



# Der maximale Auftriebsbeiwert eines Flügels mit Hochauftriebssystem abgeschätzt nach Handbuchmethoden





# Inhalt

- Rahmenbedingungen
- Berechnungsmethoden: Darstellung und Vergleich
- Zahlenbeispiele
- Zusammenfassung



# Rahmenbedingungen

- **Dimensionierung (Preliminary Sizing)**
  - Annahme höherer Auftriebsbeiwerte während **Start** und **Landung**
  - Flügelbeschreibung durch **Flügelfläche** und **Flügelstreckung**
- **Entwurf (Conceptual Design)**
  - **Bestimmung weiterer Flügelparameter (**clean wing**)**
    - Flügelschnitt
    - Flügelgrundriss
  - **Bestimmung des Hochauftriebssystems (Iteratives Vorgehen)**
    - Auswahl des Hochauftriebssystems
    - Festlegung der spannweiteige Erstreckung
    - Festlegung des Ausschlagswinkels (Vorflügeln und Klappen)

**Berechnung des maximalen Auftriebsbeiwert**



# Berechnungsmethoden

## Anwendbarkeit

- **DATCOM** kann angewandt werden auf:
  - Ungeschränkte Trapezflügel
  - Flügel mit über die Spannweite konstantem Profil
  - Flügel mit großer Streckung

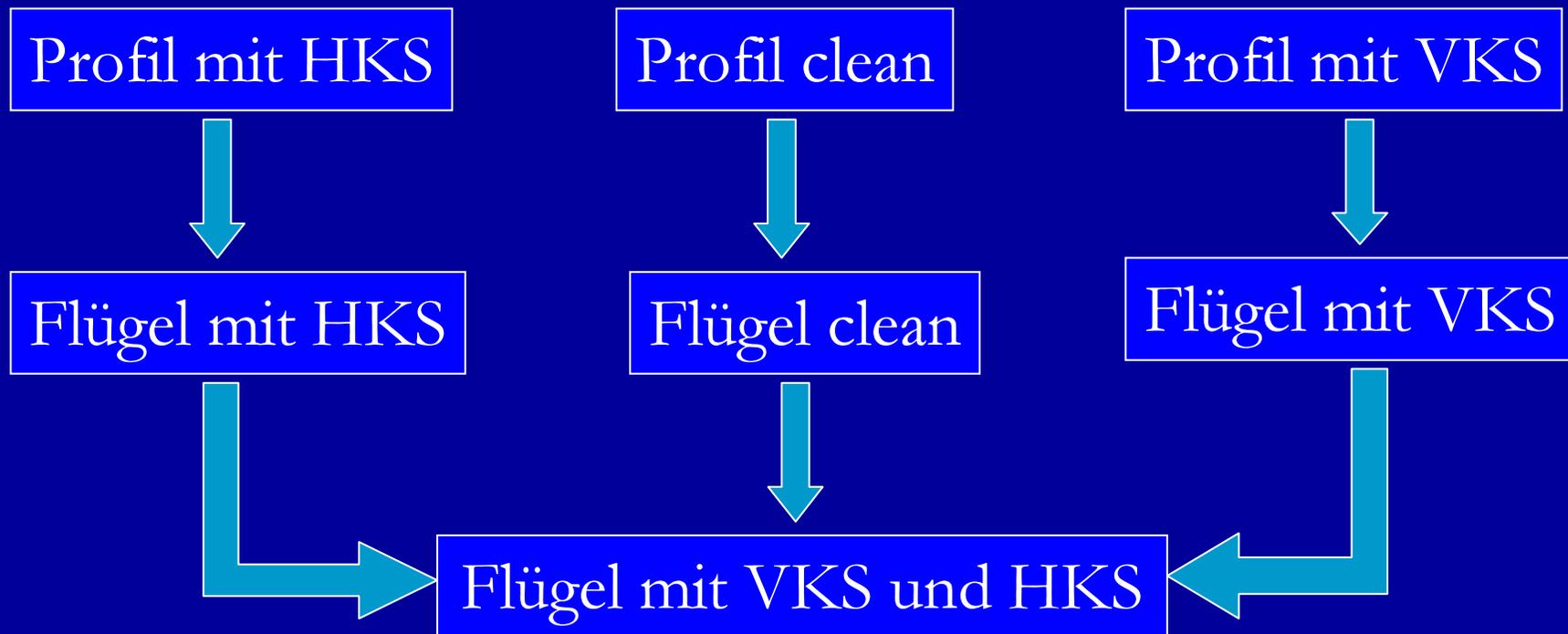
$$A > \frac{4}{(C_1 + 1) \cos \Lambda_{LE}}$$

- **ESDU** berücksichtigt:  
Verwindung, Streckung, Zuspitzung, Pfeilung und  
Änderung der Wölbung über der Spannweite



# Berechnungsmethoden

## Schema





## Maximaler Auftriebsbeiwert des Profils (**clean**)

### DATCOM

$$\begin{aligned} C_{lmax} = & \left( c_{lmax} \right)_{R=9 \times 10^6}^{f=0} + \Delta_1 c_{f \neq 0, t/c=0,3} \\ & + \Delta_2 c_{f \neq 0, t/c \neq 0,3} + \Delta_3 c_{R \neq 9 \times 10^6} \\ & + \Delta_4 c_{roughness} + \Delta_5 c_{Ma > 0,2} \end{aligned}$$

Hängt ab von:

- sharpness Parameter der Vorderkante
- Profildicke und Dickenrücklage
- Profilwölbung und Wölbungsrücklage
- Reynoldszahl
- Oberflächenrauigkeit
- Machzahl



## Maximaler Auftriebsbeiwert des Profils (**clean**)

### ESDU

$$C_{LmB} = (C_{L0} + \Delta C_L) F_S F_M$$

Erforderliche Parameter:

- Ordinate der Oberseite an der Stelle 1,25%
- Ordinate der Profiloberseite an der Stelle 1 und 5%
- Nullauftriebswinkel oder Profilkordinaten
- Auftriebsgradient (oder weitere Parameter)
- Profiloberseitenwinkel
- Reynoldszahl
- Machzahl



## Profil mit Hochauftriebssystem an der VK

---

### DATCOM

$$\Delta c_{lmax,s} = c_{l\delta max}^{theorie} \eta_{max}^{LER/(t/c)} \eta_{\delta}^{\delta_f \neq \delta_{opt}} \delta_f \frac{c'}{c}$$

**Es werden benötigt:**

- Verhältnis Klappen- zur Flügeltiefe
- Verhältnis Vorderkantenradius zur relative Profildicke
- Ausschlagswinkel
- Profiltiefe mit ausgefahrenen Klappen



## Profil mit Hochauftriebssystem an der VK

---

### ESDU

$$\Delta C'_{Lml} = 2K_e K_g K_l (\delta_l - \delta_0) \left[ 1 - \left( 1 - 2 \frac{c_{el}}{c'} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\Delta C_{Lml} = F_R (c'/c) \Delta C'_{Lml}$$

- Berechnung basierend auf der Profiltiefe mit ausgefahrenen Vorflügeln
- Umrechnung auf die Profiltiefe ohne Vorflügel



## Profil mit Hinterkantensystem

### DATCOM

$$\Delta c_{lmax,f} = K_1^{(c_f/c \neq 0,25)} K_2^{\delta \neq \delta_{ref}} K_3^{flap\ motion} \left( \Delta c_{lmax} \right)_{Base}^{c_f/c = 0,25}$$

#### Benötigte Parameter:

- Relative Profildicke
- Relative Klappentiefe
- Klappenausschlag



## Profil mit Normalklappen an der HK ESDU

$$\Delta C'_{Lmt} = K_G K_t T \Delta C'_{L0t}$$

$$K_G = 1,225 + 4,525 \frac{\rho_l}{t}$$

$$K_t = 0,8$$

$$T = (\Delta C'_{Lmt} / \Delta C'_{L0t})^{Theorie}$$

$$\Delta C'_{L0t} = 2j_p \delta_t \left\{ \pi - \cos^{-1} \left( 2 \frac{c_t}{c'} - 1 \right) + \left[ 1 - \left( 2 \frac{c_t}{c'} - 1 \right)^2 \right]^{1/2} \right\}$$



## Profil mit Spaltklappen an der HK

---

### ESDU

$$\begin{aligned}\Delta C'_{Lmt} &= (1 - c/c')(1 - \sin \delta_{t1})(C_{LmB})_d \\ &+ K_T K_{t1} J_{t1} \Delta C'_{L1} + K_T K_{t2} J_{t2} \Delta C'_{L2} \\ &+ K_T K_{t3} J_{t3} \Delta C'_{L3}\end{aligned}$$

- $(C_{LmB})_d$  wird ermittelt für die Referenzreynoldszahl  $R_d = 3,5 \times 10^6$
- Formel gültig für Einfach-, Doppel- und Dreifachspaltklappen



## Maximaler Auftriebsbeiwert des Flügels (**clean**)

### DATCOM

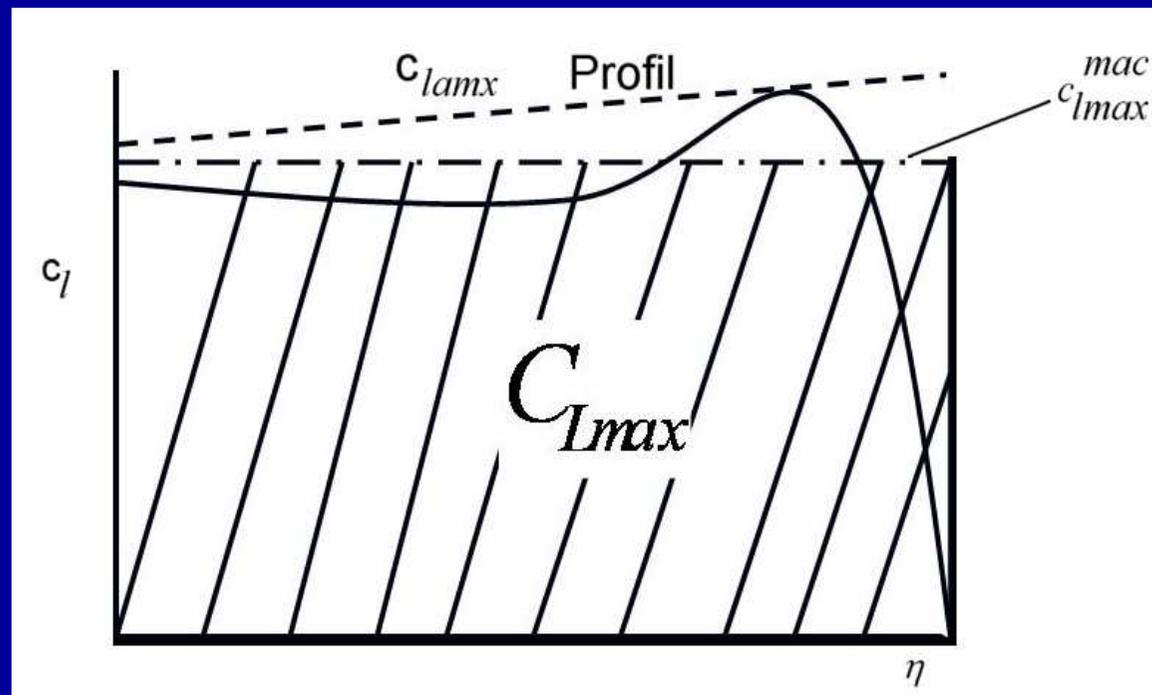
$$C_{Lmax, clean} = \left( \frac{C_{Lmax}}{c_{lmax}} \right) c_{lmax} + \Delta C_{Lmax}$$

- Ermittlung des maximalen Auftriebsbeiwerts des Profils mit der Profiltiefe „**mittlere aerodynamische Flügeltiefe**“
- Integration über die Spannweite
- Korrekturfaktor für die Machzahl  **$Ma > 0,2$**



# Maximaler Auftriebsbeiwert des Flügels (**clean**)

## DATCOM





## Maximaler Auftriebsbeiwert des Flügels (**clean**)

### ESDU

$$C_{Lmax} = \frac{C_{LmB}}{\mu_p} + \Delta C_{LM} + \Delta C_{LR} + \Delta C_{L\Lambda} + \Delta C_{LT}$$

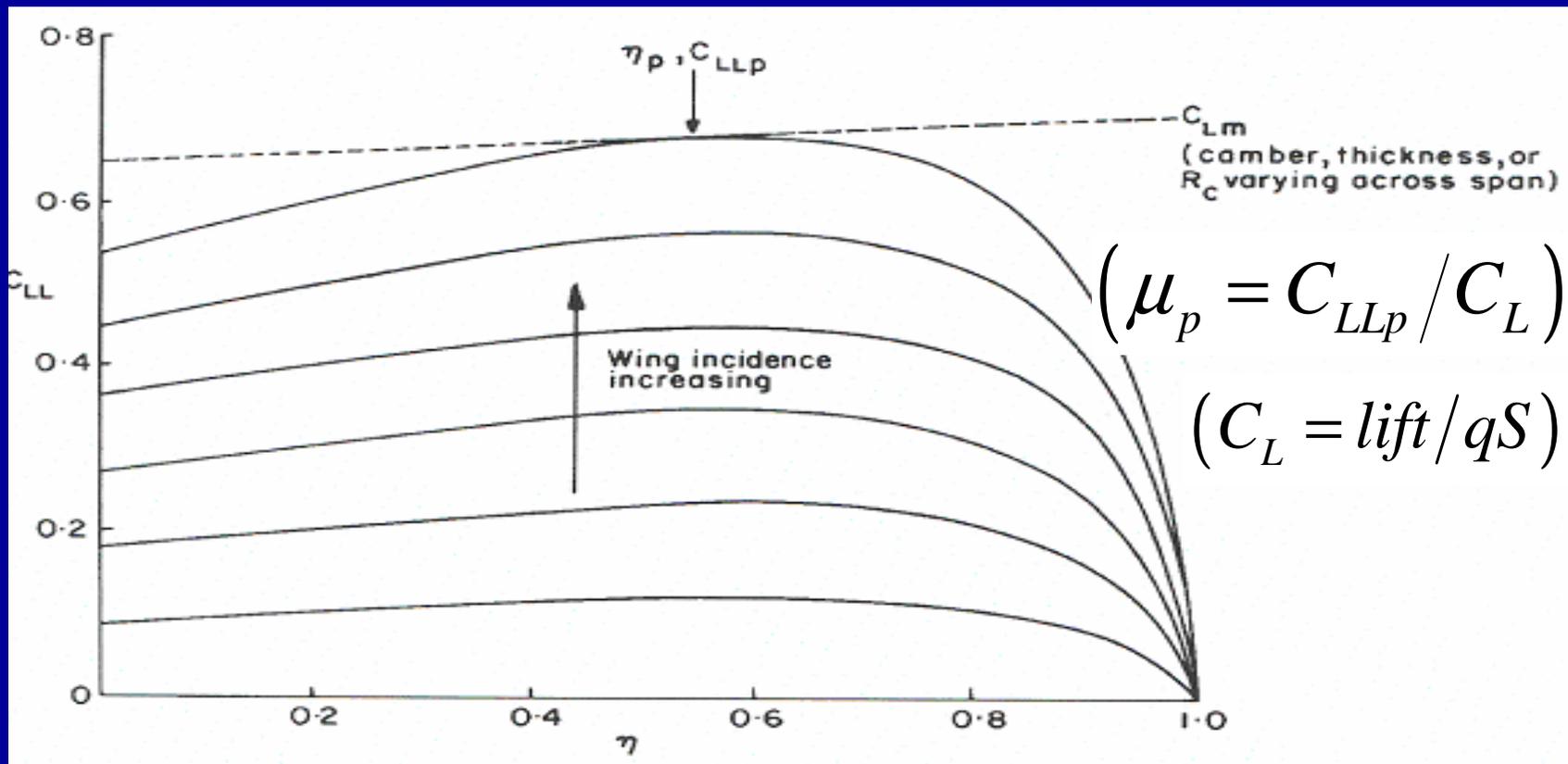
### Bedingung für $C_{LmB}$ :

- Profil mit der größten Anstellwinkelbelastung ( $\eta = \eta_p$ )
- Lokale zur Vorderkante **normale** Parameter



# Maximaler Auftriebsbeiwert des Flügels (**clean**)

## ESDU





## Flügel mit Hochauftriebssystem an der VK

---

### DATCOM

- **Benötigt:**

experimenteller maximaler Auftriebsbeiwert des  
Vorflügelprofils

- **Alternative:**

Abschätzung mit **1,28**

$$\Delta C_{Lmax,s} = 1,28 \left( \frac{c_f/c}{0,18} \right) \left( \frac{b_{slat}}{b_e} \right)^2 \cos^2 \Lambda_{c/4}$$



## Flügel mit Hochauftriebssystem an der VK

---

### ESDU

$$\Delta C_{Lmax} = F_R K_{Al} \left( \Delta C_{Lml} / \mu_p \right) \Psi_i$$

### Bedingung für $\Delta C_{Lml}$ :

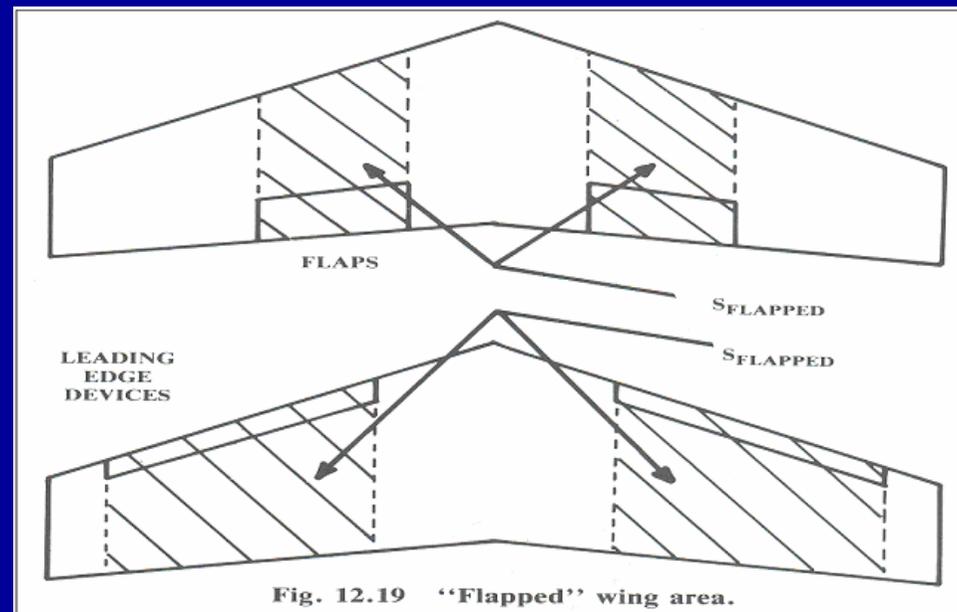
- Profil an der Stelle  $\eta = \eta_p$
- Zur Vorderkante **normale** Parameter
- Referenz Reynoldszahl  $R_d = 3,5 \times 10^6$



# Flügel mit Hochauftriebssystem an der HK

## DATCOM

$$\Delta C_{L_{max,f}} = \Delta c_{l_{max,f}} \frac{S_{wf}}{S_w} K_\Lambda$$





## Flügel mit Hochauftriebssystem an der HK

### ESDU

$$\Delta C_{L_{max}} = K_f K_{At} F_R \cos(\Lambda_{ht}) \left( \Delta C_{L_{mt}} / \mu_p \right) (\Phi_o - \Phi_i)$$

### Bedingungen für $\Delta C_{L_{mt}}$ :

- Wird berechnet für das Profil an der Stelle  $\eta = \eta_p$
- Parameter der Vorderkante normal hier zu
- Parameter der **Hinterkante** normal zur **Scharnierlinie**



# Flügel mit Vorflügeln und Hinterkantenklappen

## DATCOM

$$C_{Lmax} = C_{Lmax, clean} + \Delta C_{Lmax, s} + \Delta C_{Lmax, f}$$

### Über die Kombination: Vorflügeln - Hinterkantenklappen

- DATCOM: Keine Hinweise
- ESDU:
  - Berechnung basierend auf der resultierenden Profiltiefe bei ausgefahrenen Vorflügeln und Hinterkantenklappen
  - Umrechnung auf die Profiltiefe mit nicht ausgefahrenem Hochauftriebssystem



## Zahlenbeispiele

### Vorflügel und Einfachspaltklappen

Term	Ref.	DAT	DAT.Diff.	ESDU	ESD.Diff.
$C_{LmaxB}$	1,7	1,1149	-34 %	1,9723	+16 %
$\Delta C_{Lmaxl}$	0,4	0,6862	+72 %	0,2541	-36,5 %
$\Delta C_{Lmaxt}$	0,9	0,5440	-40 %	0,79335	-11,85 %
$C_{Lmax}$	3,0	2,345	-22 %	3,0198	+0,66 %



## Zahlenbeispiele

### Vorflügel und Doppelspaltklappen

Term	Ref.	DAT	DAT.Diff.	ESDU	ESD.Diff.
$C_{LmaxB}$	1,7	1,1149	-34 %	1,9684	+16 %
$\Delta C_{Lmaxl}$	0,4	0,6629	+66 %	0,2471	-37 %
$\Delta C_{Lmaxt}$	1,2	0,8247	-31 %	1,005	-16 %
$C_{Lmax}$	3,3	2,603	-21 %	3,2205	-2,4 %



# Zusammenfassung

---

## Doppelspaltklappen

### DATCOM

- Parameter 22
- Umrech. Par. 0
- Diagramme 17

### ESDU

- Parameter 27
- Umrech. Par. 91
- Diagramme 38