

# EWD, Längs-Stabilität und all das

...ein nicht endendes Thema.

## Anhänge

### Formelzeichen

F	Fläche
b	Spannweite
$\lambda$	Zuspitzung einer Fläche (Tragflügel oder Leitwerk) Bei Einfach-Trapezen ist $\lambda = l_a/l_i$
$\Lambda$	Streckung $b^2/F$
$l_\mu$	Mittlere (aerodynamische) Flügeltiefe; sie ist etwas größer als die mittlere geometrische Flügeltiefe $(l_a+l_i)/2$ .
$l_a$	Flügeltiefe außen; bei Mehrfachtrapez-Flügeln werden an den Knickstellen die Flächentiefen gemessen und von 0 (innen) an ansteigend durchnummeriert.
$l_i$	Flügeltiefe innen
$\varphi_{25}$	Pfeilungswinkel der 25%-Linie (siehe Bild links); eine Pfeilung nach hinten ist positiv.
$l_{ac}$	Entfernung zwischen den Neutralpunkten von Tragfläche und Höhenleitwerk (bei Canards negativ)
$\alpha$	Anstellwinkel; hier wird der Anstellwinkel zur Vereinfachung zwischen der Anströmrichtung und der Nullauftriebsrichtung gemessen.
$\alpha_0$	Nullauftriebswinkel: Winkel zwischen der Sehne eines Profils und der Anströmrichtung, bei der das Profil keinen Auftrieb liefert.
$c_a$	Kennzahl, die im Wesentlichen den Anstellwinkel an einem Profil charakterisiert (stark vereinfachte Beschreibung 😊); $c_a=0$ gilt beim Nullauftriebswinkel
$C_A$	$c_a$ auf die Geometrie des Flügels umgerechnet (wird hauptsächlich durch die Streckung, aber auch durch die Form des Tragflügels beeinflusst). Es ist immer $C_A < c_a$
$C_m$	Kennzahl für das Nickmoment, das vom Profil erzeugt wird.
$C_{m0}$	$C_m$ , das bei Nullauftrieb gemessen wird; wenn man den Auftrieb als im Neutralpunkt des Profils angreifend annimmt, ist $C_m$ gleich $C_{m0}$ konstant.
$C_M$	$C_m$ auf den Flügel umgerechnet
$\alpha_{wcr}$	Gibt an, welcher Anteil des Flügel-Anstellwinkels hinter dem Flügel als Abwind wirksam ist.
$\alpha_w$	Abwindwinkel
$k_C$	Anteil (Fläche) des Trag-Flügels, der vom Abwind des Canard-Flügels beeinflusst wird (siehe Skizze links)
$x_F$	Distanz zwischen Flügelnase (innen) und dem Flügel-Neutralpunkt
$x_{FH}$	Distanz zwischen Höhenleitwer-Nase und dem Neutralpunkt des Höhenleitwerkes
$x_N$	Distanz zwischen Flügelnase (innen) und dem Flugzeug-Neutralpunkt
$x_S$	Distanz zwischen Flügelnase (innen) und dem festgelegten Schwerpunkt
$x_{FS}$	Distanz zwischen Flügel-Neutralpunkt und Schwerpunkt
$x_{SH}$	Distanz zwischen Schwerpunkt und Neutralpunkt des Höhenleitwerkes
$x_D$	Distanz zwischen Flügelnase (innen) und dem Druckpunkt, dem gedachten Angriffspunkt aller Auftriebskräfte des Tragflügels

Der zusätzliche Index "H" bezeichnet die entsprechende Größe jeweils für das Höhenleitwerk.

### Vokabeln

Einige oft benutzte Ausdrücke sollte ich vielleicht noch auflisten, weil sie in Diskussionen immer wieder zu hören sind (dann können Sie mitreden... 😊):

- **Druckpunkt:** Da der oben erwähnte "Kraftwinder" nicht besonders anschaulich ist verwendet man auch oft den "Druckpunkt": Dies ist der Angriffspunkt für die Auftriebskraft des Tragflügels. Wenn Sie nochmal (1) beachten: Wenn das Modell schneller fliegt steigt  $q$  quadratisch an.  $A_F$  bleibt gleich, denn der Flügel muß ja nur das Gewicht des Flugzeuges tragen (das Flugzeug "fliegt mit einem kleineren  $c_a$ "). Anders sieht es bei (2) aus:  $q$  steigt,  $C_M$  bleibt gleich (Profileigenschaft, siehe oben), das Nickmoment  $M_F$  steigt also an. Gleicher Auftrieb, steigendes Nickmoment heißt aber, der Druckpunkt "wandert nach hinten". Gleichung (13) ermöglicht die Berechnung der Druckpunktlage,



$$x_D = x_N - \frac{l_\mu \cdot C_{m0}}{c_a} \quad (13)$$

aber die ist eigentlich nur interessant, jedoch nicht wichtig. Beispiel: Ein Flugzeug mit einem RG15 mit  $c_{m0}=-0.068$  fliege mit  $c_a=0.9$ , da ist dann der Druckpunkt bei  $l_{\mu}=0.066/0.9=ca. 7.3\%$  von  $l_{\mu}$  hinter dem Flügel-Neutralpunkt. Bei schnellerem Flug mit  $c_a=0.2$  ist der Druckpunkt 33% von  $l_{\mu}$  hinter dem Flügel-Neutralpunkt.

- **(Normiertes) Leitwerksvolumen:** Die Größe  $F_H \cdot x_{FH}$  kommt gelegentlich vor (z.B. in (11)) und wird als typische Kenngröße von Flugmodellen einer gewissen Klasse betrachtet. Da als Benennung  $m^3$  herauskommt glauben einige Leute, daß man sich das leichter merken kann, wenn man "Volumen" dazu sagt (ich nicht). Es ist eine "Fläche mal Hebelarm". In (11) (Berechnung des Flugzeug-Neutralpunktes) ist es egal, auf welche Weise das Leitwerk-Volumen zustandekommt: durch eine große Leitwerk-Fläche oder durch einen langen Hebelarm. Auch bei der EWD-Berechnung kommt es weniger auf die einzelnen Komponenten Fläche oder Leitwerksträger-Länge an, sondern auf deren Produkt (probieren Sie's an Zahlenbeispielen aus). Das Leitwerk-Volumen wirkt stabilisierend. Wenn man es jetzt noch durch das (destabilisierende) Tragflächenvolumen  $F \cdot l_{\mu}$  dividiert, dann kann man mit anderen Flugmodellen vergleichen: Modelle einer gewissen Kategorie (z.B. mit Tragflächen-Profilen mit einer gewissen Wölbung) haben überwiegend ein  $F_H \cdot x_{FH} / F \cdot l_{\mu}$  (normiertes Leitwerksvolumen) innerhalb eines gewissen Bereiches. Beispiel: Dieter Schall gibt für Normal-Segelflugmodelle den Bereich 0.4 bis 0.7, selten bis 0.9 an; der Sambal XXL hat als Ausreißer nur 0.3.
- **Unterschneiden:** Leider wird in deutsch geführten Diskussionen dieser Begriff für verschiedene Dinge benutzt:
  - Das Höhenleitwerk kann im Schnellflug das Nickmoment des Tragflügels nicht mehr ausgleichen; der Konstrukteur hat den  $c_{aH}$ -Bedarf für das Höhenleitwerk (Formel (12)) nicht ausreichend berücksichtigt. Das Modell kippt schneller nach unten als man es wahrnehmen kann. Ich habe sowas 'mal beim Pacheiner, 5m vor den Zuschauern, im Tiefstflug gehört (sehen tut man's nicht) und dann dem Piloten beim Ausgraben geholfen. Sowas kommt gottseidank nicht allzu häufig vor.
  - Das Modell ist instabil ausgewogen, der Schwerpunkt befindet sich hinter dem Flugzeug-Neutralpunkt. Im Sturzflug richtet sich das Modell nicht von selbst auf sondern kippt immer weiter nach unten. Da unsere Theorie sehr vereinfacht ist kann es durchaus sein, daß so ein Modell im Normalflug noch irgendwie beherrschbar erscheint (ganz bestimmt nicht sehr stabil, aber manche meinen, das sei das wahre Fliegen...).  
Es ist meines Wissens nicht richtig, diesen Flugzustand mit "Unterschneiden" zu bezeichnen.
  - Gelegentlich hört man auch schon "Unterschneiden" für das simple Abnicken eines Modelles, wenn es ganz einfach hoffnungslos kopflastig ausgewogen ist.
- **Mitteneffekt (Hartmut Siegmann, genannt Sigg, seines Zeichens Nurflügel-Mod im [rc-network Forum](#), mag das garnicht, er hätte lieber, daß wir "**Pfeilungseffekt**" dazu sagen...):** Bei gepfeilten Flügeln stellt sich eine merkwürdige 3-dimensionale Strömung ein: Einerseits fließt auf der Oberseite des Flügels die flügelnahe Grenzschicht nach außen ab (und wird sehr oft mit Grenzschichtzäunen daran gehindert, siehe bei Sigg), andererseits fällt in der Mitte der Auftrieb geringer aus, als durch Flächentiefe etc. zu erwarten wäre (und das ist der Mitten-Effekt ('zeihung, Sigg)); das heißt, daß weiter weg von der Flügeloberfläche, außerhalb der Grenzschicht, die Strömung auf der Oberseite nach innen gerichtet ist. Das sollte uns alle davon abhalten, Flächen zu pfeilen, wenn es nicht unbedingt sein muß...

### Literatur, Verweise

[1] Carl Traenkle: Flugmechanik II - Stabilität und Steuerung, Minerva Publikation Saur GmbH, 3-597-00002-9

[2] Bertermann: Konstruktion von RC-Segelflugmodellen, VTH 1983, 3-8880-105-7

[3] Dieter Schall: Formeln für den Flugmodellbau, div. Ausgaben von Modellflug International, 1986; in diesem MFI-Jahrgang hat er auch gemeinsam mit Gerd Hildmann die Auslegung von Canard-Modellen besprochen.

[4] Dieter Schall's Graphische Methode zur Canard-Berechnung FMT-Kolleg

[5] Franz Perseke: Das Segelflugmodell (1), Neckar Verlag 1979, 3-7883-0154-5 und (3), 1984, 3-7883-0197-X

[6] Martin Hübner: Die rechnerische Ermittlung des Neutralpunktes, FMT-Kolleg

[7] Dr. Martin Hepperle: [Basic Design of Flying Wing Models](#).

[8] Hartmut Siegmann's Seiten [aerodesign](#) für Nurflügel-freaks und andere, die Spaß wollen.

[9] [PJB's Seriously Aeronautical Stuff](#): Wer Balsastaub mag oder sonstwie ein traditionsbewußter Flugmodellbauer ist wird sich bei Paul wohlfühlen (Englischkenntnisse vorausgesetzt).