

## Block II Bestimmung der HLW-Daten

1) Vorgaben:  $F_H, \lambda_H, \varepsilon, (d/l)_H$   
 $\alpha_{0H}, \alpha_{maxP}, c_{AmaxP}$

2) Geometrie

$$l_{Hmin} = 800 \left(\frac{d}{l}\right)_H \sqrt{\frac{c_{AFmax}}{G/F}} \quad [2.1]$$

$$b_H = b_{RH} + \frac{2F_H}{l_{Hmin}} \frac{\lambda_H}{1 + \lambda_H} \quad [2.2]$$

$$\Lambda_H = b_H^2 / F_H \quad [2.3]$$

$$l_{\mu H} = \frac{2}{3} l_{iH} \frac{1 + \lambda_H + \lambda_H^2}{1 + \lambda_H} \quad [2.4]$$

$$x_{ocH} \text{ wie Glch. [1.7] [1.8]} \quad [2.5]$$

3) Umrechnung der Profilwerte auf das HLW

$$c_{A\alpha H} = \frac{\pi \Lambda_H}{1 + \sqrt{1 + \Lambda_H^2/4}} \quad [2.6]$$

$$c_{AmaxH} = c_{AmaxP} \left(1 - \frac{0,4}{\Lambda_H}\right) \quad [2.7]$$

$$\beta_H = \beta_P + \frac{c_{AmaxH}}{\Lambda_H} 18,25 \quad [2.8]$$

$$c_{AH} = c_{A\alpha H} (\alpha_H - \alpha_{0H}) 0,0175 \quad [2.9]$$

4) Betriebspunkt des HLW (Vergl. Abb.7)

$$EWD = \alpha_{maxP} + (\beta_H - \beta_P) - \alpha_{maxF} + \varepsilon \quad [2.10]$$

$$i_H = i_F + EWD \quad [2.11]$$

$$(c_{AH})_0 = c_{A\alpha H} (i_H - \alpha_{0H}) 0,0175 \quad [2.12]$$

## Block II

Mit der Vorgabe eines Profils und des Flächengrundrisses stehen die Daten des Höhenleitwerks fest. Zusätzlich muß noch der Winkel  $\varepsilon$  festgelegt werden (Abb. 4). Er sollte sich zwischen  $2^\circ$  und  $5^\circ$  bewegen, damit die Strömung wirklich zuerst am Leitwerk ablöst. Mit Glchg. 2.1 wird die kritische Leitwerkstiefe bestimmt. Das ist die Tiefe, bei deren Unterschreitung die Strömung unterkritisch wird. Der Gleichung liegen Angaben zur kritischen Re-Zahl von Franz Perseke (Das Segelflugmodell I) zugrunde. Mit Anwendung von Glchg. 2.1 und 2.2 erhält man ein Entenleitwerk größtmöglicher Streckung,

bei dem die Re-Zahl bei der geringstmöglichen Flugeschwindigkeit gerade noch überkritisch ist. Die Flächenbelastung ist in  $g/dm^2$  einzusetzen. Als Bezugsfläche ist die Flügelfläche zu nehmen. Glchg. 2.12 gibt schließlich an, bei welchem Auftriebsbeiwert das Leitwerk mit der zuvor berechneten Einstellwinkeldifferenz arbeiten wird. (Siehe auch Abb. 4).

## Block III

Der Einfluß der Leitwerksnachlaufströmung auf den Flügel ist wesentlich und seine mathematische Bestimmung besonders unsicher. Das Problem dieser Ungenauigkeit wird aber dadurch

ein geringeres, daß der unsichere Abwindgradient aus Glchg. 3.2 nur zu einem Bruchteil den etwas wichtigeren Abwindfaktor bestimmt. D.h. selbst Ungenauigkeiten von 50 % beim Abwindgradienten schlagen auf den ef-

Größen wurden zuvor berechnet. SM ist das Stabilitätsmaß. Es ist in meine Gleichungen positiv anzusetzen, wenn das Flugmodell statisch längsstabil sein soll. (In der klassischen Flugmechanik muß es negativ sein.)

## Block III Abwindfaktor u. effektiver Flügelauftrieb

1) Vom HLW beeinflusste Flügelfläche (Vergl. Abb.5)

$$F_w = b_H l_{iF} \left[1 - \frac{b_H}{2b_F} (1 - \lambda_F)\right] \quad [3.1]$$

2) Abwindgradient (nach DATCOM)

$$\frac{d\alpha_w}{d\alpha} = 4,44 (k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \cos^2 \varphi_{25H})^{1,19} \quad [3.2]$$

$$k_1 = \frac{1}{\Lambda_H} - \frac{1}{1 + \Lambda_H^{1,7}} \quad [3.3]$$

$$k_2 = \frac{10 - 3\lambda_H}{7} \quad [3.4]$$

$$k_3 = \frac{1 - \left|\frac{b_H}{b_F}\right|}{\sqrt[3]{\frac{2l_{oc}}{b_H}}} \quad [3.5]$$

3) Abwindfaktor

$$k_{\alpha w} = 1 - \frac{(c_{AH})_0 / (c_{AF})_0}{c_{A\alpha H} / c_{A\alpha F}} \frac{F_w}{F} \frac{d\alpha_w}{d\alpha} \quad [3.6]$$

4) Effektiver Flügelauftrieb

$$c_{AFeff} = c_{AF} k_{\alpha w} \quad [3.7]$$

effektiven Flügelauftrieb nur mit 10 bis 20 % durch. Beim Faktor  $k_3$  in Glchg. 3.5 erscheint die Größe  $h_H$ . Dies ist die Leitwerkshoch- bzw. Tieflage gegenüber der Flügelvorderkante.

Sein Wert sollte für Entwurfszwecke mit 10 bis 15 %, d.h.  $SM = 0,1$  bis  $0,15$  angenommen werden, nicht weniger. Nun ergibt sich mit dieser Gleichung das Problem mit dem Abwindfaktor, denn zur Berechnung desselben wird der Leitwerkshebel gebraucht, den ich aber eben gerade erst bestimmen will. Das Problem läßt sich z.B. wie folgt lösen. Zunächst setzt man den Abwindfaktor  $= 1$  und berechnet mit Glchg. 4.1 den Hebel  $l_{ac}$ . Mit diesem Wert geht man in Block III und bestimmt wieder den Abwind-

## Block IV

Hier wird es nun mit der Auslegung des Leitwerks wirklich ernst. Glchg. 4.1 ist die Bestimmungsgleichung für den Abstand zwischen Leitwerks- und Flügelnutralpunkt (Abb. 6). Alle darin vorkommenden

## Block IV Leitwerksdaten

### 1) Hebelarm des HLW

$$c = \frac{(C_{AH})_0}{(C_{AF})_0} \quad g = \frac{C_{A\alpha H}}{C_{A\alpha F}} \quad f = \frac{F_H}{F}$$

$$\frac{l_{oc}}{l_\mu} = \frac{k_{\alpha w} + fg}{(c - g)f} \left[ SM \left( 1 + \frac{cf}{k_{\alpha w}} \right) - \frac{C_{moF}}{C_{AFeff}} \right] \quad [4.1]$$

### 2) Gesamtneutralpunkt u. Schwerpunkt

$$x_N = \frac{l_{oc}}{\frac{k_{\alpha w}}{C_{A\alpha H} \frac{F_H}{F}} + 1} \quad [4.2]$$

$$x_a = x_N + SM l_\mu \quad [4.3]$$

### 3) Trimmfaktor

$$C_{AH}^* = \frac{C_{AFmax} k_{\alpha w} x_a - C_{moF} l_\mu}{\frac{F_H}{F} (l_{oc} - x_a)} \quad [4.4]$$

$$k_T = \frac{C_{AH}^*}{C_{AHmax}} \quad [4.5]$$

### 4) Seitenleitwerksfläche (Vergl. Abb. 6)

$$F_{Sges} = \frac{F}{10} \frac{l_{oc}}{l_\mu} \frac{l_s}{l_\mu} \quad [4.6]$$

aktor, damit wieder in Glchg. 4.1 usw. Läuft man 4- bis 5mal durch diese Schleife, so stabilisiert sich der berechnete Leitwerkshebel.

Da nun alle Leitwerksdaten bekannt sind, kann über ein Momentengleichgewicht der für Trimmen **erforderliche** Auftriebsbeiwert für das Leitwerk berechnet werden ( $C_{AH}$  mit dem Stern in Glchg. 4.4). In dieser Phase der Berechnungen will man aber zunächst nur eine Information haben, ob das gefundene Leitwerk auch etwas taugt. Was nützt mir die ganze Rechnung, wenn ein  $C_{AH}$  (Glchg. 4.4) von z.B. 4 herauskommt. Dieser Wert ist für kein noch so gutes Profil mit Superklappen erreichbar. Bildet man den Trimmfaktor (Glchg. 4.5), hat man eine Schnellinformation über das eben geschaffene Leitwerk. Der Trimmfaktor sollte deutlich unter 2 liegen, denn mehr als den doppelten Auftrieb schafft bestimmt keine Klappe.

In dem Formelpaket, das bei mir angefordert werden kann, sind Gleichungen enthalten, mit denen man gleich eine Wölbklappe des projektierten Leitwerks gegenrechnen kann und somit eine konkrete Obergrenze für den Trimmfaktor erhält.

Mit Glchg. 4.6 schließlich läßt sich die erforderliche Gesamtfläche des Seitenleitwerks eingrenzen. Die Gleichung kam durch eine statistische Auswertung mir bekannter Enten zustande – es hätten allerdings einige mehr sein können –, aber im allgemeinen hat diese Gleichung bis jetzt brauchbare Ergebnisse geliefert. Zu klein waren die Leitwerke jedenfalls noch nie.

Fiel das so entworfene Höhenleitwerk nicht zufriedenstellend aus, dann geht man zurück zu Block II und ändert an den Vorgaben herum, um dann das ganze Spiel von neuem zu beginnen. Die Computernarren haben sicher längst den Braten gero-

chen, denn es handelt sich hier um eine klassische Optimierungsaufgabe mit vielen Rechenläufen und Rücksprüngen. Eine Optimierungsaufgabe für sich ist auch Glchg. 3.6. Ohne Zweifel steht fest, daß der Abwindfaktor möglichst nahe an 1 kommen soll. Dies kann man z.B. dadurch erreichen, daß  $b_H$  klein und  $b_F$  groß ist.  $b_H$  soll aber groß sein, damit die Leitwerksstreckung groß ist. Außerdem wird bei großer Flügelstreckung der Auftriebsgradient des Flügels groß und damit der Abwindfaktor wieder klein. Wie gesagt, es handelt sich hier um eine Optimierungsaufgabe, an die ich mich selbst noch gar nicht gewagt habe.

der letzte Schritt getan werden. Mit den Glchg. 5.1 bis 5.4 rechnet man Flügel und Leitwerk auf die Bezugsachse der Ente um. Mit Glchg. 5.5 kann man dann für vorzuziehende Flügelauftriebe (oder Anstellwinkel, was auf dasselbe hinausläuft), den **erforderlichen** Trimmtrieb des Leitwerks bestimmen. Ist man darüber hinaus in der glücklichen Lage, die  $C_{A\alpha}$  Kurven des Leitwerks für verschiedene Ruderwinkel einzutragen, findet man leicht den maximal erfliegbarsten Anstellwinkel und damit die Trimmgrenze. Wer dies alles zum ersten Mal durchrechnet, wird herausfinden, daß die Trimmgrenze in der Regel noch weit diesseits vom Maximalauftrieb des Flügels liegt. Man kann näher an  $C_{Amax}$  des Flügels kommen, wenn das  $\epsilon$  verringert wird. Damit gerät die Ente aber wieder in die Gefahr des Aufbäumens wegen Überziehen – also Vorsicht mit dem  $\epsilon$ .

## Block V

Hat man schließlich ein Leitwerk gefunden, das geschmacklich und aerodynamisch akzeptabel ist, kann

## Block V Gesamtpolaren und Leistungsdaten

### 1) $C_A - \alpha$ - Diagramm (Vergl. Abb. 7)

$$\bar{\alpha}_{OF} = \alpha_{OF} - i_F \quad [5.1]$$

$$\bar{\alpha}_{OH} = \alpha_{OH} - i_H \quad [5.2]$$

$$C_{AF} = C_{A\alpha F} (\alpha - \bar{\alpha}_{OF}) 0,0175 \quad [5.3]$$

$$C_{AH} = C_{A\alpha H} (\alpha - \bar{\alpha}_{OH}) 0,0175 \quad [5.4]$$

### 2) HLW - Auftrieb für Trimmen (Vergl. Abb. 8)

$$C_{AH}^* = \frac{C_{AF} k_{\alpha w} x_a - C_{moF} l_\mu}{\frac{F_H}{F} (l_{oc} - x_a)} \quad [5.5]$$

### 3) Getrimmte Widerstandspolare

$$C_A^* = C_{AF} + \frac{F_H}{F} C_{AH}^* \quad [5.6]$$

$$C_W = C_{WS} + C_{WF} + C_{WH} \quad [5.7]$$

$$C_{WF} = C_{WPF} + \frac{C_{AF}^2}{\pi \Lambda_F} \quad [5.8]$$

$$C_{WH} = C_{WPH} + \frac{C_{AH}^{*2}}{\pi \Lambda_H} \quad [5.9]$$

### 4) Fluggeschwindigkeiten

$$V_{Abheben} = 1,1 \sqrt{\frac{G/F}{\frac{\rho}{2} C_{Amax}^*}} \quad [5.10]$$

$$V_{Landen} = 0,9 V_{Abheben} \quad [5.11]$$

Nachdem damit die Theorie der Enten mehr als genug beackert wurde, sollte man doch wieder mehr an die Praxis und an das Fliegen mit Enten denken, und ich darf hiermit für eine der nächsten Ausgaben einen Artikel ankündigen, in dem es um praktische Hinweise zur Auswahl geeigneter Profile zum Bau und zum Einfliegen geht.

Zusammenstellung der verwendeten Bezeichnungen:

Da ich mich größtenteils an die in der Flugmechanik und Aerodynamik üblichen Bezeichnungen halte, sollen nur diejenigen hier aufgeführt werden, die vielleicht nicht ganz eindeutig sind.

**Indizes:**

\*: steht für „getrimmt“  
 ( )<sub>0</sub> steht für Auslegungszustand

F: steht für „Flügel“  
 H: steht für „Leitwerk“  
 P: steht für „Profil“

**Größen:**

$\lambda$ : Zuspitzung  
 $\Lambda$ : Streckung  
 $\varphi$ : Pfeilwinkel  
 $C_{A\alpha}$ : Auftriebsgradient  
 $\beta$ : siehe Abb. 3  
 i: Einstellwinkel (Profilsehne)  
 $\epsilon$ : siehe Abb. 4/Abb. 7  
 EWD Einstellwinkeldifferenz

$C_{ws}$  Beiwert des schädlichen Widerstandes (einschlägige Literatur)

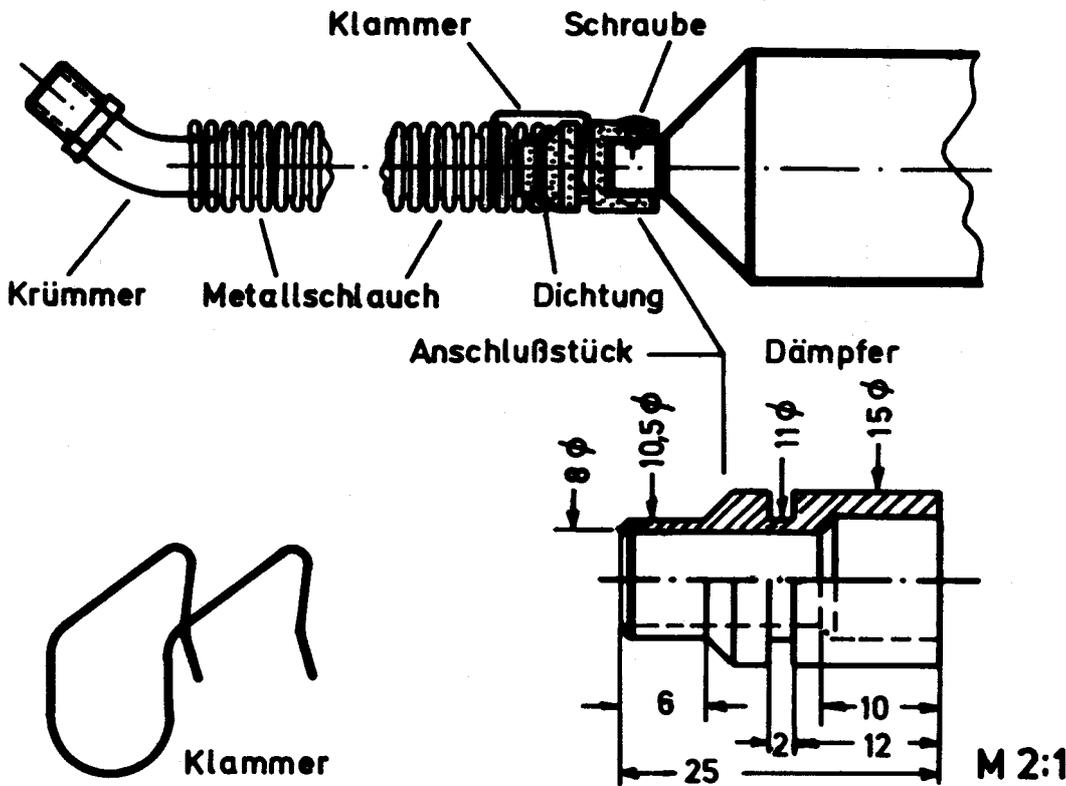
Wer noch Fragen zum Thema Enten hat, kann mich unter folgender Adresse erreichen (Rückporto nicht vergessen):

Dieter Schall  
 Stephanusstraße 16  
 5401 Lehmen

**Bauplan M 1:1 für JET-ENTE II durch den Modell-Bauplandienst, 24, – DM**

# Flexible Schalldämpferbefestigung

Winfried Granget



durchgesägt und ein Metallschlauchstück passender Länge mit Hartlot aufgelötet. Als Schalldämpfer verwendet ich entweder einen HB-Nachschalldämpfer, wie ihn die Fa. Graupner einmal im Programm hatte, oder einen Dämpfer der Fa. Webra für 15-cm<sup>3</sup>-Viertaktmotoren. Der „Webra“-Dämpfer muß noch auf 8 mm Durchmesser aufgebohrt werden. Das Anschlußstück ist ein Drehteil aus Aluminium, das mit Epoxi-Stahlkleber (Woodhill) auf den Schalldämpfer aufgeklebt und mit einer M2-Schraube gesichert wird. Anstatt der Schraube kann auch ein Drucktankanschluß verwendet werden. Die elastische Verbindung Metallschlauch – Schalldämpfer übernimmt eine Klammer, die aus 1-mm-Federstahl gebogen wird. Eine Dichtung zwischen Metallschlauch und Schalldämpfer kann aus hitzebeständigem ölfestem Dichtungsmaterial (KFZ-Zubehörhandel) ausgeschnitten werden.

Großvolumige Viertaktmotoren mit hoher Leistung müssen, um die Lärmvorschriften auf Modellflugplätzen erfüllen zu können, mit wirksamen Schalldämpfern ausgerüstet

werden. Auch sollte die Verbindung Krümmer – Schalldämpfer flexibel sein, um ein Abvibrieren des Krümmers zu vermeiden. Da nicht von allen Motorenherstellern wirksame

und flexible Schalldämpfersysteme angeboten werden, habe ich mir wie folgt geholfen. Ein handelsüblicher Auspuffkrümmer wird in der Mitte