Michael Dienst

Tragflügel mit periodisch wechselnder Strömungsbeaufschlagung

Anmerkungen zum Katzmayr-Effekt

Wissenschaftlicher Aufsatz

G R I N 😇

BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen und kostenlos publizieren



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.dnb.de/ abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlages. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Impressum:

Copyright © 2013 GRIN Verlag ISBN: 9783656441830

Dieses Buch bei GRIN:

Tragflügel mit periodisch wechselnder Strömungsbeaufschlagung

Anmerkungen zum Katzmayr-Effekt

GRIN - Your knowledge has value

Der GRIN Verlag publiziert seit 1998 wissenschaftliche Arbeiten von Studenten, Hochschullehrern und anderen Akademikern als eBook und gedrucktes Buch. Die Verlagswebsite www.grin.com ist die ideale Plattform zur Veröffentlichung von Hausarbeiten, Abschlussarbeiten, wissenschaftlichen Aufsätzen, Dissertationen und Fachbüchern.

Besuchen Sie uns im Internet:

http://www.grin.com/ http://www.facebook.com/grincom http://www.twitter.com/grin_com

Tragflügel mit periodisch wechselnder Strömungsbeaufschlagung

Anmerkungen zum "Katzmayr-Effekt"

Beuth Hochschule für Technik Berlin FB Maschinenbau, Verfahrenstechnik Bionic Research Unit

Im Zusammenhang mit nicht stationären Strömungsszenarien wird häufig der in den 20er Jahren des vergangenen Jahrhunderts postulierte "Katzmayr-Effekt" zitiert, der für eine in der Richtung periodisch wechselnde Strömungsbeaufschlagung das Auftauchen "negativer Widerstände" verspricht.

Rezente Forschung. Im Rahmen analytischer Untersuchungen im Forschungsprojekt "adaptivFOIL" (intern: i-mech41, Laufzeit: 042012-102013) der Beuth Hochschule für Technik Berlin werden Modellrechnungen und Simulationen zu Entwürfen für Tragflügelgeometrien einer Wellsturbine durchgeführt. Eine Besonderheit der Repeller einer Wellsturbine ist die im Betrieb periodisch die Richtung wechselnde Strömungsbeaufschlagung. Es interessiert hier zunächst die Frage, in welchem Drehzahlbereich das Repellerlaufzeug betrieben werden muss, damit der Tragflügelflügel in einem ablösesicheren Bereich arbeitet. Dabei ist die Strömung in der Nähe des äußeren Radius des Repellertragflügels von Relevanz. Das Tragflächenprofil erfährt hier eine von der Winkelgeschwindigkeit des Laufzeugs und dem Strömungsangebot des atmenden Raumes abhängige Eine Kontinuitätsbetrachtung¹ Beaufschlagung. liefert die Geschwindigkeit des aus der Kammer verdrängten Gases im Turbinenguerschnitt. rinaförmiaer Hier wird zunächst ein Durchtrittsquerschnitt, dessen Fläche sich um die Fläche der Turbinenbeschaufelung Vorteilhafte reduziert. angesetzt. Bedingungen für einen Schub (Auftrieb) generierenden Repellerflügel mit vollsymmetrischen Tragflügelprofilen werden in

¹ Kontinuität: w [m·s⁻¹] · ρ [kg·m⁻³] · A [m²] = const.

einem Anstellwinkelbereich von (-10°< α_{ERF} <+10°) erreicht. Dies Turbine. auf die erforderliche Drehzahl der Die führt Winkelgeschwindigkeit des Laufzeugs und die Umfangsgeschwindigkeit ist ihrerseits eine Schreibweise der Tangentialgeschwindigkeit an einem signifikanten Radienort des Tragflügels. Die zu untersuchenden Gasgeschwindigkeiten des Gases sollen bei unseren Betrachtungen nicht kleiner sein als $v_{min}=1.0$ [m·s⁻¹]. Die Tiefe des Repellerblattprofils variiert im Bereich von {0.01 < t[m] < 0.02} und repräsentiert die signifikante Länge L in der Reynolds-Zahl². Die minimalen und die maximalen errechneten Revnoldszahlen determinieren einen Untersuchungsbereich {5·10²<Re<10⁵} für Geschwindigkeiten von relevanter die betrachteten Repellertragflügelprofile.

Das Vorhaben i-mech41 ist eines vom mehreren rezenten Bionik-Projekten der Bionic Research Unit der Beuth Hochschule für Technik Berlin. Der von Katzmayr postulierte Effekt besitzt einen biologistischen Hintergrund, betrifft periodisch wechselnde Strömungsbeaufschlagung und verspricht sogar das Auftauchen "negativer Widerstande"! Dies legt eine kritische Hinterfragung des benannten Strömungsphänomens nahe.

Intro. Am Anfang stehen die Beobachtungen landsegelnder Vögel. In den frühen Jahren des 20ten Jahrhunderts erarbeitet der Wiener Wissenschaftler und Flugzeugkonstrukteur Knoller³ eine theoretische Erklärung für den "negativen Widerstand von Flugzeugtragflächen". Knoller weist darauf hin, später auch Betz⁴ in Göttingen, dass man sich den scheinbar mühelosen Segelflug der Vögel ohne Aufwind durch eine permanent wechselnde Anströmrichtung der beaufschlagenden Luft am Flügel erklären könne [W-1][Bet-12][Knol-09][Knol-13]. Die theoretischen Arbeiten zum "negativen Widerstand" liegen schon ein paar Jahre zurück, als Knoller 1913 in Wien einen Windkanal mit atmosphärischem Normaldruck in Betrieb nimmt, der im Gegensatz zu den waagerecht angeordneten Windkanälen in Göttingen und jenem

²Reynolds-Zahl Re = v · L / ν [m·s⁻¹/m²·s⁻¹], [-]

³ **Richard Knoller** (* 25. April 1869 in Wien; † 4. März 1926 ebenda) war ein österreichischer Flugtechniker. 1895 als Assistent bei Johann von Radinger, 1909 als außerordentlicher Professor am Lehrstuhl für Luftschifffahrt und Automobilwesen an der TU Wien. Mit Hilfe von Arthur Krupp aus Berndorf begann er 1909 einen Windkanal zu bauen.

⁴ Albert Betz (* 25. Dezember 1885 in Schweinfurt; † 16. April 1968 in Göttingen), deutscher Physiker und Pionier der Windenergietechnik, arbeitete ab 1911 als Strömungsforscher in der Aerodynamischen Versuchsanstalt Göttingen; ab 1926 Professor in Göttingen, 1936 bis 1956 als Nachfolger von Ludwig Prandtl; Leiter der Versuchsanstalt.

der Forschungsanstalt Prof. Junkers⁵ in Dessau von senkrechter Bauart ist. Experimentell nachgewiesen wird der Effekt des "negativen Widerstands", der vor allem für das Flugwesen, insbesondere das Segelfliegen bedeutsam erscheint, durch den Nachfolger Knollers am Lehrstuhl für Luftschifffahrt und Automobilwesen an der TU Wien, dem Flugtechniker Richard Katzmayr⁶.

Knoller. Ein aeromechanisch wirksamer Tragflügel sei in Bewegung. In einem körperfesten Koordinatensystem, der lagrange'schen Sichtweise, stellt sich der stationäre Betrieb des Fugsystems als ein (horizontal, vertikal und axialer) Zustand dar, in dem weder Roll-, Gier- oder Kippbewegungen auftauchen und Gravitation, Auftrieb, Widerstand und antreibende Kraft gerade ein Gleichgewicht bilden. Nun soll, ohne dass zunächst nach den Ursachen gefragt wird, die Anströmrichtung um einen kleinen Betrag variieren. In einem raumfesten Koordinatensystem, der euler'schen Sichtweise, erhält das bislang im Gleichgewicht befindliche Kräftesystem eine in Richtung der Vorwärtsbewegung liegende (axiale) Komponente, die 1. entlang der Wirklinie der Widerstandskomponente auftritt, 2. als Schub verstanden werden kann und damit 3. das Gesamtflugsystem vorantreibt. Betrachten wir zunächst die den Effekt validierenden Untersuchungen am ab 1913 in Wien zur Verfügung stehenden Windkanal.

Katzmayr. Für die Experimente, die der Mitarbeiter Knollers und Nachfolger spätere am Lehrstuhl für Luftschifffahrt und Automobilwesen an der TU Wien, Richard Katzmayr durchführte, der Windkanal aufwändig umgerüstet. Bewegliche wird Ableitbleche in der Art einer Jalousie sorgen nun dafür, dass die aus dem Windtunnel austretende Strömung "abgelenkt" dem Messbereich, in dem sich ein Tragflügelsegment befand, zugeführt Tragflügel lieferte tatsächlich werden kann. Der den Vortrieb und Bestätigung vorausgesagten damit die der theoretischen Voraussagen von Knoller und Betz. Katzmayr veröffentlicht seine Messergebnisse [Katz-22]. Er schreibt in einem

⁵ Hugo Junkers (* 3. Februar 1859 in Rheydt; † 3. Februar 1935 in Gauting), deutscher Ingenieur und Unternehmer, gründete 1895 in Dessau die Firma Junkers & Co und war bis 1932 Eigentümer der Junkers Motorenbau GmbH und Junkers Flugzeugwerk AG. 1915 Gründung der *Forschungsanstalt Prof. Junkers* in Dessau. Als Forscher und Ingenieur grundlegende Erkenntnisse im Flugzeugbau.

⁶ Richard Katzmayr, (* 3. November 1884 in Wien; † 12. April 1945 in Wien (Selbstmord)), österreichischer Flugtechniker. Assistent von Professor Knoller, später Nachfolger im Amt und Professor am Lehrstuhl für Luftschifffahrt und Automobilwesen an der TU Wien.

Fortschrittsbericht des National Advisory Committee for Aeronautics (NACA), Massachusetts Institute of Technology:

"Both from theoretical considerations and the observation of bird flight, we have learned that soaring flight is possible only when an airfoil can draw energy from the surrounding air; also, that this can be best accomplished in gusty weather. The correctness of the _above statement was, moreover, verified by the Rhone soaring flights of man- carrying, engineless airplanes in the autumn of 1921. Only qualitative tests had hitherto been made on the effect of periodic changes of the angle of attack of resisting bodies. These experiments also confirm the claim to a considerable reduction in the drag with only a slight influence on the lift". (und weiter unten..)

"The experiments were performed with the Göttingen wing section G185. Its dimensions were 720 x I2O mm. It was subjected to three wind pressures p = 5, 10 and 20 mm of water and also to three different oscillation speeds of the model (20, 30, and 50 complete oscillations per minute) at different oscillation angles β . The latter were set at +/-9°, +/-12° and +/-15°, while the mean angle of attack α was given the values -6°, -3°, 0°, 3° and 6°." (und weiter unten..)

"The results ..] [.. show, in both cases, change for the worse in the aerodynamic constants of the airfoil, in comparison with those for a motionless model in a uniformly flowing air stream. The change for the worse is greater for a larger number of oscillations per minute. In both cases, there is a marked increase in the drag, while the lift is only slightly diminished. The airfoil G413 was also tried under like conditions, the number of oscillations per minute being: 30 and 37.5". (und weiter unten..)

"The experiments are still far from being finished. At first no stability investigations were undertaken and the experimental methods are yet to be improved. It is however already established that the effect of flowing air, whose direction is undergoing constant periodical changes, is extraordinarily favorable on airfoils. The results show further that wing sections which exhibit favorable characteristics in a constant air flow, work still better in an oscillating current, and also that wing sections with high resistances are better in practice. Periodic oscillations, or parallel motions of the wings in uniformly flowing or even in an oscillating air stream, always considerably impair the aerodynamic properties".

Translated by National Advisory Committee for Aeronautics (Anmerkung des Autors).

In der Diskussion um Micro-Air-Vehicles⁷ und den derzeit intensiven Forschungsbemühungen hinsichtlich einer Übertragung des biologischen Schlagflügelflugs auf Technik wird der Katzmayr-Effekt gerne als ein Basiskonzept benannt. Es hat darüber hinaus im Flugwesen offenbar eine gewisse Tradition, die lagrange'sche und die raumfeste euler'sche Betrachtungsweise gegeneinander auszutauschen mit dem Argument, dass für die es aerodynamische Wirkung gleichgültig sei, ob ein ruhender Flügel von einer "gewellten" Strömung angeströmt oder ob in einer "geraden Strömung" ein Flügel auf- und abgeschlagen wird. In beiden Fällen entstehe Vortrieb. Man könne daher auch einen Schlagflügel als Vortriebseinrichtung ansehen [Schm-65]. In einer Laudatio zu Ehren des 80. ten Geburtstags des Herrn Professor Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., Dr. sc. techn. h. c. A. Betz schreibt W. Schmidt⁸:

"Es ist bekannt, daß man mit einem parallel auf- und abbewegten Flügel einen großen Vortrieb mit möglichst 100 % Wirkungsgrad dann erzeugen kann, wenn man eine große Fläche langsam auf und abbewegt. Das ist konstruktiv sehr schwierig. Viel leichter ist es schon, einen Flügel um eine Achse parallel zur Vorderkante abzuschwenken. Noch einfacher aufund werden die Verhältnisse, wenn man nur eine ruderartige Fläche an der hinteren Flügelkante anbringt und diese auf- und abbewegt. Das hat den großen Vorteil, daß man dieses Schlagruder wegen seiner verhältnismäßig kleinen Abmessungen sehr schnell bewegen kann, wodurch ein großer Vortrieb erzeugt wird. Die ersten theoretischen Untersuchungen an Schlagflügelpropellern wurden 1924 in Göttingen durch W. Birnbaum⁹ durchgeführt und 1936

⁷ Ein Micro Air Vehicle bzw. Micro Aerial Vehicle (MAV) ist eine Drohne, ein kleines Luftfahrzeug in der unbemannten Luftfahrt. Anwendungsbereiche für MAVs sind vor allem die nachrichtendienstliche und militärische Aufklärung. Die MAVs verfügen in der Regel über eine Videokamera und sind auf Grund ihrer geringen Größe schwer zu entdecken. In Zukunft ist sogar die Entwicklung von MAVs in Insektengröße zu erwarten. Siehe auch: http://de.wikipedia.org/wiki/Micro_Air_Vehicle.

⁸ Schmidt, Wilhelm, Institut für Angewandte Mathematik und Mechanik der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin.

*durch amerikanische Arbeiten von J. E. Garrick*¹⁰ wesentlich *erweitert*" [Schm-65].

NACA MIT. In der englischsprachigen und Welt und beispielsweise am Massachusetts Institute of Technology (MIT) und dem National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) wurde die Forschung an den Hochschulen und Laboratorien in Europa in den frühen Jahren des 20ten Jahrhunderts mit größter Aufmerksamkeit verfolgt. Eigene Experimente und theoretische Untersuchungen zum Katzmayr-Effekt wurden durchgeführt. In Veröffentlichung einer unmittelbar auf die Katzmayr's angestoßenen Studie wurden Evaluationsuntersuchungen für theoretisch ideale Strömung durchgeführt [Ober-25]. Shatswall Ober¹¹ vom National Advisory Committee for Aeronautics kommt zu dem (vorsichtigen) Schluss, dass eine gewisse Unsicherheit im Wiener Messaufbau nicht auszuschließen sei, das von Katzmavr deklarierte Phänomen aber nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann, insbesondere wenn dynamische Effekte in die Betrachtung eingeschlossen werden. Ober schreibt:

"That report confirms Katzmayr's results, yet contains no explanation or reason why an oscillating wind should recduce the airfoil drag. The purpose of this note is to offer a simple explanation of the cause of the Katzmayr effect." (und weiter unten..)

"By the mathematical analysis it apears that the reduction in drag coefficient should vary as the square of the amplitude of oscillation. A small natural oscillation of direction of the wind stream would have exactly the same effect as an artificial produced oscillation. It is certainly not inconceivable that there may be an oscillation in wind direction of 1/2° at some wind speed in almost any type of tunnel."

⁹ W. Birnbaum: Das ebene Problem des schlagenden Flügels. Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik 4 (1924), 5. S. 277-292.

W. Birnbaum: Der Schlagflügelpropeller und die kleinen Schwingungen elastisch befestigter Tragflügel. Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt 15 (1924), S. 128-134.

¹⁰ J. E. *Garrick:* Propulsion of a flapping and oscillating airfoil. NACA Rep. 567 (1936).

¹¹ National Advisory Committee for Aeronautics, Massachusetts Institute of Technology, Technical notes No. 214 (1925)

Berechnungen und Simulationen

Die Untersuchungen des Massachusetts Institute of Technology fanden 1925 statt, Katzmayr's Messungen wurden im Jahre 1922 veröffentlicht. Das in der Untersuchung des MIT zugrunde gelegte SC100 ist nicht in rezente Traaflügelprofil Datenbasen übernommen worden. Ggf. existiert es unter einer anderen Deklaration (vergleiche hierzu SIKORSKY SC1012¹²). Nach damaligem Stand der Wissenschaft und Technik ist die Untersuchung aber sehr gut dokumentiert, so dass aus den vorliegenden Dokumenten ein Datensatz für das Tragflügelprofil SC100 rekonstruiert werden konnte. Für das Tragflächenprofil GOE 413 der Messungen am Lehrstuhl für Luftschifffahrt und Automobilwesen an der TU Wien existiert ein vollständiger Datensatz der Profilkennlinie (vergleiche: UIUC Airfoil Coordinates Database¹³), den wir nachfolgenden potentialtheoretischen Untersuchungen zu Grunde legen [W-2]. In der Argumentation werden folgende Größen verwendet:

| Geschwindigkeit in [m/s], | V, W | [ms ⁻¹] |
|---------------------------|---------|---------------------|
| Profiltiefe | t | [m] |
| Profildicke | d/t | [%] |
| Profilwölbung | f/t | [%] |
| Wölbungsrücklage | xf/t | [%] |
| Varianter Anstellwinkel | α | [°] |
| Auftriebsbeiwert: | Ca | [-] |
| Widerstandsbeiwert: | Cw | [-] |
| Momentenbeiwert: | Cm 0.25 | [-] |
| Druckkoeffizient: | Cp* | [-] |
| Krit. Machzahl: | Mkrit | [-] |
| Zeitdiskretisierung | b t | [s] |

Die rezente Forschung der Bionic Research Unit der Beuth Hochschule für Technik betrifft neben der Entwicklung von Repellern für Wellsturbinen die Untersuchung periodisch ausgelenkte Tragflächenprofile auf das Auftriebs- und

¹² The Airfoil Investigation Database, SIKORSKY SC1012, http://www.worldofkrauss.com/foils/578

¹³ UIUC Airfoil Coordinates Database, http://www.ae.illinois.edu/m-selig/ads/coord_database.html

Widerstandsgebaren von Leit- und Steuerflächen von Seefahrzeugen in den hierfür relevanten Geschwindigkeitsbereichen in Fahrt und für typische Hafenmanöver¹⁴. Aus diesem Grund wurden einige Betrachtungen zum Katzmayr-Effekt auch zu einem für in Wasser betriebene Tragflügel typischen Reynoldszahlenbereich durchgeführt. Dies stellt eine Ergänzung hinsichtlich untersuchter Reynoldsrandbedingungen, insbesondere der Stoffwerte des Mediums Wasser dar.

Für die Berechnungen steht ein leistungsfähiges, auf der Potentialtheorie basierendes und mit einem Reibungsansatz erweitertes CFD-Programmsystem der Firma MH Aerotools¹⁵ zur Verfügung, das auch graphische Darstellungen der Umströmung der untersuchten Tragflächenprofile generiert. [W-3][W-4].

Das der Analyse zu Grunde liegende (Flugzeug-) Tragflügelprofil GOE 413 ist ein bauchiges, asymmetrisches, so genanntes S-Schlag- Profil. Aus den Analysedaten der Tabelle 2, den Auftriebsund Widerstandsbeiwerten Ca, Cw, den Momentenbeiwerten Cm 0.25, Druckkoeffizienten Cp^{*} und der kritischen Machzahl Mkrit als Funktion des Varianten Anstellwinkels α . ist zu entnehmen, dass das Tragflügelprofil GOE 413 über den gesamten untersuchten Bereich {-10°< α <10°} Auftrieb leistet.



Die Graphik zeigt das Strömungsfeld (Druck) für das Profil GOE 413 in einer Strömung mit α =20° Anstellwinkel. Verfahrensbedingt lassen sich mit einem auf der Potentialtheorie basierendem Simulationsprogramm keine Betrachtungen des transienten Auftriebs- und Widerstandsgebarens von Tragflügelsektoren

Dichte [kg m⁻³] kinematische Zähigkeit [m² s⁻¹] Schallgeschwindigkeit [m s⁻¹] r(Luft)=1,188, n(Luft)=0.00001524, a(Luft)= 343,

r(Wasser)=998 n(Wasser)=0,000 001 012 a(Wasser)=1484,

¹⁴ Generelle Annahmen hinsichtlich des Mediums

¹⁵ MH Aerotools: Dr. Martin Hepperle, Braunschweig, Germany was Assistant at Prof. Dr. R. Eppler's Institute A of Mechanics at the University of Stuttgart, later Scientific staff member at the Institute of Aerodynamics and Fluid Technology at the DLR in Braunschweig. *JavaFoil* is a new implementation of the previous *CalcFoil* program, written for web pages using the "C" language.

anstellen. Eine zeitliche Aufeinanderfolge stationärer Betriebszustände trägt aber zu dem Verständnis der Argumentation Katzmayr's bei. Die Diagrame der Auftriebs- und Widerstandskoeffizienten zeigen einen aus stationären Berechnungen generierten und zusammengefügten Satz von Polaren als quasiperiodischen Zvklus der Anstellwinkel α [°] in einer zeitdiskretisierten Darstellung (Alpha-Kurve) und verschaffen dadurch einen Einblick in den (theoretischen) Verlauf der Auftriebs- und Widerstandsbeiwerte des betrachteten Profils. Im Bereich des unteren Totpunktes der Alpha-Kurve sind die Werte der Auftriebs- und Widerstandsbeiwerte klein aber positiv, der Verlauf ist im Amplitudental unstet aber innerhalb der Erwartungsbreite. Erwartungsgemäß nehmen die Werte für den Widerstandsbeiwert nirgendwo negative Zahlen an, wie eine beliebige Stichprobe der Tabellenwerte im Anhang bestätigt.

Verlauf des Auftriebskoeffizienten

in einem Anstellwinkelzyklus. GOE 413, Re: 10E5



Katzmayr-Effekt ist (wahrscheinlich) Der ein Phänomen nichtstationärer Strömungsdynamik und deshalb nicht mit Instrumenten stationärer, (oder guasidynamischer) Fluidmechanik zu untersuchen. Diese Einschätzung inhäriert die Argumentation der Evaluationskampagne des National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) am Massachusetts Institute of Technology aus dem Jahre 1925. Des weiteren sollte die, vom MIT nicht explizit gestellte Frage der Invarianz, gegebenenfalls Neutralität (der Katzmayr- Effekt solle, falls es ihn gibt, für beliebige Strömungsprofile gelten) des strömungsdynamischen Effekts mit rezenten Methoden überprüft werden. Die Auswahl des Tragflächen-profils SC100 der Forscher des National Advisory Committee for Aeronautics zeigen in diese Richtung. An diesen zweite Simulationskampagne Punkt setzt eine an. Das Programmsystem der Firrma MH-Aerotools bietet die Möglichkeit Strömungsprofilen zu digitalisieren. Bilddateien von Diese Eigenschaft wurde für die Untersuchung des Tragflügelprofils SC100 genutzt. Eine für alle potentialtheoretische Verfahren typische Eigenschaft ist, dass Ungenauigkeiten in den Rand- und Anfangsbedingungen, etwa der Geometrie der Profilkontur, zu erheblichen Schwankungen in den Berechnungsergebnissen führen. Die Kurve der Widerstandsbeiwerte im Diagramm zeigen diese Schwankungen insbesondere für sehr kleine Beträge (es wurde auf glättende Interpolationen verzichtet).



Die Schwankung des Auftriebsbeiwertes über den Anstellwinkel hingegen grenzt den Bereich ablösungsarmen Betriebs des Profils realistisch ein. Aus den Protokollen des MIT geht ein Profil mit einem etwas breiteren Bereich hervor. Die den Charakter des Profils kennzeichnenden Parameter, die Steigung der Ca-Werte-Linie und der Schnittpunkt der Auftriebskurve mit Zentralachse der Winkelvariation, werden aber zutreffend wiedergegeben. Der Bewertung und Interpretation der Widerstandskurven Obers aus dem Jahre 1925 ist auch aus heutiger Sicht nichts hinzuzufügen. Der Widerstand des Tragflächenprofils bleibt auch in diesem Fall eine Größe mit positivem Vorzeichen. Allerdings sprechen wir hier über Widerstandsbeiwerte in der Größenordnung von {+0,03 <Cw< 0,1} in einen Bereich von Anstellwinkelgraden {-10° < α < +10°}. Damit zeigt das Profil - und in einem übertragenen Sinne der Effekt - Eigenheiten typischer im Laminarbereich betriebener Profile, welche beispielsweise für Tragflächen, die im Medium Wasser arbeiten mit dem Begriff der "Laminardelle" beschrieben werden. In diesem Zustandsbereich, der für die meisten Laminarprofile im Anstellwinkelbereich $\{-5^{\circ} < \alpha < +5^{\circ}\}$ existiert, werden durchaus erhebliche Margen an Liftleistung (dem Produkt aus Auftrieb (Querkraft) und der Anströmgeschwindigkeit) bei sehr geringen Widerständen erzielt. Eine Variation des Anstellwinkels über die Zeit könnte sich lohnen. Siehe hierzu auch die Polarendiagramme im Anhang dieses Aufsatzes. Zu überprüfen wäre in einer Folgeuntersuchung darüber hinaus, ob eine Variation der Anstellwinkel $\Delta \alpha$ um eine "nicht-neutrale" Position, also um einen Anstellwinkel + α_0 im Bereich von {-10° < α_0 < +10°} herum eine Alternative zu einem mit konstantem Anstellwinkel $(\Delta \alpha = 0)$ gefahrenes Manöver darstellt. Zusammenfassend ist zu sagen, dass auch mit dem Profil SC100, das den Untersuchungen am MIT zu Grunde lag keine expliziten "negativen Widerstände" aus der Simulation hervorgehen. Die Aussagen beziehen sich auf eine stationäre Betrachtung.

Kommen wir in diesem Zusammenhang noch einmal auf die veröffentlichtem Messungen Katzmayrs zurück. Aus der ins englische übersetzte Beschreibung des Messaufbaus geht nicht hervor, wie die (negative) Widerstandskraft als solche (im wahrsten Sinne des Wortes) "ermittelt" wurde. Es handelt sich offenbar um eine Serie von kumulierten Integral- und Mittelwert-Größen; dies wäre zu recherchieren. In zukünftigen Untersuchungen zum Thema sollte zu diesem Zweck die Energie (die Arbeit) bestimmt werden, die ein periodisch richtungswechselbeströmtes Tragflächenprofil umzusetzen in der Lage ist und ob eine Variation der Anstellwinkel um eine "nicht-neutrale" Position vorteilhaft ist. Eine Zeit diskretisierende Größe wäre dann in diesem Fall "die Leistung einer (Arbeits- oder) Krafttragfläche" mit periodischer Strömungsbeaufschlagung. Eine Leistungstragfläche stellte auch einen Bezug zum möglichen Anwendungsgebiet her, erfordert allerdings die geometrische Formulierung eines dreidimensionalen Flügels unter Einbeziehung des Form-, Reibungs- und vornehmlich des induzierten Widerstands.

| Auftrieb, Querkraft, Lift | L | [N] | L | = | $c_a \cdot A \cdot v^2 \cdot \rho/2$ |
|---------------------------|---------|-----|---------|---|---|
| Formwiderstand | W_{F} | [N] | W_{F} | = | $c_w \cdot A \cdot v^2 \cdot \rho/2$ |
| Reibungswiderstand | W_{R} | [N] | W_{R} | = | $c_r \cdot A \cdot v^2 \cdot \rho/2$ |
| induzierter Widerstand | W | [N] | W | = | $c_l \cdot A \cdot v^2 \cdot \rho/2$ |
| Liftleistung | P_{L} | [W] | P_{L} | = | L·v |
| Widerstandsleistung | Pwi | [W] | Pwi | = | (W _F +W _R +W _I)·v |

Eine potentialtheoretische Untersuchung leistet nur den ersten Hub einer wissenschaftlichen Betrachtung strömungsmechanischer Phänomene. Es sollte mit unseren Betrachtungen ausgeschlossen werden, dass der rezenten Forschung gerade kein so populärer Effekt, kein produktives Paradox, entgeht. Vor diesem Hintergrund wäre eine intensiver Erörterung der Randbedingungen und der Einsatz diffizilerer Methoden, etwa leistungsstarker CFD- Simulationssysteme wünschenswert.

Im vorliegenden Aufsatz wurde darauf verzichtet, den Katzmayr-Effekt im Licht der nichtstationären Zustandsänderungen an einem Flugsystem zu erklären. Es sei an dieser Stelle aber darauf hingewiesen, dass ein Geschwindigkeitsgradient, (auch und gerade in Nähe der Richtung der Hauptströmung) eine gegebenenfalls plötzliche Änderung der Strömungsgeschwindigkeit, eine Böe, vom Tragflügel, vom gesamten Flugsystem (und vom Piloten, der in einem lagrange'schen Koordinatensystem unterwegs ist) als eine **Richtungsänderung der Strömung** wahrgenommen wird. Dies lässt sich einleuchtend am besten in einem euler'schen Koordinatensystem darstellen. Je nach Intensität der Änderung der Strömungsgeschwindigkeit kann der relevante Reynoldszahlenbereich um eine Dekade variieren, was zu spürbaren Erträgen an Auftrieb führt. Es sind durchaus Szenarien vorstellbar, in denen eine Böe zuerst den (Haupt-) Tragflügel des Flugsystems erfass, dann - mit einer kleinen zeitlichen Verzögerung - den Leitwerk-Tragflügel. Der Pilot eines Modellflugzeugs, der sich in den meisten aller denkbaren Fälle auf dem Boden und damit in der eulerschen Betrachtungsweise des Flugsystems befindet, registriert das Einfallen einer Böe als einen kleinen (oder auch nicht so kleinen) Versatz des Flugsystems (eine Drift) und setzt diese regelnd in Geschwindigkeitszuwachs um. Dies könnte, laienhaft betrachtet - und aus der lagrange'schen Perspektive, also "im" Flugsystem - wie ein zusätzlicher Schub, ja wie ein "Widerstand mit negativem Vorzeichen" empfunden werden. Der Autor weiß es nicht.

Bemühen wir uns um ein versöhnliches Fazit. Mit Mitteln der stationären Strömungsanalyse, zumal einer potentialtheoretischen Betrachtung ist der Katzmayr-Effekt nicht darstellbar. Ich möchte aber nicht in Abrede stellen, dass transiente Berechnungen und/oder Versuche an und in nichtstationären Messstrecken (siehe auch [Hans-07][W-5][W-6]) die entscheidenden Effekte darstellen können. Geschwindigkeitsgradienten der Strömung, die nicht absolut exakt auf der Achse der Hauptbewegungsrichtung eines Flugsystems oder (in einer abstrakten Betrachtung) nicht exakt auf der horizontale Achse (kartesische Koordinaten) des Polagendiagramms eines Tragflügelsektors (Profil mit Auftriebsbeiwert Ca=0!) liegen, so genannte Inversionen und Geschwindigkeitsänderungen in einer Scherschicht, sind

- als Richtungsänderung der Strömung wahrnehmbar und können
- sehr energiereich sein,

mit intensiven Wirkungen auf das Auftriebs- und Widerstandsgebaren der Strömungssysteme bzw., deren fluidmechanisch wirksamen Tragflügel.

Strömungssysteme wie etwa die Repelletragflügel einer Wellsturbine "erleben" im Betrieb einen kolossalen Geschwindigkeitsgradienten, der von dem System als vollständige Richtungsumkehr der beaufschlagenden Strömung wahrgenommen wird. Um die zukünftige Leistungsausbeute dieser Maschinen zu erhöhen, sind Fragen der Prozessführung und weitgehende gestalterische Maßnahmen erforderlich, die den Bereich an Profilanstellwinkeln effektiver Leistungsentkopplung vergrößern. Strömungsadaptive Profile sollten hier ein Erfolg versprechender Ansatz sein.

Auf die energetische Ausnutzung von Geschwindigkeitsgradienten der Strömung spekulieren bestimmte Flugstile. In der Technik ist es das "Hangsegeln", das der Autor leider nur aus der Perspektive des Modellfliegers kennt, beim Segeln auf dem Wasser ist es das "Anluven in einer Böe" und in der belebten Natur - und hier schließt sich der Kreis - sind das Ausnutzen von Geschwindigkeitsgradienten der Strömung und Wahrnehmen von Inversionsströmungen noch schlecht untersuchte Phänomene. Albatrosse praktizieren den oberflächennahen Gradientenflug und erreichen damit Wegstrecken von mehreren hundert Kilometern! ohne einen einzigen Flügelschlag, heimische Möwen können beobachtet werden, wie sie stundenlang an Deichkanten segeln. Aber noch mehr: Tauben und wandernde Vögel stehen unter Verdacht, mit ihren das terrestrische Magnetfeld messenden Sinnen, auch Inversionsströmungen registrieren zu können; ein wunderbarer Quell leichtfertiger Spekulationen.

Dass sich die Beobachtungen und theoretischen Arbeiten Knollers und Betzs als auch die Experimente Katzmayrs zum hundertsten Male jähren, sollte ein guter Anlass sein, nicht müde zu werden, die Dynamik der Auftriebsentstehung in der Natur und in der Technik zum Gegenstand rezenter Forschung zu machen. Es herrscht Diskussions- und Translationsbedarf; im Sinne der Bionik.

Berlin im Frühjahr 2013.

Bibliographie

| [Betz-12] | Betz, Albert; (1912), Ein Beitrag zur Erklärung des Segelfluges. Zeitschrift für Flugtechnik u. Motorluftschifffahrt 3 (1912), S. 269- |
|---|---|
| [Hans-07] | Hansen, H., Richards, P.J. and Jackson, P.S., Enhanced Wind Tunnel and Full-Scale Sail Force Comparison, <i>The 18th</i> <i>Chesapeake SailingYacht Symposium Annapolis</i> |
| [Hepp-94] | M. Hepperle, CC. Rossow: "Euler Analysis of the P1V15 Nacelle installed on the ALVAST Transport Configuration", |
| [Katz-22-2] | Katzmayr, R. (1922). Effect of periodic Changes of Angle of Attack on Behavior of Airfoils Technical notes No. 147 (03.1922), National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) Massachusetts Institute of Technology |
| [Katz-22] | Katzmayr, R. (1922). Über das Verhalten der Flügelflächen bei periodischen Änderungen der Geschwindigkeitsrichtung, Zeitschrift für Flugtechnik u. Motorluftschifffahrt Heft 6, 13. Jg., 80-82 |
| [Knol-09] | Knoller, Richard; (1909), Die Gesetze des Luftwiderstandes. Flug- und Motortechnik (Wien) 3 (1909) Nr. 21, S. 1-7 |
| [Knol-13] | Knoller, Richard (1913), Zur Theorie des Segelfluges. Zeitschrift für Elugtechnik u. Motorluftschifffahrt 4 (1913), S. 13-14 |
| [Mial-05] | B. Mialon, M. Hepperle: "Flying Wing Aerodynamics Studies at ONERA and DLR", CEAS/KATnet Conference on Key |
| [Ober-25] | Ober, Shatswall (1925), Note on the Katzmaxr Effect on Airfoil drag. Technical notes No. 214 (02.1925), National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) Massachusetts Institute of Technology |
| [Schm-65] | Schmidt, Wilhelm (1965), Der Wellpropeller, ein neuer Antrieb für Wasser-, Land- und Luftfahrzeuge, Zeitschrift für Elugwissenschaft 13(1965)2 S472 ff |
| [Tous-24] | Toussaint, Kerneis, Girault, (1924), Experimental Investigation of the Effect of an oscillating Airstream (Katzmayr Effect) on the Characteristics of Airfoils. Technical notes No. 202 (02.1925), National Advisory Committee forAeronautics (NACA) Massachusetts Institute of Technology. |
| [W-1] http://d [W-2] http://h 27022 | de.wikipedia.org/wiki/Richard_Knoller (abgerufen 26022013) www.ae.illinois.edu/m-selig/ads/coord_database.html (abgerufen 013) |
| [W-3] http://v [W-4] http://v | www.mh-aerotools.de/airfoils/javafoil.htm (abgerufen 102012) www.mh-aerotools.de/airfoils/index.htm (abgerufen 102012) |

- [W-5] http://www.mech.auckland.ac.nz/uoa/twisted-flow-wind-tunnel
- (abgerufen 05032013)
- [W-6] http://homepages.engineering.auckland.ac.nz/~dpel004/yru/html/Windtunnel/index.html (abgerufen 05032013)



Anhang



| Tabelle 1: Geometriedaten des Flugzeugprofils GOE 413 | | | | |
|---|---|--|--|--|
| Koordinaten X, Y der Profilkontur (oben) | Koordinaten X, Y der Profilkontur (unten) | | | |
| X/t Y/t 0.000000 0.000000 0.0125000 0.0303400 0.0250000 0.0445800 0.0500000 0.0611600 0.0750000 0.0742500 0.1000000 0.0857300 0.1500000 0.1026900 0.2000000 0.1137600 0.3000000 0.1237900 0.4000000 0.1226200 0.500000 0.1118500 0.6000000 0.0947800 | X/t Y/t 0.0000000 0.000000 0.0125000 0262600 0.0250000 0346200 0.0500000 0407400 0.0750000 0453500 0.1000000 0495100 0.2000000 0474400 0.3000000 0397100 0.4000000 0199500 0.6000000 019200 | | | |
| 0.7000000 0.0947800 0.7000000 0.0744100 0.8000000 0.0492400 0.9000000 0.0245700 0.9500000 0.0129300 1.0000000 0.0016000 | 0.00000000103200 0.70000000037900 0.8000000 0.0015400 0.9000000 0.0034700 0.9500000 0.0029400 1.0000000 0.0000000 | | | |



Abb.: 2. Verlauf der Auftriebskoeffizienten des Profils GOE 413 in periodisch variierender Anströmrichtung (kumulierte stationäre Reihung)



Abb.: 3. Verlauf der Widerstandskoeffizienten des Profils GOE 413 in periodisch variierender Anströmrichtung (kumulierte stationäre Reihung)

Tabelle 2 Anstellwinkel als harmonisch- periodischer Alpha-Zyklus

Profil: GOE 413, Re: 10E5, Wasser

| t (diskret) | α | α (rnd) | Ca | Cw |
|---------------|-------------|----------------|-------|---------|
| β t [s] | [°] | [°] | [-] | [-] |
| _ | | | | |
| 0 | 0 | 0,0 | 1,727 | 0,01928 |
| 1 | 3,0886552 | 3,1 | 2,071 | 0,04518 |
| 2 | 5,87527526 | 5,9 | 2,469 | 0,09899 |
| 3 | 8,08736061 | 8,1 | 2,757 | 0,14675 |
| 4 | 9,50859461 | 9,5 | 2,979 | 0,19399 |
| 5 | 9,99999683 | 10,0 | 3,054 | 0,21406 |
| 6 | 9,51351376 | 9,5 | 2,979 | 0,19399 |
| 7 | 8,09671788 | 8,1 | 2,757 | 0,14675 |
| 8 | 5,88815562 | 5,9 | 2,469 | 0,09899 |
| 9 | 3,1037991 | 3,1 | 2,071 | 0,04518 |
| 10 | 0,01592653 | 0,0 | 1,727 | 0,01928 |
| 11 | -3,07350347 | -3,1 | 1,45 | 0,02 |
| 12 | -5,86237999 | -5,9 | 1,244 | 0,03088 |
| 13 | -8,07798281 | -8,1 | 1,2 | 0,0274 |
| 14 | -9,50365133 | -9,5 | 1,267 | 0,03455 |
| 15 | -9,99997146 | -10,0 | 1,258 | 0,0313 |
| 16 | -9,51840879 | -9,5 | 1,267 | 0,03455 |
| 17 | -8,10605462 | -8,1 | 1,2 | 0,0282 |
| 18 | -5,90102105 | -5,9 | 1,244 | 0,03088 |
| 19 | -3,11893512 | -3,1 | 1,45 | 0,02 |
| 20 | -0,03185302 | 0,0 | 1,727 | 0,01928 |
| 21 | 3,05834394 | 3,1 | 2,071 | 0,04518 |
| 22 | 5,84946986 | 5,8 | 2,469 | 0,09899 |
| 23 | 8,06858453 | 8,1 | 2,757 | 0,14675 |
| 24 | 9,49868395 | 9,5 | 2,979 | 0,19399 |
| 25 | 9,99992073 | 10,0 | 3,054 | 0,21406 |
| 26 | 9,52327967 | 9,5 | 2,979 | 0,19399 |
| 27 | 8,1153708 | 8,1 | 2,757 | 0,14675 |
| 28 | 5,91387151 | 5,9 | 2,469 | 0,09899 |
| 29 | 3,13406323 | 3,1 | 2,071 | 0,04518 |
| 30 | 0,04777943 | 0,0 | 1,727 | 0,01928 |

[Abb.:4 ..bis Abb.: 13] Strömungsfeld GOE 413: positive Anstellwinkel / Druckbeiwerte









Strömungsfeld GOE 413: negative Anstellwinkel











Strömungsfeld GOE 413: positive Anstellwinkel / Geschwindigkeiten Abb.: 14



| | Tabelle 3: Profil: GOE 413, Re: 10E5, Wasser | | | | | | |
|----------------------|--|----------------|----------|-------|----|--|--|
| | Varianter Anstellwinkel α | | | | | | |
| Auftriebsbeiwert: Ca | | | | Са | | | |
| | Widers | standsb | eiwert: | Cw | | | |
| | Mome | ntenbei | wert: | Cm 0. | 25 | | |
| | Druckk | coeffizie | ent: | Cp* | | | |
| | Krit. M | achzah | l: | Mkrit | | | |
| | | | | | | | |
| | α | Са | Cw | | | Cm 0.25 Cp* M krit. | |
| | [°] | [-] | [-] | | | [-] [-] [-] | |
| | -10,0 | 1,258 | 0,03924 | | | -0,046 -2,358 0,511 | |
| | -9,5 | 1,267 | 0,03455 | | | -0,050 -2,259 0,519 | |
| | -9,0 | 1,278 | 0,03134 | | | -0,055 -2,1610,528 | |
| | -8,5 | 1,126 | 0,02227 | | | -0,099 -2,064 0,537 | |
| | -8,0 | 1,146 | 0,02314 | | | -0,104 -1,968 0,545 | |
| | -7,5 | 1,168 | 0,02439 | | | -0,110 -1,873 0,555 | |
| | -7,0 | 1,191 | 0,02579 | | | -0,117 -1,779 0,565 | |
| | -6,5 | 1,216 | 0,02843 | | | -0,125 -1,687 0,576 | |
| | -6,0 | 1,244 | 0,03088 | | | -0,134 -1,595 0,586 | |
| | -5,5 | 1,273 | 0,03416 | | | -0,144 -1,505 0,597 | |
| | -5,0 | 1,304 | 0,03999 | | | -0,156 -1,416 0,609 | |
| | -4,5 | 1,338 | 0,04742 | | | -0,168 -1,328 0,621 | |
| | -4,0 | 1,373 | 0,05992 | | | -0,182 -1,242 0,634 | |
| | -3,5 | 1,411 | 0,08559 | | | -0,196 -1,157 0,647 | |
| | -3,0 | 1,450 | 0,17790 | | | -0,212 -1,073 0,661 | |
| | -2,5 | 1,492 | 1,39961 | | | -0,229 -0,990 0,676 | |
| | -2,0 | 1,588 | 0,04990 | | | -0,237 -0,986 0,677 | |
| | -1,5 | 1,580 | 0,03681 | | | -0,258 -1,029 0,669 | |
| | -1,0 | 1,627 | 0,03652 | | | -0,280 -1,075 0,660 | |
| | -0,5 | 1,676 | 0,03613 | | | -0,303 -1,122 0,653 | |
| | 0,0 | 1,727 | 0,01928 | | | -0,327 -1,169 0,645 | |
| | 0,5 | 1,780 | 0,02293 | | | -0,350 -1,216 0,638 | |
| | 1,0 | 1,835 | 0,02292 | | | -0,374 -1,263 0,630 | |
| | 1,5 | 1,868 | 0,03681 | | | -0,400 -1,310 0,623 | |
| | 2,0 | 1,950 | 0,02747 | | | -0,425 -1,358 0,616 | |
| | 2,5 | 2,009 | 0,03644 | | | -0,452 -1,405 0,611 | |
| | 3,0 | 2,071 | 0,04518 | | | -0,479 -1,462 0,603 | |
| | 3,5 | 2,134 | 0,05141 | | | -0,508 -1,577 0,588 | |
| | 4,0 | 2,198 | 0,05954 | | | -0,538 -1,727 0,571 | |
| | 4,5 | 2,264 | 0,06849 | | | -0,568 -1,881 0,554 | |
| | 5,0 | 2,331 | 0,07792 | | | -0,600 -2,039 0,538 | |
| | 5,5 | 2,400 | 0,08801 | | | -0,632 -2,201 0,524 | |
| | 6,0 | 2,469 | 0,09899 | | | -0,666 -2,366 0,510 | |
| | 6,5 | 2,540 | 0,11113 | | | -0,700 -2,535 0,498 | |
| | 7,0 7 5 | 2,612 | 0,12230 | | | -0,736 -2,707 0,485 | |
| | 1,5 0,0 | 2,004 | U, IJZJ4 | | | -U,112 -2,003 U,413 | |
| | 0,U 0 E | 2,101 | 0,140/5 | | | -U,OUY -3,UOZ U,4OZ | |
| | 0,0 | 2,031 | 0,10193 | | | -U,047 -J,243 U,432 | |
| | 9,0 0,5 | 2,900 | 0,17701 | | | -0,000 -3,432 0,442 0,025 -3,621 0,422 | |
| | 9,0 10 0 | 2,919 2 051 | 0,19099 | | | -0,323 -3,021 0,432 _0 965 _3 811 0 122 | |
| | 10.0 | 0,004 | 0,21700 | | 1 | -0,300 -3,014 0,423 | |



Abb.15: Aus [Ober-25] extrahierte Geometriedaten des Profils SC100

| Generelle Annahmen hins | sichtlich | des M | |
|---------------------------|----------------------------------|-------|---------------------|
| Dichte [kg m] | | | r(Luit)–1,100, |
| kinematische Zähigkeit [m | 1 ² s ⁻¹] | | n(Luft)=0.00001524, |
| Schallgeschwindigkeit [m | s⁻'] | | a(Luft)= 343, |
| Profil: SC100 | | | |
| Dicke | d/t | 9,726 | |
| Wölbungsrücklage: | f/t | 3,483 | |

| Tabelle 4: Geometriedaten des Flugzeugprofils SC100 | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|
| Koordinaten X, Y der Profilkontur (oben) | Koordinaten X, Y der Profilkontur (unten) | | | | |
| X/tY/t1,00000000,00000000,994203900,004819860,983077480,009908060,966269290,014067840,945205970,019217930,919729840,024960710,890067010,030857090,856469000,036575270,819327800,042380770,779185820,049355230,736223360,056163130,690759870,062008350,643277070,066989840,594256720,070957340,544182620,073487580,493580920,075032470,443008860,076736120,392870910,077230900,343692250,076782180,295993700,075026680,250208190,073432550,206760150,071627670,166142150,068448110,128885800,063499770,095478260,056799400,042294070,038214630,023195200,028244380,001286390,00726647-0,000149670,00022811 | X/tY/t $-0,00014967$ $0,00022811$ $0,00110336$ $-0,00715383$ $0,00756108$ $-0,01819377$ $0,02177817$ $-0,02748601$ $0,04258539$ $-0,03283722$ $0,06836942$ $-0,03296635$ $0,09825424$ $-0,03296635$ $0,09825424$ $-0,03090837$ $0,16897469$ $-0,02864180$ $0,20900820$ $-0,02422957$ $0,25169384$ $-0,01898579$ $0,29680797$ $-0,01459721$ $0,34384994$ $-0,01065379$ $0,39241977$ $-0,00830212$ $0,44196349$ $-0,00684887$ $0,49199711$ $-0,00534903$ $0,54206625$ $-0,00511933$ $0,64028609$ $-0,00511933$ $0,68749043$ $-0,00485675$ $0,73278914$ $-0,00336340$ $0,77579913$ $-0,00337710$ $0,84680688$ $-0,00233837$ $0,88680688$ $-0,00342720$ $0,91676196$ $-0,00337710$ $0,94256640$ $-0,00496793$ $0,96402569$ $-0,00514968$ $0,98096052$ $-0,00498633$ $0,99283653$ $-0,0026183$ $1,0000000$ $0,00000000$ | | | | |

Tabelle 5

| Profil SC100 Druck- und (Druckverteil Geschwindig |) Geschwindigke ung Cp(x/t,y/t) gkeitsverteilung | eitsbeiwerte über g v(x/t,y/t) /V | die ProfilKontut | P(x/t,y/t) | |
|---|---|--------------------------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| x/t | y/t | Ср | x/t | y/t | v/V |
| 1,00000 | 0,00000 0 00482 | 0,80784 -0.06488 | 1,00000 | 0,00000 0 00482 | 0,43836 1 03193 |
| 0,00420 | 0,00402 | -0 27385 | 0,00420 | 0,00402 | 1 12865 |
| 0,96627 | 0.01407 | -0,27000 | 0,96627 | 0.01407 | 1,12000 |
| 0.94521 | 0.01922 | -0 19809 | 0.94521 | 0.01922 | 1 09457 |
| 0.91973 | 0.02496 | -0 27738 | 0.91973 | 0.02496 | 1 13021 |
| 0.89007 | 0.03086 | -0.34225 | 0.89007 | 0.03086 | 1,15856 |
| 0.85647 | 0.03658 | -0.36406 | 0.85647 | 0.03658 | 1.16793 |
| 0,81933 | 0,04238 | -0,35955 | 0,81933 | 0,04238 | 1,16600 |
| 0,77919 | 0,04936 | -0,49922 | 0,77919 | 0,04936 | 1,22443 |
| 0,73622 | 0,05616 | -0,62388 | 0,73622 | 0,05616 | 1,27432 |
| 0,69076 | 0,06201 | -0,69592 | 0,69076 | 0,06201 | 1,30227 |
| 0,64328 | 0,06699 | -0,77195 | 0,64328 | 0,06699 | 1,33115 |
| 0,59426 | 0,07096 | -0,85304 | 0,59426 | 0,07096 | 1,36126 |
| 0,54418 | 0,07349 | -0,87970 | 0,54418 | 0,07349 | 1,37102 |
| 0,49358 | 0,07503 | -0,87683 | 0,49358 | 0,07503 | 1,36997 |
| 0,44301 | 0,07674 | -1,02491 | 0,44301 | 0,07674 | 1,42299 |
| 0,39287 | 0,07723 | -1,10161 | 0,39287 | 0,07723 | 1,44969 |
| 0,34369 | 0,07678 | -1,21385 | 0,34369 | 0,07678 | 1,48790 |
| 0,29599 | 0,07503 | -1,22320 | 0,29599 | 0,07503 | 1,49104 |
| 0,25021 | 0,07343 | -1,39444 | 0,25021 | 0,07343 | 1,54740 |
| 0,20676 | 0,07163 | -1,70975 | 0,20676 | 0,07163 | 1,64613 |
| 0,16614 | 0,06845 | -2,03823 | 0,16614 | 0,06845 | 1,74305 |
| 0,12889 | 0,06350 | -2,37500 | 0,12889 | 0,06350 | 1,83/12 |
| 0,09548 | 0,05680 | -2,81976 | 0,09548 | 0,05680 | 1,95442 |
| 0,06657 | 0,04796 | -3,02960 | 0,06657 | 0,04796 | 2,00739 |
| 0,04229 | 0,03021 0,03021 | -3,42433 1 15717 | 0,04229 | 0,03021 0,03034 | 2,10341 |
| 0,02320 | 0,02024 | -4,10/17 | 0,02320 | 0,02024 | 2,21094 253683 |
| 0,00001 | 0,01733 | -0,4000 | 0,00001 | 0,01733 | 2,00000 |
| | 0,00727 | <u>-4</u> 47012 | | 0,00727 | 2,00000 |
| 0.00110 | -0 00715 | -1 82958 | 0.00110 | -0 00715 | 1 68214 |
| 0,00756 | -0,01819 | 0,28657 | 0,00756 | -0,01819 | 0,84465 |

| 0,02178 | -0,02749 | 0,99106 | 0,02178 | -0,02749 | 0,09455 |
|---------|----------|---------|---------|----------|---------|
| 0.04250 | 0 02284 | 0.00105 | 0.04250 | 0 02284 | 0 21/56 |
| 0,04259 | -0,03204 | 0,90105 | 0,04259 | -0,03204 | 0,31450 |
| 0,06837 | -0,03297 | 0,80027 | 0,06837 | -0,03297 | 0,44691 |
| 0,09825 | -0,03254 | 0,70314 | 0,09825 | -0,03254 | 0,54485 |
| 0,13189 | -0,03091 | 0,63936 | 0,13189 | -0,03091 | 0,60053 |
| 0,16897 | -0,02864 | 0,56593 | 0,16897 | -0,02864 | 0,65884 |
| 0,20901 | -0,02423 | 0,55587 | 0,20901 | -0,02423 | 0,66643 |
| 0,25169 | -0,01899 | 0,56391 | 0,25169 | -0,01899 | 0,66037 |
| 0,29681 | -0,01460 | 0,54409 | 0,29681 | -0,01460 | 0,67521 |
| 0,34385 | -0,01065 | 0,54212 | 0,34385 | -0,01065 | 0,67667 |
| 0,39242 | -0,00830 | 0,51044 | 0,39242 | -0,00830 | 0,69969 |
| 0,44196 | -0,00685 | 0,47246 | 0,44196 | -0,00685 | 0,72632 |
| 0,49200 | -0,00535 | 0,46763 | 0,49200 | -0,00535 | 0,72964 |
| 0,54207 | -0,00511 | 0,42410 | 0,54207 | -0,00511 | 0,75888 |
| 0,59165 | -0,00497 | 0,39935 | 0,59165 | -0,00497 | 0,77502 |
| 0,64029 | -0,00512 | 0,36057 | 0,64029 | -0,00512 | 0,79964 |
| 0,68749 | -0,00486 | 0,32637 | 0,68749 | -0,00486 | 0,82075 |
| 0,73279 | -0,00336 | 0,36563 | 0,73279 | -0,00336 | 0,79647 |
| 0,77580 | -0,00305 | 0,31562 | 0,77580 | -0,00305 | 0,82727 |
| 0,81604 | -0,00167 | 0,38285 | 0,81604 | -0,00167 | 0,78559 |
| 0,85319 | -0,00234 | 0,33292 | 0,85319 | -0,00234 | 0,81675 |
| 0,88686 | -0,00343 | 0,26493 | 0,88686 | -0,00343 | 0,85736 |
| 0,91676 | -0,00338 | 0,31072 | 0,91676 | -0,00338 | 0,83023 |
| 0,94257 | -0,00406 | 0,28388 | 0,94257 | -0,00406 | 0,84624 |
| 0,96403 | -0,00515 | 0,15990 | 0,96403 | -0,00515 | 0,91657 |
| 0,98096 | -0,00499 | 0,02748 | 0,98096 | -0,00499 | 0,98616 |
| 0,99284 | -0,00206 | 0,37078 | 0,99284 | -0,00206 | 0,79323 |
| 1,00000 | 0,00000 | 0,80784 | 1,00000 | 0,00000 | 0,43836 |
| , | , | , | , | , | , |



Abb. 16: Auftrieb als Funktion des Widerstandsbeiwertes SC100 (Polare)



Abb. 16: Auftrieb- und Widerstandsbeiwerte. SC100, Re: 10E5

| Tabelle 6: Profil: SC100 | , Re: 10E5, Luft | |
|--------------------------|------------------|---------|
| Varianter Anstellwinkel | α | |
| Auftriebsbeiwert: | Са | |
| Widerstandsbeiwert: | Cw | |
| Momentenbeiwert: | Cm 0.25 | |
| Druckkoeffizient: | Cp* | |
| Krit. Machzahl: | Mkrit | |
| α Ca Cw | Cm 0.25Cp* | M krit. |
| [°] [-] [°] | [-] [-] | [-] |
| -20,0 -0,739 1,12228 | -0,021 -17,875 | 0,211 |
| -19,0 -0,711 1,01208 | -0,026 -16,498 | 0,219 |
| -18,0 -0,677 0,90509 | -0,031 -15,163 | 0,229 |
| -17,0 -0,635 0,78776 | -0,036 -13,872 | 0,238 |
| -16,0 -0,589 0,67571 | -0,041 -12,625 | 0,249 |
| -15,0 -0,537 0,59876 | -0,047 -11,425 | 0,261 |
| -14,0 -0,479 0,51052 | -0,052 -10,274 | 0,274 |
| -13,0 -0,415 0,46394 | -0,057 -9,171 | 0,289 |
| -12,0 -0,349 0,39776 | -0,062 -8,120 | 0,306 |
| -11,0 -0,278 0,34292 | -0,067 -7,121 | 0,324 |
| -10,0 -0,205 0,29590 | -0,072 -6,175 | 0,345 |
| -9,0 -0,128 0,25744 | -0,077 -5,283 | 0,369 |
| -8,0 -0,050 0,22391 | -0,083 -4,447 | 0,397 |
| -7,0 -0,354 0,20218 | -0,088 -3,668 | 0,430 |
| -6,0 -0,219 0,16918 | -0,093 -3,091 | 0,461 |
| -5,0 -0,087 0,14838 | -0,099 -2,584 | 0,494 |
| -4,0 0,042 0,13591 | -0,104 -2,109 | 0,533 |
| -3,0 0,168 0,12143 | -0,110 -1,666 | 0,577 |
| -2,0 0,290 0,11341 | -0,115 -1,255 | 0,632 |
| -1,0 0,407 0,09490 | -0,121 -0,962 | 0,682 |
| 0,0 0,472 0,07564 | -0,126 -0,813 | 0,712 |
| 1,0 0,437 0,08412 | -0,132 -0,986 | 0,677 |
| 2,0 0,526 0,09039 | -0,138 -1,166 | 0,646 |
| 3,0 0,613 0,11066 | -0,144 -1,353 | 0,617 |
| 4,0 0,699 0,11796 | -0,150 -1,704 | 0,573 |
| 5,0 0,783 0,14034 | -0,155 -2,221 | 0,522 |
| 6,0 0,864 0,16216 | -0,161 -2,780 | 0,480 |
| 7,0 0,984 0,14681 | -0,164 -3,383 | 0,445 |
| 8,0 1,065 0,16783 | -0,169 -4,026 | 0,414 |
| 9,0 1,133 0,20388 | -0,174 -4,711 | 0,387 |
| 10,0 1,196 0,23818 | -0,180 -5,436 | 0,365 |
| 11,0 1,252 0,27297 | -0,185 -6,199 | 0,345 |
| 12,0 1,300 0,32037 | -0,190 -7,001 | 0,326 |
| 13,0 1,340 0,38152 | -0,195 -7,840 | 0,310 |
| 14,0 1,3/1 0,436// | -0,200 -8,715 | 0,296 |
| 15,0 1,392 0,52292 | -0,205 -9,626 | 0,282 |
| 16,0 1,402 0,62445 | -0,210 -10,570 | 0,270 |
| 17,0 1,404 0,69993 | -0,214 -11,54/ | 0,260 |
| 10,0 1,395 0,77921 | -0,219 -12,556 | 0,249 |
| | -0,224 -13,596 | 0,221 |
| 20,0 1,330 1,14444 | -0,229 -14,004 | 0,231 |
| | | |



Abb.: 17: Strömungsfeld SC100: Druckbeiwerte



Abb.: 18: Strömungsfeld SC100: positive Anstellwinkel / Druckbeiwerte

Anmerkungen zum Katzmayr- Effekt



Abb.: 19: Strömungsfeld SC100: negative Anstellwinkel / Druckbeiwerte

| Tabelle 7. | SC100 | Grenzschichtanalyse |
|-----------------|-------|---------------------|
| Anstellwinkel = | = 0 | |

Umschlag Oberseite = 100 % Unterseite = 100 % Machzahl = 0Oberfläche = glatt Re = 100000v/V x/ly/1 $\delta 1$ $\delta 2$ δ3 Reo 2 C f H 12 H 32 Zust. y1 [-] [-] [-] [-] [-] [-] [-] [-] [-] [-] [%] [-] 0,0000 2,8276 1,4519 0,0000 1,0000 0,0000 0,4467 0,022551 0,007975 0,011580 356,3 turb. 1,4131 0,9942 0,0048 1.0663 0,004821 0,003412 0,005913 391,8 0.0047 1,7331 0,0206 turb. 0,9831 0,0099 1,1414 0,006915 0,004382 0,007314 463,3 0,0034 1,5780 1,6691 0,0242 turb. 0,9663 0,0229 1.5247 0,0141 1,0589 0,006040 0,003962 0,006685 429,7 0,0038 1,6874 turb. 0,9452 0,0192 1,0846 0,005410 0,003633 0,006179 0,0041 1,4891 1,7006 0,0221 402.7 turb. 0,9197 0.0250 1 1089 0.004982 0.003387 0.005783 381.3 0.0043 1 4711 1 7077 turb. 0.0216 0,8901 0,0309 1,1257 0,004969 0,003333 0,005667 374,8 0,0042 1,4909 1,7004 turb. 0,0219 0,8565 0,0366 1,1239 0,005233 0,003393 0,005704 377,1 0,0038 1,5423 1,6812 0,0229 turb. 0.8193 0.0424 1 1114 0.004288 0.002899 0.004941 0.0044 1,4791 1 7043 0.0214 334.7 turb 0,7792 0,0494 1,1554 0,003632 0,002524 0,004343 300,3 0,0048 1,4387 1,7204 turb. 0,0204 0,7362 0,0562 1,1898 0,003326 0,002324 0,004005 279,4 0,0050 1,4314 1,7233 turb. 0,0201 0,6908 0,0620 1,2025 0,003024 0,002125 0,003669 0,0051 1,4230 1,7268 0,0198 258.1 turb. 0,0193 0.6433 0.0670 1.2150 0.002711 0.001921 0.003327 235.8 0.0053 1.4113 1.7319 turb 0,5943 0,0710 1,2273 0,002605 0,001826 0,003150 222,8 0,0053 1,4270 1,7254 0,0195 turb. 1,4727 0,5442 0,0735 1,2200 0,002633 0,001788 0,003052 0,0049 1,7069 214.9 turb. 0,0202 0.4936 0.002225 0.001528 0.002618 188.1 0.0052 0.0196 0.0750 1 2025 1 4 5 6 3 1 7135 turb 0.4430 0,0767 1.2305 0,002066 0,001389 0,002363 171.2 0,0050 1.4874 1.7016 turb. 0.0199 0,3929 0,0772 1,2331 0,001892 0,001232 0,002075 153,2 0,0047 1,5358 1,6846 0,0205 turb. 0,3437 0,0768 1,2427 0,002149 0,001214 0,001961 148,1 0,0033 1,7708 1,6154 0,0247 turb. 0.2960 0.0750 0.002313 0,001087 0,001677 1.2205 134.5 0.0020 2 1276 1 5430 turb 0.0320 0,2502 0,0734 1,2384 0,002734 0,000890 0,001367 114,1 0,0019 3,0716 1,5353 0,0324 lam. 0,0716 0,2068 1,2827 0,002019 0,000736 0,001147 96,7 0,0037 2,7431 1,5582 lam. 0,0232 1.3150 0.001649 0.000617 0.000965 82.1 0.0048 2.6732 1.5645 0.0204 0 1661 0.0684 lam 0,1289 0.0635 1.3318 0.001163 0.000486 0.000776 65.5 0.0088 2 3943 1.5971 lam. 0.0150 0,0955 0,0568 1,3463 0,001022 0,000424 0,000676 55,0 0,0103 2,4097 1,5951 0,0139 lam. 1,5939 0,0666 0,0480 1,2938 0,000840 0,000347 0,000554 43,0 0,0131 2,4192 lam. 0,0124 0.000613 0.000260 0.000417 30.6 0.0200 0.0423 0.0382 1 2 3 9 1 1 6025 0.0100 2.3551 lam 0.0232 0.0282 1.1757 0.000377 0.000167 0.000270 17.4 0.0401 2,2576 1.6167 lam. 0.0071 0,0086 0,0173 1,0388 0,000248 0,000111 0,000179 7,7 0,0927 2,2383 1,6197 0,0046 lam. 0,0013 0,0073 0,6934 0,000141 0,000063 0,000102 1,9 0,0001 2,2364 1,6200 0,1414 lam. -0.0001 0.0002 0.2053 0.000001 0.000000 0.000001 0.0 0.0000 2.2364 1,6200 0.0000 lam. 0,0011 -0,0072 0,3040 0,000167 0,000075 0,000121 1,7 0,0001 2.2364 1,6200 0,1414 lam. 0,0076 -0,0182 0,9311 0,000518 0,000226 0,000364 6,9 0,0963 2,2927 1,6113 0,0046 lam. 0.0218 -0.0275 1 2384 0,000294 0,000132 0,000213 12,3 0.0582 2 2 3 3 1 1 6205 0.0059 lam 1,3034 0,0273 0,0086 0.0426 -0.03280,000454 0,000199 0,000322 24,8 2.2767 1,6138 lam. 0,0684 -0,0330 1,1227 0,001486 0,001606 0,000782 0,0000 0,9253 0,4868 0,0000 180,3 lam. 0,9253 0,0983 -0,0325 1,1039 0,001486 0,001606 0,000782 177,3 0,0000 0,4868 0,0000 abgel. -0,0309 0,0000 0.9253 0,0000 0.1319 1.0658 0.001486 0.001606 0.000782 171.2 0.4868 abgel. 0.1690 -0,0286 1.0675 0,001486 0,001606 0,000782 171.5 0,0000 0.9253 0,4868 abgel. 0.0000 0,2090 -0,0242 0,001486 0,001606 0,000782 0,9253 1,0104 162.3 0,0000 0,4868 abgel. 0,0000 0,2517 -0,0190 0,9530 0,001486 0,001606 0,000782 0,0000 0,9253 0,4868 0,0000 153.1 abgel. 0.2968 -0.0146 0.9369 0.001486 0.001606 0.000782 0.9253 0.0000 150.5 0.0000 0 4868 abgel. 0,3438 -0,0107 0,9088 0,001486 0,001606 0,000782 146,0 0,0000 0.9253 0,4868 0,0000 abgel. 0,9253 0,3924 -0,0083 0,9139 0,001486 0,001606 0,000782 146,8 0,0000 0,4868 abgel. 0,0000 0,4420 0,9256 0,9253 -0.00680.001486 0.001606 0.000782 148.7 0.0000 0.4868 0.0000 abgel. 0,4920 -0,0053 0 9099 0.001486 0.001606 0.000782 146.2 0.0000 0.9253 0,4868 abgel. 0,0000 0,5421 -0,0051 0,9282 0,001486 0,001606 0,000782 149,1 0,0000 0,9253 0,4868 0,0000 abgel. 0,5917 -0,0050 0,9313 0,001486 0,001606 0,000782 149,6 0,0000 0,9253 0,4868 0,0000 abgel. 0,6403 -0.0051 0 9454 0.001486 0.001606 0.000782 151.8 0.0000 0.9253 0.4868 0.0000 abgel. 0,6875 -0,0049 0.9558 0,001486 0,001606 0,000782 153,5 0,0000 0.9253 0,4868 abgel. 0,0000 0,9253 abgel. 0,7328 -0,0034 0,9152 0,001486 0,001606 0,000782 147,0 0,0000 0,4868 0,0000 -0,0031 0,001486 0,001606 0,000782 0,9253 0,0000 0.7758 0.9389 150.8 0.0000 0.4868 abgel. 0,8160 -0.00170.8818 0.001486 0.001606 0.000782 141.6 0.0000 0.9253 0.4868 abgel. 0.0000 0,8532 -0,0023 0,9072 0,001486 0,001606 0,000782 145,7 0,0000 0,9253 0,4868 0,0000 abgel. 0,8869 -0,0034 0,9425 0,001486 0,001606 0,000782 151,4 0,0000 0,9253 0,4868 abgel. 0,0000 0.9168 -0.0034 0.9043 0,001486 0,001606 0,000782 0.9253 0.4868 0.0000 145.3 0,0000 abgel. 0,9426 -0,0041 0.9139 0,001486 0,001606 0,000782 146,8 0,0000 0.9253 0,4868 abgel. 0,0000 0,9640 0,9253 -0,0051 0,9811 0,001486 0,001606 0,000782 157,6 0,0000 0,4868 abgel. 0.0000 0,9810 -0,0050 1,0457 0,001486 0,001606 0,000782 168,0 0,9253 0,4868 0,0000 0.0000 abgel. -0,0021 0,8460 0,0000 0,4868 0,0000 0.9928 0.001486 0.001606 0.000782 0.9253 135.9 abgel. 1,0000 0,0000 0,4467 0,001486 0,001606 0,000782 71,7 0,0000 0,9253 0,4868 0,0000 abgel.

C f

[-]

0,0000

0.0000

0,0000

0,0000

0,0000

0.0000

0,0000

0,0000

0.0000

0,0000

0,0000

0,0000

0.0000

0,0000

0,0000

0.0000

0,0000

0,0000

0,0000

0.0000

0,0000

0,0000

0.0000

0.0000

0,0000

0,0000

0.0000

0.0037

0,0213

0,0304

0,0376

0,0611

0,0001

0.0000

0,0001

0,0791

0,0397

0,0266

0,0179

0,0154

0,0090

0.0060

0,0077

0,0058

0,0076

0,0079

0,0054

0,0073

0.0063

0,0067

0,0064

0,0018

0.0057

0,0013

0,0034

0.0051

0,0047

0,0053

0,0068

0,0078

0,0000

H 12

0,1788

0.1788

0,1788

0,1788

0,1788

0 1788

0,1788

0,1788

0 1788

0,1788

0,1788

0,1788

0.1788

0,1788

0,1788

0.1788

0.1788

0,1788

0,1788

0 1788

0,1788

0,1788

0.1788

0.1788

0,1788

0,1788

0 1788

3 1068

2,2943

2,2188

2,2307

2,2353

2,2364

2.2364

2.2364

2,2365

2,2585

2,2797

2.3357

2,3029

2,5203

2.6703

2,4262

2,5419

2,3150

2.2616

2,4637

2,2402

2,3063

2,2406

2,2503

3,0330

2.2635

2,3952

1,7529

1.5159

1.5553

1,4835

1,3581

1,3037

2,7340

[-]

H 32

0,0934

0,0934

0,0934

0,0934

0,0934

0.0934

0,0934

0,0934

0.0934

0,0934

0,0934

0,0934

0.0934

0,0934

0,0934

0.0934

0.0934

0,0934

0,0934

0.0934

0,0934

0,0934

0.0934

0.0934

0,0934

0,0934

0.0934

1 5333

1,6114

1,6225

1.6209

1,6202

1,6200

1 6200

1,6200

1,6200

1,6166

1.6134

1,6052

1,6099

1,5809

1 5648

1,5929

1,5783

1,6082

1,6161

1,5878

1,6195

1,6092

1,6194

1,6178

1.5366

1.6164

1,5026

1,6209

1,6922

1,6769

1,7035

1,7567

1,7829

1,4568

[-]

Zust.

abgel.

turb.

lam.

lam.

lam.

lam.

lam.

lam.

lam

lam.

lam.

lam.

lam.

lam.

lam.

lam.

lam

lam.

turb.

turb.

turb.

turb.

turb.

turb.

turb.

turb.

[-]

y1

[%]

0,0000

0,0000

0,0000

0,0000

0,0000

0.0000

0,0000

0,0000

0.0000

0.0000

0,0000

0,0000

0.0000

0,0000

0.0000

0.0000

0.0000

0,0000

0,0000

0.0000

0,0000

0,0000

0.0000

0.0000

0,0000

0,0000

0.0000

0.0233

0,0097

0,0081

0.0073

0,0057

0,1414

0.0000

0.1414

0,0050

0,0071

0.0087

0.0106

0,0114

0,0149

0.0183

0,0162

0,0186

0.0162

0.0159

0,0192

0,0166

0.0178

0,0172

0,0176

0.0335

0.0187

0,0393

0,0241

0.0197

0,0207

0,0195

0,0171

0,0160

0,0000

Tabelle 8 / SC100 Grenzschichtanalyse

Anstellwinkel = 10 Umschlag Oberseite = 100 % Unterseite = 100 % Machzahl = 0Oberfläche = glatt Re = 100000v/V Reo 2 x/ly/1 $\delta 1$ $\delta 2$ δ3 [-] [-] [-] [-] [-] [-] [-] 359.9 1,0000 0,0000 0,4384 0,001468 0,008208 0,000767 0,0048 1,0319 0,9942 0,001468 0,008208 0,000767 847.2 0,9831 0,0099 1,1286 0,001468 0,008208 0,000767 926,6 0,9663 0,0141 1,0580 0,001468 0,008208 0,000767 868.6 0,9452 0,0192 1,0946 0,001468 0,008208 0,000767 898,6 0,9197 0.0250 1 1 3 0 2 0.001468 0.008208 0.000767 927.9 0,8901 0,0309 1,1586 0,001468 0,008208 0,000767 951,1 0,8565 0,0366 1,1679 0,001468 0,008208 0,000767 958,8 0.8193 0.0424 1 1660 0.001468 0.008208 0.000767 957.2 0,7792 0.0494 1,2244 0,001468 0,008208 0,000767 1005.2 0,7362 0,0562 1,2743 0,001468 0,008208 0,000767 1046,2 0,6908 0,0620 1,3023 0,001468 0,008208 0,000767 1069,1 0.6433 0.0670 1.3311 0.001468 0.008208 0.000767 1092.8 0,5943 0,0710 1,3613 0,001468 0,008208 0,000767 1117,5 0,5442 0,0735 1.3710 0.001468 0.008208 0,000767 1125.6 0.4936 0.0750 0.001468 0.008208 0.000767 1124.7 1 3700 0.4430 0,0767 1.4230 0.001468 0.008208 0,000767 1168.2 0,3929 0,0772 1,4497 0,001468 0,008208 0,000767 1190,1 0,3437 0,0768 1,4879 0,001468 0,008208 0,000767 1221,5 0.2960 0.0750 1 4910 0,001468 0,008208 1224.1 0.000767 0,2502 0,0734 1,5474 0,001468 0,008208 0,000767 1270,3 0,0716 0,2068 1.6461 0,001468 0,008208 0.000767 1351.4 1.7431 0.001468 0.008208 0.000767 1431.0 0 1661 0.0684 1.8371 0,1289 0.0635 0.001468 0.008208 0.000767 1508.2 0,0955 0,0568 1,9544 0,001468 0,008208 0,000767 1604,5 0,0666 0,0480 2,0074 0,001468 0,008208 0,000767 1648,0 0.0423 0.0382 2 1034 0.001468 0.008208 0.000767 1726.8 0.0232 0.0282 2 2709 0.000681 0.000219 0.000336 55.5 0,0086 0,0173 2,5368 0,000266 0,000116 0,000187 31,3 0,0013 0,0073 2,6970 0,000224 0,000101 0,000164 24,3 -0.0001 0.0002 2 3388 0.000255 0.000114 0.000185 19.2 0,0011 -0,0072 1,6821 0,000309 0,000138 0,000224 11,7 0,0076 -0,0182 0,8446 0,000200 0,000089 0,000145 1.5 0.000001 0.000000 0.000001 0.0 0.0218 -0.0275 0.0945 0.0426 -0.03280.3146 0,000242 0,000108 0,000175 1,2 0,0684 -0,0330 0,4469 0,000640 0,000286 0,000463 9,0 0,0983 -0,0325 0,5449 0,000876 0,000388 0,000627 17,5 0,1319 -0,0309 0,6005 0,001063 0,000466 0,000752 254 0.1690 -0.02860,6588 0,001358 0,000581 0,000933 35.1 0,2090 -0,0242 0,001477 0,000641 0,001033 42,4 0,6664 54,1 0,2517 -0,0190 0,6604 0,002045 0,000812 0,001283 0.2968 -0.0146 0.002692 0.001008 0.001578 0.6752 66.6 0,3438 -0,0107 0,6767 0,002595 0,001069 0,001703 72,3 0,3924 -0,0083 0,6997 0.003067 0,001207 0,001904 81,7 0,4420 0,002784 0,001203 0,001934 84,2 -0.00680.7263 0,4920 -0.00530.7296 0,002725 0,001205 0,001947 87,6 0,5421 -0,0051 0,7589 0,003293 0,001337 0,002123 97,6 0,5917 -0,0050 0,7750 0,002875 0,001283 0,002079 97,4 0,7996 0.6403 -0.0051 0.003069 0.001331 0.002142 103.2 0,6875 -0,0049 0,8207 0,002946 0,001315 0,002129 105.2 0,002978 0,001323 0,002141 0,7328 -0,0034 0,7965 108.6 -0,0031 0,8273 0,004927 0,001624 0,002496 0.7758 129.3 0,8160 0,003288 0,001452 0,002348 -0.00170.7856 120.3 0,8532 -0,0023 0,8168 0,004541 0,001896 0,002849 149,0 0,8869 -0,0034 0,8574 0,002902 0,001655 0,002683 135,4 0.9168 -0.0034 0.8302 0,002222 0,001466 0,002481 125.7 0,9426 -0,0041 0,8462 0,002697 0,001734 0,002908 143,7

0,9640

0,9810

0.9928

1,0000

-0,0051

-0,0050

-0,0021

0,0000

0,9166

0,9862

0 7932

0,4384

0,002498

0.001684

0,001824 0,001343 0,002359

0.001448 0.001110 0.001980

0,009275 0,003393 0,004942 148,7

0.002868

142,7

123.8

110.2

35

Tabelle 9: Auftrieb, Widerstand, Grenzschichtanalyse / SC100

Re 100000

| a | Ca | Cw | Cm 0.25 | тυ | ТΙ | SII | SI | G7 | NP | DP |
|-------------|-----------|---------|---------|-------|-------|-------------|-------|--------|--------|---------|
| го <u>л</u> | Са [_] | [_] | [_] | [_] | [_] | Б.С. Г_1 | Γ_1 | [_] | Γ_1 | [_] |
| 20.0 | 0 722 | 0.50820 | 0.025 | 1 000 | [-] | 1 000 | 0.014 | 1 224 | 0.046 | 0.285 |
| -30,0 | -0,752 | 0,59850 | 0,023 | 1,000 | 0,009 | 1,000 | 0,014 | -1,224 | 0,040 | 0,285 |
| -29,0 | -0,734 | 0,50908 | 0,021 | 1,000 | 0,009 | 1,000 | 0,014 | -1,525 | 0,028 | 0,278 |
| -28,0 | -0,772 | 0,31332 | 0,017 | 1,000 | 0,009 | 1,000 | 0,010 | -1,303 | -0,018 | 0,271 |
| -27,0 | -0,/8/ | 0,44303 | 0,012 | 1,000 | 0,011 | 1,000 | 0,016 | -1,//6 | -0,115 | 0,265 |
| -26,0 | -0,797 | 0,40597 | 0,007 | 1,000 | 0,010 | 1,000 | 0,015 | -1,963 | -0,575 | 0,259 |
| -25,0 | -0,798 | 0,36791 | 0,003 | 1,000 | 0,011 | 1,000 | 0,017 | -2,169 | 6,021 | 0,254 |
| -24,0 | -0,795 | 0,34034 | -0,002 | 1,000 | 0,011 | 1,000 | 0,019 | -2,337 | 1,304 | 0,248 |
| -23,0 | -0,789 | 0,32122 | -0,007 | 1,000 | 0,011 | 1,000 | 0,017 | -2,456 | 0,772 | 0,242 |
| -22,0 | -0,777 | 0,29457 | -0,011 | 1,000 | 0,011 | 1,000 | 0,019 | -2,637 | 0,580 | 0,235 |
| -21,0 | -0,760 | 0,24662 | -0,016 | 1,000 | 0,013 | 1,000 | 0,019 | -3,082 | 0,489 | 0,229 |
| -20,0 | -0,736 | 0,22398 | -0,021 | 1,000 | 0,013 | 1,000 | 0,020 | -3,288 | 0,433 | 0,221 |
| -19,0 | -0,707 | 0,20199 | -0,026 | 1,000 | 0,013 | 1,000 | 0,023 | -3,501 | 0,403 | 0,213 |
| -18,0 | -0,673 | 0,19442 | -0,031 | 1,000 | 0,012 | 1,000 | 0,025 | -3,461 | 0,382 | 0,204 |
| -17.0 | -0,633 | 0,16392 | -0,036 | 1,000 | 0,014 | 1,000 | 0,026 | -3,859 | 0,365 | 0,193 |
| -16,0 | -0,586 | 0,14744 | -0,041 | 1,000 | 0,015 | 1,000 | 0,028 | -3,976 | 0,351 | 0,180 |
| -15.0 | -0.534 | 0.14075 | -0.046 | 0.816 | 0.014 | 1,000 | 0.032 | -3.795 | 0.341 | 0.164 |
| -14.0 | -0.477 | 0 12780 | -0.051 | 0.809 | 0.015 | 1,000 | 0.035 | -3 729 | 0.336 | 0 143 |
| -13.0 | -0.414 | 0 11333 | -0.056 | 0,801 | 0.017 | 1,000 | 0.037 | -3 654 | 0,330 | 0 1 1 5 |
| -12.0 | -0.347 | 0 10393 | -0.061 | 0,796 | 0.020 | 1,000 | 0.040 | -3 340 | 0,326 | 0.074 |
| -11.0 | -0.277 | 0.09340 | -0.067 | 0,792 | 0,020 | 1,000 | 0,040 | -2 962 | 0,323 | 0,009 |
| 10.0 | 0.203 | 0,09317 | -0,007 | 0,792 | 0,025 | 1,000 | 0.043 | 2,702 | 0,323 | 0,009 |
| -10,0 | -0,203 | 0,08317 | -0,072 | 0,785 | 0,027 | 1,000 | 0,043 | -2,433 | 0,321 | -0,103 |
| -9,0 | -0,128 | 0,07475 | -0,077 | 0,781 | 0,028 | 1,000 | 0,047 | -1,/12 | 0,520 | -0,552 |
| -8,0 | -0,050 | 0,06686 | -0,082 | 0,775 | 0,031 | 1,000 | 0,049 | -0,/50 | 0,202 | -1,393 |
| -/,0 | -0,354 | 0,06062 | -0,088 | 0,765 | 0,034 | 1,000 | 0,050 | -5,836 | 0,186 | 0,002 |
| -6,0 | -0,219 | 0,05525 | -0,093 | 0,759 | 0,040 | 1,000 | 0,051 | -3,960 | 0,291 | -0,177 |
| -5,0 | -0,087 | 0,04917 | -0,099 | 0,753 | 0,045 | 1,000 | 0,050 | -1,760 | 0,292 | -0,892 |
| -4,0 | 0,042 | 0,04469 | -0,104 | 0,747 | 0,045 | 1,000 | 0,051 | 0,950 | 0,293 | 2,706 |
| -3,0 | 0,168 | 0,03975 | -0,110 | 0,741 | 0,047 | 1,000 | 0,055 | 4,225 | 0,294 | 0,904 |
| -2,0 | 0,290 | 0,03609 | -0,115 | 0,724 | 0,047 | 1,000 | 0,055 | 8,027 | 0,296 | 0,648 |
| -1,0 | 0,407 | 0,04242 | -0,121 | 0,240 | 0,049 | 1,000 | 0,057 | 9,602 | 0,298 | 0,547 |
| 0,0 | 0,521 | 0,03350 | -0,126 | 0,224 | 0,050 | 1,000 | 0,060 | 15,548 | 0,278 | 0,493 |
| 1,0 | 0,641 | 0,03375 | -0,127 | 0,210 | 0,054 | 1,000 | 0,066 | 18,978 | 0,258 | 0,449 |
| 2,0 | 0,760 | 0,04497 | -0,128 | 0,188 | 0,056 | 1,000 | 0,995 | 16,897 | 0,258 | 0,419 |
| 3,0 | 0,879 | 0,04491 | -0,129 | 0,170 | 0,064 | 1,000 | 0,995 | 19,566 | 0,258 | 0,397 |
| 4,0 | 0,997 | 0,04432 | -0,130 | 0,145 | 0,221 | 1,000 | 0,995 | 22,482 | 0,258 | 0,381 |
| 5,0 | 1,113 | 0,04434 | -0,131 | 0,125 | 0,236 | 1,000 | 0,995 | 25,095 | 0,258 | 0,368 |
| 6,0 | 1,227 | 0,04115 | -0,132 | 0,116 | 0,730 | 1,000 | 0,994 | 29,811 | 0,258 | 0,358 |
| 7.0 | 1.338 | 0.04288 | -0.133 | 0.023 | 0.733 | 1,000 | 0.995 | 31,209 | 0.280 | 0.349 |
| 8.0 | 1.402 | 0.03985 | -0.137 | 0.017 | 0.802 | 0,966 | 0.995 | 35,187 | 0.332 | 0.348 |
| 9.0 | 1 463 | 0.04312 | -0.143 | 0.015 | 0.804 | 0.924 | 0.995 | 33 926 | 0.060 | 0 348 |
| 10.0 | 1,175 | 0.07207 | -0.180 | 0.012 | 0.805 | 0.038 | 0,995 | 16 300 | 0.062 | 0 404 |
| 11.0 | 1 239 | 0.07859 | -0.185 | 0.010 | 0,807 | 0.023 | 0,995 | 15 770 | 0 339 | 0 399 |
| 12.0 | 1,285 | 0.08785 | -0,190 | 0.008 | 0,808 | 0.023 | 0,995 | 14 626 | 0,366 | 0 398 |
| 13.0 | 1,200 | 0.00022 | -0.195 | 0,006 | 0.810 | 0.020 | 0.995 | 13,372 | 0.386 | 0.307 |
| 14.0 | 1 358 | 0,07722 | -0.200 | 0,000 | 0.811 | 0,020 | 0,995 | 12,151 | 0,429 | 0.307 |
| 15.0 | 1 3 8 2 | 0,11173 | 0,200 | 0,005 | 0.814 | 0,017 | 0,005 | 10.843 | 0,42) | 0,308 |
| 16.0 | 1,302 | 0,12743 | -0,203 | 0,003 | 0,814 | 0,013 | 0,995 | 0.776 | 0,520 | 0,398 |
| 10,0 | 1,394 | 0,14202 | -0,210 | 0,004 | 0,010 | 0,011 | 0,995 | 9,770 | 1.840 | 0,401 |
| 17,0 | 1,398 | 0,13918 | -0,213 | 0,004 | 0,818 | 0,009 | 0,993 | 0,700 | -1,649 | 0,404 |
| 18,0 | 1,390 | 0,17240 | -0,220 | 0,005 | 0,986 | 0,009 | 0,987 | 8,061 | -0,188 | 0,408 |
| 19,0 | 1,375 | 0,19657 | -0,224 | 0,005 | 0,986 | 0,008 | 0,987 | 6,997 | -0,015 | 0,413 |
| 20,0 | 1,354 | 0,22531 | -0,229 | 0,003 | 0,986 | 0,007 | 0,987 | 6,008 | 0,062 | 0,419 |
| 21,0 | 1,325 | 0,25404 | -0,234 | 0,003 | 0,986 | 0,006 | 0,987 | 5,216 | 0,102 | 0,426 |
| 22,0 | 1,290 | 0,26740 | -0,239 | 0,004 | 0,986 | 0,006 | 0,987 | 4,824 | 0,124 | 0,435 |
| 23,0 | 1,251 | 0,30635 | -0,243 | 0,003 | 0,986 | 0,006 | 0,987 | 4,084 | 0,137 | 0,444 |
| 24,0 | 1,209 | 0,34265 | -0,248 | 0,003 | 0,986 | 0,006 | 0,987 | 3,528 | 0,146 | 0,455 |
| 25,0 | 1,164 | 0,37995 | -0,252 | 0,003 | 0,987 | 0,006 | 0,988 | 3,063 | 0,151 | 0,467 |
| 26,0 | 1,118 | 0,41612 | -0,257 | 0,003 | 0,985 | 0,005 | 0,987 | 2,686 | 0,155 | 0,480 |
| 27,0 | 1,070 | 0,45177 | -0,261 | 0,004 | 0,987 | 0,006 | 0,988 | 2,369 | 0,157 | 0,494 |
| 28,0 | 1,023 | 0,50905 | -0,266 | 0,003 | 0,985 | 0,006 | 0,986 | 2,011 | 0,158 | 0,509 |
| 29,0 | 0,977 | 0,56680 | -0,270 | 0,003 | 0,986 | 0,005 | 0,988 | 1,724 | 0,158 | 0,526 |
| 30,0 | 0,932 | 0,58476 | -0,274 | 0,003 | 0,985 | 0,005 | 0,986 | 1,593 | 0,158 | 0,544 |

BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen und kostenlos publizieren

