

Längsstabilität von Flächenflugzeugen oder “Im Irrgarten von Druck- und Neutralpunkt”

Outline

Relevante Bezugspunkte

Längsstabilität von Flächenflugzeugen

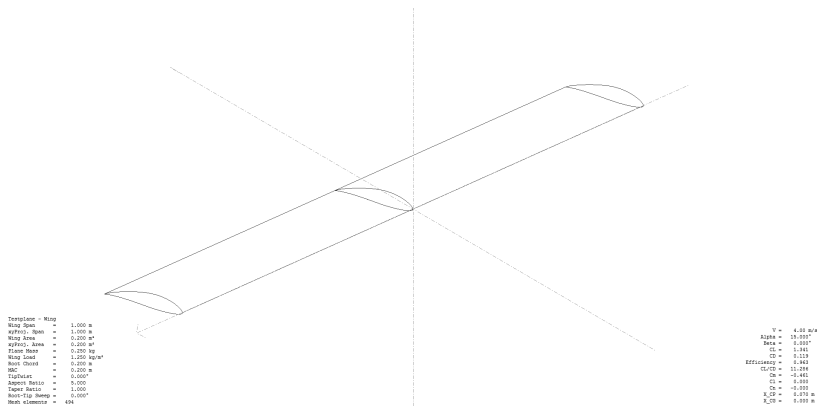
Sonderfall "Schwanzlose Flugzeuge"

Definitionen

1. Schwerpunkt (hier: Massenmittelpunkt):
 - ▶ Angriffspunkt der auf das Flugzeug wirkenden Schwerkraft
 - ▶ Natürlicher Bezugspunkt für auftretende Momente
2. Druckpunkt:
 - ▶ Momentenfreier Bezugspunkt
3. Neutralpunkt:
 - ▶ Punkt konstanten Moments (insbesondere bei Anstellwinkeländerung)

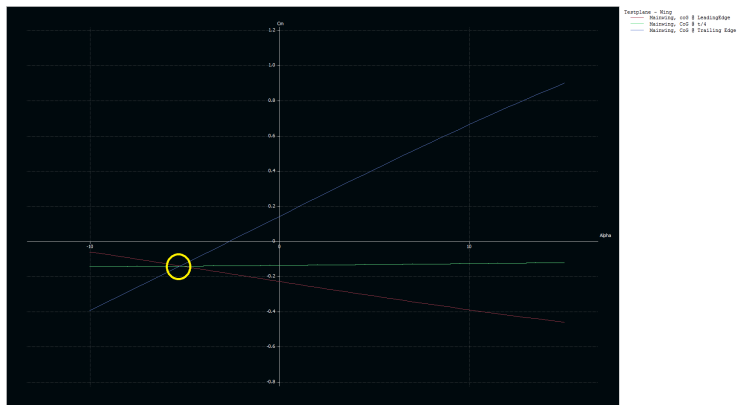
Neutralpunkt anschaulich - Vergleichsflügel

Einfacher Vergleichsflügel mit gewölbtem ($c_{m0} < 0$) Profil:



Neutralpunkt anschaulich - Momentenpolare

Momentenpolare (c_M über α) des Flügels bei Variation des Schwerpunkts:



Längsstabilität in Worten

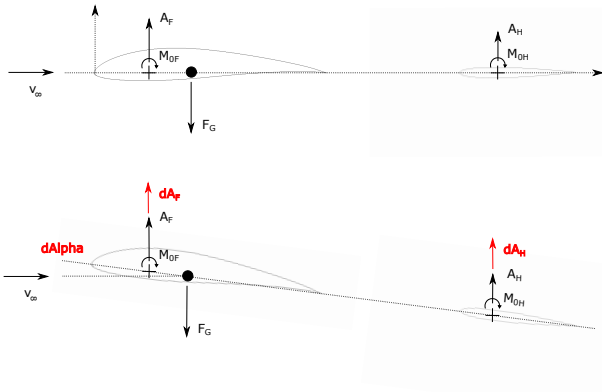
1. Statische Längsstabilität:

- ▶ Im getrimmten Zustand erzeugt das System aus Tragfläche und Höhenleitwerk eine nach oben gerichtete Luftkraft.
- ▶ Eine Abweichung vom Trimmwert des Anstellwinkels (z.B. Böe) bewirkt ein der Veränderung des Anstellwinkels entgegenwirkendes Moment um den Schwerpunkt.

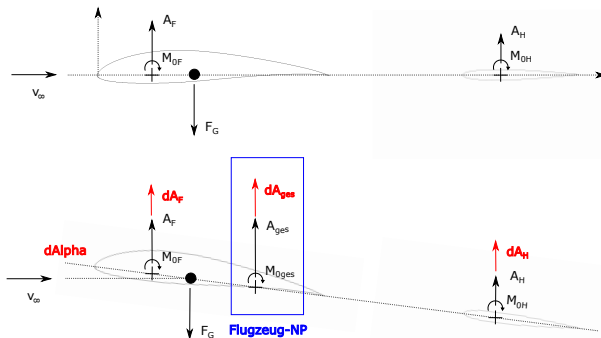
2. Dynamische Längsstabilität (im Folgenden nicht weiter behandelt):

- ▶ Nach einer Abweichung vom getrimmten Zustand kehrt das Flugzeug selbstständig (d.h. ohne Ausschlag von Steuerflächen) in endlicher Zeit in den getrimmten Zustand zurück.

Momentenbilanz



Momentenbilanz - Flugzeugneutralpunkt



- Hinreichende Bedingung für $\frac{\partial c_M}{\partial \alpha} < 0$: Flugzeugneutralpunkt liegt hinter dem Schwerpunkt!

Momentenbilanz - rechnerisch

Momentenbilanz im getrimmten Zustand:

$$\Sigma M_{CoG} = A_F(x_{CoG} - x_{NF}) - A_H(x_{NH} - x_{CoG}) + M_{0F} + M_{0H} \stackrel{!}{=} 0$$

.. in Beiwerten:

$$c_{AF}\left(\frac{x_{CoG} - x_{NF}}{l_\mu}\right) - c_{AH}\left(\frac{x_{NH} - x_{CoG}}{l_\mu}\right) + c_{M0F} + \underbrace{c_{M0H}}_{\approx 0} \stackrel{!}{=} 0$$

... aufgelöst nach c_{AH} :

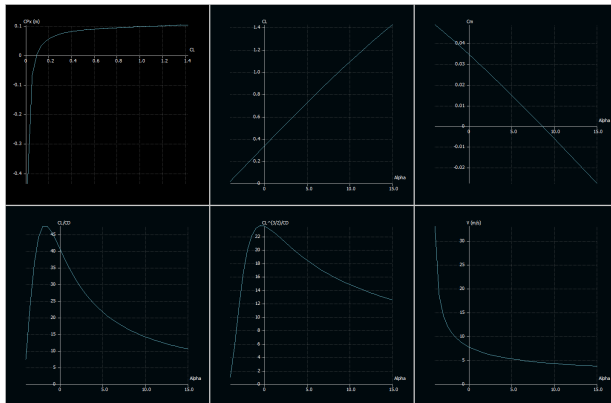
$$c_{AH} = \underbrace{\left(\frac{l_\mu}{x_{NH} - x_{CoG}}\right)}_{>0} \underbrace{\left[c_{AF}\left(\frac{x_{CoG} - x_{NF}}{l_\mu}\right)\right]}_{>0} + \underbrace{c_{M0F}}_{<0}$$

- ▶ c_{AH} positiv für: $c_{AF}\left(\frac{x_{CoG} - x_{NF}}{l_\mu}\right) > -c_{M0F}$
- ▶ Am HLTW auftriebsbegünstigend wirkende Faktoren¹:
 - ▶ hoher Gesamtauftriebsbeiwert: $c_{AF} \uparrow$
 - ▶ Schwerpunktrücklage: $\left(\frac{x_{CoG} - x_{NF}}{l_\mu}\right) \uparrow$
 - ▶ Geringe Profilwölbung am Flügel: $c_{M0F} \uparrow$

¹Achtung: Vereinfachte Darstellung - die Faktoren sind allesamt gekoppelt.

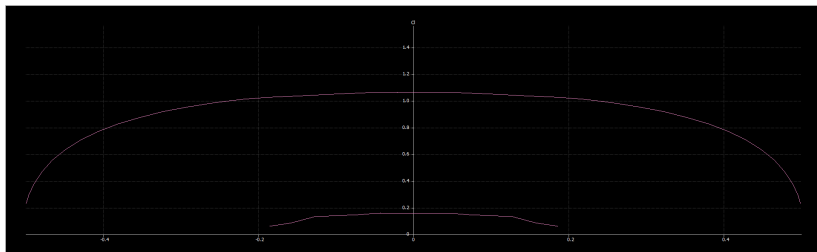
Vergleichsflügel wie vorher + Höhenleitwerk im getrimmten Zustand:

Schneller Blick auf die Polare

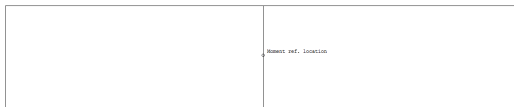


Testplan
Vergleichsflugzeug, getrimmt, fixed lift

Auftriebsbeiwertsverteilung am Vergleichsflugzeug



Testplane
 Wing Span = 1.000 m
 x_{FWD} , Span = 1.000 m
 Wing Area = 0.200 m²
 x_{FWD} , Area = 0.200 m²
 Plane Mass = 0.250 kg
 Wing Load = 1.250 kg/m²
 Tail Volume = 0.694
 Root Chord = 0.200 m
 MAC = 0.200 m
 TipChord = 0.000
 Aspect Ratio = 5.000
 Taper Ratio = 1.000
 Root-Tip Sweep = 0.000°
 Mesh elements = 592



V = 4.49 m/s
 Alpha = 0.000°
 Beta = 0.000°
 Cl = 0.940
 CD = 0.057
 Efficiency = 0.980
 Cl/CD = 16.502
 Cm = 0.000
 Cl = 0.000
 Cd = 0.000
 X_CD = 0.004 m
 X_CD = 0.094 m

- Sowohl Hauptflügel als auch Höhenleitwerk liefern einen positiven Auftriebsbeitrag!

Belastetes Höhenleitwerk - Wünschenswert?

Auftrieb am HLTW: $c_{AH} > 0$

- ▶ Liefert Beitrag zu Gesamtauftrieb
- ▶ Achtung:
Höhenleitwerk "schlechterer
Auftriebserzeuger"

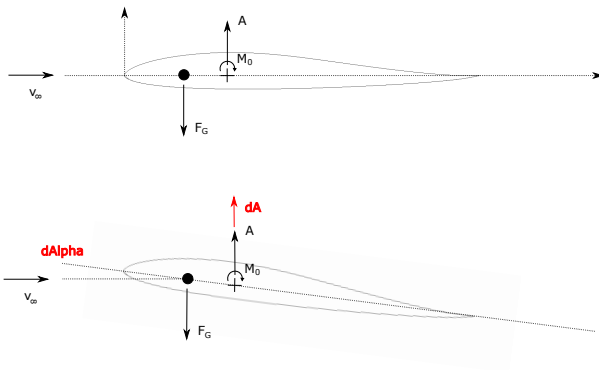
Abtrieb am HLTW: $c_{AH} < 0$

- ▶ Auftriebskomponente in Flugrichtung ("Schub")
- ▶ Achtung:
Minimiert Maximalauftrieb
 c_{Amax}

Zusammenfassung: Äquivalente Aussagen

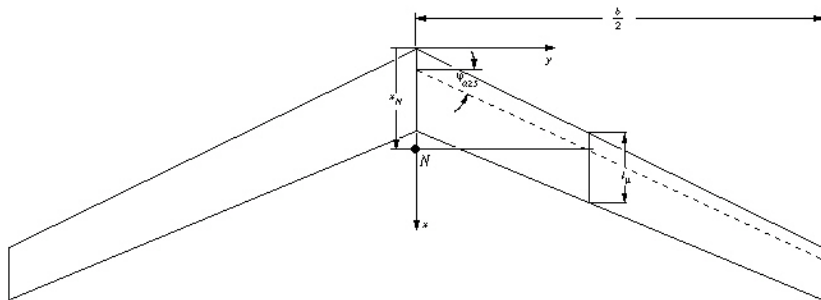
1. Eine Abweichung vom Trimmwert des Anstellwinkels (z.B. Böe) bewirkt ein der Veränderung des Anstellwinkels entgegenwirkendes Moment um den Schwerpunkt.
 - = Der Flugzeugneutralpunkt liegt hinter dem Schwerpunkt.
 - = Das Stabilitätsmaß ist positiv.
 - = Die Nicksteifigkeit ist negativ.
 - = Der Druckpunkt wandert bei Auftriebserhöhung nach hinten.
2. Im getrimmten Zustand erzeugt das System aus Tragfläche und Höhenleitwerk eine nach oben gerichtete Luftkraft.
 - = Das Nullmoment des Flugzeugs ist positiv.

Möglichkeit 1: $c_{m0} > 0$ Profil ("S-Schlag")



- Problem: Profilpolare "weniger effizient"

Möglichkeit 2: Gepfeilter Flügel



- ▶ Verhältnisse sind äquivalent zu konventioneller Konfiguration.
- ▶ In der Regel sehr effizient im Auslegungspunkt!