

Inhaltsverzeichnis

Bezeichnungen, Dimensionen, Einheiten	XIII
4 Elementare Strömungsvorgänge dichte­veränderlicher Fluide	1
4.1. Überblick	1
4.2 Dichte­veränderliche Fluide im Ruhezustand (Aerostatik)	2
4.2.1 Ausgangsgleichungen	2
4.2.2 Gasdruck auf feste Begrenzungsflächen	5
4.2.2.1 Druck in einem abgeschlossenen Behälter	5
4.2.2.2 Schwebende Körper	6
4.2.3 Beispiele zur Mechanik und Thermodynamik ruhender Gase	6
4.2.3.1 Ruhende Atmosphäre	6
4.2.3.2 Quasistatische Arbeitsprozesse bei Gasen	9
4.3 Stromfadentheorie dichte­veränderlicher Fluide	10
4.3.1 Einführung	10
4.3.2 Stationäre Fadenströmung eines dichte­veränderlichen Fluids.	11
4.3.2.1 Voraussetzungen und Annahmen	11
4.3.2.2 Ausgangsgleichungen der stationären Fadenströmung	11
4.3.2.3 Ausbreitungsgeschwindigkeit schwacher Druckstörungen (Schallgeschwindigkeit)	13
4.3.2.4 Kennzahlen und Druckbeiwert der Strömung dichte­veränderlicher Fluide	16
4.3.2.5 Bei konstanter Entropie stetig verlaufende stationäre Strömung .	20
4.3.2.6 Mit normalem Verdichtungsstoß unstetig verlaufende stationäre Strömung	24
4.3.2.7 Anwendungen zur stationären Fadenströmung dichte­veränderlicher Fluide	30
4.3.3 Instationäre Fadenströmung eines dichte­veränderlichen Fluids	43
4.3.3.1 Voraussetzungen und Annahmen	43
4.3.3.2 Lineare Theorie der instationären Fadenströmung	44
4.3.3.3 Anwendungen zur instationären Fadenströmung dichte­veränderlicher Fluide	51
4.4 Strömung dichte­veränderlicher Fluide (Gase) in Rohrleitungen	61
4.4.1 Einführung	61
4.4.2 Gasströmung in geradlinig verlaufenden Rohren	62
4.4.2.1 Voraussetzungen und Annahmen	62
4.4.2.2 Grundlagen zur Berechnung der Gasströmung in Rohrleitungen .	64
4.4.2.3 Reibungslose Rohrströmung mit Wärmeaustausch (Rayleigh) . .	67
4.4.2.4 Reibungsbehaftete Rohrströmung ohne Wärmeaustausch (Fanno)	73

4.4.2.5	Reibungsbehaftete Rohrströmung bei konstanter Temperatur . . . (isotherm)	78
4.4.2.6	Reibungsbedingtes Druckverhalten bei Rohrströmungen eines dichteveränderlichen Fluids	80
4.5	Umlenkung stationärer ebener Überschallströmungen durch Wellen und Stöße	81
4.5.1	Einführung	81
4.5.2	Schiefe Störfront	84
4.5.2.1	Voraussetzungen und Annahmen	84
4.5.2.2	Analogie zum normalen Verdichtungsstoß	84
4.5.2.3	Einfluß des Umlenk- und Frontwinkels	87
4.5.3	Elementare Strömungsumlenkung bei Überschallanströmung	88
4.5.3.1	Schwache Umlenkung bei supersonischer Strömung (lineare Theorie)	88
4.5.3.2	Starke stetige Umlenkung (konstante Entropie)	91
4.5.3.3	Starke unstetige Umlenkung (schiefer Verdichtungsstoß)	97
4.5.3.4	Hypersonische Strömung	108
	Literatur zu Kapitel 4	115
5	Drehungsfreie und drehungsbehaftete Strömungen	119
5.1	Überblick	119
5.2	Begriffe und Gesetze drehungsfreier und drehungsbehafteter Strömungen . .	120
5.2.1	Einführung	120
5.2.2	Größen der Wirbelbewegung (Drehbewegung)	120
5.2.2.1	Kinematische Begriffe	120
5.2.2.2	Zusammenhang von Drehung und Zirkulation (Stokes)	123
5.2.2.3	Zusammenhang von Drehung und Entropie (Crocco)	125
5.2.3	Wirbelgleichungen der Fluidmechanik	126
5.2.3.1	Räumlicher Wirbelerhaltungssatz	126
5.2.3.2	Zeitliche Änderung der Drehung	127
5.2.3.3	Zeitliche Änderung der Zirkulation	129
5.3	Drehungsfreie reibungslose Strömungen (Potentialströmungen)	132
5.3.1	Voraussetzungen und grundlegende Beziehungen	132
5.3.2	Stationäre Potentialströmungen dichtebeständiger Fluide ohne freie Oberfläche	136
5.3.2.1	Ausgangsgleichungen	136
5.3.2.2	Grundlagen der ebenen Potentialströmungen dichtebeständiger Fluide	137
5.3.2.3	Lösungsansätze ebener Potentialströmungen dichtebeständiger Fluide	140
5.3.2.4	Beispiele ebener Potentialströmungen dichtebeständiger Fluide . .	148
5.3.2.5	Grundlagen der räumlichen Potentialströmungen dichtebeständiger Fluide	165
5.3.2.6	Beispiele räumlicher Potentialströmungen dichtebeständiger Fluide	166
5.3.3	Stationäre Potentialströmungen dichteveränderlicher Fluide	171
5.3.3.1	Ausgangsgleichungen	171
5.3.3.2	Exakte Lösungen ebener Potentialströmungen dichteveränderlicher Fluide	174
5.3.3.3	Ebene Potentialströmungen dichteveränderlicher Fluide bei kleiner Störung	177
5.3.3.4	Lösungsansätze und Ähnlichkeitsregeln ebener linearisierter Potentialströmungen dichteveränderlicher Fluide	181

5.3.3.5 Räumliche Potentialströmungen dichteveränderlicher Fluide . . .	196
5.3.4 Instationäre Potentialströmungen mit freier Flüssigkeitsoberfläche (Oberflächenwellen)	198
5.3.4.1 Grundlagen und Bestimmungsgleichungen	198
5.3.4.2 Gerade fortschreitende Oberflächenwellen	202
5.3.4.3 Überlagerte Oberflächenwellen	206
5.3.4.4 Schiffswellen	207
5.4 Drehungsbehaftete reibungslose Strömungen (Potentialwirbelströmungen) . . .	208
5.4.1 Voraussetzungen und grundlegende Beziehungen	208
5.4.2 Stationäre Potentialwirbelströmungen dichtebeständiger Fluide	210
5.4.2.1 Ausgangsgleichungen (Biot, Savart)	210
5.4.2.2 Einzelner ebener Potentialwirbel (Stabwirbel)	212
5.4.2.3 Mehrere parallel verlaufende ebene Potentialwirbel (Wirbelsysteme)	216
5.4.2.4 Potentialwirbelschichten	223
5.4.3 Tragflügeltheorie dichtebeständiger Fluide	228
5.4.3.1 Grundlagen der Theorie des Auftriebs	228
5.4.3.2 Tragflügel unendlicher Spannweite (Profiltheorie)	231
5.4.3.3 Tragflügel endlicher Spannweite (räumliche Tragflügeltheorie) . .	238
5.4.3.4 Tragflügelsysteme	246
5.4.4 Stationäre Wirbelströmungen dichteveränderlicher Fluide	252
5.4.4.1 Ebener Potentialwirbel	252
5.4.4.2 Freie Wirbelschicht	253
5.4.4.3 Wirbelfeld hinter einem gekrümmten Verdichtungsstoß	254
5.5 Verwandte Probleme der Potentialtheorie	256
5.5.1 Einführung	256
5.5.2 Grundsätzliche Erkenntnisse der erweiterten Potentialtheorie	256
5.5.2.1 Potentialströmung mit freier Stromlinie	256
5.5.2.2 Schleichende Potentialströmung (Hele-Shaw)	263
5.5.2.3 Instationäre Wirbelausbreitung in einem viskosen Fluid	265
5.5.3 Sickerströmung durch poröses Medium	270
5.5.3.1 Filtergesetz (Darcy)	270
5.5.3.2 Sickerströmung als potentialtheoretische Aufgabe	272
5.5.3.3 Grundwasserströmung	273
Literatur zu Kapitel 5	275
6 Grenzschichtströmungen	281
6.1 Überblick	281
6.2 Grundzüge der Grenzschicht-Theorie	282
6.2.1 Einführung	282
6.2.2 Begriff der Grenzschicht und ihr grundsätzliches Verhalten	283
6.2.2.1 Strömungsgrenzschicht	283
6.2.2.2 Temperaturgrenzschicht	289
6.2.2.3 Diffusionsgrenzschicht	291
6.2.3 Ausgangsgleichungen der Grenzschicht-Theorie (Prandtl)	291
6.2.3.1 Grundgesetze der Strömung mit Reibungs- und Temperatureinfluß	291
6.2.3.2 Formulierung der Grenzschicht-Theorie	293
6.2.3.3 Stoffgesetze innerhalb der Grenzschicht	296
6.3 Grenzschichtströmung an festen Wänden	297
6.3.1 Einführung	297

6.3.2	Laminare Grenzschichten an festen Wänden	297
6.3.2.1	Grenzschichtgleichungen der laminaren ebenen Scherströmung	297
6.3.2.2	Folgerungen aus den Grenzschichtgleichungen	303
6.3.2.3	Laminare Grenzschicht an der längsangeströmten ebenen Platte	309
6.3.2.4	Laminare ebene Grenzschicht mit Druckgradient der Außenströmung	323
6.3.2.5	Laminare Grenzschicht an Körpern mit gekrümmter Oberfläche	330
6.3.3	Turbulente Grenzschichten an festen Wänden	333
6.3.3.1	Grenzschichtgleichungen der turbulenten ebenen Scherströmung	333
6.3.3.2	Turbulente Grenzschicht an der längsangeströmten ebenen Platte	337
6.3.3.3	Turbulente ebene Grenzschicht mit Druckgradient der Außenströmung	349
6.3.4	Integralverfahren der Grenzschicht-Theorie	355
6.3.4.1	Allgemeines	355
6.3.4.2	Integralbeziehungen der Strömungsgrenzschicht	356
6.3.4.3	Quadraturverfahren zur Berechnung der Strömungsgrenzschicht bei einem homogenen Fluid	367
6.3.5	Abgelöste Grenzschicht bei umströmten Körpern	374
6.3.5.1	Grundsätzliche Erkenntnisse	374
6.3.5.2	Abgelöste Kreiszylinder- und Kugelströmung	377
6.3.5.3	Abgelöste Strömung um ein Tragflügelprofil bei großem Anstellwinkel	380
6.3.5.4	Abgelöste Strömung um Körper mit scharfen Kanten	382
6.4	Grenzschichtströmung ohne feste Begrenzung	384
6.4.1	Einführung	384
6.4.2	Freie Strömungsgrenzschicht	385
6.4.2.1	Reibungsbehaftete Trennungsschicht (ebener Halbstrahl)	385
6.4.2.2	Reibungsbehafteter Freistrahle	387
6.4.2.3	Reibungsbehaftete Nachlaufströmung	390
6.4.3	Besondere turbulente Scherströmungen	391
6.4.3.1	Intermittenz bei turbulenter Strömung	391
6.4.3.2	Strahlablenkung durch feste Wand (Coanda-Effekt)	392
	Literatur zu Kapitel 6	394
	Bibliographie	401
	Namenverzeichnis	416
	Sachverzeichnis	419
	Berichtigungen zu Band 1	426