

Versuche mit Ausblasturbulatoren

Vorgeschichte

In den frühen 80-er Jahren des vergangenen Jahrhunderts hat unser leider viel zu früh verstorbener Modellflugkamerad Rolf Girsberger, ausgehend von einem NACA-Paper von Prof. Richard Eppler dessen Programm zur Berechnung von Profilen und deren Eigenschaften rekonstruiert.

Mit viel Fleiss, Kenntnissen in Aerodynamik, Fortran- Programmierung und Debugging hat er das Programm schlussendlich zum Funktionieren gebracht.

Nach mehreren Versuchen hat er das erste Profil das ihm tauglich für Segelmodelle schien unter dem Namen RG8 veröffentlicht. Das Profil war allerdings für den Wettbewerb F3B nicht gut zu gebrauchen, weil die Eigenschaften für den Schnellflug ungünstig waren.

Rolf hat vorgeschlagen auf der Profil-Oberseite einen Turbulator bei ungefähr 10% der Flügeltiefe anzuordnen um die laminare Ablöseblase zu verhindern.

Bau des Test- Flügelpaares RG8 mit Ausblasung

- Bauweise: Styrokern, beplankt, mit Glasgewebe.
- Abachibepunktung auf gewachster Glasscheibe mit Gewebe und Harz belegt und mit Vakumtechnik glatte harte Oberfläche erzielt.
- Nasenleiste mit speziellem Kehlmesser gemäss Koordinaten des Profils RG8 aus Abachibrett hergestellt.
- Styrokern mit vorbereitetem Abachifurnier, glatte Seite aussen beplankt.
- Nasenleiste vor beplanktem Flügel ausgerichtet und mit Harz befestigt
- Hinter Nasenleiste Luftkanal mit 10mm Durchmesser ausgeschnitten (siehe Bild 2).
- Beim Randbogen Aufnahmeöffnung für den Staudruck angebracht und mit dem Luftkanal verbunden (siehe Bild 4).
- Mit Schablone auf der Flügeloberseite Blaslöcher mit 0.8 mm Durchmesser bis zum Luftkanal gebohrt (siehe Bild 3).

Mit den so in den 80-er Jahren gebauten Flügeln wurde einige Jahre später ein Elektro-Segler gebaut (siehe Bild 1) dessen Flugeigenschaften sehr zufriedenstellend waren. Die Spannweite beträgt 2820mm, Flügeltiefe 220mm, Gewicht 2.53kg somit Flächen-belastung 40.8 g/dm². Um die etwas knapp ausgefallene Wirkung der V-Form zu verbessern wurden die Flügel ca. 3° gepfeilt.

Zusatzeinrichtung zur Strömungsbeobachtung

Ein Vereinskollege hatte Luftaufnahmen guter Qualität mit einer sehr kleinen Kamera (50x35x13mm) befestigt auf einem Segelmodell gemacht. Das hatte mich auf die Idee gebracht Aufnahmen von Strömungsbildern mittels Wollfäden durch eine mitfliegende Kamera aufzunehmen.

Auf dem Rücken des Rumpfes wurde ein Kohlerohr von ca. 20 cm Länge angebaut und an dessen oberen Ende eine Aufnahme für die Minikamera so angebracht, dass ein Teil der rumpfnahen Flügeloberseite im Bild war. Ausserdem wurde ein Pitot-Rohr zur Messung der Geschwindigkeit (True Airspeed) angebaut (siehe Bild 5).

Im Rumpf kommt die Elektronik zur Messung der True Airspeed, der Flughöhe und des Vario's dazu sowie ein Flight-Recorder welcher diese Werte speichert.

Vorbereitung und Durchführung der Messflüge

Dabei brauchte es viele Versuche mit verschiedenen Anzeigefäden (Wollfäden, Nähfäden,elektrostatisch geladene Fäden, Seidenpapier) und deren Anordnung auf dem Flügel auszuprobieren.

Schlussendlich zeigte sich dass Seidenpapierstreifen von 1mm Breite und 30mm Länge in einer schrägen Linie angeordnet die besten Resultate ergaben (siehe Bild 6).

Dabei wurde mit jeder Anordnung und Fadenart zwei Flüge ausgeführt, einmal ohne Ausblasung (Oeffnung Staudruck abgeklebt) und einmal mit Ausblasung.

Auswertung der Messflüge

Die im Flight-Recorder aufgezeichneten Daten (Höhe, Geschwindigkeit, Vario, 11 Datensätze pro Sekunde) werden in ein Excel-File eingelesen. Anschliessend werden die Werte vor dem Start des Modells und nach der Landung gelöscht. Mit den Werten Geschwindigkeit (blau) und Höhe (rot) im Zusammenhang mit der Flugzeit kann so der Messflug graphisch dokumentiert werden (siehe Bild 7).

Die Kamera zeichnet die Bilder (19 pro Sek.) mit einer eigenen Uhr auf. Die beiden Uhren laufen allerdings nicht synchron, da deren Start nicht gleichzeitig erfolgen kann. Da aber die Kamera ausser der Flügeloberseite auch ein Stück des Hintergrundes aufnimmt kann der genaue Landezeitpunkt des Modells bestimmt werden wenn im Hintergrund das Gras des Landefeldes „stehen bleibt“. Diese Zeit wird Landezeit der Kamera genannt (im Bild 7 189 sek.).

Wenn man nun die X-Achse der Geschwindigkeits-Grafik so verschiebt, dass die Landezeit der Kamera übereinstimmt mit der Stelle wo bei der Landung die Geschwindigkeit „Null“ wird, hat man einen direkten Zusammenhang von Kamerabild und Geschwindigkeit resp. Flughöhe.

Anhand des kleinen Kompasses auf der „Endleiste“ des Flügels (Bild 6) kann kontrolliert werden ob das Modell während der Messphase einigermaßen geradeaus geflogen ist.

Prinzipielle Darstellung der laminaren Ablöseblase

Im Bild 8 sind die Verhältnisse auf der Profil-Oberseite beim Vorhandensein einer laminaren Ablöseblase dargestellt (nicht massstäblich).

- Von der Nasenleiste bis zum Ablösepunkt A bildet sich eine laminare Grenzschicht aus.
- Beim Punkt A löst sich die laminare Grenzschicht von der Profiloberfläche ab, da der Druckanstieg für eine laminare Grenzschicht zu gross wird.
- Zwischen Profiloberfläche und Unterseite der abgelösten Grenzschicht bildet sich ein „Totwassergebiet“.
- Beim Transitionspunkt T^* T^{**} beginnt die abgelöste Grenzschicht turbulent zu werden und da turbulente Grenzschicht Druckanstieg besser verträgt legt sie sich beim Punkt W^* W^{**} wieder an die Profiloberfläche an.
- Zwischen der abgelösten Grenzschicht und der Profil-Oberfläche kann sich ein Rezirkulationswirbel ausbilden.

Aufbereitung der Video-Aufnahmen

In den Aufnahmen der Video-Kamera ist die Oberseite des rechten Flügels im Bereich von ca. 200mm bis zum inneren Ende der Bremsklappe sichtbar. Die Flügelintrittskante ist rot gefärbt.

Dieser Bereich ist auch mit blauen Seidenpapierstreifen bestückt deren Anordnung in Spannweitenrichtung dem dreifachen Abstand der Blaslöcher entspricht. Der Abstand in Profiltiefenrichtung beträgt ca. 10mm damit nicht ein vorderer Streifen die Strömung eines benachbarten hinteren Streifens beeinflusst. Die einzelnen Streifen sind am vorderen Ende mit kleinen Flecken von durchsichtigem Klebeband fixiert.

Anhand von ausgedruckten Geschwindigkeits- und Höhenausdrucken von je einem Flug ohne und dem darauffolgenden Flug mit Ausblasung wurden Teile der Flügel mit einigermaßen konstanter Geschwindigkeit herausgesucht. Die ca. 10s langen Teile dieser Kameradaten wurden aus dem gesamten Video ausgeschnitten und separat abgespeichert.

Auf diese Weise sind die folgenden vier Kurzvideos entstanden:

- **MCAM0052_12ms_oBl.mp4** bei $v = 12$ m/s ohne Ausblasung
- **MCAM0053_12ms_mBl.mp4** bei $v = 12$ m/s mit Ausblasung
- **MCAM0067_15ms_oBl.mp4** bei $v = 15$ m/s ohne Ausblasung
- **MCAM0068_18ms_mBl.mp4** bei $v = 18$ m/s mit Ausblasung

Funktion der Seidenpapierstreifen

Die Seidenpapierstreifen zeigen folgende zwei Verhalten:

Wenn sie **angeströmt** werden **flattern** sie in laminarer oder turbulenter Strömung.

Wenn sie **nicht angeströmt** werden **liegen sie still** im Totwasser oder im Bereich der Rezirkulation.

Wenn **alle** Seidenpapierstreifen **flattern** bedeutet das, dass **keine** laminare **Ablöseblase** existiert-

Kommentar zu den einzelnen Video-Files:

MCAM0052_12ms_oBl.mp4 Fluggeschwindigkeit 12 m/s ohne Ausblasung

- Die innersten 2 Streifen flattern in laminarer Anlaufströmung
- Der dritte und ev. vierte Streifen flattern nicht im Totwasser oder Rezirkulation
- Der fünfte und alle äusseren Streifen flattern in der turbulenten Strömung

MCAM0053_12ms_mBl.mp4 Fluggeschwindigkeit 12 m/s mit Ausblasung

- Alle Streifen flattern (kein Totwasser keine Rezirkulation)

MCAM0067_15ms_oBl.mp4 Fluggeschwindigkeit 15 m/s ohne Ausblasung

- Die innersten 5 Streifen flattern in laminarer Anlaufströmung
- Die Streifen 6 und 7 flattern nicht im Totwasser oder Rezirkulation
- Die Streifen 8 und alle äusseren Streifen flattern in turbulenter Strömung

MCAM0068_18ms_mBl.mp4 Fluggeschwindigkeit 18 m/s mit Ausblasung

- Alle Streifen flattern bis auf Streifen 6 (vielleicht Blasloch verstopft)

Ergebnisse des Versuches

Mit diesen Versuchen konnte festgestellt werden, dass durch Ausblasung von relativ wenig Luft im Bereich der laminaren Anlaufströmung die Bildung einer laminaren Ablöseblase verhindert werden kann.

Ob allerdings der Profilwiderstand mit oder ohne Ablöseblase grösser, oder wegen der grösseren Lauflänge der turbulenten Strömung kleiner ist kann mit diesem Versuch nicht festgestellt werden.

Bestehende Literatur zum ähnlichen Thema

Detlev Schwetzler hat im Jahr 1987 in zwei Artikeln des Modellheftes FMT schon über Blasturbulatoren geschrieben. Er hatte offenbar Zugriff auf einen Windkanal, sodass er die Profilpolaren mit und ohne Ausblasung messen konnte. Der Einfluss des Turbulators ist besonders bei kleinen RE-Zahlen signifikant.

Er hat auch ein Modell gebaut mit grosser Spannweite und kleiner Profiltiefe (Streckung 20.2) und dessen Bau und Flugverhalten beschrieben.

Adresse des Autors:

Hanspeter Senn
Hiltibergstrasse 10
CH 5442 Fislisbach

Email: Hanspeter.Senn@Bluewin.ch