

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
<b>2 Eigenschaften der Flüssigkeiten und Gase</b>	<b>13</b>
2.1 Eigenschaften der Flüssigkeiten	13
2.2 Lehre vom Spannungszustand	15
2.3 Der Flüssigkeitsdruck	18
2.4 Eigenschaften der Gase	24
2.5 Gasdruck	27
2.6 Wechselwirkung von Gasdruck und Flüssigkeitsdruck	31
2.7 Gleichgewicht bei anderen Kraftfeldern	34
2.8 Oberflächenspannung (Kapillarität)	38
<b>3 Kinematik der Strömungen</b>	<b>43</b>
3.1 Darstellungsmittel	43
3.2 Beschleunigung einer Strömung	47
3.3 Topologie einer Strömung	49
<b>4 Dynamik der Strömungen</b>	<b>57</b>
4.1 Dynamik der reibungsfreien Flüssigkeit	57
4.1.1 Kontinuität und Bernoulli-Gleichung	57
4.1.2 Folgerungen aus der Bernoulli-Gleichung	61
4.1.3 Druckmessung	68
4.1.4 Trennflächen und Wirbelbildung	70
4.1.5 Potentialströmung	73
4.1.6 Tragflügelauftrieb und Magnus-Effekt	86
4.1.7 Impulssatz für stationäre Strömungen	89
4.1.8 Wellen auf einer freien Flüssigkeitsoberfläche	97
4.2 Dynamik zäher Flüssigkeiten	106
4.2.1 Zähigkeit (innere Reibung), Navier-Stokes-Gleichung	106
4.2.2 Mechanische Ähnlichkeit, Reynolds-Zahl	109
4.2.3 Laminare Grenzschichten	111
4.2.4 Entstehung der Turbulenz	114
4.2.5 Ausgebildete Turbulenz	124
4.2.6 Strömungsablösung und Wirbelbildung	133
4.2.7 Sekundärströmungen	139
4.2.8 Strömungen mit überwiegender Zähigkeit	141
4.2.9 Strömungen durch Rohre und Kanäle	149
4.2.10 Widerstand von Körpern in Flüssigkeiten	153
4.2.11 Strömungen Nicht-Newtonsscher Medien	163
4.3 Dynamik der Gase	168

4.3.1	Druckfortpflanzung, Schallgeschwindigkeit	168
4.3.2	Stationäre kompressible Strömungen	172
4.3.3	Energiesatz	177
4.3.4	Theorie des senkrechten Verdichtungsstoßes	178
4.3.5	Strömungen um Ecken, Freistrahlen	182
4.3.6	Strömungen mit schwachen Störungen	186
4.3.7	Profilumströmungen	190
4.4	Aerodynamik	196
4.4.1	Vogelflug	197
4.4.2	Profil und Tragflügel	199
4.4.3	Profil- und Tragflügeltheorie	207
4.4.4	Aerodynamisches Versuchswesen	221
4.4.5	Transsonische Aerodynamik, Pfeilflügel	222
4.4.6	Stoß-Grenzschicht-Wechselwirkung	226
4.4.7	Strömungsablösung	235
4.4.8	Überschallaerodynamik, Deltaflügel	237
<b>5</b>	<b>Grundgleichungen der Strömungsmechanik</b>	<b>245</b>
5.1	Kontinuitätsgleichung	245
5.2	Navier-Stokes-Gleichungen	247
5.2.1	Laminare Strömungen	247
5.2.2	Reynolds-Gleichungen für turbulente Strömungen	253
5.3	Energiegleichung	258
5.3.1	Laminare Strömungen	258
5.3.2	Turbulente Strömungen	261
5.4	Grundgleichungen in Erhaltungsform	264
5.4.1	Hierarchie der Grundgleichungen	264
5.4.2	Navier-Stokes-Gleichungen	267
5.4.3	Abgeleitete Modellgleichungen	270
5.4.4	Reynolds-Gleichungen für turbulente Strömungen	277
5.4.5	Turbulenzmodelle	279
5.4.6	Mehrphasenströmungen	297
5.4.7	Reaktive Strömungen	309
5.5	Differentialgleichungen der Störungen	312
<b>6</b>	<b>Instabilitäten und turbulente Strömungen</b>	<b>317</b>
6.1	Grundlagen turbulenter Strömungen	317
6.2	Einsetzen der Turbulenz	319
6.2.1	Strömungsmechanische Instabilitäten	319
6.2.2	Lineare Stabilitätsanalyse	322
6.2.3	Übergang zur Turbulenz	344
6.3	Ausgebildete Turbulenz	350

---

6.3.1	Die Notation der Mischungsweglänge	350
6.3.2	Turbulente Durchmischung	352
6.3.3	Turbulente Energiebeziehungen	353
6.4	Klassifikation turbulenter Strömungen	356
6.4.1	Freie Turbulenz	356
6.4.2	Turbulenz in Wandnähe	358
6.4.3	Rotierende und geschichtete Strömungen	361
6.4.4	Turbulenz im Windkanal	362
6.4.5	Zweidimensionale Turbulenz	366
6.4.6	Strukturen und Statistik	369
6.5	Neue Entwicklungen	370
6.5.1	Zerfall in kleine und große Skalen	370
6.5.2	Lagrange-Untersuchungen der Turbulenz	376
6.5.3	Feldtheoretische Methoden	376
6.5.4	Ausblick	377
<b>7</b>	<b>Konvektive Wärme- und Stoffübertragung</b>	<b>379</b>
7.1	Grundlagen der Wärme- und Stoffübertragung	379
7.1.1	Freie und erzwungene Konvektion	379
7.1.2	Wärmeleitung und Konvektion	381
7.1.3	Diffusion und Konvektion	383
7.2	Freie Konvektion	385
7.2.1	Rayleigh-Bénard-Konvektion	385
7.2.2	Konvektion an der vertikalen Platte	396
7.2.3	Konvektion am waagerechten Zylinder	401
7.3	Erzwungene Konvektion	403
7.3.1	Rohrströmung	403
7.3.2	Grenzschichtströmung	407
7.3.3	Umströmte Körper	414
7.4	Wärme- und Stoffaustausch	415
7.4.1	Diffusions-Konvektion	415
7.4.2	Stoffaustausch an der ebenen Platte	421
<b>8</b>	<b>Strömungen mit mehreren Phasen</b>	<b>425</b>
8.1	Grundlagen der Strömungen mit mehreren Phasen	425
8.1.1	Definitionen	426
8.1.2	Strömungsformen	429
8.1.3	Strömungskarten	429
8.2	Strömungsmodelle	433
8.2.1	Das eindimensionale Zwei-Fluid-Modell	433
8.2.2	Mischungsmodelle	436
8.2.3	Das Driftströmungsmodell	438

---

11.3.3 Elektrokinetische Effekte	630
11.3.4 Benetzung und dünne Filme	639
11.4 Experimente	648
11.4.1 Druckverlust	648
11.4.2 Laminar-turbulente Transition	650
11.4.3 Wärmeübergang	651
<b>12 Bioströmungsmechanik</b>	<b>653</b>
12.1 Grundlagen der Bioströmungsmechanik	653
12.1.1 Bioströmungsmechanik der Tiere	655
12.1.2 Bioströmungsmechanik des Menschen	658
12.1.3 Rheologie des Blutes	665
12.2 Schwimmen und Fliegen	668
12.2.1 Fortbewegung der Einzeller	668
12.2.2 Schwimmen der Fische	671
12.2.3 Strömungskontrolle	673
12.2.4 Vogelflug	675
12.3 Strömung im menschlichen Herzen	681
12.3.1 Physiologie und Anatomie des Herzens	681
12.3.2 Struktur des Herzens	684
12.3.3 Erregungsphysiologie des Herzens	688
12.3.4 Strömung im Herzen	690
12.3.5 Herzklappen	703
12.4 Strömung in Blutgefäßen	707
12.4.1 Instationäre Rohrströmung	711
12.4.2 Instationäre Arterienströmung	714
12.4.3 Arterienverzweigungen	718
12.4.4 Mikrozirkulation	721
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>725</b>
<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>753</b>