Aerodynamik des Flugzeuges
Erster Band

Aerodynamik des Flugzeuges

Von

Dr. phil. H. Schlichting

o. Professor an der Technischen Hochschule Braunschweig
Direktor der Aerodynamischen Versuchsanstalt Göttingen
und Leiter des Instituts für Aerodynamik
der Deutschen Forschungsanstalt für Luftfahrt Braunschweig

Dr.-Ing. E. Truckenbrodt

o. Professor für Technische Mechanik
und Direktor des Instituts für Strömungsmechanik
an der Technischen Hochschule München

Erster Band

**Grundlagen aus der Strömungsmechanik
Aerodynamik des Tragflügels (Teil I)**

Mit 260 Abbildungen

Springer-Verlag

Berlin / Göttingen / Heidelberg

1959

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten
Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es auch nicht gestattet,
dieses Buch oder Teile daraus auf photomechanischem Wege
(Photokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen

ISBN 978-3-642-53045-6 ISBN 978-3-642-53044-9 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-53044-9

© by Springer-Verlag OHG., Berlin / Göttingen / Heidelberg 1959
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1959

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw.
in diesem Buche berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der An-
nahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetz-
gebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften

Vorwort

Die Grundlagen der Aerodynamik des Flugzeuges sind in einer ausführlichen Darstellung in deutscher Sprache zuletzt vor mehr als zwanzig Jahren in den bekannten Büchern von R. FUCHS und L. HOPF des Springer-Verlages behandelt worden. Bei der außerordentlich raschen Entwicklung und der starken Ausweitung, welche dieses Gebiet in den letzten beiden Jahrzehnten erfahren hat, ist es verständlich, daß eine einfache Neubearbeitung der beiden Bände von FUCHS und HOPF unmöglich ist. Als vor nunmehr etwa fünf Jahren Herr Dr. JULIUS SPRINGER uns deshalb den Vorschlag machte, als Ersatz für den „Fuchs-Hopf“ ein völlig neues Lehrbuch über die Aerodynamik des Flugzeuges zu verfassen, haben wir diesen Plan nur sehr zögernd aufgegriffen. Denn damals war noch nicht abzusehen, ob die nach dem Ausgang des zweiten Weltkrieges zum Erliegen gekommene deutsche Flugzeugindustrie wieder aufleben würde, und ob auch eine deutsche Luftfahrtforschung wieder erstehen würde. Wenn wir uns schließlich doch dazu entschlossen, die sehr umfangreiche Arbeit der völligen Neufassung eines Werkes über die Aerodynamik des Flugzeuges zu übernehmen, so taten wir es deshalb, weil wir letztlich die Entwicklung der deutschen Flugzeugindustrie und der deutschen Luftfahrtforschung optimistisch beurteilten, und weil wir glaubten, daß für die Ausbildung des jungen Ingenieur Nachwuchses ein umfassendes Lehrbuch auf diesem Gebiet unentbehrlich sein würde.

Wir waren uns von vornherein darüber klar, daß wegen des außerordentlich starken Anwachsens des Stoffes in den letzten beiden Jahrzehnten es uns nicht möglich sein würde, das gesamte Gebiet darzustellen, welches das zweibändige Werk von FUCHS-HOPF behandelte, nämlich die „Theorie der Luftkräfte“ (R. FUCHS) und die „Mechanik des Flugzeuges“ (L. HOPF). Wir entschlossen uns, nur die „Theorie der Luftkräfte“ zu behandeln, und die Neuabfassung der „Flugmechanik“, d. h. die Bewegung des Flugzeuges bei gegebenen Luftkräften, einem anderen Autor zu überlassen. Auch die mit dem Antrieb des Flugzeuges im Zusammenhang stehenden aerodynamischen Fragen (Triebwerks-aerodynamik) bleiben im vorliegenden Werk unberücksichtigt. Nachdem für den Antrieb des Flugzeuges das Strahltriebwerk und die Rakete neben der Luftschraube eine überragende Bedeutung erlangt haben, ist das Gebiet der Triebwerks-Aerodynamik so umfangreich, daß es gesondert behandelt werden muß.

In dem vorliegenden Werk „Aerodynamik des Flugzeuges“ beschäftigen wir uns ausschließlich mit den Luftkräften, welche bei der Bewegung des Flugzeuges durch die irdische Atmosphäre an seinen Teilen und damit am ganzen Flugzeug wirksam sind (Aerodynamik der Flugzeugzelle). Diese Luftkräfte hängen in recht verwickelter Weise von der geometrischen Gestalt des Flugzeuges, von der Fluggeschwindigkeit, von den Bewegungsformen des Flugzeuges und von einigen physikalischen Eigenschaften der Luft ab. Aufgabe der Aerodynamik des Flugzeuges ist es, über diese Zusammenhänge Auskunft zu geben. Die Aerodynamik des Flugzeuges bildet die unerläßliche Grundlage für die Flugmechanik und auch für viele Fragen der Festigkeit des Flugzeuges. Jedoch haben wir auf die Behandlung des umfangreichen Sondergebietes der instationären Luftkräfte (Aeroelastizität) verzichten müssen.

Das Studium der aerodynamischen Fragen des Flugzeuges erfordert sehr gründliche Kenntnisse in der Strömungslehre. Aus diesem Grunde haben wir es für angebracht gehalten, einen ziemlich ausführlichen Abriß der allgemeinen Strömungslehre vorausszuschicken. Neben der klassischen Hydrodynamik des vorigen Jahrhunderts kommt dabei der modernen Strömungslehre dieses Jahrhunderts mit den drei Teilgebieten „Gasdynamik“, „Grenzschicht-Theorie“ und „Tragflügel-Theorie“ eine große Bedeutung zu. Diese Grundlagen der Strömungslehre sind nicht nur für die Luftfahrt, sondern auch für viele andere Gebiete der Physik und Technik von erheblichem Interesse.

Das vorliegende Werk gliedert sich in drei Hauptabschnitte mit insgesamt zwölf Kapiteln, die auf zwei Bände verteilt sind. Im ersten Abschnitt werden nach einem einleitenden Kapitel über die Atmosphäre die Grundlagen aus der Strömungsmechanik in einem solchen Umfang dargestellt, wie sie in den folgenden Abschnitten benötigt werden. Der zweite Abschnitt befaßt sich mit der Aerodynamik des Tragflügels und der dritte Abschnitt mit der Aerodynamik der übrigen Teile des Flugzeuges (Rumpf, Leitwerke), wobei auch die Probleme der gegenseitigen Beeinflussung der Flugzeugteile eine wichtige Rolle spielen. Der modernen Entwicklung im Flugzeugbau wird dadurch Rechnung getragen, daß die Aerodynamik bei hohen Geschwindigkeiten (Unter- und Überschallgeschwindigkeit) ziemlich eingehend behandelt wird.

Dieses Buch wendet sich in erster Linie an Ingenieure. Wir haben uns bemüht, soweit wie möglich die theoretische Behandlung der Probleme in den Vordergrund zu stellen. Dabei haben wir versucht, diese in eine anschauliche, für den Ingenieur leicht faßliche Form zu bringen. In der Tat ist es heute möglich, unter Verwendung der modernen Strömungslehre den überwiegenden Teil der Aerodynamik des Flugzeuges aus rein theoretischen Überlegungen zu gewinnen. Das in der

Literatur vorhandene, sehr umfangreiche experimentelle Material wurde nur insoweit herangezogen, als es zur Belebung der physikalischen Anschauung und zur Nachprüfung der Theorie erforderlich ist. Es kam uns darauf an, zum Ausdruck zu bringen, daß die entscheidenden Fortschritte nicht durch eine Anhäufung von umfangreichen Versuchsergebnissen erreicht worden sind, sondern vielmehr durch die Synthese von theoretischen Überlegungen mit wenigen grundlegenden Experimenten. Darüber hinaus haben wir uns bemüht, die Ergebnisse der Theorie dem Leser durch zahlreiche durchgerechnete Beispiele näherzubringen.

Für den ersten Abschnitt des Buches (Grundlagen aus der Strömungsmechanik) konnten wir weitgehend auf Vorlesungsmanuskripte des ersten Verfassers zurückgreifen, u. a. auch auf das Buch „Grenzschicht-Theorie“, welches vor kurzem beim Verlag G. Braun, Karlsruhe, in dritter Auflage erschienen ist. Weiterhin kam es uns sehr zustatten, daß der zweite Verfasser durch seine langjährige Tätigkeit in der Luftfahrt, zuletzt als Leiter der aerodynamischen Abteilung der Heinkel-Flugzeug-Werke, mit den Problemen des Flugzeugbaues in enger Berührung war.

Der hiermit vorgelegte erste Band umfaßt sechs Kapitel, nämlich den ersten Abschnitt „Grundlagen aus der Strömungsmechanik“ mit vier Kapiteln und zwei Kapitel aus dem zweiten Abschnitt „Aerodynamik des Tragflügels“. Wir hoffen, daß es uns möglich sein wird, den zweiten Band bald folgen zu lassen.

Bei der Herstellung der Abbildungen und beim Lesen der Korrekturen wurden wir von unseren Mitarbeitern V. DENK, K. GERSTEN, R. KARWINSKI und W. PECHAU wesentlich unterstützt. Die sorgfältige Herstellung der Reinschrift des Manuskriptes verdanken wir Fräulein M. FROBENIUS. Dem Springer-Verlag danken wir für sein bereitwilliges Eingehen auf unsere Wünsche sowie für die sorgfältige Ausstattung des Buches.

Göttingen, im August 1958

H. Schlichting E. Truckenbrodt

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	2
1.21 Strömungsmechanik und physikalische Eigenschaften des strömen- den Mediums	2
1.22 Druck, Dichte und Temperatur in der Atmosphäre	4
1.23 Kompressibilität	8
1.24 Zähigkeit	11
1.3 Ähnlichkeitsgesetze der Strömungen	13
Literatur.	18

II. Inkompressible reibungslose Strömungen (Hydrodynamik)

2.1 Kinematik der Flüssigkeitsbewegungen	18
2.11 Darstellungsmethoden	19
2.12 Dreidimensionale, zweidimensionale und eindimensionale Bewe- gungen	21
2.13 Stromlinien und Stromröhren	22
2.14 Kontinuitätsgleichung	23
2.15 Drehung einer Flüssigkeitsbewegung	25
2.2 Eindimensionale Strömungen (Stromfadentheorie)	29
2.21 Eindimensionale EULERSche Bewegungsgleichung	29
2.22 BERNOULLISCHE Gleichung	34
2.23 Einige Anwendungen der BERNOULLISCHEN Gleichung	36
2.231 Ausfluß aus einem Gefäß	36
2.232 Messung von Druck und Geschwindigkeit in einer Strömung	37
2.233 Trennungsflächen	39
2.3 Zwei- und dreidimensionale Strömungen	40
2.31 Die allgemeinen EULERSCHEN Bewegungsgleichungen	40
2.32 BERNOULLISCHE Gleichung	42
2.33 Drehungsfreie Strömungen als Lösungen der EULERSCHEN Bewe- gungsgleichungen	44
2.34 Potential- und Stromfunktion	46
2.35 Beispiele einfacher Potentialströmungen	51
2.351 Translationsströmung	52
2.352 Ebene Staupunktströmung	52
2.353 Rotationssymmetrische Staupunktströmung	53

	Seite
2.354 Ebene Quell- und Senkenströmung	54
2.355 Ebener Potentialwirbel	55
2.356 Räumliche Quell- und Senkenströmung	57
2.357 Strömung um einen ebenen Halbkörper	57
2.358 Strömung um einen rotationssymmetrischen Halbkörper	60
2.359 Dipol und Kreiszylinder	61
2.3510 Strömung um eine Kugel	67
2.3511 Strömung um andere Körper	68
2.4 Wirbelbewegung	70
2.41 Begriff der Zirkulation	70
2.42 Beispiele für Strömungen mit Zirkulation	73
2.421 Translationsströmung	73
2.422 Translationsströmung mit Trennungsfläche	73
2.423 Potentialwirbel	74
2.424 Tragflügel mit Auftrieb	75
2.43 Zusammenhang zwischen Zirkulation und Drehung	75
2.44 Dynamik der Wirbelbewegung	77
2.45 Satz von W. THOMSON	79
2.46 Entstehung der Zirkulation bei der Anfahrt eines Tragflügels	81
2.47 Die HELMHOLTZschen Wirbelsätze	83
2.48 Das BIOT-SAVARTSche Gesetz	85
2.5 Berechnung ebener Potentialströmungen mit Hilfe komplexer Funktionen	91
2.51 Die Grundgleichungen	91
2.52 Die CAUCHY-RIEMANNschen Differentialgleichungen	92
2.53 Die komplexe Strömungsfunktion	93
2.54 Beispiele zur komplexen Strömungsfunktion	94
2.541 Translationsströmung	95
2.542 Strömung in einem Winkelraum	95
2.543 Quelle, Senke und Potentialwirbel	97
2.544 Dipol	98
2.545 Translationsströmung um den Kreiszylinder	99
2.546 Strömung um den Kreiszylinder mit Zirkulation	100
2.55 Der Begriff der konformen Abbildung	103
2.56 Beispiele zur konformen Abbildung	107
2.561 Die parallel angeströmte Platte	107
2.562 Die senkrecht angeströmte Platte	108
2.563 Die ebene angestellte Platte	110
2.564 Elliptische Zylinder	119
2.565 JOUKOWSKY-Profile	122
2.6 Der Impulssatz	124
2.61 Das allgemeine Theorem des Impulssatzes	124
2.62 Beispiele zum Impulssatz	128
2.621 Strömung in einer Rohrumlenkung	128
2.622 Der Strahl senkrecht auf eine Wand	129
2.623 Der Strahl schräg auf eine Wand	130
2.624 Widerstand eines Halbkörpers	131
2.625 Ermittlung des Widerstandes aus dem Impulsverlust	132
Literatur	136

III. Kompressible reibungslose Strömungen (Gasdynamik)

	Seite
3.1 Grundbegriffe	136
3.11 Kompressibilität, MACHsche Zahl	136
3.12 Zustandsgleichung	138
3.13 Schallgeschwindigkeit	139
3.14 MACHscher Winkel	141
3.15 Temperaturerhöhung in einer kompressiblen Strömung	144
3.2 Eindimensionale Strömungen (Stromfadentheorie)	146
3.21 EULERSche Bewegungsgleichung und BERNOULLISCHE Gleichung	146
3.22 Kritische MACH-Zahl	149
3.23 Staupunkt	151
3.24 Ausfluß aus einem Kessel	153
3.25 Lavaldüse	158
3.3 Zweidimensionale Strömungen	159
3.31 Grundgleichungen	159
3.32 Drehungsfreiheit	160
3.33 Geschwindigkeitspotential	161
3.34 Lösungstypus für Überschallströmungen	163
3.35 Strömung längs einer schwach welligen Wand	164
3.4 Ebene Unterschallströmungen	167
3.41 Verfahren von JANZEN und RAYLEIGH	167
3.42 PRANDTL-GLAUERTSche Regel	170
3.43 Vergleich mit Versuchsergebnissen	175
3.5 Ebene Überschallströmungen	176
3.51 PRANDTL-MEYERSche Eckenströmung	176
3.52 Strömung um eine flache Ecke	182
3.53 Auftrieb und Widerstand der ebenen Platte	185
3.54 Auftrieb und Widerstand schlanker Profile	188
3.55 Charakteristiken-Verfahren für Überschallströmungen um Profile	195
3.6 Ebene transsonische Strömungen	196
3.61 Allgemeines und experimentelle Ergebnisse	196
3.62 Der senkrechte Verdichtungsstoß	204
3.63 Der schiefe Verdichtungsstoß	207
3.64 Das Stoßpolaren-Diagramm	211
3.65 VON KÁRMÁNSches Ähnlichkeitsgesetz	213
Literatur	217

IV. Strömungen mit Reibung (Grenzschicht-Theorie)

4.1 Grundzüge der Strömung mit Reibung	219
4.11 Allgemeines	219
4.12 NEWTONSches Reibungsgesetz	220
4.13 REYNOLDSSches Ähnlichkeitsgesetz	220
4.14 Laminare Rohrströmung	222
4.15 Turbulente Rohrströmung	226
4.16 Das Widerstandsproblem umströmter Körper	231
4.2 Grundzüge der Grenzschicht-Theorie	235
4.21 Begriff der Grenzschicht	235
4.22 Ablösung der Grenzschicht	236

	Seite
4.23 Abschätzung der Grenzschichtdicke und des Reibungswiderstandes bei laminarer Strömung	240
4.24 Turbulente Strömung in der Grenzschicht	241
4.3 Die Bewegungsgleichungen der zähen Flüssigkeit (NAVIER-STOKESsche Gleichungen).	243
4.4 Die PRANDTLschen Grenzschichtgleichungen	247
4.41 Aufstellung der Grenzschichtgleichungen	247
4.42 Einige physikalische Eigenschaften der Grenzschicht	249
4.43 Die Plattengrenzschicht bei laminarer Strömung.	251
4.44 Impulssatz der Grenzschicht.	255
4.45 Näherungsverfahren zur Berechnung der laminaren Grenzschicht	257
4.5 Grenzschichtbeeinflussung.	260
4.51 Allgemeines	260
4.52 Mitbewegen der Wand	261
4.53 Beschleunigung der Grenzschicht.	261
4.54 Absaugung der Grenzschicht.	264
4.55 Laminarhaltung durch Formgebung (Laminarprofile)	271
4.6 Einiges über turbulente Strömungen	272
4.61 Mittlere Bewegung, Schwankungsbewegung und turbulente Scheinreibung	272
4.62 Windkanalturbulenz.	275
4.63 Der PRANDTLsche Mischungsweg	276
4.64 Geschwindigkeitsverteilung in der turbulenten Grenzschicht.	278
4.7 Der turbulente Reibungswiderstand der längsangeströmten ebenen Platte	280
4.71 Die glatte Platte bei inkompressibler Strömung	280
4.72 Einfluß der Kompressibilität.	284
4.73 Einfluß der Rauigkeit	286
4.8 Berechnung der Grenzschicht mit Druckabfall und Druckanstieg	291
4.81 Allgemeines	291
4.82 Kenngrößen der Grenzschicht	292
4.83 Berechnung der Impulsverlustdicke.	295
4.84 Beispiel	296
4.85 Rechnerische Ermittlung des Profilwiderstandes	298
4.9 Grenzschichten bei kompressibler Strömung	301
4.91 Allgemeines	301
4.92 Stoffbeiwerte	302
4.93 Grundgleichungen.	303
4.94 Temperaturerhöhung durch adiabatische Kompression und Reibung	304
4.95 Laminare Plattengrenzschicht	308
4.96 Zusammenwirken von Grenzschicht und Verdichtungsstoß	309
4.10 Der Umschlag laminar-turbulent.	312
4.101 Experimentelle Ergebnisse	312
4.102 Grundzüge der Stabilitätstheorie der Laminarströmung	314
4.103 Ermittlung des Umschlagpunktes für ein Tragflügelprofil	319
Literatur	322

Teil B

Aerodynamik des Tragflügels

V. Einführung in die Aerodynamik des Tragflügels

	Seite
5.1 Geometrie des Tragflügels	327
5.11 Allgemeine Angaben	327
5.12 Flügelgrundriß	328
5.13 Flügelprofil	332
5.14 Verwindung und V-Stellung	340
5.15 Ausgeführte Flügelformen	341
5.2 Kräfte und Momente am Tragflügel	349
5.21 Auftrieb, Widerstand und Gleitzahl.	349
5.22 Sonstige Kräfte und Momente, Achsensysteme.	350
5.23 Dimensionslose Beiwerte der Kräfte und Momente	352
5.24 Druckverteilungen und Auftriebsverteilungen	354
5.3 Zusammenhang zwischen den Luftkräften und den Bewegungs- formen des Tragflügels.	357
5.31 Bewegungsformen des Flugzeuges	357
5.32 Kräfte und Momente beim Geradeausflug	359
5.33 Kräfte und Momente beim Schiebeflug	361
5.34 Kräfte und Momente bei Drehbewegungen des Flugzeuges	362
Literatur	363

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

6.1 Grundlagen der Theorie des Auftriebes	364
6.11 Allgemeines	364
6.12 Der Satz von KUTTA-JOUKOWSKY	366
6.121 Berechnung des Auftriebes aus dem Druckintegral	366
6.122 Berechnung des Auftriebes für ein Flügelgitter	367
6.13 Entstehung und Größe der Zirkulation	371
6.2 Profiltheorie nach der konformen Abbildung	374
6.21 Allgemeines	374
6.22 Berechnung von Auftrieb und Moment für ein beliebiges Tragflügel- profil	375
6.221 Die BLASIUSSchen Formeln	375
6.222 Anderer Beweis der KUTTA-JOUKOWSKYSchen Formel. . . .	378
6.223 Nullauftriebsrichtung eines Profils (erste Achse)	379
6.23 Kreisbogenprofil sehr geringer Dicke	382
6.24 Symmetrisches JOUKOWSKY-Profil	386
6.25 Schlußbemerkung	389
6.3 Profiltheorie nach der Singularitätenmethode	390
6.31 Allgemeines	390
6.32 Sehr dünne Profile (Skelett-Theorie)	391
6.321 Grundlagen der Skelett-Theorie	391
6.322 Berechnung der Skelettlinie aus der Zirkulationsverteilung (I. Hauptaufgabe)	394

	Seite
6.323 Berechnung der aerodynamischen Beiwerte	399
6.324 Berechnung der Geschwindigkeitsverteilung auf der Profil- kontur (II. Hauptaufgabe)	407
6.33 Symmetrische Profile endlicher Dicke bei symmetrischer Anströ- mung (Tropfentheorie)	411
6.331 Grundlagen der Tropfentheorie	411
6.332 Berechnung der Geschwindigkeitsverteilung auf der Profil- kontur	413
6.333 Berechnung des Profiltropfens aus der vorgegebenen Ge- schwindigkeitsverteilung	417
6.34 Profile endlicher Dicke mit Anstellwinkel	420
6.341 Berechnung der Geschwindigkeitsverteilung auf der Profil- kontur	420
6.342 Berechnung der aerodynamischen Beiwerte	422
6.343 Berechnung der Profilform aus der vorgegebenen Geschwin- digkeitsverteilung	429
6.35 Das Geschwindigkeitsfeld in der Umgebung eines Tragflügels . . .	431
6.36 Der Tragflügel in gekrümmter Strömung	434
6.4 Einfluß der Reibung auf die Profileigenschaften	437
6.41 Auftrieb	437
6.42 Widerstand	441
Literatur	445
Namenverzeichnis	448
Sachverzeichnis	451

Zusammenstellung der wichtigsten Formelgrößen

Wegen der Vielzahl der auftretenden Größen war es nicht vermeidbar, daß einige Buchstaben in mehrfacher Bedeutung verwendet werden. So bedeutet z. B. λ in Kap. 4.1 die Rohrwiderstandszahl, in Kap. 4.9 die Wärmeleitzahl und in Kap. 5 die Zuspitzung des Flügels.

Im folgenden sind die wichtigsten Bezeichnungen zusammengestellt:

<i>1. Stoffbeiwerte</i>	$Re = V l / \nu$ REYNOLDSSche Zahl
γ spezifisches Gewicht (Gewicht der Volumeneinheit)	$Ma = V/a$ MACHSche Zahl
$\rho = \gamma/g$ Dichte (Masse der Volumeneinheit)	μ MACHscher Winkel
g Erdbeschleunigung	δ Grenzschiehtdicke
c_p, c_v spezifische Wärme bei konstantem Druck bzw. konstantem Volumen	δ^* Verdrängungsdicke der Grenzschieht
$\kappa = c_p/c_v$ Adiabaten-Exponent	θ Impulsverlustdicke der Grenzschieht
$a = \sqrt{\kappa p/\rho}$ Schallgeschwindigkeit	Φ Geschwindigkeitspotential
R Gaskonstante	Ψ Stromfunktion
μ Zähigkeitsbeiwert	Γ Zirkulation
$\nu = \mu/\rho$ kinematische Zähigkeit	$k(x)$ Wirbeldichte
λ Wärmeleitzahl	$q(x)$ Quelledichte
a_1 Temperaturleitfähigkeit	λ Rohrwiderstandszahl
$Pr = \nu/a_1 = \mu g c_p/\lambda$ PRANDTL-Zahl	
<i>2. Strömungsgrößen</i>	<i>3. Geometrische Größen</i>
p Druck (Normalkraft pro Flächeneinheit)	x, y, z rechtwinklige Koordinaten
τ Schubspannung (Tangentialkraft pro Flächeneinheit)	$z = x + i y$ komplexe Koordinate
u, v, w Geschwindigkeitskomponenten in rechtwinkligen Koordinaten	r, φ Polarkoordinaten
w_r, w_φ Geschwindigkeitskomponenten in Polarkoordinaten	$D = 2R$ Durchmesser
$V, U_\infty, w_\infty, u_\infty$ Anströmungsgeschwindigkeit	l Körperlänge, Flügeltiefe
w_K, W_K Geschwindigkeit auf der Profilkontur	$b = 2s$ Flügelspannweite
$q = \frac{\rho}{2} V^2$ Staudruck	F Flügelfläche
T absolute Temperatur	$A = b^2/F$ Seitenverhältnis des Flügels
	l_i, l_a Flügeltiefe innen bzw. außen
	$\lambda = l_a/l_i$ Flügelszuspitzung
	φ Pfeilwinkel
	ε Verwindungswinkel
	ν Winkel der V -Stellung
	N_{25} geometrischer Neutralpunkt
	d Profildicke
	$\delta = d/l$ relatives Dickenverhältnis

f	Profilwölbung	M	Kippmoment
x_d	Dickenrücklage	N	Giermoment
x_f	Wölbungsrücklage	c_A	Auftriebsbeiwert, Gl. (5.39)
$z^{(s)}, z^{(t)}$	Skelettlinie bzw. Profiltropfen	c_W	Widerstandsbeiwert
<i>4. Aerodynamische Größen</i>		c_Y	Seitenkraftbeiwert
(Vgl. Abb. 5.14)		c_L	Rollmomentenbeiwert
		c_M	Kippmomentenbeiwert
α	Anstellwinkel	c_N	Giermomentenbeiwert
β	Schiebewinkel	$c_p = (p - p_\infty)/q$	Druckbeiwert
A	Auftrieb	Δc_p	Beiwert der Lastverteilung
W	Widerstand	ε	Gleitwinkel
Y	Seitenkraft	c_f	Beiwert des Reibungswiderstandes
L	Rollmoment		