichungen	97
2.5.2.1 Impulsgleichung für den Kontrollraum	97
2.5.2.2 Impulsgleichung für den Kontrollfaden	104
2.5.2.3 Impulsmomentengleichung	106
2.5.3 Bewegungsgleichungen (Impulsgleichung für das Fluidelement)	109

2.5.3.1	Ausgangsgleichung	109
2.5.3.2	Bewegungsgleichung der reibungslosen Strömung (Euler, Bernoulli)	110
2.5.3.3	Bewegungsgleichung der laminaren Strömung normalviskoser Fluide (Navier, Stokes)	119
2.5.3.4	Bewegungsgleichung der schleichenden Strömung normalviskoser Fluide (Stokes, Oseen)	133
2.5.3.5	Bewegungsgleichung der turbulenten Strömung normalviskoser Fluide (Reynolds)	134
2.5.3.6	Über die Entstehung der Turbulenz	147
2.6	Energiesatz (Energetik)	150
2.6.1	Einführung	150
2.6.2	Energiegleichungen der Fluid- und Thermofluidmechanik	154
2.6.2.1	Energiegleichungen für das mitbewegte Systemvolumen	154
2.6.2.2	Energiegleichungen für den Kontrollraum	155
2.6.2.3	Energiegleichungen für den Kontrollfaden	161
2.6.2.4	Energiegleichungen für das Fluidelement	163
2.6.3	Wärmetransportgleichung	165
2.6.3.1	Energieumwandlung	165
2.6.3.2	Energien und Arbeiten	166
2.6.3.3	Wärmetransportgleichung bei laminarer Strömung	170
2.6.4	Entropiegleichung	172
2.6.4.1	Reversible und irreversible Prozesse	172
2.6.4.2	Entropiegleichung für den Kontrollraum	175
2.6.4.3	Entropiegleichung für das Fluidelement	177
2.6.5	Energiegleichungen bei turbulenter Strömung	179
2.6.5.1	Voraussetzungen und Annahmen	179
2.6.5.2	Energiegleichung der Fluidmechanik bei turbulenter Strömung	179
2.6.5.3	Wärmetransportgleichung bei turbulenter Strömung	182
	Literatur zu Kapitel 2	183
3	Elementare Strömungsvorgänge dichtebeständiger Fluide	186
3.1	Überblick	186
3.2	Dichtebeständige Fluide im Ruhezustand (Hydrostatik)	186
3.2.1	Ausgangsgleichungen	186
3.2.2	Flüssigkeitsdruck auf feste Begrenzungsfläche	187
3.2.2.1	Druckkraft auf ebene Fläche	187
3.2.2.2	Druckkraft auf gekrümmte Fläche	189
3.2.2.3	Schwimmender Körper	190
3.2.3	Druck auf freie Oberfläche	193
3.2.3.1	Kommunizierendes Gefäß	193
3.2.3.2	Flüssigkeitsmanometer	193
3.2.3.3	Kapillarrohr	194
3.3	Stromfadentheorie dichtebeständiger Fluide	195
3.3.1	Einführung	195
3.3.2	Stationäre Fadenströmung eines dichtebeständigen Fluids	195
3.3.2.1	Voraussetzungen und Annahmen	195
3.3.2.2	Ausgangsgleichungen der stationären Fadenströmung	196
3.3.2.3	Anwendungen zur stationären Fadenströmung	200
3.3.3	Instationäre Fadenströmung eines dichtebeständigen Fluids	208

3.3.3.1	Voraussetzungen und Annahmen	208
3.3.3.2	Ausgangsgleichungen der instationären Fadenströmung	208
3.3.3.3	Anwendungen zur instationären Fadenströmung	210
3.4	Strömung dichtebeständiger Fluide in Rohrleitungen (Rohrhydraulik)	217
3.4.1	Einführung	217
3.4.2	Grundlagen der Rohrhydraulik	219
3.4.2.1	Über Strömungsquerschnitt gemittelte Strömungsgrößen	219
3.4.2.2	Fluidmechanischer Energieverlust	221
3.4.2.3	Ausgangsgleichungen der Rohrhydraulik	222
3.4.3	Strömung dichtebeständiger Fluide in geradlinig verlaufenden langen Rohren	226
3.4.3.1	Voraussetzungen und Annahmen	226
3.4.3.2	Vollausgebildete Rohrströmung	227
3.4.3.3	Vollausgebildete laminare Rohrströmung	233
3.4.3.4	Vollausgebildete turbulente Strömung durch glattes Rohr	236
3.4.3.5	Vollausgebildete turbulente Strömung durch rauhes Rohr	244
3.4.3.6	Rohreinlaufströmung	251
3.4.4	Strömung durch Rohrverbindungen und Rohrleitungselemente	256
3.4.4.1	Allgemeines	256
3.4.4.2	Rohrquerschnittsänderung (Erweiterung, Verengung)	257
3.4.4.3	Rohrrichtungsänderung (Stromumlenkung)	267
3.4.4.4	Rohrverzweigung (Trennung, Vereinigung)	272
3.4.4.5	Einbau einer Strömungsmaschine (Turbine, Pumpe)	279
3.4.5	Aufgaben der Rohrhydraulik	280
3.4.5.1	Ausgangsgleichungen	280
3.4.5.2	Stationäre Rohrströmung dichtebeständiger Fluide	281
3.4.5.3	Instationäre Rohrströmung dichtebeständiger Fluide	283
3.5	Strömung in offenen Gerinnen (Gerinnehydraulik)	291
3.5.1	Einführung	291
3.5.2	Grundlegende Erkenntnisse	293
3.5.2.1	Begriffe der Gerinnehydraulik	293
3.5.2.2	Fließzustand und Grenzverhalten	296
3.5.2.3	Druckverteilung in einem Gerinnequerschnitt	300
3.5.3	Gleichförmige Strömung in geradlinig verlaufenden Gerinnen	302
3.5.3.1	Voraussetzungen und Ausgangsgleichungen	302
3.5.3.2	Gleichförmige laminare Gerinneströmung	304
3.5.3.3	Gleichförmige turbulente Gerinneströmung	306
3.5.4	Ungleichförmige Strömung in geradlinig verlaufenden Gerinnen	308
3.5.4.1	Voraussetzungen und Ausgangsgleichungen	308
3.5.4.2	Lage des Flüssigkeitsspiegels (Wasserspiegel)	309
3.5.4.3	Wechselsprung (Wassersprung)	313
3.5.5	Sonstige Strömungsvorgänge in offenen Gerinnen	316
3.5.5.1	Überfallströmung und Abfluß unter einer Schütze	316
3.5.5.2	Gerinneströmung bei Querschnitts- und Richtungsänderung	320
3.5.5.3	Instationäre Strömungsvorgänge in offenen Gerinnen	320
3.6	Mehrdimensionale stationäre Strömungsvorgänge dichtebeständiger Fluide	321
3.6.1	Voraussetzungen und Ausgangsgleichungen	321
3.6.2	Reibungslose zweidimensionale Strömung dichtebeständiger Fluide	324
3.6.2.1	Theorie des Auftriebs angeströmter ebener Körper	324
3.6.2.2	Strahlkraft auf angeströmte und durchströmte Körper	330
3.6.2.3	Quellströmung eines dichtebeständigen Fluids	339
3.6.3	Reibungsbehaftete mehrdimensionale Strömungen dichtebeständiger Fluide	341

3.6.3.1	Ermittlung des Reibungswiderstands eines Körpers aus dem Impulsverlust hinter dem Körper (Nachlauf)	341
3.6.3.2	Theorie der hydromechanischen Schmiermittelreibung	347
Literatur zu Kapitel 3		349
Sachverzeichnis		355