

Joseph H. Spurk  
Nuri Aksel

# Strömungslehre

Einführung in die Theorie  
der Strömungen

7. Auflage

Mit Aufgaben und Übungsbeispielen auf CD-ROM  
und 231 Abbildungen



Springer

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kontinuumsbegriff und Kinematik</b>	1
1.1	Eigenschaften der Flüssigkeiten, Kontinuumshypothese	1
1.2	Kinemätk der Flüssigkeiten	8
1.2.1	Materielle und Feldbeschreibungsweise	8
1.2.2	Bahnlinie, Stromlinie, Streichlinie	10
1.2.3	Zeitableitungen	15
1.2.4	Bewegungszustand, Änderung materieller Linien-, Flächen- und Volumenelemente	18
1.2.5	Zeitliche Änderung materieller Integrale	31
<b>2</b>	<b>Grundgleichungen der Kontinuumsmechanik</b>	37
2.1	Erhaltungssatz der Masse	37
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
<b>3</b>	<b>Materialgleichungen</b>	79
<b>4</b>	<b>Bewegungsgleichungen für spezielle Materialgesetze</b>	101
4.1	Newtonische Flüssigkeiten	101
4.1.1	Navier-Stokessche Gleichungen	101
4.1.2	Wirbeltransportgleichung	104
4.1.3	Einfluß der Reynoldsschen Zahl	107
4.2	Reibungsfreie Flüssigkeiten	113
4.2.1	Eulersche Gleichungen	113
4.2.2	Bernoullische Gleichung	114
4.2.3	Wirbelsätze	120
4.2.4	Integration der Energiegleichung	147
4.3	Anfangs- und Randbedingungen	150
4.4	Vereinfachung der Bewegungsgleichungen	154

<b>5</b>	<b>Hydrostatik</b>	161
5.1	Hydrostatische Druckverteilung	161
5.2	Hydrostatischer Auftrieb, Kraft auf Wände	167
5.3	Freie Oberflächen	172
<b>6</b>	<b>Laminare Schichtenströmungen</b>	179
6.1	Stationäre Schichtenströmungen	180
6.1.1	Couette-Strömung	180
6.1.2	Couette-Poiseuille-Strömung	181
6.1.3	Filmströmung	184
6.1.4	Strömung zwischen zwei konzentrisch rotierenden Zylindern	186
6.1.5	Hagen-Poiseuille-Strömung	188
6.1.6	Strömung durch nichtkreisförmige Rohre	192
6.2	Instationäre Schichtenströmungen	196
6.2.1	Die periodisch in ihrer Ebene bewegte Wand	196
6.2.2	Die plötzlich in Gang gesetzte Wand	199
6.3	Schichtenströmungen Nicht-Newtonsscher Flüssigkeiten	201
6.3.1	Stationäre Strömung durch ein gerades Kreisrohr	201
6.3.2	Stationäre Schichtenströmung zwischen einer rotierenden Scheibe und einer festen Wand	203
6.3.3	Instationäre Schichtenströmung einer Flüssigkeit zweiter Ordnung	205
6.4	Schichtenströmungen bei Bingham-Verhalten	210
6.4.1	Druck-Schlepp-Strömung eines Bingham-Materials	210
6.4.2	Rohrströmung eines Bingham-Materials	216
<b>7</b>	<b>Grundzüge turbulenter Strömungen</b>	219
7.1	Stabilität und Entstehung der Turbulenz	219
7.2	Reynoldssche Gleichungen	222
7.3	Turbulente Scherströmung in der Nähe einer Wand	228
7.4	Turbulente Strömung in glatten Rohren und Kanälen	238
7.5	Turbulente Strömung in rauen Rohren	241
<b>8</b>	<b>Hydrodynamische Schmierung</b>	245
8.1	Reynoldssche Gleichung der Schmiertheorie	245
8.2	Statisch belastete Gleitlager	248
8.2.1	Unendlich langes Radiallager	248
8.2.2	Unendlich kurzes Radiallager	255
8.2.3	Endlich langes Radiallager	255
8.3	Dynamisch belastete Gleitlager	256
8.3.1	Unendlich langes Radiallager	257
8.3.2	Gleitstempel	258
8.3.3	Quetschströmung eines Bingham-Materials	263
8.4	Filmströmung über halbunendliche Wand	265

8.5	Strömung durch Partikelfilter	269
8.6	Strömung durch ein poröses Medium	272
8.7	Hele-Shaw-Strömung	276
<b>9</b>	<b>Stromfadentheorie</b>	<b>279</b>
9.1	Inkompressible Strömung	279
9.1.1	Die Kontinuitätsgleichung	280
9.1.2	Die reibungsfreie Strömung	281
9.1.3	Die reibungsbehaftete Strömung	284
9.1.4	Anwendung auf Strömungen durch Rohre mit veränderlichem Querschnitt	289
9.1.5	Der viskose Strahl	294
9.2	Stationäre kompressible Strömung	298
9.2.1	Strömung durch Rohre mit veränderlichem Querschnitt	298
9.2.2	Strömung durch Rohre mit konstantem Querschnitt	310
9.2.3	Gleichungen des senkrechten Verdichtungsstoßes	314
9.3	Instationäre kompressible Strömung	320
<b>10</b>	<b>Potentialströmungen</b>	<b>337</b>
10.1	Eindimensionale Schallausbreitung	338
10.2	Stationäre kompressible Potentialströmung	345
10.3	Inkompressible Potentialströmung	346
10.3.1	Einfache Beispiele für Potentialströmungen	349
10.3.2	Virtuelle Massen	373
10.4	Ebene Potentialströmung	378
10.4.1	Beispiele für inkompressible, ebene Potentialströmungen	379
10.4.2	Komplexes Potential für ebene Strömungen	383
10.4.3	Blasius-Theorem	393
10.4.4	Kutta-Joukowsky-Theorem	396
10.4.5	Konforme Abbildung	397
10.4.6	Schwarz-Christoffel-Transformation	400
10.4.7	Freistrahlen	402
10.4.8	Strömung um Profile	408
10.4.9	Näherungslösung für schlanke Profile in inkompressibler Strömung	414
10.4.10	Schlanke Profile in kompressibler Strömung	422
<b>11</b>	<b>Überschallströmungen</b>	<b>425</b>
11.1	Schräger Verdichtungsstoß	426
11.2	Abgelöster Verdichtungsstoß	429
11.3	Reflexion schräger Stöße	429
11.4	Überschall-Potentialströmung um schlanke Profile	431
11.5	Prandtl-Meyer-Strömung	434
11.6	Stoß-Expansions-Theorie	440

<b>12 Grenzschichttheorie</b> . . . . .	445
12.1 Lösungen der Grenzschichtgleichungen . . . . .	449
12.1.1 Ebene Platte . . . . .	450
12.1.2 Keilströmungen . . . . .	454
12.1.3 Instationäre Staupunktströmung . . . . .	457
12.1.4 Allgemeines Umströmungsproblem . . . . .	458
12.2 Temperaturgrenzschicht . . . . .	460
bei erzwungener Konvektion . . . . .	460
12.3 Temperaturgrenzschicht . . . . .	466
bei natürlicher Konvektion . . . . .	466
12.4 Integralmethoden der Grenzschichttheorie . . . . .	469
12.5 Turbulente Grenzschichten . . . . .	473
<b>13 Schleichende Strömungen</b> . . . . .	483
13.1 Ebene und rotationssymmetrische Strömungen . . . . .	483
13.1.1 Beispiele ebener Strömungen . . . . .	485
13.1.2 Das Umströmungsproblem in ebener schleichender Strömung (Stokessches Paradoxon) . . . . .	498
13.1.3 Schleichende Strömung um eine Kugel . . . . .	499
<b>A Einführung in die kartesische Tensorrechnung</b> . . . . .	505
A.1 Summationskonvention . . . . .	505
A.2 Kartesische Tensoren . . . . .	506
<b>B Krummlinige Koordinaten</b> . . . . .	517
B.1 Kartesische Koordinaten . . . . .	524
B.2 Zylinderkoordinaten . . . . .	526
B.3 Kugelkoordinaten . . . . .	529
<b>C Tabellen und Diagramme für kompressible Strömung</b> . . . . .	533
<b>D Stoffwerte von Luft und Wasser</b> . . . . .	551
<b>Literatur</b> . . . . .	555
<b>Index</b> . . . . .	557