

Am Ht Zürich

PROBLEME DER SCHWANZLOSEN BAUART

Uebersetzung des Vortrages von G.H. Lee, A.F.R. Ae. S.,
vor der Royal Aeronautic Society

Herr G.H. Lee ist verantwortlicher Leiter der Forschungsanstalt der Firma Handley - Page Ltd. und hat die Untersuchungen jener Firma über Nurflügel-Bauart geleitet. Sein Vortrag teilte sich in drei Hauptabschnitte:

Maximalauftrieb, Abreissen bei kleinen Geschwindigkeiten, Hochauftriebsklappen, Kompressibilitätseffekte, aero-elastische Probleme.

Obschon die speziellen Probleme der schwanzlosen Bauweise immer im Vordergrund standen, bemerkte der Referent, dass seine Ausführungen sich ganz allgemein auf gepfeilte Flügel bezögen, ob nun ein Leitwerk vorhanden ist oder nicht.

Das Hauptproblem bei Flügeln mit einer Pfeilung, die grösser ist als ca. 25° bildet das Abreissen der Strömung an den Flügelspitzen bei hohen Anstellwinkeln. Der damit verbundene Verlust im $c_{a_{max}}$, sowie das viel schlimmere Problem der Instabilität um die Querachse bei kleinen Geschwindigkeiten. Das Abreissen der Strömung an den Flügelenden kann auf vier Gründe zurückgeführt werden:

- a) Die Zunahme des örtlichen c_a bei den Flügelspitzen infolge der Pfeilung.
- b) Die negative induzierte Wölbung bei den Flügelenden.
- c) Das Hinausfliessen der müden Grenzschicht auf der Flügeloberseite gegen die Flügelenden.
- d) Wenn über einen Teil der Spannweite Landeklappen angebracht sind, so ist es möglich, dass diese wie ein Schneepflug wirken, indem sie auf der Flügelunterseite eine starke Luftströmung gegen die Flügelenden hin verursachen und somit ein Abreissen der Strömung gerade ausserhalb der Landeklappen hervorrufen.

Für den Fall der eingefahrenen Klappen schien die Zunahme des c_a in den Flügelspitzen nicht von eminenter Bedeutung zu sein. Ueber den negativ induzierten Wölbungseinfluss an den Flügelenden sind noch zu wenig Unterlagen vorhanden, um ein abschliessendes Urteil abgeben zu können. Man schloss deshalb,

dass der Hauptgrund im "nach aussen Fliessen" der Grenzschicht auf der Profiloberseite gesucht werden müsse. Diese Vermutung wurde erhärtet durch die Tatsache, dass die sog. Brennecke-Gegenklappe, welche den Auswärtsströmen entgegenwirkt, das Abreißen der Strömung am Flügelende verhinderte. Druckverteilungsmessungen an einem Pfeilflügel ergaben, dass mit eingefahrenen Klappen das c_{max} in der Flügelmitte doppelt so hoch war wie an der Flügelspitze.

Massnahmen gegen das Abkippen

Es gibt verschiedene Methoden, um die Abkippeigenschaften eines Pfeilflügels zu verbessern. Beeinflussung der Grenzschicht scheint nicht das Richtige zu sein; Absaugen oder Einblasen von Luft durch einen Schlitz in der Nähe der Flügelaustrittskante hatte sehr geringe Verbesserung zur Folge.

Ausblasen aus einem Schlitz, der in der Nähe der Flügelaustrittskante lag, war wirkungsvoller, aber noch lange nicht befriedigend. Ein wichtiger Faktor war der sehr starke Quergradient der Strömung unmittelbar hinter der Unterdruckspitze an den Flügelvorderkanten. Einrichtungen wie die Krüger-Nasenklappe und die Handly-Page-Slot an der Eintrittskante reduzierten diesen Quergradienten. Grob ausgedrückt sagte Herr Lee: Ein starker Quergradient verdickt und verzögert die Grenzschicht dermassen, dass sie willenlos bei der kleinsten Veranlassung nach aussen strömt.

Es ist sehr interessant, durch bessere Profilformen nach eleganteren Lösungen zu suchen. Es gibt drei Methoden, um das Auswärtsfliessen der Grenzschicht zu verhindern:

- a) Verhinderung des Quergradienten am Profilhinterteil.
- b) Abschwächung des steilen Quergradienten am Profilvorderteil.
- c) Reduktion der "Pfeilung" der Isobaren, d.h. der Linien gleichen Druckes auf der Profiloberseite.

Gestufte Absaugprofile, wie sie Griffiths vorgeschlagen hat, sollten einen weniger steilen Quergradienten ergeben. Von M.J. Lighthill neu entwickelte Profile sollten gestatten, den steilen Quergradienten unmittelbar hinter der Unterdruckspitze zu reduzieren.

Logischerweise sollte man ein Doppelsaug-Profil haben, das diese beiden Eigenschaften aufweist, d.h. bei hohen Anstellwinkeln eine Geschwindigkeitsverteilung aufweisen sollte, die ungefähr folgendermassen aussieht:

Das Lighthill-Profil hatte ein ganz gutes ca, sogar ohne Absaugung, obschon es durch Absaugung natürlich wesentlich verbessert würde.

Es bestände also die Möglichkeit, die Eigenschaften des Pfeilflügels zu verbessern, indem man an den Flügelspitzen mehr absaugen würde, als in der Flügelmitte.

Die Reduktion der Pfeilung der Isobaren würde ebenfalls die Strömung um die Flügelspitzen verhindern.

Dies könnte durch eine weniger starke Pfeilung des Flügels in der äusseren Hälfte erreicht werden. Ein solcher Flügel wäre aber konstruktiv ein Problem und die kritische Mach'sche Zahl an den Flügelspitzen würde herabgesetzt. Hingegen könnte für mässig hohe Geschwindigkeiten noch ein vernünftiges Dickenverhältnis d/t beibehalten werden, während der Vorteil der Pfeilung immer noch wenigstens im statisch wichtigeren Teil des Flügelmittelstückes erhalten bliebe.

Was das Abkippen mit ausgefahrenen Landeklappen betrifft, so liegt die grosse Schwierigkeit darin, dass mit ausgefahrenen Klappen das Abreissen der Strömung viel früher eintritt, als mit eingefahrenen Klappen, und zwar sowohl mit Klappen, die über die ganze als auch über einen Teil der Spannweite reichen. Immerhin ist der ca-Abfall durch Pfeilung geringer bei Flügeln, bei denen die Klappen nicht über die ganze Spannweite reichen.

Es können vier Gründe angeführt werden, die eine Verkleinerung des Abreiss-Anstellwinkels zur Folge haben könnten:

- a) Durch das Ausfahren der Klappen wird der Unterdruck auf der Profilloberseite verstärkt und damit der "Reinigungs"-Effekt durch die Flügelspitzen weniger kräftig.
- b) Die am äusseren Klappenende abgehenden Wirbel können im Pfeilflügel, gerade ausserhalb der Klappen einen sehr grossen Aufwind induzieren, der dann das Abreissen der Strömung zur Folge hätte.
- c) Die grosse induzierte negative Wölbung direkt ausserhalb der Klappe.

- d) Die durch Windkanalversuche festgestellte Tatsache, dass Landeklappen eine ganz beträchtliche Luftmenge gegen die Flügelspitze schieben.

Vorliegende Versuche zeigen, dass ein Flügel beim Abkippen mit ausgefahrenen Klappen stabiler war, als mit eingefahrenen Klappen (was auf eine kräftige Wirkung a schliessen liess).

Was die Konstruktion der Klappen für einen Pfeilflügel anbelangt, so ist man sich darüber einig, dass weder die normalen Spaltklappen, noch die normalen geschlitzten Landeklappen sehr wirksam waren.

Spreizklappen

Die besten Resultate wurden erzielt mit der Fowler-Klappe, die am Flügel-Hinterteil eine Unterdruckspitze erzeugt und sowohl für Flügelmitte wie auch für die Spitzen "reinigend" wirkt. Vorversuche hatten dies bereits bestätigt.

Kompressibilitäts-Effekte

Herr Lee ging im Detail auf die theoretische Behandlung dieser Effekte ein.

Herr Lee schloss seinen Vortrag ab mit einigen Betrachtungen über Probleme des Pfeilflügels, die durch Biegung und Torsion entstehen. Der fundamentale Unterschied zwischen dem Pfeilflügel und einem geraden Flügel beruht darauf, dass beim Pfeilflügel die Holmbiegung eine Anstellwinkeländerung des Flügels mit sich bringt, während dies beim geraden Flügel ja nicht der Fall ist.

Er betrachtete den Fall eines Flugzeuges beim Aufrichten. Das Aufrichten vervielfacht die Last auf den Flügel, so dass er sich nach oben deformiert. Dies bringt eine Verkleinerung des Anstellwinkels mit sich, sodass "producing a washout along the wing".

eine (geometrische) Schränkung entsteht.

Wenn, wie dies im Allgemeinen der Fall ist, die elastische Achse hinter der Druckpunktlinie liegt, so würde dies eine Vergrößerung des Anstellwinkels hervorrufen. Beim Pfeilflügel wirken deshalb Biegung und Torsion einander entgegen. Wie in allen Fällen wächst auch hier die Wichtigkeit der elastischen Deformation mit der Geschwindigkeit.

In einem weitem Abschnitt behandelt Herr Lee die Querruder-Umkehr. Im besondern betont er die Wichtigkeit einer genauen Bestimmung der aerodynamischen "derivatives".

Er schloss mit den Worten:

Es ist klar, dass die Schwierigkeiten der schwanzlosen Bauweise sehr gross sind, aber wir sehen heute bereits ziemlich klar, welcher Weg zur Lösung dieser Schwierigkeiten führen wird.

Es ist sicher nicht übertrieben wenn wir hoffen, dass auch die verbleibenden Probleme gelöst werden können.

Emmen, 18.1.47.
Ht/hk.