

Profilwiderstand- Verringerung durch Ausblasen

K.H. Horstmann und A. Quast,
DFVLR Braunschweig

Vortrag auf dem XVII OSTIV-Kongress,
Paderborn, Deutschland (1981)

Im nachfolgenden Bericht unter dem Titel «Verringerung des Profilwiderstandes durch Ausblasen aus Lochreihen im Bereich laminarer Ablöseblasen» werden Untersuchungsergebnisse beschrieben, die zusammen mit der Technischen Universität Delft gemacht worden sind.

Bei Re-Zahlen unter etwa 5×10^6 können an Flugzeugprofilen und Rumpfen laminare Ablöseblasen auftreten, wie Bild 1 an den Druckverteilungen auf der Unterseite eines Profils zeigt. Es handelt sich dabei um laminare Ablösung und anschliessendes turbulentes Wiederanlegen. Ein vorläufiges Schema der Strömungsverhältnisse in einer laminaren Ablöseblase zeigt Bild 2. Ebenfalls skizziert ist das Anstrichbild im Bereich einer Ablöseblase. Laminare Ablöseblasen sind unerwünscht, weil sie über noch nicht erschöpfend geklärte Mechanismen den Profilwiderstand erhöhen, Bild 3 und 4. Gemäss Bild 5 ergibt sich infolge einer laminaren Ablöseblase ein zusätzlicher Unterdruck Δc_p , der senkrecht auf der Kontur steht und mithin in Strömungsrichtung die Komponente $\Delta c_p \cdot \sin(\vartheta + \alpha)$ aufweist. Demnach müsste der Zusatzwiderstand einer laminaren Ablöseblase mit dem Anstellwinkel zunehmen. Eine weitere Erklärung für den Widerstand von Ablöseblasen könnte darin liegen, dass die turbulente

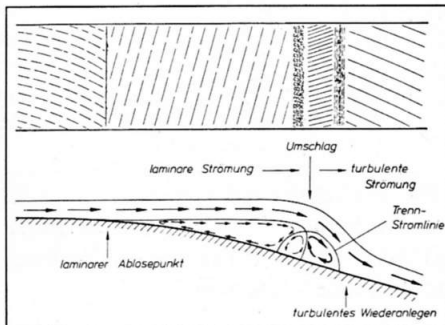


Bild 2: Schema des Anstrichbildes und mutmassliche Strömungsverhältnisse im Bereich einer laminaren Ablöseblase

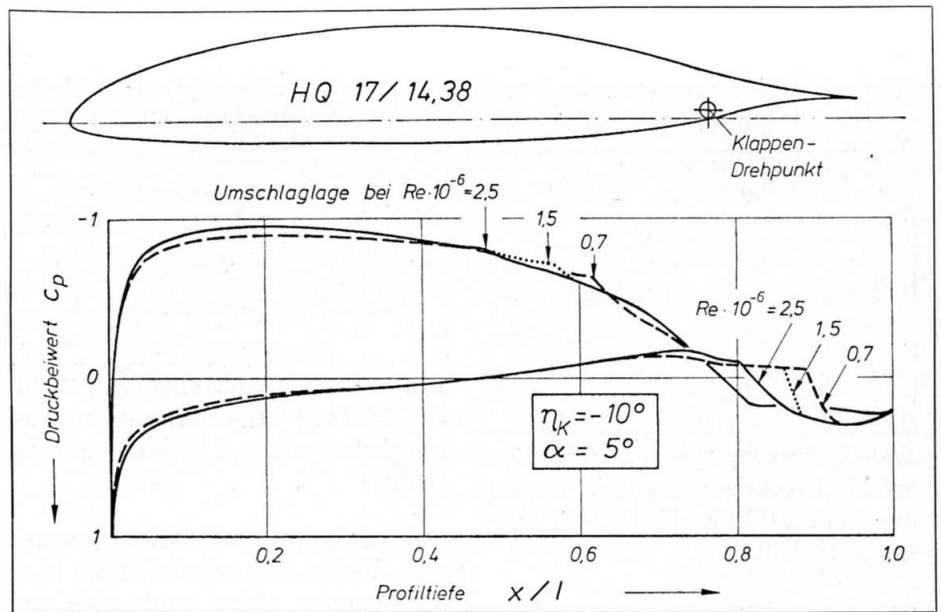


Bild 1: Grösse der laminaren Ablöseblase als Funktion der Re-Zahl für das Wölbklappen-Profil DFVLR HQ 17/14.38 (Messung: TH Delft)

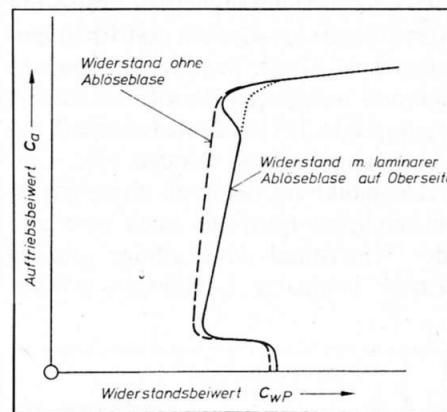


Bild 3: Polare eines Profils mit laminarer Ablöseblase auf der Oberseite

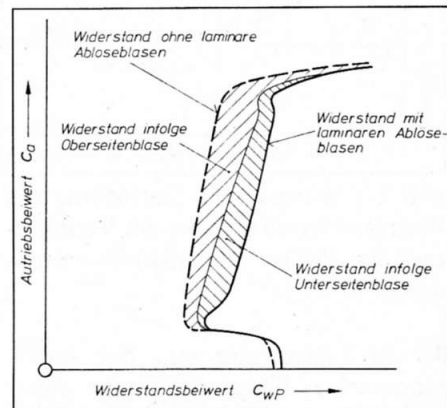


Bild 4: Auswirkungen der laminaren Ablöseblasen auf die Profilpolare

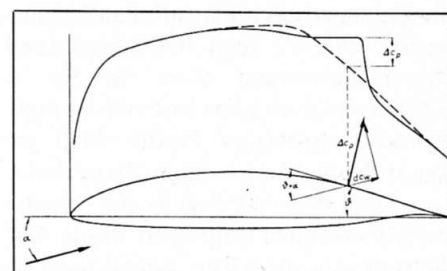


Bild 5: Schematische Darstellung der angreifenden Zusatzdrücke Δc_p infolge laminarer Ablöseblase

Wandschubspannung nach dem Wiederanlegen ungewöhnlich hoch ist. Auch eine Kombination beider Mechanismen ist denkbar.

Es liegt nun nahe, die Grenzschicht schon vor dem Ablösepunkt durch Turbulatoren turbulent zu machen. Diese Methode ist bekannt, hat bisher aber keine Verwendung in der Praxis gefunden. Bei pneumatischen Turbulatoren gemäss Bild 6 wird Stauflut aus Pitot-Rohren durch 0,6-mm-Rohre im Abstand von 16 mm ausgeblasen¹. Schon mit geringen Mengenbeiwerten c_Q der Grössenord-

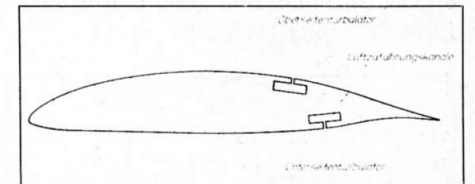


Bild 6: Profil mit Blasturbulatoren

nung 10^{-5} ² wird der Umschlag laminar-turbulent erzwungen, die laminare Ablöseblase verschwindet und der Widerstand verringert sich. Diese Blasturbulatoren, wie sie im folgenden genannt werden, haben gegenüber mechanischen Turbulatoren folgende Vorteile:

- Mengenbeiwert regel- oder abstellbar
- an verschiedenen Positionen kann ausgeblasen werden
- Blasturbulatoren auch wirksam, wenn hinter der Ablösestelle ausgeblasen wird.

Die Wirkung des Ausblasens auf die Druckverteilung der Unterseite zeigt Bild 7; die laminare Ablöseblase wird weitgehend beseitigt. Bild 8 zeigt, dass mit Hilfe der Blasturbulatoren der

¹ bei einer Flügeltiefe von 500 mm

² der Zusatzwiderstand durch Impulsverlust ist mithin $\Delta c_w = 2c_Q = 2 \times 10^{-5}$ der Widerstandsbeiwert eines Profils jedoch 5×10^{-3}

Widerstand des hier dargestellten Profils bis zu 15% verringert wird. Bild 9 zeigt die Profilpolare für verschiedene Aus-

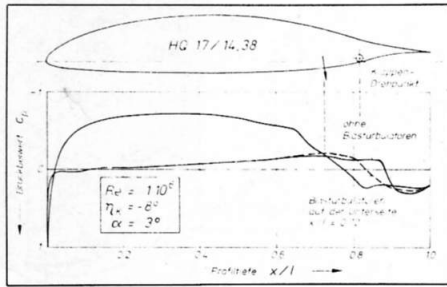


Bild 7: Wirkung der Blasturbulatoren auf die Druckverteilung der Unterseite des Profils DFVLR-HQ 17/14.38 (Messung: TH Delft)

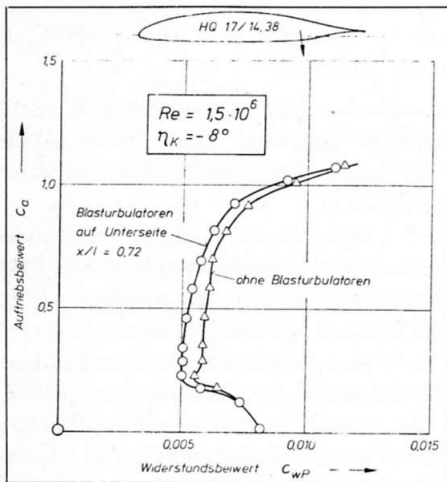


Bild 8: Widerstandspolare des Profils HQ 17/14.38 mit und ohne Blasturbulatoren (Messung TH-Delft)

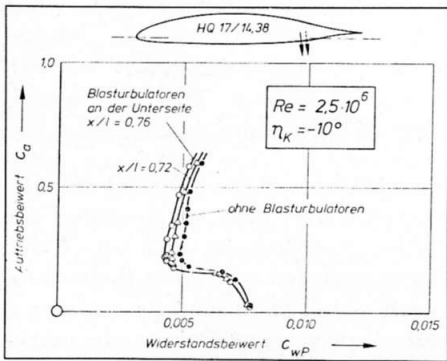


Bild 9: Widerstandspolare des DFVLR-Profiles HQ 17/14.38 bei verschiedenen Ausblasorten auf der Unterseite (Messung: TH Delft)

blaspositionen. Der günstigste Ort ergibt sich hieraus in $x/l = 0,76$. Bild 10 zeigt den Widerstandsverlauf für verschiedene Mengenbeiwerte; hier liegt ein flaches Optimum vor bei $c_Q = 7 \times 10^{-6}$. Mit zunehmender Re-Zahl wird dieser Optimalwert von c_Q geringer und ist bei $Re \approx 3 \times 10^6$ etwa Null. Es scheint so zu sein, dass der erforderliche Ausblase-Volumenstrom auf die Flügelfläche

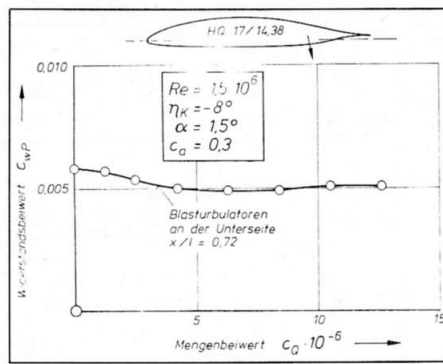


Bild 10: Widerstandsverlauf des Profils HQ 17/14.38 bei verschiedenen Blasmengenbeiwerten c_Q (Messung: TH Delft)

konstant zu sein hat. Blaslochabstand und -durchmesser wurden bisher noch nicht variiert. Bisher wurde auch stets senkrecht zur Kontur ausgeblasen. In Bild 11 ist der Widerstandsverlauf über der Re-Zahl eines modernen Profils mit Instabilisierungsstrecken gestrichelt eingezeichnet. Dieser berührt die Envelope optimal ausgelegter Profile im Auslegungspunkt. Bei Re-Zahlen oberhalb des Auslegungspunktes wandert der Umschlagpunkt auf der dann ungeeigneten Instabilisierungsstrecke nach vorn und der Widerstand wird infolge unnötig kurzer laminarer Lauflängen grösser.

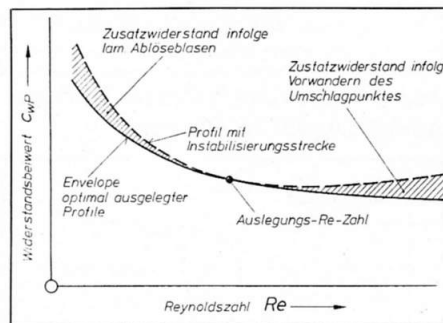


Bild 11: Schematische Darstellung des Widerstandsverlaufs über der Reynoldszahl für Profile mit Instabilisierungsstrecke

Bei Re-Zahlen unterhalb des Auslegungspunktes bilden sich wegen unzureichender Instabilisierung laminare Ablöseblasen. Die Ablöseblasen sind um so grösser, je kleiner die Re-Zahl. In diesem Bereich lassen sich Blasturbulatoren einsetzen. Bild 12 zeigt den gemessenen Widerstandsverlauf eines für $Re = 3 \times 10^6$ (praktisch keine Instabilisierungsstrecke) ausgelegten Profils. Man erkennt deutlich, dass durch Blasturbulatoren der widerstandsgünstige Arbeitsbereich erheblich vergrössert wurde. Mit Blasturbulatoren nähert man sich der in Bild 11 angegebenen Envelope optimal ausgelegter konventioneller Profile mit Instabilisierungsstrecke.

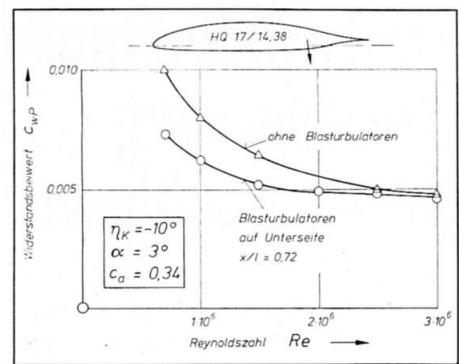


Bild 12: Widerstandsverlauf des Profils DFVLR HQ 17/14.38 über der Re-Zahl mit und ohne Blasturbulatoren (Messung: TH Delft)

Profile mit Blasturbulatoren erfordern stabile Druckverteilungen wie beispielsweise die der Unterseite in Bild 1. Wesentlich ist, dass die schwierig zu berechnenden Instabilisierungsstrecken überflüssig sind, die zudem nur für den Auslegungspunkt richtig sein können.

Flugzeuge sind sehr einfach mit Blasturbulatoren auszurüsten, das Segelflugzeug SB-12 der Akaflieg Braunschweig fliegt schon seit einem $\frac{3}{4}$ Jahr mit solchen Turbulatoren. Blasturbulatoren sind unempfindlich gegen Regen und verschmutzen nicht nennenswert.

In Bild 13 ist die Polare des Turbulator-Wölbklappenprofils für Segelflugzeuge (DFVLR-HQ 17/14.38) im Vergleich mit den bisher bekannten besten Profilen dargestellt. Die Darstellung erfolgt bei den jeweiligen Re-Zahlen mit denen ein Segelflugzeug fliegt. Man erkennt die deutliche Widerstandsverringering, die insbesondere bei niedrigen Auftriebsbeiwerten wichtig ist.

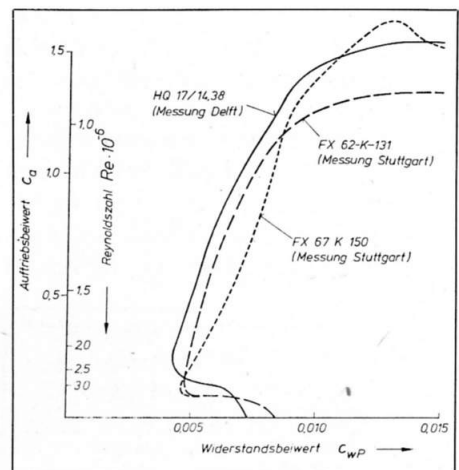


Bild 13: Vergleich der Widerstandspolaren bisheriger Profile mit dem Profil DFVLR-HQ 17/14.38 mit Blasturbulatoren auf der Unterseite

Damit ergeben sich folgende Anwendungsbereiche: Flugzeuge der allgemeinen Luftfahrt, Segelflugzeuge, Hub-

schrauberrotoren, Propeller, Strömungsmaschinen, Windräder, Modellflugzeuge.
Wegen der z.T. vorkommenden niedrigen Re-Zahlen scheint insbesondere der

Bereich Strömungsmaschinen recht aussichtsreich zu sein. Für Verkehrsflugzeuge sind Blasturbulatoren in der beschriebenen Form wahrscheinlich nicht interessant.

Wir möchten an dieser Stelle Prof. v. Ingen und seinen Mitarbeitern an der TV Delft für die sorgfältigen Messungen und die Unterstützung danken.