

Inhaltsverzeichnis

Teil A

Grundlagen aus der Strömungsmechanik

I. Einführung und physikalische Eigenschaften der Atmosphäre

	Seite
1.1 Aufgaben der Flugzeug-Aerodynamik	1
1.2 Physikalische Eigenschaften der Luft	3
1.21 Allgemeines	3
1.22 Dichte, Druck und Temperatur	4
1.23 Kompressibilität	5
1.24 Zähigkeit	10
1.3 Ähnlichkeitsgesetze	12
1.31 MACHSches Ähnlichkeitsgesetz	13
1.32 REYNOLDSSches Ähnlichkeitsgesetz	13
1.4 Physikalische Eigenschaften der Atmosphäre	15
Literatur	21

II. Inkompressible reibungslose Strömungen (Hydrodynamik)

2.1 Kinematik der Strömungen	22
2.11 Darstellungsmethoden, Geschwindigkeit	22
2.12 Bahnlinie, Stromlinie und Stromröhre	25
2.13 Kontinuitätsgleichung	26
2.14 Beschleunigung	28
2.15 Drehung	31
2.2 Eindimensionale Strömungen (Stromfadentheorie)	35
2.21 Eindimensionale EULERSche Bewegungsgleichung	35
2.22 BERNOULLISche Gleichung (Energiegleichung)	38
2.23 Einige Anwendungen der BERNOULLISchen Gleichung	40
2.231 Ausfluß aus einem Gefäß	40
2.232 Messung von Druck und Geschwindigkeit in einer Strömung	41
2.3 Zwei- und dreidimensionale Potentialströmungen	43
2.31 Allgemeine EULERSche Bewegungsgleichungen	43
2.32 BERNOULLISche Gleichung (Energiegleichung)	45

2.33	Drehungsfreie Strömungen als Lösungen der EULERSchen Bewegungsgleichungen	46
2.34	Potential- und Stromfunktion	49
2.35	Beispiele einfacher Potentialströmungen	54
2.351	Translationsströmung	54
2.352	Ebene Staupunktströmung	55
2.353	Rotationssymmetrische Staupunktströmung	55
2.354	Ebene Quell- und Senkenströmung	57
2.355	Ebener Potentialwirbel	58
2.356	Räumliche Quell- und Senkenströmung	59
2.357	Strömung um einen ebenen Halbkörper	60
2.358	Strömung um einen rotationssymmetrischen Halbkörper	62
2.359	Dipolströmung	63
2.35.10	Strömung um einen Kreiszyylinder	66
2.35.11	Strömung um eine Kugel	69
2.35.12	Strömung um andere Körper	70
2.4	Wirbelbewegung	72
2.41	Begriff der Zirkulation	72
2.42	Zusammenhang zwischen Zirkulation und Drehung (STOKES)	74
2.43	Beispiele für Strömung mit Zirkulation	76
2.431	Translationsströmung mit Trennungsfläche	76
2.432	Potentialwirbel	78
2.433	Strömung um den Kreiszyylinder mit Zirkulation	78
2.434	Tragflügel mit Auftrieb (KUTTA-JOUKOWSKY)	82
2.44	Wirbelsätze	85
2.441	Räumlicher Wirbelerhaltungssatz	85
2.442	Zeitlicher Wirbelerhaltungssatz (THOMSON)	87
2.443	HELMHOLTZsche Wirbelsätze	89
2.45	Anwendungen der Wirbelsätze bei der Tragflügelströmung	90
2.46	Geschwindigkeitsfeld von Wirbeln (BIOT-SAVART)	93
2.5	Berechnung ebener Potentialströmungen mit Hilfe komplexer Funktionen	99
2.51	Grundgleichungen	99
2.52	CAUCHY-RIEMANNSche Differentialgleichungen	100
2.53	Komplexe Strömungsfunktion	101
2.54	Beispiele zur komplexen Strömungsfunktion	102
2.541	Translationsströmung	103
2.542	Strömung in einem Winkelraum	103
2.543	Quelle, Senke und Potentialwirbel	105
2.544	Dipol	106
2.545	Translationsströmung um den Kreiszyylinder	107
2.55	Methode der konformen Abbildung	108
2.56	Beispiele zur konformen Abbildung	111
2.561	Parallel angeströmte Platte	111
2.562	Senkrecht angeströmte Platte	112
2.563	Angestellte ebene Platte mit Auftrieb	114
2.564	Elliptische Zylinder	123

	Seite
2.6 Impulssatz	126
2.61 Allgemeines Theorem des Impulssatzes	126
2.62 Beispiele zum Impulssatz	130
2.621 Strömung in einer Rohrumlenkung	130
2.622 Strahl senkrecht auf eine Wand	131
2.623 Strahl schräg auf eine Wand	132
2.624 Strömung durch ein Flügelgitter	133
2.625 Widerstand eines Halbkörpers	136
2.626 Ermittlung des Widerstandes aus dem Impulsverlust	138
Literatur	141

III. Kompressible reibungslose Strömungen (Gasdynamik)

3.1 Grundlagen	143
3.11 Schallgeschwindigkeit	143
3.12 MACHsche Linie, Verdichtungsstoß	146
3.13 Zustandsgleichungen	149
3.2 Eindimensionale Strömungen (Stromfadentheorie)	151
3.21 Stetig verlaufende isentrope Strömungen	151
3.211 EULERSche Bewegungsgleichung und BERNOULLISCHE Gleichung	151
3.212 Kontinuitätsgleichung	154
3.213 Ausfluß aus einem Kessel	155
3.22 Unstetig verlaufende Strömungen mit Verdichtungsstoß	161
3.221 Kritische MACH-Zahl	161
3.222 Senkrechter Verdichtungsstoß	162
3.23 Staupunktströmung	165
3.3 Grundzüge kompressibler Potentialströmungen	167
3.31 Grundgleichungen	168
3.32 Drehungsfreiheit	168
3.33 Geschwindigkeitspotential	169
3.34 Ähnlichkeitsregeln für Unter- und Überschallströmungen	171
3.35 Lösungstypus für Überschallströmungen	176
3.36 Strömung längs einer schwach welligen Wand	176
3.4 Unterschallströmungen	179
3.41 Entwicklung nach Potenzen der MACH-Zahl	179
3.42 Angestellte ebene Platte	182
3.43 Vergleich mit Versuchsergebnissen	183
3.5 Überschallströmungen	185
3.51 Strömung um eine flache Ecke (ACKERET)	185
3.52 Auftrieb und Widerstand der angestellten ebenen Platte	188
3.53 Auftrieb und Widerstand schlanker Profile	192
3.54 Stetige isentrope Strömungsumlenkung (PRANDTL-MEYER)	197
3.55 Charakteristikenverfahren	203
3.56 Unstetige Strömungsumlenkung (Schiefer Verdichtungsstoß)	206

	Seite
3.6 Schallnahe Strömungen	212
3.61 Experimentelle Ergebnisse	212
3.62 Ähnlichkeitsregel der schallnahen Strömung	219
3.7 Hyperschallströmungen	224
3.71 Allgemeines, angestellte ebene Platte	224
3.72 Physikalische Eigenschaften einer Hyperschallströmung	227
3.73 Ähnlichkeitsregel der Hyperschallströmung	230
3.74 Umströmung eines stumpfen Körpers	231
Literatur	234

IV. Strömungen mit Reibung (Grenzschicht-Theorie)

4.1 Grundzüge der Strömungen mit Reibung	238
4.11 Allgemeines	238
4.12 NEWTONSches Reibungsgesetz	238
4.13 REYNOLDSSches Ähnlichkeitsgesetz	239
4.14 Laminare Rohrströmung	241
4.15 Turbulente Rohrströmung	244
4.16 Widerstandsproblem umströmter Körper	249
4.2 Grundzüge der Grenzschicht-Theorie	253
4.21 Begriff der Grenzschicht	253
4.22 Ablösung der Grenzschicht	254
4.23 Abschätzung der Grenzschichtdicke und des Reibungswiderstandes bei laminarer Strömung	258
4.24 Turbulente Strömung in der Grenzschicht	259
4.3 Bewegungsgleichungen der zähen Flüssigkeit (NAVIER-STOKES- sche Gleichungen)	261
4.4 PRANDTLsche Grenzschichtgleichungen	265
4.41 Aufstellung der Grenzschichtgleichungen	265
4.42 Einige physikalische Eigenschaften der Grenzschicht	267
4.43 Plattengrenzschicht bei laminarer Strömung	269
4.44 Impuls- und Energiesatz der Grenzschicht	273
4.45 Berechnung der laminaren Grenzschicht mit Druckabfall und Druck- anstieg	276
4.5 Grenzschichtbeeinflussung	280
4.51 Allgemeines	280
4.52 Mitbewegen der Wand	281
4.53 Beschleunigung der Grenzschicht	281
4.54 Absaugung der Grenzschicht	282
4.55 Grenzschicht mit Ausblasen	289
4.56 Laminarhaltung durch Formgebung (Laminarprofile)	291
4.6 Einiges über turbulente Strömungen	292
4.61 Mittlere Bewegung, Schwankungsbewegung und turbulente Schein- reibung	292

	Seite
4.62 Windkanalturbulenz	295
4.63 PRANDTL'scher Mischungsweg	296
4.64 Geschwindigkeitsverteilung in der turbulenten Grenzschicht	299
4.7 Turbulenter Reibungswiderstand der längsangeströmten ebenen Platte	300
4.71 Glatte Platte bei inkompressibler Strömung	300
4.72 Einfluß der Kompressibilität	304
4.73 Einfluß der Rauigkeit	307
4.8 Berechnung der turbulenten Grenzschicht mit Druckabfall und Druckanstieg	311
4.81 Allgemeines, Kenngrößen der Grenzschicht	311
4.82 Berechnung der Grenzschichtgrößen	315
4.83 Rechnerische Ermittlung des Profilwiderstandes	318
4.84 Dreidimensionale Grenzschichten	321
4.9 Kompressible Strömungs- und Temperaturgrenzschichten	324
4.91 Allgemeines	324
4.92 Stoffbeiwerte	325
4.93 Grundgleichungen	326
4.94 Temperaturerhöhung durch Kompression und Reibung	328
4.95 Zusammenwirken von Grenzschicht und Verdichtungsstoß	334
4.10 Umschlag laminar-turbulent	337
4.10.1 Experimentelle Ergebnisse	337
4.10.2 Grundzüge der Stabilitätstheorie der Laminarströmung	338
4.10.3 Ermittlung des Umschlagpunktes für ein Tragflügelprofil	344
Literatur	347

Teil B

Aerodynamik des Tragflügels

V. Einführung in die Aerodynamik des Tragflügels

5.1 Geometrie des Tragflügels	353
5.11 Allgemeine Angaben	353
5.12 Flügelgrundriß	354
5.13 Flügelprofil	359
5.14 Verwindung und V-Stellung	365
5.15 Ausgeführte Flügelformen	367
5.2 Kräfte und Momente am Tragflügel	374
5.21 Auftrieb, Widerstand und Gleitzahl	374
5.22 Sonstige Kräfte und Momente, Achsensysteme	376
5.23 Dimensionslose Beiwerte der Kräfte und Momente	378
5.24 Druckverteilungen und Auftriebsverteilungen	381

5.3 Zusammenhang zwischen den Luftkräften und den Bewegungsformen des Flugzeuges	383
5.31 Bewegungsformen des Flugzeuges	383
5.32 Kräfte und Momente beim Geradeausflug	384
5.33 Kräfte und Momente beim Schiebeflug.	386
5.34 Kräfte und Momente bei Drehbewegungen	387
5.35 Kräfte und Momente bei instationären Bewegungen.	388
Literatur	389

VI. Der Tragflügel unendlicher Spannweite bei inkompressibler Strömung (Profiltheorie)

6.1 Grundlagen der Theorie des Auftriebes.	391
6.11 Satz von KUTTA-JOUKOWSKY	391
6.12 Entstehung und Größe der Zirkulation.	392
6.13 Methoden der Profiltheorie	395
6.2 Profiltheorie nach der Methode der konformen Abbildung	396
6.21 Berechnung von Auftrieb und Moment für ein beliebiges Tragflügelprofil	396
6.211 BLASIUSSche Formeln	396
6.212 Beweis der KUTTA-JOUKOWSKYSchen Formel	399
6.213 Aerodynamische Beiwerte eines Profils	400
6.22 Angestellte ebene Platte	403
6.23 JOUKOWSKY-Profile.	403
6.24 Kreisbogenprofil	405
6.25 Symmetrisches JOUKOWSKY-Profil	409
6.26 Schlußbemerkung	414
6.3 Profiltheorie nach der Singularitätenmethode	414
6.31 Singularitäten	414
6.32 Sehr dünne Profile (Skelett-Theorie)	416
6.321 Grundlagen der Skelett-Theorie	416
6.322 Berechnung der Skelettlinie aus der Zirkulationsverteilung (I. Hauptaufgabe).	419
6.323 Berechnung der aerodynamischen Beiwerte	424
6.324 Beispiele zur I. Hauptaufgabe der Skelett-Theorie	426
6.325 Berechnung der Geschwindigkeitsverteilung auf der Skelettlinie (II. Hauptaufgabe).	431
6.33 Symmetrische Profile endlicher Dicke bei symmetrischer Anströmung (Tropfentheorie)	434
6.331 Grundlagen der Tropfentheorie	434
6.332 Berechnung der Geschwindigkeitsverteilung auf dem Profiltropfen	436
6.333 Berechnung des Profiltropfens aus der vorgegebenen Geschwindigkeitsverteilung.	440

	Seite
6.34 Profile endlicher Dicke mit Anstellwinkel	442
6.341 Berechnung der Geschwindigkeitsverteilung auf der Profil- kontur	442
6.342 Berechnung der aerodynamischen Beiwerte	443
6.343 Numerische Auswertung der Profiltheorie	446
6.35 Sonderprobleme der Profiltheorie	450
6.351 Tragflügelprofil in gekrümmter Strömung	450
6.352 Das Geschwindigkeitsfeld in der Umgebung eines Profils . .	453
6.4 Einfluß der REYNOLDSSchen Zahl auf die Profileigenschaften	455
6.41 Auftrieb	456
6.42 Widerstand	465
Literatur	468
Namenverzeichnis	471
Sachverzeichnis	474