

N°2 FEBRUAR 2001

DM 8,-/ SFR 8,-/ ÖS 62,-

LIT 12 600,-/ SKR 56,-/ LFR 180,- B 3894



**drachenflieger**  
gleitschirm-magazin



# Eyecatcher

Technik

## Im Test

### Steuerbügel im Windkanal



In Wettkämpfen sieht man sie schon länger, inzwischen auch zunehmend bei Piloten, die nur zum Spaß Strecken fliegen: stromlinienförmige, sehr dünne Steuerbügel. Als Einzelanfertigung sind die schnittigen Streben von verschiedenen Herstellern zu haben, in Serie produziert sie bis jetzt nur Wills Wing. Sehen die vorwiegend aus Carbon gefertigten Trapezteile nur so aus, oder sind sie tatsächlich widerstandärmer als herkömmliche?

Agressive Optik:  
Wettkampfpiloten schwören  
auf die flachen Trapez-Teile

Auf eine ganze Gleitzahl schätzte man bei Wills Wing die Leistungsverbesserung zwischen einem Fusion mit normalem tropfenförmigem Trapez und einem Fusion mit schmalen aus Carbon. Grund genug für den Hersteller, das Institut für Aerodynamik und Gasdynamik der Universität Stuttgart mit Messungen an verschiedenen Seitenstreben im Modell-Windkanal zu beauftragen, um die Erfahrungen aus der Praxis theoretisch zu untermauern.

Folgende Seitenstreben wurden untersucht:

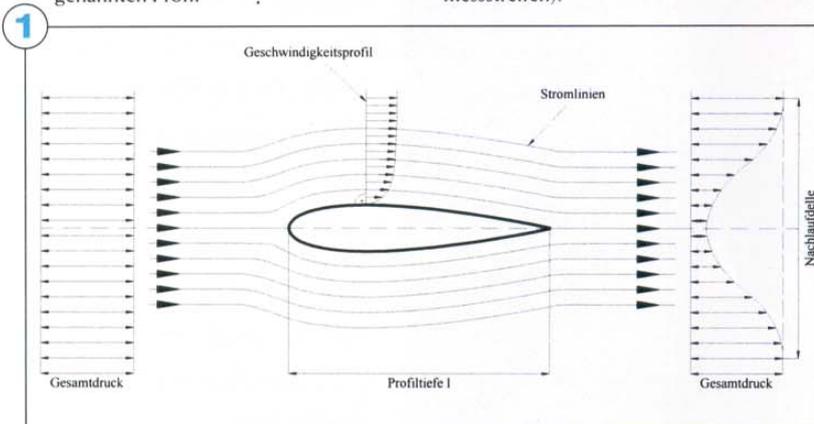
- 1.) Wills Wing Aluminium Rundrohr als unprofilierte Strebe, Durchmesser 28,6 Millimeter
- 2.) Finsterwalder Aerofoil Aluminium Strebenprofil, 49,2 mal 25,9 Millimeter
- 3.) Wills Wing Standard Aluminium Strebenprofil, 50,5 mal 26,2 Millimeter
- 4.) Seedwings Aluminium Strebenprofil, 62,4 mal 25,2 Millimeter
- 5.) Wills Wing Carbon Strebenprofil, 76,5 mal 19,9 Millimeter
- 6.) Wills Wing Slipstream Aluminium Strebenprofil, 76,6 mal 20,2 Millimeter – nahezu identisch mit dem unter 5.) genannten Profil



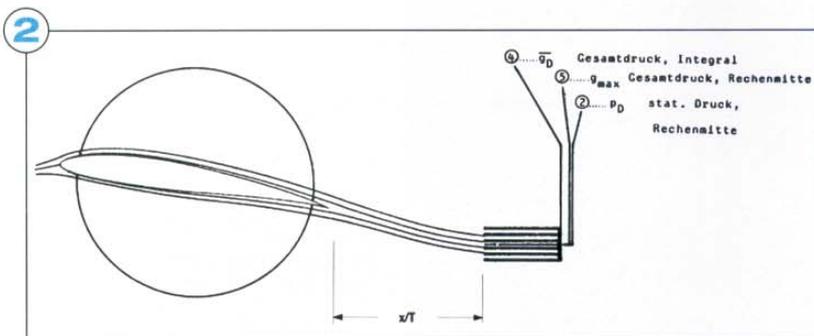
Je tiefer das Profil, desto länger liegt die Strömung an – und das bedeutet weniger Widerstand

Weiterhin wurden am Wills Wing Carbon-Steuerbügel und Wills Wing Slipstream verschiedene Turbulatoren angebracht, um deren Einflüsse auf den Strömungswiderstand zu untersuchen. Speedbar und Trapez-ecken wurden nicht gemessen.

Um vergleichbare Ergebnisse zu bekommen, wurden die einzelnen Streben exakt auf eine Länge von 373 Millimeter zugeschnitten, um sie bündig zwischen die beiden Drehscheiben des Windkanals montieren zu können. Diese Scheiben sind an die Windkanal-Waage angeschlossen. Die Auftriebsbestimmung erfolgte über eine DMS-Kraftmessdose (DMS = Dehnungsmessstreifen).



Stömungsverhältnisse am symmetrischen Tropfen-Profil: Nahe der Oberfläche ist die Geschwindigkeit durch Reibung reduziert: Die Nachlaufdüse entsteht durch die verminderte Strömungs-Energie in diesem Bereich



Der Nachlaufrechen (rechts) misst den Druck-Verlauf der Strömung hinter dem Profil über eine bestimmte Höhe. So lässt sich die Druckverteilung im Nachlauf messen und der Widerstand des Profils bestimmen

## Berechnung des Widerstands

Um den jeweiligen Widerstandsbeiwert  $C_w$  bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Anstellwinkeln, sowie verschiedene Polaren der Profile zu erhalten, wurden die Testreihen bei Geschwindigkeiten von 10, 15, 20 und 30 Meter pro Sekunde durchgeführt. Dabei wurde jeweils ein Anstellwinkelbereich von minus 15 bis plus 15 Grad durchfahren.

Der komplette Messverlauf und die gewonnenen Daten wurden von einem PC erfasst und mit der Windkanal-Korrektur verrechnet. Die Messung des Anstellwinkels erfolgte über ein Präzisions-Potentiometer, der Auftrieb wurde, wie bereits erwähnt,

## Diagramme

Bei welchem Anstellwinkel ein Profil den kleinsten Widerstand hat, zeigt zuerst das Auftriebsbeiwert-Diagramm ( $C_a$ - $C_w$ ). Hier sucht man sich zu dem kleinsten  $C_w$ -Wert den entsprechenden  $C_a$ -Wert und geht damit ins  $C_a$ -Alpha-Diagramm. Dort sucht man sich zu dem gerade gefundenen Auftriebsbeiwert ( $C_a$ ) den entsprechenden Anstellwinkel ( $\alpha$ -Alpha). Im  $C_a$ -Alpha-Diagramm sehr gut zu erkennen: Der Punkt, an dem die Strömung abreißt. Dies ist jeweils der mehr oder weniger scharfe Knick in der Geraden. Beim Carbonprofil liegt er bei zirka  $\pm 5$  Grad, beim Slipstream bei zirka  $\pm 10$  Grad.

### Widerstandsbeiwert eines Trapez-Seitenrohrs:

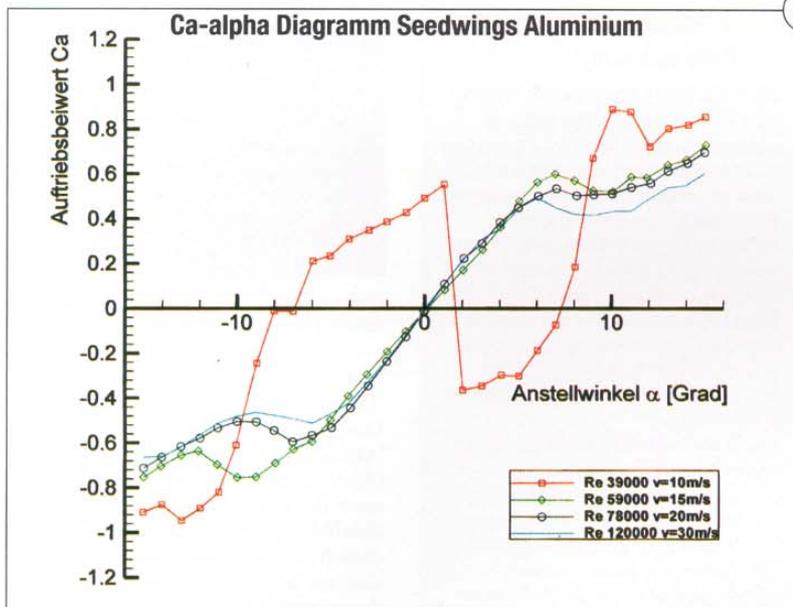
Auftriebs- und Widerstandsbeiwert sind geometrische, dimensionslose Kenngrößen eines umströmten Körpers. Der Auftriebsbeiwert wird aus folgender Formel bestimmt:

$$C_a = \frac{2 \cdot A}{\rho \cdot v^2 \cdot S}$$

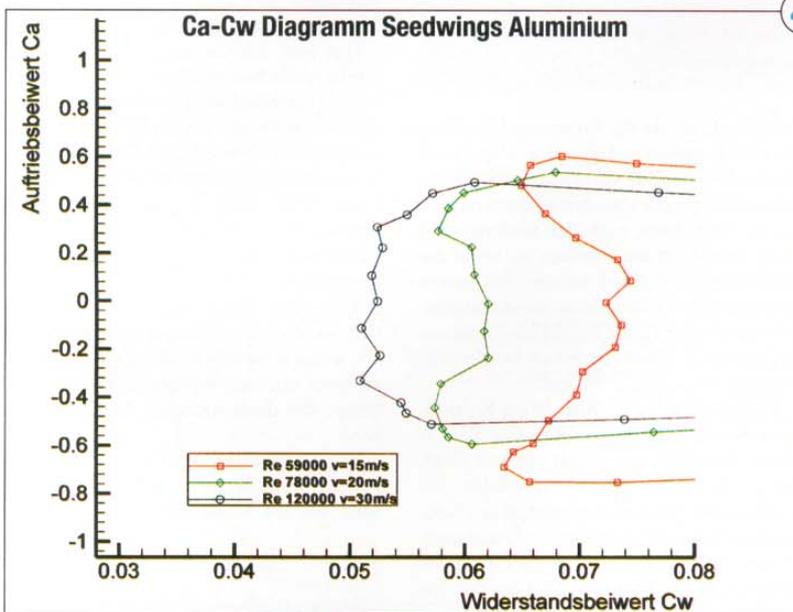
- A: gemessener Auftrieb
- W: gemessener Widerstand
- $\rho$ : Dichte des ungestörten Strömungsmediums
- v: Geschwindigkeit des ungestörten Strömungsmediums
- S: projizierte Fläche des Profils ( )
- l: Tiefe des Flügels (Profiltiefe)
- b: Spannweite oder Länge

Der Widerstandsbeiwert wird mit folgender Formel berechnet:

$$C_w = \frac{2 \cdot W}{\rho \cdot v^2 \cdot S}$$



Ca-alpha-Diagramm der Seedwings-Referenz-Strebe: Dargestellt ist der Auftriebsbeiwert über verschiedenen Anstellwinkeln. Der Knick in den Geraden zeigt den Ablösepunkt der Strömung



Ca-Cw Diagramm der Seedwings-Referenz-Strebe: zeigt den Widerstandsbeiwert in Abhängigkeit verschiedener Auftriebsbeiwerte. Interessant ist, dass der Widerstandsbeiwert nicht bei Nullauftrieb am kleinsten ist

mittels einer DMS-Kraftmessdose bestimmt. Während Anstellwinkel und Auftriebsbeiwert also direkt gemessen werden, erfordert die Widerstandsmessung eine Auswertung der verschiedenen Drücke im Nachlauf des Profils: In der Strömung hinter dem Testkörper bildet sich eine Nachlaufdüse aus, da die Strömungsgeschwindigkeit di-

rekt hinter dem Profil durch die Reibung am Profil und durch eventuelle Strömungsablösungen geringer ist, als weiter außen im ungestörten Bereich (Skizze 1). Vergleicht man nun die Strömung im ungestörten Bereich mit der im Nachlauf, so kann man aus dem ermittelten Impulsverlust den Widerstand berechnen.

3

Der Nachlaufrechen (Skizze 2) misst den Widerstand über etwa 100 Millimeter in Spannweitenrichtung in Abständen von jeweils 1,5 Millimetern. In einem Anstellwinkelbereich von minus 15 bis plus 15 Grad wird eine Messreihe pro Grad gefahren. Durch dieses sehr aufwendige Verfahren werden Widerstands-Schwankungen erfasst und ein sehr genauer Mittelwert bestimmt.

## Messergebnisse

**Seitenstrebe 1:** Zuerst wurde das Rundrohr vermessen, was nicht ganz einfach war: Da die Turbulenzen im Nachlauf zu groß waren, konnte im zur Verfügung stehenden Windkanal keine Messung durchgeführt werden! Auch bei einem Nachlaufrechen-Abstand von zehnfacher Profiltiefe, in dem eine Abschwächung der Turbulenzen eintreten sollte, konnten keine befriedigenden Messergebnisse erhalten werden. Ein weiteres Verschieben des Rechens war aufgrund der Kanalgeometrie nicht möglich. Deshalb wurden zwei kleinere Rundrohre – Durchmesser 14 und 19 Millimeter – untersucht, mit denen aber immer noch keine zuverlässige Messung möglich war: Die Cw-Werte lagen zwischen 0,75 und 0,81 und damit deutlich unter den in der Literatur angegebenen Werten von zirka 1,1 bis 1,2. Glücklicherweise waren die Turbulenzen bei den profilierten Streben geringer.

**Seitenstreben 2 und 3:** Weiter ging's mit den sehr ähnlichen Profilen von Finsterwalder 2.) und Wills Wing 3.). Diese sind mit 52,6 und 51,9 Prozent relativer Dicke (prozentuales Verhältnis von Profildicke zu Profiltiefe) sehr dicke Profile und zeigten während der kompletten Untersuchung große abgelöste Strömungsgebiete. Interessantes Resultat: Der Widerstandsbeiwert ist zwar kleiner als bei den Rohren, war aber über den gesamten Anstellwinkelbereich ( $\pm 15$  Grad) hinweg nahezu konstant. Die Strömung löste sich dabei in einem Bereich zwischen etwa 39 und 42 Prozent der Profiltiefe ab. Das heißt, diese Streben haben,

## Danke

geht an dieser Stelle an den wissenschaftlichen Mitarbeiter Rüdiger Keck und den Leiter der Abteilung Laminarwindkanal des IAG, Herrn Dr. Ing. Werner Würz für die Durchführung der Messungen.

Die gesamte Dokumentation der Tests ist auf der Website von Wills Wing ([www.willswing.com](http://www.willswing.com)) auf deutsch und englisch nachlesbar.

obwohl sie profiliert sind, im untersuchten Anstellwinkel-Bereich eher Rundrohr-Charakteristik!

Folgende Unterschiede gab es zwischen den beiden Streben: Bei höheren Geschwindigkeiten lag der Widerstandsbeiwert der Wills Wing-Standardstrebe leicht unter dem der Finsterwalder Aerofoil. Außerdem fiel bei der Wills Wing-Strebe im höheren Geschwindigkeitsbereich auf, dass die Strömung dazu neigt, bei nur geringen Anstellwinkelerhöhungen auf der jeweils stärker angestellten Seite schlagartig abzulösen. Daher gibt es für diese Profile auch nur Ca-Alpha-Diagramme und keine Ca-Cw-Diagramme, da diese auf Grund der nicht gleichmäßigen Verteilung der Messpunkte nicht aussagekräftig genug wären. Jede sprunghafte Änderung des Auftriebsbeiwerts ist zudem mit einer starken Widerstandszunahme verbunden.

**Seitenstrebe 4:** Das Seedwings Aluminium-Strebenprofil (4.) lieferte dann endlich einigermaßen vernünftige Messergebnisse. Es ist zwar mit 40,4 Prozent noch relativ



Windkanal-Messplatz: Rüdiger Keck bei der Durchführung und Auswertung der Tests

dick, aber es tritt – mit Ausnahme einer Anströmgeschwindigkeit von 10 Meter pro Sekunde – erst bei einem Anstellwinkel von zirka  $\pm 6$  Grad eine Ablösung der Strömung auf. Dies wirkt sich, wie aus den Diagrammen 3 und 4 ersichtlich, merklich auf den Widerstandsbeiwert aus. Bei 10 Meter pro Sekunde liegt er noch etwa im Bereich von

## Turbulatoren

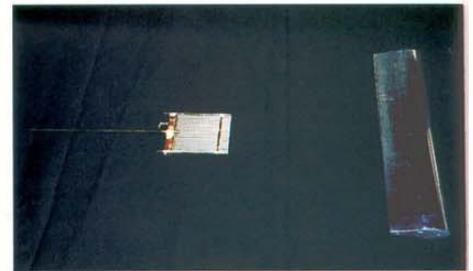
Bei unseren Trapez-Profilen (geringe Profiltiefe, große relative Dicke, kleine Reynoldszahl) sind Turbulatoren sehr hilfreich: Sie tragen dazu bei, dass die laminare Grenzschicht in eine turbulente umschlägt – das erhöht die Energie der Strömung in Wandnähe. Sie kann der Profilkontur nun besser folgen – liegt länger an – und erzeugt durch eine spätere Ablösung und kleinere Verwirbelungen weniger Widerstand. Sitzt die »Stolperkante« zu weit hinten, so ist die Strömung schon im abgelösten Zustand, wenn sie die Kante erreicht. In diesem Fall ist sie wirkungslos. Ist der Turbulator zu klein, bewirkt er auch nichts.

Wie aus den Ca-Cw-Diagrammen ersichtlich, sind die Polaren bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten unterschiedlich gekrümmt. Theoretisch bräuchte man also verschiedene Turbulatoren für verschiedene Geschwindigkeiten. Das ist zwar technisch möglich, der Aufwand wäre aber zu groß. Weil man im Geradeaus- beziehungsweise Schnellflug zwischen den Aufwinden oder bei Talquerungen wenig Höhe verlieren will, sind die Seitenstreben dafür optimiert und haben bei hohen Geschwindigkeiten kleinere Widerstandsbeiwerte als im Langsamflug.

0,14 bis 0,16, da die Strömung bei dieser Geschwindigkeit ständig im abgelösten Zustand vorliegt. In den Diagrammen sieht man auch sehr gut, dass der Widerstandsbeiwert – und damit auch der Widerstand – nicht unbedingt am kleinsten ist, wenn der Anstellwinkel 0 Grad beträgt. Bei einem symmetrischen Profil sollte man das eigentlich annehmen. Das Widerstands-Minimum liegt je nach Geschwindigkeit bei Anstellwinkeln von  $\pm 3$  bis  $\pm 5$  Grad.

**Seitenstrebe 5:** Die Wills Wing Kohlefaserstrebe (5.) hat den geringsten Cw-Wert in einem Anstellwinkelbereich von  $\pm 5$  Grad. Bei größeren Anstellwinkeln erfolgt, wie auch bei der Seedwings-Strebe, durch Strömungsablösung auf der jeweils stärker angestellten Seite ein schlagartiger Widerstandsanstieg auf Cw-Werte von 0,1 bis 0,2. Sie wurde auch mit verschiedenen Turbulatoren, wie zum Beispiel einem Zick-Zack-Band wie es im Segelflug eingesetzt wird, einem Vortex-Generatorband und auch ganz ohne Turbulator getestet. Diese Konfigurationen hatten jedoch alle eine Widerstands-Verschlechterung zur Folge. Teilweise kam es sogar zu erheblichen Geräuschentwicklungen.

**Seitenstrebe 6:** Steven Pearson, Ingenieur bei Wills Wing, hat eine neue Aluminiumstrebe namens Slipstream (6.) entwickelt. Auch diese Strebe haben wir getestet und



Profil und Nachlaufrechen im Größenvergleich: Während der Messung steht der Rechen senkrecht hinter der Trapez-Strebe

sind zu sehr guten Ergebnissen gekommen (Diagramme 5 und 6). Der wesentlichste Unterschied zur Kohlefaserstrebe: Der Turbulator sitzt bei 10 statt bei 25 Prozent Profiltiefe. Das erweitert den Anstellwinkelbereich des Profils auf  $\pm 10$  Grad bei etwa gleichbleibendem Widerstandsbeiwert. Erst danach erhöht sich der Wert bezogen auf Cw0 um den Faktor vier bis fünf. Auch bei dieser Strebe wurden verschiedene Messungen mit unterschiedlichen Turbulatoren unternommen, jedoch fielen die Messergebnisse, wie auch bei der Kohlestrebe, schlechter aus als beim Original.

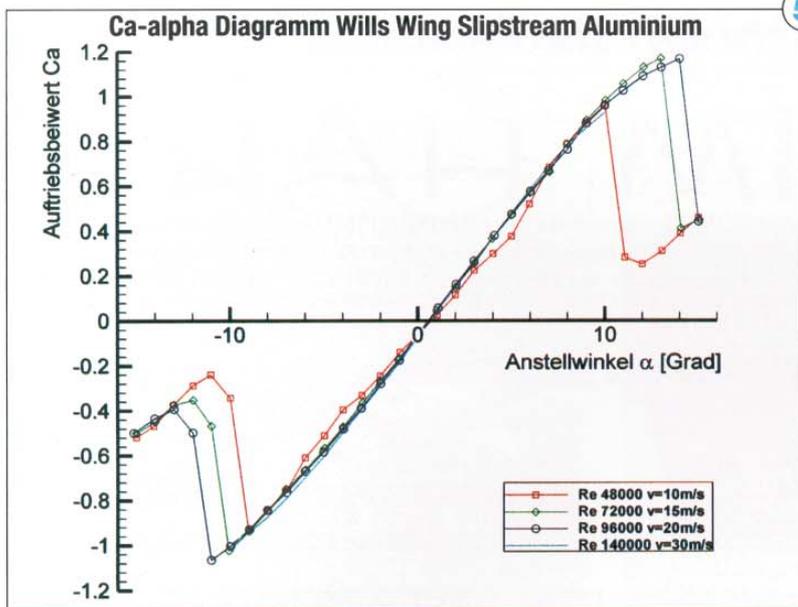
Das gute Abschneiden der Slipstream-Strebe ist für Normalpiloten erfreulich: Der neue Steuerbügel wird seit November 2000 verkauft und kostet soviel wie ein gewöhnlicher Standard-Steuerbügel. Das Kohlefaser-Trapez ist etwa viermal so teuer: zirka 2500 Mark. Wills Wing verkauft die Hochleistungsdrachen (Fusion) und Intermediates (UltraSport) ab dem ersten Quartal 2001 serienmäßig mit diesem neuen Steuerbügel. Sogar an einen Falcon kann das Trapez montiert werden, für Anfänger ist es allerdings ein wenig unhandlich. Zur Zeit wird noch an einer ergonomischeren Speedbar gearbeitet, die dann auch aus Alu hergestellt wird.

Da der Alubügel stabiler ist als der aus Kohlefaser, erübrigen sich die HGMA-Lasttests, die die Kohlestrebe ohne Probleme

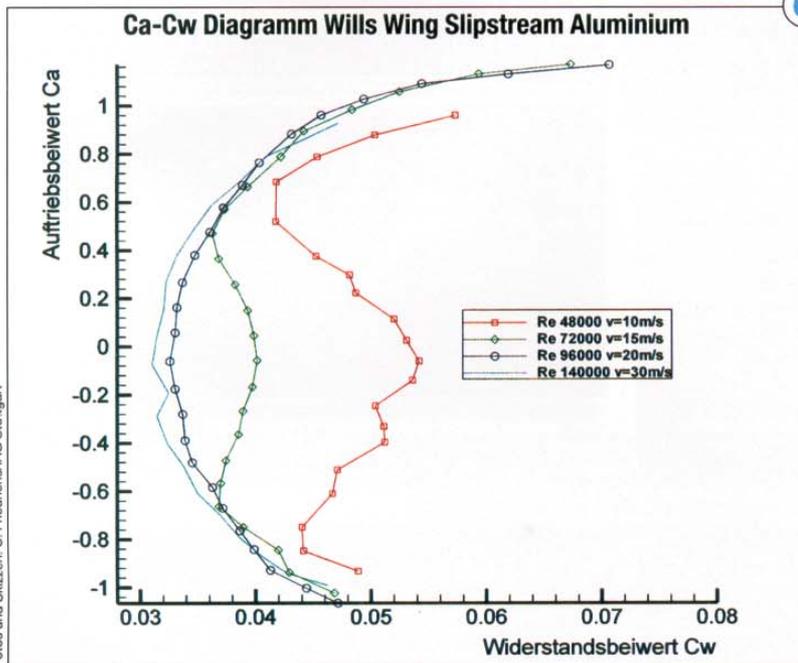
## Literatur

### Ergänzende Literatur zum Thema

1. F. Dubs, Aerodynamik der reinen Unterschallströmung, 1990, Birkhäuser Verlag, Basel
2. D. Althans, Profildipolaren für den Modellflug, 2 Bände, 1980-1985, Neckar Verlag, Villingen
3. S. F. Hoerner, Fluid Dynamic Drag, 1965, Brick Town, New York
4. H. Schlichting Grenzschicht Theorie, 1997, Springer Verlag, Berlin
5. J. D. Anderson Jr., Fundamentals of Aerodynamics, 1991, McGraw-Hill, New York



Linearer Anstieg der Auftriebsbeiwerte über verschiedene Anstellwinkel beim tiefen Slipstream-Profil. Auffällig ist, dass die Strömung bei niedrigen Geschwindigkeiten früher abreißt, als bei hohen



Der Verlauf des Widerstandsbeiwerts in Abhängigkeit des Auftriebsbeiwerts der Slipstream ist deutlich harmonischer als beim »normalen« Seedwings-Profil. Der Cw-Wert ist außerdem deutlich geringer

aushielt. Eine Zulassung durch den DHV ist bereits in Arbeit.

Auch andere Hersteller werden auf Wunsch von Wills Wing beliefert. Piloten die interessiert sind, sollten sich an ihren Hersteller wenden. Das Profil ist bereits

von Wills Wing patentiert worden. Nicht aber die Idee, ein Trapez mit geringem Widerstand zu entwickeln! Auch andere Hersteller sollten sich hierdurch angesprochen fühlen und ihre eigenen Ideen umsetzen.

Carsten Friedrichs

## Wertung

Um den Widerstand der Trapez-Streben zu berechnen, stellt man die Cw-Formel (siehe Kasten Seite 56) nach W um, und setzt für b die Länge ein: Ein Hochleister-Trapez hat Streben mit zirka 1,7 Meter Länge, es misst also ohne Basis 3,4 Meter. Vergleichen wir als Beispiel die Seedwings- und die Wills Wing Slipstream-Aluminiumstreben miteinander: Die Luftdichte sei 1,23 kg/m<sup>3</sup>, die Anströmgeschwindigkeit 16,7 Meter pro Sekunde (60 km/h), der Anstellwinkel (der Strebe) 5 Grad. Dann errechnet sich der Widerstand des Seedwings-Trapez mit einer Profiltiefe von l = 62,4 Millimeter und einem Cw-Wert von 0,065 zu W = 2,37 Newton.

Der Widerstand des Wills Wing Slipstream-Alu-Trapez mit einer Profiltiefe von l = 76,6 Millimeter, einem Cw-Wert von 0,036, beträgt bei derselben Geschwindigkeit 1,61 N und ist, trotz größerer Profiltiefe, deutlich kleiner: Der Unterschied beträgt 32 Prozent.

Aussagen bezüglich der Leistungssteigerung eines Drachens durch das Slipstream-Trapez sind nur schwer möglich und mit Vorsicht zu genießen: Um einen Anhaltspunkt zu geben, haben wir die Widerstands-Reduktion eines turmlosen Hängegleiters bei 60 km/h berechnet: Nimmt man dessen Gesamtwiderstand mit 142 Newton an (siehe *Fly and glide* 4/1996, Leistungsverbesserung durch den Wegfall von Turm und Oberverspannung/Jobst Baeumer), so reduziert sich dieser mit dem Slipstream-Trapez nur um etwas mehr als 0,5 Prozent!

Die Berechnung des Widerstands der vorderen und hinteren Unterverspannung liefert ein sehr interessantes Ergebnis: Der Durchmesser des Seils, der hierbei gleichzeitig die Profiltiefe l ist, betrage d = l = 2 Millimeter, der aus der Literatur stammende Cw-Wert beträgt 1,1 und die projizierte Länge der vorderen und hinteren Unterverspannung sei b = 6,8 Meter (jeweils 1,7 Meter). Dann erzeugt dieses Seil bei 60 km/h einen Widerstand von 2,57 Newton. Verlagert man die Befestigung der Unterverspannung von der Trapezecke in die Mitte der Trapezstange – wie Beto Schmitz auf Seite 55 – halbiert sich dadurch in etwa die projizierte Länge der Verspannung. Die resultierende Halbierung des Widerstands auf 1,29 Newton ergibt eine Reduktion des Gesamtwiderstands um ein Prozent – doppelt so viel, wie der Einsatz der Slipstream-Strebe! Diese Werte liegen in einem Bereich, der rechnerisch weit vom subjektiven Leistungsgewinn einer »ganzen Gleitzahl« entfernt ist. Selbst die Kombination beider Maßnahmen – 1,5 Prozent Gesamtwiderstands-Reduktion von 142 auf 139,95 Newton – ändert daran nichts.

uf