

Der Vogel soll das Fliegen lernen

Wenn man vom „Einfliegen“ redet, wird man sehr bald feststellen, daß fast jeder Modellflieger mit diesem Begriff eine andere Vorstellung verbindet. Immerhin wurde von den Theoretikern des Modellfluges einmal eine Methode entwickelt, an der nichts weiter auszusetzen wäre, als daß sie reichlich zeitraubend ist. Wenn wir nach ihr verfahren wollen, nehmen wir uns vor, das Modell ohne gewollten (und ungewollten!) Flächenverzug einzufliegen und zunächst einmal nichts zu verändern als die Schwerpunktlage und die Einstellwinkeldifferenz. Wir werden dabei feststellen, daß die Schwerpunktlage die Längsstabilität beeinflusst, während die Größe der Sinkgeschwindigkeit fast nur von der Einstellwinkeldifferenz abhängig ist. Durch diese klare Abgrenzung der Begriffe ist schon die Folge der Versuche, die zum Einfliegen gehören, gegeben. An dieser Stelle sei noch einmal auf die Begriffe „Anstellwinkel“, „Einstellwinkel“ und „Einstellwinkeldifferenz“ hingewiesen (Abb. 1).

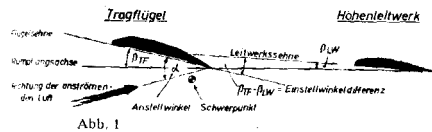


Abb. 1

Die Einstellwinkel werden zwischen der Profilschne (Unterkannte) und der Rumpflängsachse gemessen. So ist

α_{TF} = Einstellwinkel des Tragflügels
 α_{LW} = Einstellwinkel des Höhenleitwerks

Für uns ist ihre Differenz wichtig, also der Winkel

$\alpha_{TF} - \alpha_{LW}$ = Einstellwinkeldifferenz zwischen Tragflügel und Höhenleitwerk.

Bei einer bestimmten Einstellwinkeldifferenz und Schwerpunktlage stellt sich das Modell mit einem Anstellwinkel α gegen die anströmende Luft ein. Von diesem α hängt dann die Leistung direkt ab.

Beste Leistung durch Veränderung der Einstellwinkeldifferenz

Bei einer unveränderlichen und zunächst auch reichlich beliebigen Schwerpunktlage wird der Einstellwinkel am Leitwerk so oft verändert, bis die beste Leistung erfliegen ist. Dazu legt man zunächst unter die Nasenleiste des Leitwerks ein so dickes Stückchen Balsa, daß das Modell auch dann nicht mehr zum Überziehen neigt, wenn man es im Handstart zu stark abstößt. Damit haben wir die kleinste verwertbare Einstellwinkeldifferenz festgelegt. Die größeren Einstellwinkeldifferenzen erhält man durch Unterlegen von dünneren Balsastückchen.

Jedesmal, wenn man die Bedingungen des Versuches auf solche Weise verändert hat, stellt man im Verlauf von mehreren Meßflügen die Flugzeit fest. Das kann z. B. aus einer Höhe von 20 m, also mit 18 m Schnur, erfolgen. Eine solche Versuchsreihe sieht dann in Tabellenform etwa so aus:

Tabelle der Meßdaten:

Einstellwinkel α Dicke des unter- gelegten Balsastücks	Flugzeit aus 20 m Höhe in Sekunden Fünf Meßflüge:				
	1.	2.	3.	4.	5.
5 mm unter Nasenleiste	43	46	44	46	45
4 mm unter Nasenleiste	56	55	57	54	55
3 mm unter Nasenleiste	60	63	65	62	63
2 mm unter Nasenleiste	68	65	69	67	67
1 mm unter Nasenleiste	71	69	70	72	68
gar nichts untergelegt	69	70	64	65	67
1 mm unter Endleiste	62	59	59	58	60
2 mm unter Endleiste	51	49	55	58	54

Die gemittelten Meßwerte dieser Versuchsreihe trägt man in ein Koordinatenkreuz ein, so daß man schließlich ein Diagramm wie in Abb. 2 erhält.

Nachdem alle Möglichkeiten der Trimmung ausprobiert worden sind, zeigt die ermittelte Kurve den Bestpunkt, der die Einstellwinkeldifferenz angibt, mit der das Modell seine geringste Sinkgeschwindigkeit erreicht. Auch wenn man glaubt, den Bestpunkt schon erreicht zu haben, muß man trotzdem noch weiter zur „langsamen“ Seite trimmen, d. h. in Abb. 2 nach rechts zu den größeren Einstellwinkeldifferenzen. Nur wenn die Leistung, die bisher gesteigert werden konnte, bei noch größerer Einstellwinkeldifferenz wieder eindeutig abnimmt, läßt sich die Lage des Bestpunkts mit Sicherheit bestimmen. Das Eintrimmen muß übrigens bei ruhigem Wetter vorgenommen werden, weil das Modell leicht unterschneidet oder zum Pumpen neigt, wenn es mit großer Abweichung vom Bestpunkt fliegt.

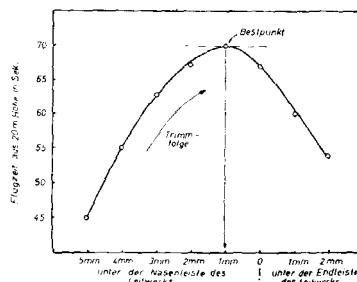


Abb. 2

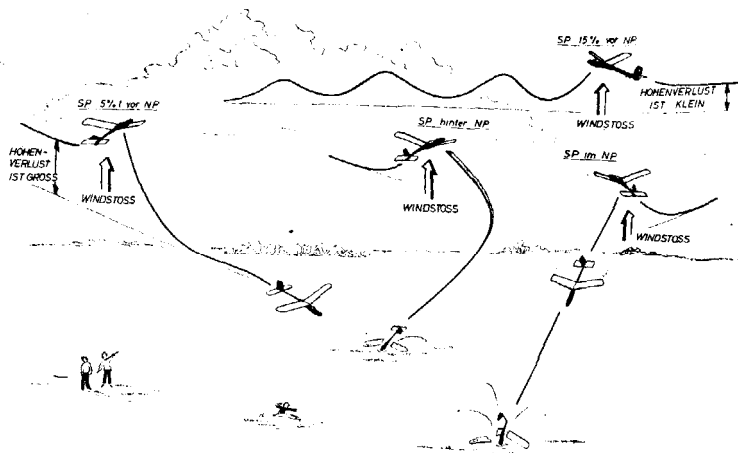


Abb 3 Das Verhalten des Modells ist verschieden, je nachdem wo der Schwerpunkt (SP) im Verhältnis zum Neutralpunkt (NP) liegt. Liegt der Schwerpunkt im Neutralpunkt, so haben wir indifferentes Gleichgewicht, davor stabiles und dahinter labiles Gleichgewicht

Beste Längsstabilität durch Veränderung der Schwerpunktlage

Jetzt wird die Sache schwieriger. Indem wir anfänglich die Einstellwinkeldifferenz bei fester Schwerpunktlage veränderten, erreichten wir, daß sich auch der Anstellwinkel des Modells der Luft gegenüber in der ruhigen Gleitfluglage änderte. Den Anstellwinkel, den wir im Ergebnis unserer Versuchsreihe einmal als den besten erkannt haben, müßte das Modell von nun an immer beibehalten, damit es auch weiterhin im Bestpunkt fliegt. Bei einer anderen Schwerpunktlage verändert das Modell aber seinen Anstellwinkel bei ruhigem Gleitflug. Es fliegt nun also nicht mehr im Bestpunkt. Legen wir z. B. den Schwerpunkt nach vorne, so geht das Modell etwas auf den Kopf, d. h. sein Anstellwinkel verringert sich. Es fliegt jetzt, nachdem wir ja die Einstellwinkeldifferenz unverändert ließen, nicht mehr im Bestpunkt, sondern etwas davor.

Um die Bestpunktlage wieder herzustellen, muß deshalb nach jeder Veränderung der Schwerpunktlage eine Trimmreihe mit den verschiedenen Einstellwinkeln der ersten Versuchsreihe durchgeführt werden.

Man kommt nicht darum herum, daß man bei Segelflugmodellen den Bereich von 40-90% der Flügeltiefe und bei Motormodellen vielleicht sogar bis zu 100%, jeweils in Abständen von etwa 5% der Flügeltiefe, durchmißt. Das ergibt im ganzen etwa 12 Messreihen, so daß wir jetzt das Ausmaß unserer Arbeiten einigermaßen überblicken können. Allerdings wird die Angelegenheit noch dadurch erschwert, daß der Bestpunkt der Längsstabilität nicht so einfach zu erkennen ist wie der der Leistung. Würde

man schon im voraus, wenigstens so ungefähr, die beste Schwerpunktlage wissen, so käme man mit einem wesentlich kleineren Bereich, der durchgemessen werden muß, aus (etwa 15% der Flügeltiefe).

Im übrigen kann es sich herausstellen, daß eine Veränderung der Schwerpunktlage u. U. eine noch etwas größere Leistung im Bestpunkt liefert, als zu Beginn der Versuche, was vor allen Dingen dann der Fall sein wird, wenn man die Messungen mit einer sehr ungünstigen Schwerpunktlage begonnen hat.

Wie kann man die Methode vereinfachen?

Die erste Trimmreihe mit den verschiedenen Einstellwinkeldifferenzen kann uns niemand ersparen. Wir suchen ja den Anstellwinkel, bei dem unser eigenes Modell seine beste Leistung erreicht, und dafür gibt es nur wenige allgemein gültige Regeln. Er hängt bekanntlich von dem speziellen Profil ab, das wir im Tragflügel verwendet haben und wird auch ein wenig von den anderen, ganz individuellen Eigenschaften der Modellkonstruktion beeinflusst. Auch wenn wir nach einem vereinfachten Verfahren zum Einfliegen suchen, müssen wir trotzdem die Trimmversuche mit den verschiedenen Einstellwinkeldifferenzen durchführen.

Für die Schwerpunktlage gibt es Regeln

Die richtige Schwerpunktlage soll uns bekanntlich die beste Längsstabilität erbringen. Wenn man aber verschiedene, sorgfältig ausprobierte Modelle darauf untersucht, wo ihr Schwerpunkt liegt, stellt es sich heraus, daß er bei dem einen in 40% der Flügeltiefe und bei einem anderen vielleicht sogar bei 90% liegt. Auf der ver-

zweifeln Suche nach einer Gesetzmäßigkeit könnte jemand, ganz verschmitzt, auf eine Patentlösung kommen, bei der er sich aus einer größeren Anzahl von Modellen eine mittlere Schwerpunktlage von vielleicht $\frac{2}{3}$ der Flügeltiefe ausrechnet und diese dann als allgemein verbindlich und besonders günstig erklärt. Ich würde davon abraten.

Der Weg liegt neben der Sackgasse

Den richtigen Weg haben die Amerikaner wo anders gefunden. Besonders die Arbeiten von Henry Cole haben uns der Lösung des Problems nahe gebracht.

Jeder Modellflieger weiß, daß er den Schwerpunkt in seinem Modell nicht beliebig weit zurückverlegen kann. Er muß jetzt nur noch erfahren, daß es für jedes Modell eine genau bestimmbare rückwärtige Grenze für den Schwerpunkt gibt, die man aus wenigen Angaben (vgl. Abb. und Tabelle) ziemlich einfach berechnen kann. Die rückwärtige Grenze für den Schwerpunkt ist ein Punkt mit folgender Eigenschaft: Verlegt man den Schwerpunkt dahinter, so tritt Instabilität ein, in deren Folge das Modell abstürzt. Verlegt man den Schwerpunkt davor, so ist ein stabiler Flug möglich. Die Amerikaner haben den somit definierten Punkt „aerodynamic centre“ genannt. In der deutschen Literatur wird der Ausdruck mit „aerodynamisches Zentrum“ oder treffender mit „Neutralpunkt“ übersetzt (Abb. 3).

Der Neutralpunkt erspart uns Mühen

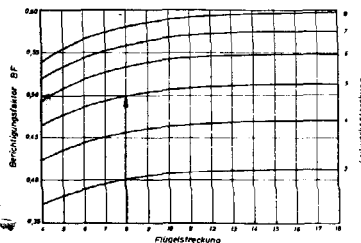
Es ist daher klar, daß der Schwerpunkt auf jeden Fall vor dem Neutralpunkt liegen muß, dessen Berechnung nicht allzu schwer fällt. Haben wir erst einmal die Lage des Neutralpunktes, z. B. auf 70% der Flügeltiefe bestimmt, so muß folglich der Schwerpunkt mit der günstigsten Längsstabilität weiter vorne als bei 70% der Flügeltiefe liegen.

Die Theorie über den Neutralpunkt sagt aber noch mehr über die günstigste Schwerpunktlage.

Die Längsstabilität hängt nämlich davon ab, wie weit der Schwerpunkt vor dem Neutralpunkt liegt.

Dieses „Wie weit“ könnte man errechnen (was reichlich kompliziert ist). Man kann es auch statistisch erfassen. Wir wollen aber auf die Einzelheiten nicht allzu nahe eingehen und begnügen uns damit, ein paar Werte mitzuteilen, die man in der Praxis verwenden kann.

Abb. 4



Schritt 4:

$$\text{Streckung} = \frac{\text{Spannweite} \cdot \text{Spannweite}}{\text{Fläche}}$$

$$\text{Flügelstreckung} = \frac{14 \cdot 14}{24,7} = 8$$

$$\text{Leitwerkstreckung} = \frac{6,5 \cdot 6,5}{8,5} = 5$$

Schritt 5: Damit aus dem Diagramm: Bemessungsfaktor BF = 0,50.

Schritt 6:

$$\text{Abstand } y = \frac{\text{Leitwerkfläche} \cdot \text{Leitwerkabstand} \cdot \text{BF}}{\text{Flügelfläche}} = \frac{3,5 \cdot 6,1 \cdot 0,50}{24,7} = 1,05 \text{ dm}$$

Nur ist die Lage des Neutralpunkts als Entfernung hinter dem ersten Viertel der mittleren (h. durchschnittlichen) Flügeltiefe vermerkt, an könnte sie auch direkt in % der Flügeltiefe angeben. Es ist dann:

Eine Faustregel für die Praxis

Bei Segelflugmodellen legt man den Schwerpunkt um 15% der Flügeltiefe vor den Neutralpunkt. Stark gewölbte und spitznasige Profile neigen bei 15% manchmal zum Unterschneiden. In solchen Fällen sollte man den Schwerpunkt um 20% der Flügeltiefe vor den Neutralpunkt legen.

Bei Motormodellen kann man von der gleichen Regel ausgehen. Man muß jedoch bedenken, daß an ihnen zwei verschiedene Flugzustände, nämlich Kraftflug und Gleitflug, zu unterscheiden sind, die jeweils ganz andere Anforderungen an die Flugstabilität stellen. Hier wird der notwendige Motorsturz um so kleiner, je näher der Schwerpunkt an den Neutralpunkt herangelegt wird. Bei der amerikanischen Version eines „power contest model“ mit einem sehr großen Höhenleitwerk und sehr geringem Motorsturz liegt deshalb der Schwerpunkt bis auf etwa 5% vor dem Neutralpunkt.

Ein Beispiel aus der Praxis

Segelflugmodell „Bussard“ von G. Sämann

Haben wir beispielsweise mit dem Diagramm unserer Abb. 4 den Neutralpunkt bei 80% der Flügeltiefe ermittelt, so ist die für die Längsstabilität günstigste Schwerpunktlage von

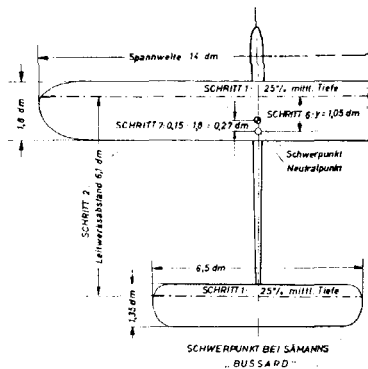


Abb. 5

Segelflugmodellen bei 65% und von Motormodellen bei 70-75% der Flügeltiefe. Zur Berechnung werden lediglich eine Zeichnung des Modells (Abb. 5), etwa im Maßstab 1:10, und das Diagramm (Abb. 4) benötigt.

Rechengang zur Bestimmung der Schwerpunktlage

Schritt 1: An Flügel und Leitwerk wird das erste Viertel der mittleren Tiefe bezeichnet.

Schritt 2: Dazwischen mißt man den Leitwerkabstand = 6,1 dm.

Schritt 3: Leitwerkfläche = 8,5 dm², Flügelfläche = 24,7 dm².

$$\text{Lage des Neutralpunkts in \% der Flügeltiefe} = \frac{\text{Leitwerkfläche} \cdot \text{Leitwerkabstand} \cdot \text{BF} \cdot 100}{\text{Flügelfläche} \cdot \text{Flügeltiefe} + 25}$$

Schritt 7: Der Neutralpunkt liegt um den Abstand y hinter dem 1. Viertel der Flügeltiefe. Man legt den Schwerpunkt um 15% der mittleren Flügeltiefe vor den Neutralpunkt. Bei Wettbewerbsmodellen der Klassen L und I rückt der Schwerpunkt bis auf 5% der mittleren Flügeltiefe an den Neutralpunkt heran. Der Motorsturz wird dann geringer! Beim Einfliegen wird der Schwerpunkt nicht mehr verändert, auch nicht beim Kurvenflug! Man legt so lange Balsastückchen unter die Nasen- oder Endleiste des Leitwerks, bis ein guter Gleitflug erreicht ist. Dann hat das Modell die beste Leistung.

Falls jemand mit der Anleitung nicht zurecht kommt, ist der Verfasser gerne bereit, nähere Erläuterungen zu geben. Die Redaktion wird alle Zuschriften, die mit Rückporto versehen sind, weiterleiten.

K. P. Beuermann