

# THEORIE

## DER SCHWERPUNKT UND SEINE FOLGEN

# UND PRAXIS

Im zweiten Teil dieser Berichterstattung steigt Markus Müller noch tiefer in die Aerodynamik ein. Gerade für die so wichtige Schwerpunktbestimmung hat er mit „cgCalc“ ein gewichtiges Hilfsmittel entwickelt.

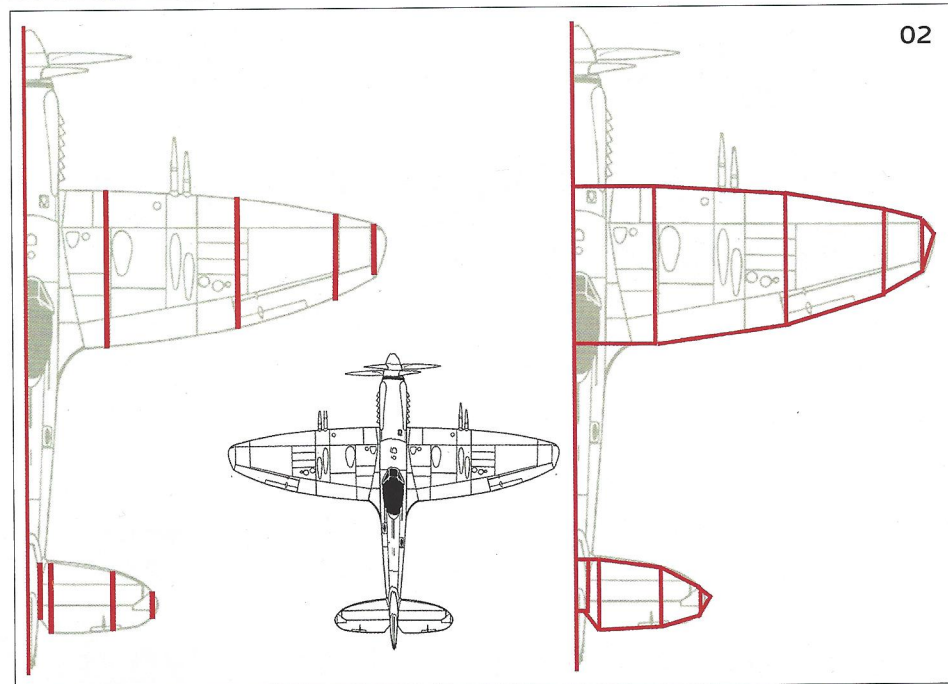
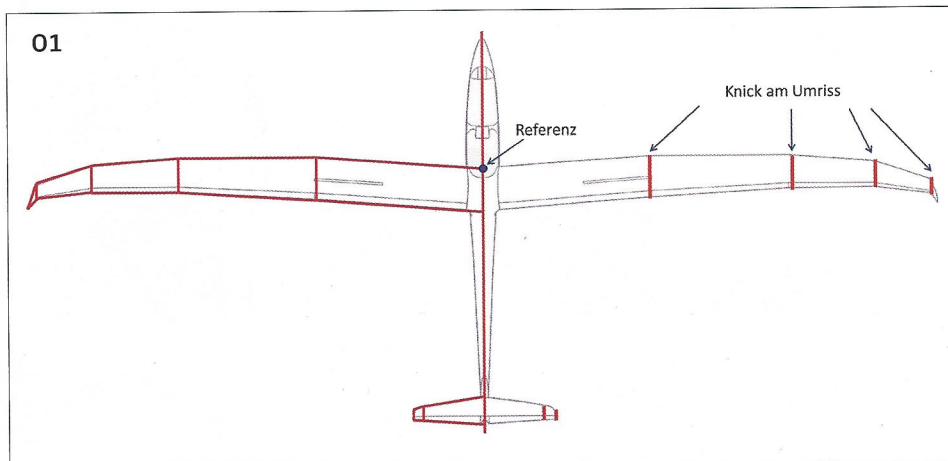
In der vorigen Ausgabe von **AUFWIND** haben wir theoretisch die zeichnerische Bestimmung des Schwerpunktes eines Flügels sowie die rechnerische Bestimmung vom Neutralpunkt und den daraus abgeleiteten Schwerpunkt mit zugehöriger Stabilitätsreserve aufgezeigt. Glücklicherweise gibt es Berechnungshilfen, die uns die beschwerliche Schwerpunktbestimmung auf einfache Weise abnehmen. Anhand einiger einfacher Messgrößen am Modell lässt sich das schnell und zuverlässig bewerkstelligen.

„cgCalc“ ist der Schwerpunktrechner von [www.eCalc.ch](http://www.eCalc.ch), den wir nachfolgend zu Rate ziehen und genauer erörtern werden.

Mit „cgCalc“ lässt sich der Schwerpunkt nicht nur von konventionellen Flugzeugen mit einfachem Hauptflügel und Leitwerk ermitteln, sondern auch von komplexen Flügelformen, unterschiedlichen Leitwerksarten (V- und T-Leitwerk), Deltas und Nurflüglern sowie auch von Entenflüglern. Die Schwierigkeit in der Anwendung solcher Hilfsmittel ist einerseits die zuverlässige Bestimmung der nötigen Masse und andererseits die korrekte Annäherung und Abbildung einer komplexen Flügelform.

Als Erstes legen wir die Maßeinheit fest (Default: cm) und überlegen uns, wie wir unseren Flügel geschickt in mehrere trapezförmige Segmente unterteilen (vgl. **Bild 1**). „cgCalc“ unterstützt eine Annäherung einer komplexen Flügelform in maximal fünf Segmenten. Dazu betrachten wir den Umriss unseres Flügels von oben und achten auf „Knicke“ in der Ein- und Austrittskante. An diesen Stellen zeichnen wir eine Parallele zur Rumpfsehne. Bei geschwungenen Umrissen müssen somit „künstliche“ Segmente gebildet werden (vgl. **Bild 2**). Die Endpunkte der Parallelen werden nun zu Trapezen verbunden. Die gleiche Technik wenden wir nicht nur auf den Flügel, sondern auch auf das Leitwerk an.

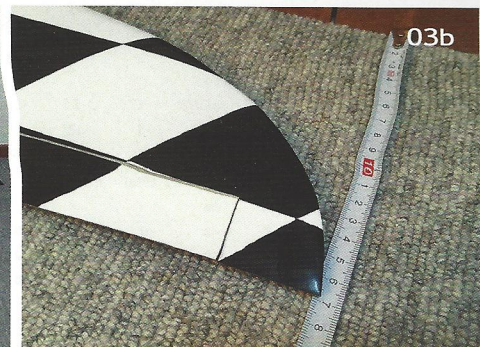
Die einzelnen „imaginären“ Trapeze gilt es nun möglichst exakt auszumessen. Wir benötigen von jedem Segment die zugehörige Tiefe (T), Breite (W) und Pfeilung (S). Erfahrungsgemäß lässt sich dies am einfachsten ausmessen, in dem man die Flügelwurzel rechtwinklig zu



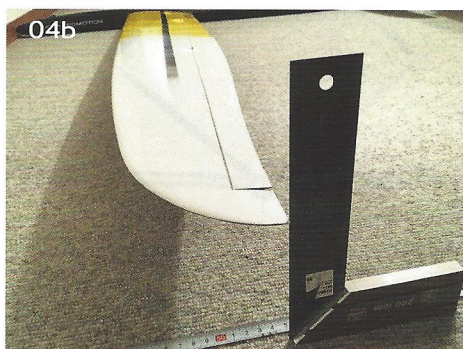
**Bild 01** | Die Flügelsegmente des „Arcus“ **Bild 02** | Flügelsegmente einer „Spitfire“

einer Wand oder Leiste ausrichtet (vgl. **Bild 3a**). Sollte der Flügel nicht abnehmbar sein, kann alternativ auch das ganze Modell rechtwinklig ausgerichtet werden (vgl. **Bild 4a**). Flügel, bzw. Modell sind exakt rechtwinklig ausgerichtet, wenn das linke und rechte Flügelende den gleichen Abstand zur Wand aufweisen (vgl. **Bild 3b und 4b**). Ist alles schön ausgerichtet, beginnen wir mit der Vermessung der einzelnen Maße.

Wir starten am Referenzpunkt, der verborgenen Eintrittskante an der Rumpfsehne, und messen die Wurzeltiefe R (vgl. **Bild 9**). Danach arbeiten wir uns schrittweise nach außen vor und vermessen die Segmenttiefen T1 bis T5, Segmentbreite W1 bis W5 und Pfeilung S1 bis S5. Wird die Pfeilung am gesamten Modell vermessen, gilt es zu berücksichtigen, dass S nur indirekt gemessen werden kann. Von dem effektiv gemessenen



**Bild 03a+03b** | Flügel rechtwinklig zur Wand **Bild 04a+04b** | Das ganze Modell rechtwinklig zur Wand  
**Bild 05** | Segmente und Pfeilung ermitteln



gaben entsprechenden Resultate präsentiert. Überprüfen Sie, ob die skizzierte Flügelform (vgl. Bild 7) und die Spannweite mit dem effektiv vermessenen Modell übereinstimmen. So können einfach grobe Eingabefehler erkannt werden. „cgCalc“ berechnet auf der Basis der in AUFWIND 2/2017 dargelegten Methodik das aerodynamische Zentrum (AC) der Flügel. Durch die Hebelverhältnisse wird der Neutralpunkt des Modells ermittelt und durch Zugabe der Stabilitätsreserve – üblicherweise 10 ... 15 Prozent – erhalten wir schließlich die Schwerpunktempfehlung von 7,06 bis 8,03 Zentimeter ab Eintrittskante. Als Vergleich: Choco-Fly empfiehlt für den „Attacko 2.9“ einen Schwerpunkt von 72 bis 81 Millimeter.

Der optimale Schwerpunkt muss schließlich erfolgen werden. Zur Sicherheit Ihres Modells beginnen Sie die Erprobung immer mit konservativen Schwerpunktangaben mit einer Stabilitätsreserve zwischen 15 und 5 Prozent für ein gutmütiges Flugverhalten. Optimieren Sie die Position des Schwerpunkts nur in kleinen Schritten von Flug zu Flug. Setzen Sie für Erstflüge jedoch den Schwerpunkt nie hinter dem vermeintlichen Neutralpunkt an!

„cgCalc“ ist ein mächtiges Hilfsmittel, mit dem sich selbst komplexeste Formen abbilden und berechnen lassen. Es stellt wählbare „Lernhilfen“ auf der Seite in Form von Abbildungen zur Verfügung, welche die Vielfalt der Möglichkeiten und spezifische Aspekte aufzeigen. Für ein gutes Ergebnis möchte ich noch folgende Tipps mit auf den Weg geben:

**Negative Pfeilung:** Der Arcus aus Bild 1 weist an der Flügelwurzel durch die nach vorne geneigte Eintrittskante eine negative Pfeilung auf. Beim Ausmessen solcher Flächen ist wichtig, dass stets die (imaginäre) Eintrittskante in der Rumpfmittle als Null-beziehungswise Referenzpunkt verwendet wird. Somit ergeben sich bei Flügelsegmenten mit negativer Pfeilung auch negative Eingabewerte für die Pfeilung S.

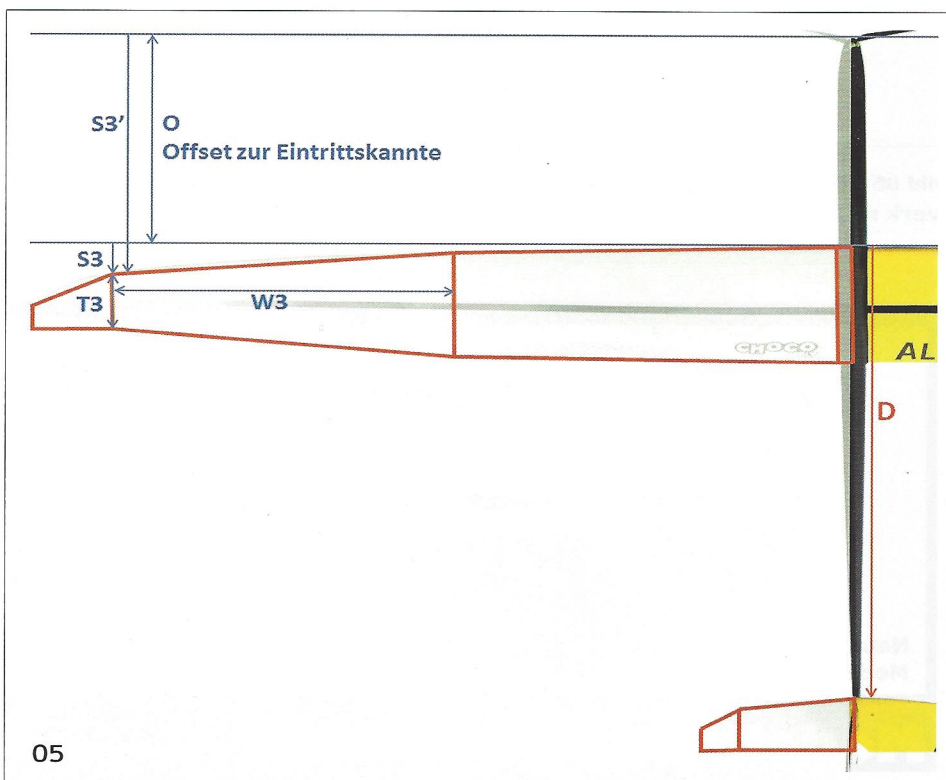
**V-Form:** bei V-Leitwerken, Winglets oder auch Flügel-Designs mit sehr ausgeprägter V-Form sollte als Segmentbreite W lediglich die auf die Horizontale projizierte Breite eingesetzt werden (vgl. Bild 8).

**Delta:** Bei Flugzeugen mit einem Delta-Flügel (z.B. Mirage 2000) werden genauere Ergebnisse erzielt, wenn die Eintrittskante wie in Bild 9 imaginär im Rumpf verlängert wird.

Abstand S von der Wand muss der Offset O zur rumpfmittigen Eintrittskante (Referenz) abgezogen werden. Zum Beispiel:  $S_3 = S_3 - O$  (vgl. Bild 5).

Segment für Segment des Hauptflügels und des Leitwerks werden entsprechend vermessen und in die tabellarische Darstellung von „cgCalc“ übertragen. Sind wie bei unserem Beispiel weniger als fünf Segmente nötig, werden die verbleibenden Segmentbreiten einfach mit Null definiert. Ferner ist die Distanz (D) zwischen den Eintrittskanten des Hauptflügels und Leitwerks zu ermitteln. Nun müssen noch die Art des Leitwerks mit dessen Effizienz, wie auch die gewünschte Stabilitätsreserve festgelegt werden.

Anhand unseres exemplarischen Beispiels am „Attacko 2.9“ (vgl. AUFWIND 4/2016) von Choco-Fly ergeben sich daraus die Eingaben aus Bild 6. Schnell und bequem erhalten wir so die den Ein-



05

Flugzeug- oder Projektname: **Attacko 2.9 (CG 75mm)**

Einheiten: **cm**

**06**

<b>Flügel</b>					
Wurzeltiefe [R]:	23.3	cm			
Segmenttiefe [T1-T5]:	23.3	- 21.2	- 12.5	- 5.5	- 0
Pfeilung [S1 - S5]:	0	- 1.3	- 5	- 12	- 0
Segmentbreite [W1 - W5]:	3.	- 58	- 66	- 18	- 0
<b>Leitwerk:</b>	normales Leitwerk (80%) • (Effizienz)				
Wurzeltiefe [R]:	12	cm			
Segmenttiefe [T1-T5]:	8	- 2	- 0	- 0	- 0
Pfeilung [S1 - S5]:	3	- 9	- 0	- 0	- 0
Segmentbreite [W1 - W5]:	22	- 6	- 0	- 0	- 0

Distanz EK Flügel - Leitwerk [D]: **90.5** cm (negativer Wert für Entenflügler)

AC Position: **25** % of MAC (Standard: 25%)

Stabilitätsreserve: **15.0 ... 10.0** % of MAC (Empfehlung: 15% bis 5%)

**Resultate:**

Flugzeug Schwerpunkt SP [•]: **7.06 ... 8.03** cm (= 25.73 ... 30.73% MAC)

Flügel AC [•]: **6.82** cm (= 25% MAC)

Flügel MAC @ Distanz: **19.38** cm @ 62.26 cm

Flügelspannweite: **290.00** cm

Flügelfläche: **5269.00** cm<sup>2</sup>

Flügelstreckung: **15.96**

Flugzeug Neutralpunkt NP [•]: **9.96** cm (= 40.73% MAC)

Leitwerk AC [•]: **4.28** cm (= 25% MAC)

Leitwerk MAC @ Distanz: **9.59** cm @ 11.96 cm

Leitwerkspannweite: **56.00** cm

Leitwerkfläche: **500.00** cm<sup>2</sup>

Leitwerkstreckung: **6.27**

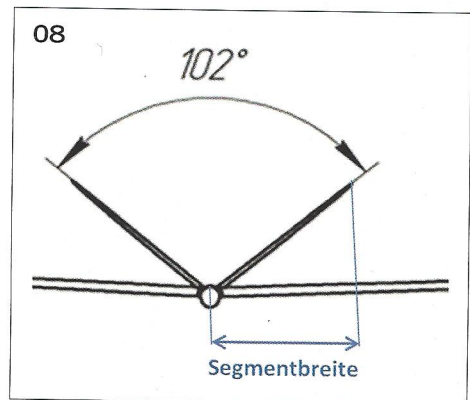
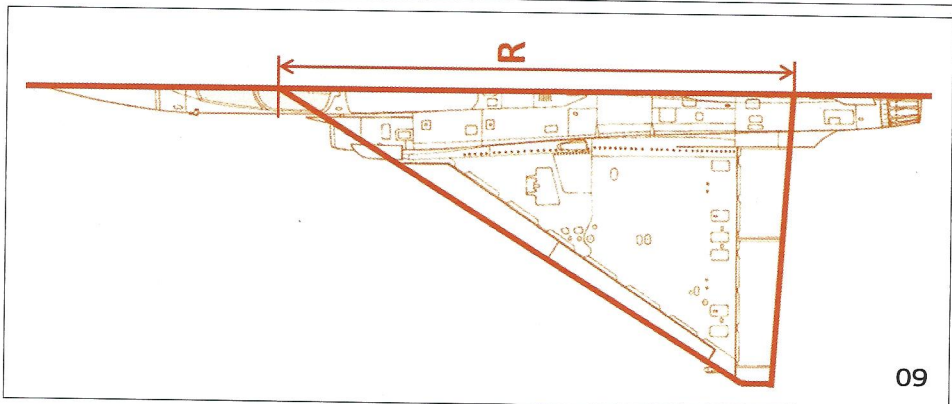
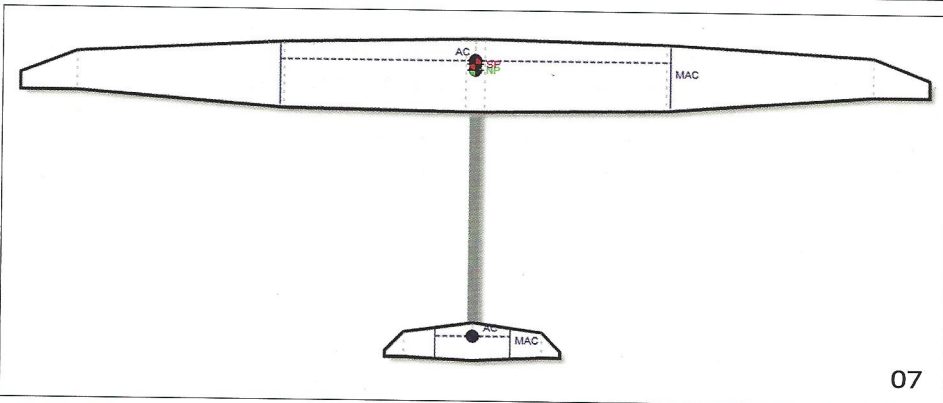
(sind weniger als 5 Segmente notwendig, definieren Sie die Segmentbreite = 0, von rechts beginnend mit W5)

**Entenflügler:** Für Entenflügler wird vorausgesetzt, dass das Leitwerk kleiner als der Hauptflügel ist. Bei der Eingabe der Daten ist darauf zu achten, dass die Distanz zwischen (Haupt-) Flügel und Carad (Leitwerk) als negativer Wert angegeben wird. Damit wird signalisiert, dass der Canard VOR den Flügel zu liegen kommt.

**Ein solches Programm** hat trotz allem auch Grenzen und Limits: Flügelanordnungen mit mehreren Hauptflügeln (z.B. Doppeldecker) können nicht direkt berechnet werden. Es werden keine aerodynamischen Leistungsanalysen gemacht, wodurch etwa der Einfluss der Propelleranströmung, Auftriebswirkung von bulligen Rumpfen (z.B. „SU-26“) oder einer suboptimalen Einstellwinkeldifferenz (EWD) unberücksichtigt bleiben. Ferner ist bei mehrmotorigen Modellen mit Triebwerksgondeln oder Jets mit Einlässen nahe oder unterhalb der Eintrittskante deren unberücksichtigte Tendenz zur Destabilisierung nicht zu unterschätzen. In diesen Fällen kann man sich mit einer erhöhten Stabilitätsreserve behelfen.

Eine rechnerische Überprüfung vor dem Erstflug ist lohnenswert und schützt vor unliebsamen Überraschungen. Schon manch erfahrener Modellpilot hatte seine liebe Mühe sein Baby auf dem Erstflug heil runterzubringen – nicht zuletzt auch wegen fehlenden oder falschen Schwerpunktangaben.

Markus Müller  
www.eCalc.ch



**Bild 06** | Die Maße eines „Attacko 2.9“ von Choco-Fly **Bild 07** | Das stilisierte Modell mit Flügelform **Bild 08** | V-Leitwerk mit projizierter Segmentbreite W **Bild 09** | Segment bei Deltaflügel

**8 verschiedene Modelle mit auswechselbaren Filtergläsern**

**Neu: Modell "Toledo"**

# Polarised sunglasses for RC

Flying Circus Events  
Bärenweg 19  
D-71296 Heimsheim  
Tel. 07033-3069912  
Mobil 0171-3420718

**Modellfliegerbrille.de** Damit Sie nicht nur gut aussehen! Zum Schutz Ihrer Augen ... und Ihres Modells!