

Leopold Böswirth

# Technische Strömungslehre

**Lehr- und Übungsbuch**

4., durchgesehene und erweiterte Auflage

Mit 146 Abbildungen und 38 Tabellen



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Grundbegriffe</b>	<b>1</b>
1.1	Einführung	1
1.2	Erörterung einiger wichtiger Begriffe. Fluid. Stationäre und instationäre Strömungen. Stromlinien und Bahnkurven. Kontinuitätsgleichung. Ideales Fluid. Reale Fluide. Ablösung und Totwassergebiet. Laminare und turbulente Strömungen.	2
1.3	Wiederholung wichtiger Gesetze der Fluidstatik. Druck. Hydrostatisches Grundgesetz. Pascalsches Gesetz.	8
1.4	Anwendung des Newtonschen Grundgesetzes auf strömende Fluide ... Krümmungsdruckformel.	12
1.5	Einteilung der Fluidmechanik	15
1.6	Beispiele	16
1.7	Kontrollfragen und Übungsaufgaben	21
<b>2</b>	<b>Bernoullische Gleichung für stationäre Strömung</b>	<b>25</b>
2.1	Herleitung Herleitung aus dem Satz der Erhaltung der Energie. Herleitung aus dem Newtonschen Grundgesetz.	25
2.2	Druckbegriffe bei strömenden Fluiden. Der statische Druck. Gesamtdruck. Staudruck.	31
2.3	Regeln für die Anwendung der Bernoullischen Gleichung	35
2.4	Verschiedene Formen der Bernoullischen Gleichung	37
2.5	Einfache Beispiele. Ausfluß von Flüssigkeiten aus Gefäßen und Behältern. Besonderheiten bei Ausfluß aus scharfkantigen Öffnungen.	38
2.6	Bernoullische Gleichung, erweitert durch Arbeits- und Verlustglied .... Besonderheiten bei Pumpen und Ventilatoren. Austrittsverlust.	43
2.7	Beispiel 2.5	47
2.8	Übungsaufgaben	49
<b>3</b>	<b>Impulssatz und Drallsatz für stationäre Strömung</b>	<b>59</b>
3.1	Formulierung des Impulssatzes und Erörterung von Anwendungen ....	59
3.2	Herleitung des Impulssatzes aus dem Newtonschen Grundgesetz	61
3.3	Drallsatz, Begriff der Strömungsmaschine	64
3.4	Impulsantriebe, Vereinfachte Propellertheorie	69
3.5	Beispiele	73
3.6	Übungsaufgaben	83
<b>4</b>	<b>Räumliche reibungsfreie Strömungen</b>	<b>93</b>
4.1	Allgemeines	93
4.2	Einfache räumliche reibungsfreie Strömungen. Quell- und Senkenströmung. Potentialwirbel. Wirbel- und Quellsenke.	97
4.3	Umströmte Körper. Zylinder. Kugel.	103
4.4	Einiges über Potentialströmungen	105
4.4.1	Allgemeines	105

4.4.2 Ebene Potentialströmungen . . . . .	105
4.4.3 Räumliche Potentialströmungen . . . . .	106
4.5 Beispiele . . . . .	106
4.6 Übungsaufgaben . . . . .	110
<b>5 Reibungsgesetz für Fluide. Strömung in Spalten und Lagern . . . . .</b>	<b>113</b>
5.1 Haftbedingung . . . . .	113
5.2 Reibungsgesetz . . . . .	116
5.3 Zähigkeit . . . . .	118
5.4 Weitere Erörterung der Reibungserscheinungen . . . . .	119
5.5 Bewegungsgleichungen mit Berücksichtigung der Reibung . . . . .	122
5.6 Strömung in Spalten und Lagern . . . . .	124
5.7 Beispiele . . . . .	127
5.8 Übungsaufgaben . . . . .	130
<b>6 Ähnlichkeit von Strömungen . . . . .</b>	<b>136</b>
6.1 Reynoldssche Ähnlichkeit . . . . .	136
6.2 Herleitung des Reynoldsschen Ähnlichkeitsgesetzes . . . . .	138
6.3 Weitere Ähnlichkeitsgesetze . . . . .	139
6.4 Das $\ddot{U}$ -Theorem von Buckingham . . . . .	141
6.5 Beispiel . . . . .	142
6.6 Übungsaufgaben . . . . .	143
<b>7 Die Grenzschicht . . . . .</b>	<b>146</b>
7.1 Übersicht über grundlegende Forschungsergebnisse . . . . .	146
Die längsangeströmte Platte. Grenzschichten an umströmten Körpern. Grenzschichten in Düsen.	
7.2 Wirbelbildung und Turbulenz . . . . .	153
7.3 Widerstandsverminderung durch Längsrillen . . . . .	157
7.3.1 Allgemeines . . . . .	157
7.3.2 Experimentelle Befunde und Erörterung der Ursachen der Widerstandsverminderung . . . . .	158
7.4 Beispiele . . . . .	160
7.5 Übungsaufgaben . . . . .	162
<b>8 Rohrströmung und Druckverlust . . . . .</b>	<b>165</b>
8.1 Strömungscharakter der Rohrströmungen . . . . .	165
Laminare Rohrströmung. Turbulente Rohrströmung.	
8.2 Druckverlust und Druckabfall . . . . .	168
8.2.1 Druckverlust gerader Rohrleitungsteile . . . . .	168
8.2.2 Druckverlust von Rohrleitungseinbauten und in Querschnittsübergängen . . . . .	173
8.2.3 Gesamte Druckdifferenz zwischen zwei Punkten in einer Rohrleitung . . . . .	176
8.3 Durchflußmessung in Rohren . . . . .	176
8.4 Anwendungen in der Verfahrenstechnik . . . . .	179
8.5 Beispiele . . . . .	192
8.6 Übungsaufgaben . . . . .	195

<b>9</b>	<b>Widerstand umströmter Körper</b> .....	205
9.1	Allgemeines .....	205
9.2	Der Strömungswiderstand der Kugel .....	207
9.3	Entstehung der Ablösung .....	208
9.4	Diskussion von Widerstandsbeiwerten .....	210
9.5	Einiges über strömungsgünstige Gestaltung plumper Körper .....	213
9.6	Automobilaerodynamik .....	218
9.7	Freier Fall mit Strömungswiderstand .....	224
9.8	Beispiele .....	226
9.9	Übungsaufgaben .....	228
<b>10</b>	<b>Strömung um Tragflächen</b> .....	233
10.1	Entstehung des Auftriebes .....	233
10.2	Geometrische Bezeichnungen und dimensionslose Beiwerte .....	236
10.3	Einfache Ergebnisse der Potentialtheorie .....	238
10.4	Darstellung von Meßwerten .....	240
10.5	Endlich breite Tragflächen .....	243
10.6	Kräfte und Momente am Flugzeug .....	245
10.7	Schema der Anwendung der Tragflügelströmung auf Axial-Strömungsmaschinen .....	247
10.8	Beispiel .....	248
10.9	Übungsaufgaben .....	250
<b>11</b>	<b>Einiges über die Lösung zwei- und dreidimensionaler Strömungsprobleme mit Computern</b> .....	255
11.1	Allgemeines .....	255
11.2	Ausgangsgleichungen und Diskretisierung .....	256
11.3	Grundsätzliche Vorgangsweise .....	263
<b>Anhang</b>	.....	265
A.1	Übersicht über in den Text integrierte Diagramme und Tabellen .....	265
A.2	Diagramme und Tabellen .....	266
	Tabelle 1 Eigenschaften der ICAO-Atmosphäre .....	266
	Tabelle 2 Stoffwerte für Wasser .....	267
	Tabelle 3 Stoffwerte für trockene Luft .....	267
	Tabelle 4 Stoffwerte für Flüssigkeiten .....	267
	Tabelle 5 Stoffwerte von Gasen .....	268
	Diagramm 1 Widerstandsbeiwert $c_f$ für die längsangeströmte Platte ...	268
	Diagramm 2 Widerstandsbeiwert für den querangeströmten Zylinder .	269
	Diagramm 3 Tragflügelpolaren .....	270
A.3	Lösungsanhang .....	271
	A.3.1 Ergebnisse für die Übungsaufgaben .....	271
	A.3.2 Lösungshinweise für *-Aufgaben .....	279
<b>Literatur</b>	.....	290
<b>Sachverzeichnis</b>	.....	293