

Joseph H. Spurk

Strömungslehre

Einführung
in die Theorie der Strömungen

Zweite überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 240 Abbildungen

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo Hong Kong 1989

Inhaltsverzeichnis

Teil I: Grundlagen

1	Kontinuumsbegriff und Kinematik	1
1.1	Eigenschaften der Flüssigkeiten, Kontinuumshypothese	1
1.2	Kinematik der Flüssigkeiten	9
1.2.1	Materielle und Feldbeschreibungswiese	9
1.2.2	Bahnlinie, Stromlinie, Streichlinie	11
1.2.3	Zeitableitungen	16
1.2.4	Bewegungszustand, Änderung materieller Linien-, Flächen- und Volumenelemente	19
1.2.5	Zeitliche Änderung materieller Integrale	30
2	Grundgleichungen der Kontinuumsmechanik	36
2.1	Erhaltungssatz der Masse	36
2.2	Impulssatz	39
2.3	Drallsatz oder Drehimpulssatz	47
2.4	Impuls- und Drallsatz im beschleunigten Bezugssystem	49
2.5	Anwendungsbeispiele aus dem Turbomaschinenbau	58
2.6	Bilanz der Energie	69
2.7	Bilanz der Entropie	73
2.8	Thermodynamische Zustandsgleichungen	76
3	Materialgleichungen	79
4	Bewegungsgleichungen für spezielle Materialgesetze	94
4.1	Newtonsche Flüssigkeiten	94
4.1.1	Navier-Stokessche Gleichungen	94
4.1.2	Wirbeltransportgleichung	97
4.1.3	Einfluß der Reynoldsschen Zahl	100
4.2	Reibungsfreie Flüssigkeiten	107
4.2.1	Eulersche Gleichungen	107

4.2.2	Bernoullische Gleichung	108
4.2.3	Wirbelsätze	113
4.2.4	Integration der Energiegleichung	138
4.3	Anfangs- und Randbedingungen	142
4.4	Vereinfachung der Bewegungsgleichungen	146

Teil II: Ausgewählte Kapitel der Strömungslehre

5	Hydrostatik	152
5.1	Hydrostatische Druckverteilung	152
5.2	Hydrostatischer Auftrieb, Kraft auf Wände	158
5.3	Freie Oberflächen	163
6	Laminare Schichtenströmungen	168
6.1	Stationäre Schichtenströmungen	169
6.1.1	Couette-Strömung	169
6.1.2	Couette-Poiseuille-Strömung	170
6.1.3	Filmströmung	173
6.1.4	Strömung zwischen konzentrisch rotierenden Zylindern	175
6.1.5	Hagen-Poiseuille-Strömung	176
6.1.6	Strömung durch nichtkreisförmige Rohre	181
6.2	Instationäre Schichtenströmungen	186
6.2.1	Die periodisch in ihrer Ebene bewegte Wand	186
6.2.2	Die plötzlich in Gang gesetzte Wand	189
6.3	Schichtenströmungen Nicht-Newtonscher Flüssigkeiten	191
6.3.1	Stationäre Strömung durch ein gerades Kreisrohr	191
6.3.2	Stationäre Schichtenströmung zwischen einer rotierenden Scheibe und einer festen Wand	193
6.3.3	Instationäre Schichtenströmung einer Flüssigkeit zweiter Ordnung	195
7	Grundzüge turbulenter Strömungen	200
7.1	Stabilität und Entstehung der Turbulenz	200
7.2	Reynoldssche Gleichungen	203

7.3	Turbulente Scherströmung in der Nähe einer Wand	210
7.4	Turbulente Strömung in glatten Röhren und Kanälen	221
7.5	Turbulente Strömung in rauen Röhren	225
8	Hydrodynamische Schmierung	228
8.1	Reynoldssche Gleichung der Schmiertheorie	228
8.2	Statisch belastete Gleitlager	232
8.2.1	Unendlich langes Radiallager	232
8.2.2	Unendlich kurzes Radiallager	237
8.2.3	Endlich langes Radiallager	238
8.3	Dynamisch belastete Gleitlager	239
8.3.1	Unendlich langes Radiallager	239
8.3.2	Gleitstempel	240
9	Stromfadentheorie	246
9.1	Inkompressible Strömung	246
9.2	Stationäre kompressible Strömung	261
9.2.1	Strömung durch Röhre mit veränderlichem Querschnitt	261
9.2.2	Strömung durch Röhre mit konstantem Querschnitt	272
9.2.3	Gleichungen des senkrechten Verdichtungsstoßes	275
9.3	Instationäre kompressible Strömung	281
10	Potentialströmungen	295
10.1	Eindimensionale Schallausbreitung	296
10.2	Stationäre kompressible Potentialströmung	304
10.3	Inkompressible Potentialströmung	306
10.3.1	Einfache Beispiele für Potentialströmungen	309
10.3.2	Virtuelle Massen	326
10.4	Ebene Potentialströmung	332
10.4.1	Beispiele für inkompressible, ebene Potentialströmungen	332
10.4.2	Komplexes Potential für ebene Strömungen	336
10.4.3	Blasius-Theorem	344
10.4.4	Kutta-Joukowski-Theorem	346
10.4.5	Konforme Abbildung	348
10.4.6	Schwarz-Christoffel-Transformation	350
10.4.7	Freistrahlen	352
10.4.8	Strömung um Profile	357

10.4.9	Näherungslösung für schlanke Profile in inkompressibler Strömung	362
10.4.10	Schlanke Profile in kompressibler Strömung	369
11	Überschallströmungen	372
11.1	Schräger Verdichtungsstoß	373
11.2	Abgelöster Verdichtungsstoß	376
11.3	Reflexion schräger Stöße	377
11.4	Überschall-Potentialströmung um schlanke Profile	379
11.5	Prandtl-Meyer-Strömung	382
11.6	Stoß-Expansions-Theorie	388
12	Grenzschichttheorie	391
12.1	Lösungen der Grenzschichtgleichungen	396
12.1.1	Ebene Platte	396
12.1.2	Keilströmungen	399
12.1.3	Instationäre Staupunktströmung	402
12.1.4	Allgemeines Umströmungsproblem	404
12.2	Temperaturgrenzschicht bei erzwungener Konvektion	406
12.3	Temperaturgrenzschicht bei natürlicher Konvektion	412
12.4	Integralmethoden der Grenzschichttheorie	416
12.5	Turbulente Grenzschichten	420
Anhang		427
A	Einführung in die kartesische Tensorrechnung	427
B	Krummlinige Koordinaten	439
C	Tabellen und Diagramme für kompressible Strömung	454
D	Stoffwerte von Luft und Wasser	468
Ergänzende und weiterführende Literatur		471
Sachverzeichnis		475