

# Über das Einfliegen von Flugmodellen

## Der Klassiker von Max Hacklinger

**Das Einfliegen oder "Trimmen" einer Neukonstruktion ist von entscheidender Bedeutung für die späteren Flugerfolge eines Modells. Mancher Wettbewerbssieg wurde nicht deshalb errungen, weil das Siegermodell seiner Konstruktion nach den anderen überlegen war, sondern aus dem viel einfacheren Grund, es war vollkommen eingeflogen. In der überwiegenden Mehrzahl begnügen die Modellflieger sich damit, durch Trimmen einen stabilen Flug zu erreichen und freuen sich, wenn sie an dem fertigen Flugmodell nur noch wenig zu ändern brauchen (besonders in England sind "straight from the board" fliegende Modelle sehr populär). Durch Zufall kann ein solches mit der ursprünglichen Trimmung fliegendes Modell auch mit der geringsten Sinkgeschwindigkeit fliegen, aber dies bleibt ein Sonderfall.**

In der Regel muss die günstige Einstellung nicht nur durch Versuchsflüge, sondern durch ganze Versuchsreihen ermittelt werden, und ein so vorgenommenes Einfliegen ist eine ernsthafte und intensive experimentelle Arbeit, bei der durch Variation verschiedener Faktoren eine ganze Anzahl miteinander verbundener Wirkungen hervorgerufen wird. Je weiter der Bereich ist, den diese Versuchsreihen erfassen, umso sicherer ist man später bei plötzlich eintretenden extremen Flugbedingungen vor Überraschungen. Wie kann ein Modellflieger wissen, wann sein Modell unterschneidet, wenn es von Anfang an mit ein und derselben Einstellung geflogen wird? Der andere, der den gesamten Schwerpunktsbereich durchgetrimmt hat, weiß, wie empfindlich sein Flugmodell auf Änderungen reagiert, seien es nun Änderungen der Luftströmungen oder Änderungen an der Einstellung des Flugmodells.

Das Einfliegen eines Flugmodells ist ein Schulbeispiel dafür, dass das, was innerhalb eines bestimmten Bereiches geschieht, nur von dem klar übersehen werden kann, der die Grenzen dieses Bereiches aufgesucht hat — ein Erkenntnis, die nicht nur für

den Modellflug, sondern ganz allgemein gilt.

Die wenigen Modellflieger, die sich eingehender mit dem Einfliegen beschäftigen, also einen größeren Anstellwinkel- und Schwerpunktsbereich erfassen, arbeiten fast ausschließlich ohne bewusste Systematik. Das sind jene, die über eine ausgeprägte Beobachtungsgabe verfügen, damit schon kleine Veränderungen im Flugbild des hochgestarteten Modells erkennen und über einen reichen Erfahrungsschatz solcher gut eingetragener Flugbilder verfügen. Vom Standpunkt der Aerodynamik betrachtet, ist auch dies noch eine vage Methode, aber die Wettbewerbserfahrung hat gezeigt, dass sie die bisher bei weitem Erfolgreichste ist; wie lange noch, das hängt von der Entwicklung der Stabilitätstheorie für Flugmodelle ab, die sich in wesentlichen Punkten von der des Großflugzeuges unterscheidet.

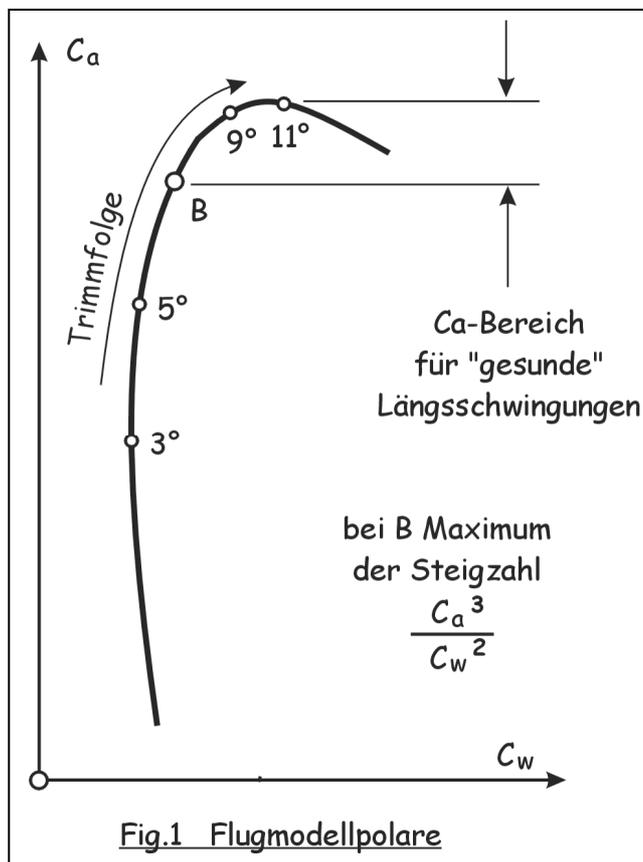
Das Ziel des vorliegenden Aufsatzes ist es nun, einen Beitrag zu leisten zum Problem des "vollkommenen" Einfliegens, der Einfliegmethode also, die das sichere Erreichen der besten Einstellung eines Flugmodells ermöglicht. Die nachstehend wiedergegebenen Gesetzmäßigkeiten beruhen teils auf der Theorie der Flugmechanik allein (Abschnitt A), teils auf den an einer größeren Anzahl von Segelflugmodellen gemachten Beobachtungen, die Übereinstimmung mit der Theorie zeigten (Abschnitt B) und zu einem kleinen Teil auf Flugbeobachtungen allein (bei dem theoretisch nur schwer zu erfassende Einfluss des Leitwerksnasenradius).

Zunächst sei das grundsätzliche Ziel des Einfliegens herausgestellt:

**Im Geradeausflug soll die minimale Sinkgeschwindigkeit bei möglichst guter Längsstabilität erreicht werden.**

Um klare Verhältnisse zu bekommen, wird der Kurvenflug bewusst unberücksichtigt gelassen (durch entsprechende Kurveneinstellung ist es auch bei sehr instabilen Modellen möglich, einen stabilen Flug zu erreichen).

Die zwei Hauptfaktoren Sinkgeschwindigkeit und Längsstabilität ziehen sich durch die ganze nun folgenden



de Arbeit hindurch. Der Zusammenhang zwischen beiden ist nicht immer eindeutig; gewöhnlich wirken sie aber gegeneinander, d.h.: eine Verbesserung der Längsstabilität bewirkt eine Verschlechterung der Sinkgeschwindigkeit und umgekehrt.

**Die beim Einfliegen veränderlichen Größen sind:**

Schwerpunktlage und Leitwerkseinstellwinkel, in besonderen Fällen auch Turbulator und Leitwerksnasenradius.

A) Bekanntlich ist die Bedingung für die geringste Sinkgeschwindigkeit eines Flugmodells, dass die Steigzahl des Gesamtmodells,  $Ca_3/Cw_2$ , ihren maximalen Wert annimmt (Fig. 1). Dieser im Folgenden als "Bestpunkt" bezeichnete Punkt ( $Ca_3/Cw_2$ )<sub>max</sub> der Polare liegt bei Flugmodellen im Bereich hoher Anstellwinkel, in der Mehrzahl der Fälle sogar in unmittelbarer Nähe des Maximalauftriebs (darin liegt ein wesentlicher Unterschied der Flugmodellstabilität gegenüber der Stabilität des Flugzeuges).

Um den Bestpunkt zu finden, ist eine **Versuchsreihe** nötig. Bei festliegendem Schwerpunkt wird die Einstellwinkeldifferenz Flügel/Leitwerk schrittweise erhöht und durch dazwischen liegende Starts in ruhiger Luft festgestellt, wie stark die Sinkgeschwindigkeit sich verändert. So wird schließlich ein Gebiet erreicht, in dem kleine Einstellungsänderungen keine erkennbare Leistungsbeeinflussung mehr hervorrufen (Fig. 2). Am sichersten ist der Bestpunkt dadurch zu erreichen, dass man das Flugmodell auch noch mit übertrieben hohem Anstellwinkel fliegen lässt (auf der gestrichelt gezeichneten Seite der Polare), auf der die Fluggeschwindigkeit  $V_x$  zwar geringer wird, die Sinkgeschwindigkeit  $V_y$  aber bereits wieder im Ansteigen ist (Fig. 2). Wieweit man ein Flugmodell noch über den Bestpunkt hinaus nach der langsamen Seite trimmen kann, hängt vom Maximalauftrieb des Flügels und von der Längsstabilität ab. Je näher dem Auftriebsmaximum ein Flugmodell fliegt, umso geringer ist auch der für "gesunde" Längsschwingungen verfügbare  $Ca$ -Bereich (Fig. 1). Beim Flug mit  $Ca$  max genügt schließlich die geringste Böe, um den stabilen Flug zu beenden.

Viele Flugmodellflügel haben einen so geringen Maximalauftrieb, dass der Bestpunkt gerade noch erreicht werden kann; in manchen Fällen reißt die Strömung sogar schon vorher ab. Der Turbulenzgummi bewirkt bei solchen Flügeln eine Leistungssteigerung, denn er erhöht das Auftriebsmaximum und ermöglicht damit den Flug bei dem zum Bestpunkt gehörenden hohen Anstellwinkel.

B) Bisher wurde gezeigt, wie man bei **einer** Schwerpunktlage die günstigste Einstellung finden kann. Nur durch Zufall wird aber der Schwerpunkt eines neuen

Modells dort liegen, wo er die oben aufgestellten Forderungen erfüllt: geringste Sinkgeschwindigkeit bei möglichst guter Längsstabilität. Es muss also in einer weiteren Versuchsreihe die Schwerpunktlage variiert werden, wobei jedoch stets der zum Bestpunkt gehörende Gesamtanstellwinkel  $\alpha$  durch Verändern des Leitwerkeinstellwinkels  $\beta$  wiederhergestellt werden muss.

Unter dieser Voraussetzung konstanten Anstellwinkels (oder annähernd konstanter Fluggeschwindigkeit) behandelt der nun folgende Teil die Wirkung der verschiedenen Schwerpunktlagen.

Durch Rücklage des Schwerpunktes wird die Sinkgeschwindigkeit eines Flugmodells verringert, weil dadurch das Höhenleitwerk sich höheren Anstellwinkeln und somit dem Bestpunkt nähert. Der Idealfall ist dasjenige Flugmodell, bei dem im Normalflugzustand Tragflügel und Höhenleitwerk mit maximaler Steigzahl arbeiten.

Der Einfluss der Schwerpunktrücklage auf die Längsstabilität ist nicht so eindeutig. Die statische Stabilität wird dadurch in jedem Fall vermindert; dagegen besteht die Möglichkeit, durch Zurückverlegen des Schwerpunktes ein dynamisch instabiles Modell zu stabilisieren. (Dynamisch stabil ist ein Modell, das auch nach extremen Fluglagen — Start mit Schnurriss, Wolkenflug — in die Normallage zurückkehrt.)

Durch Zurückverlegen des Schwerpunktes wird ein Flugmodell einerseits empfindlicher gegenüber vertikalen Böen (Thermik), andererseits unempfindlicher gegenüber horizontalen Geschwindigkeitsänderungen (falscher Startstoß, Wind von wechselnder Stärke ohne Thermik).

Schwerpunktrücklage vergrößert auch die Dauer der gedämpften Schwingung um die Querachse, mit der nach einer Störung der Flugbahn der stationäre Flugzustand wiederhergestellt wird (Fig. 3). Je geringer diese Schwingungsdauer ist, desto weniger verliert das Flugmodell nach einer Störung an Höhe — eine Tatsache, die beim Flug in weitgehend ruhiger Luft mit kaum drei Störungen pro Flug nicht beachtet zu werden braucht, die aber beim Thermikflug, wo eine Vertikalböe der anderen folgt und die Höhenverluste sich schnell summieren, von entscheidender Bedeutung sein kann.

Schließlich gibt es eine extreme Schwerpunktrücklage, bei der mit unendlicher Schwingungsdauer der aperiodische Fall eintritt ("Unterschneiden").

Mit so eingestellten Flugmodellen lassen sich die verblüffendsten Handstarts ausführen; für längere Flüge in bewegter Luft sind sie aber gänzlich ungeeignet, weil sie nach einer Störung nicht mehr in den Normalflugzustand zurückkehren (Fig. 3).

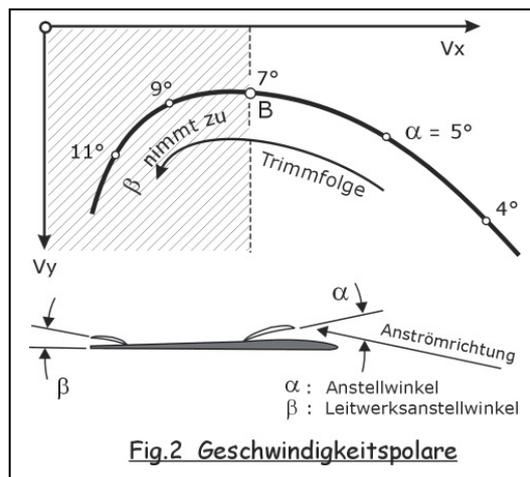


Fig. 2 Geschwindigkeitspolare

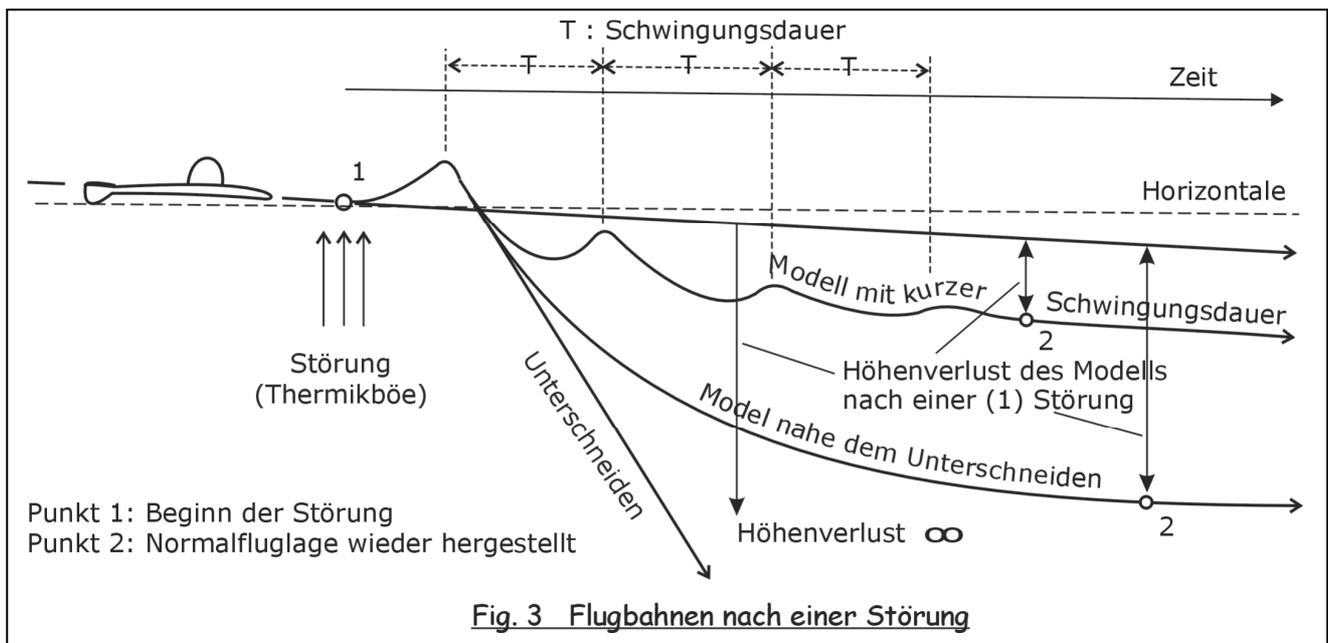
Im engen Zusammenhang mit dem vorigen steht ein weiterer Effekt: Zunehmende Schwerpunktrücklage verringert den Kurvenradius eines Flugmodells. Eng kurvende Modelle haben in der Regel eine große Einstellwinkeldifferenz zwischen Tragflügel und Leitwerk; ein Modell dagegen, das im Geradeausflug schon dem Unterschneiden nahe ist, geht bei geringer Kurveneinstellung in den Spiralsturz über.

Bei Flugmodellen mit unangenehm großer Schwingungsdauer und einem Leitwerksnasenradius von mehr als 0,5 % der Tiefe ist oft ein Mittel willkommen, mit dem man das Unterschneiden verhindern und die Schwingungsdauer verringern kann: Verkleinern des Leitwerksnasenradius. Ein Turbulenzgummi vor dem Leitwerk hat dieselbe Wirkung, bringt aber etwas geringere Längsstabilität mit sich, weil er – im Gegensatz zur spitzen Profilnase – den Auftriebsgradienten nicht erhöht.

Zuletzt soll einer der wesentlichsten, aber sehr oft vernachlässigten Gesichtspunkte besprochen werden, der neben der aerodynamischen auch die bauliche Seite

Aus der Zusammenstellung der einzelnen im Abschnitt B behandelten Faktoren ergibt sich nun eine Grenze der praktisch anwendbaren Schwerpunktrücklage. Man wird den Schwerpunkt eines Flugmodells beim Einfliegen zweckmäßig soweit zurückverlegen, dass

1. dynamische Längsstabilität vorhanden ist, d.h., dass das Flugmodell auch nach extremen Fluglagen in die Normalfluglage zurückkehrt,
2. die Böenempfindlichkeit des Flugmodells einem Verwendungszweck entspricht (ein für ruhige Luft bestimmtes Flugmodell verträgt eine größere Schwerpunktrücklage als ein Thermikmodell),
3. der gewünschte Kurvenradius ohne die Gefahr des Spiralsturzes erreicht werden kann, und dass
4. die je nach Baugenauigkeit am Flugmodell auftretenden verschiedenen großen zufälligen Veränderungen keine wesentliche Abweichung vom Bestpunkt der Polare zur Folge haben können.

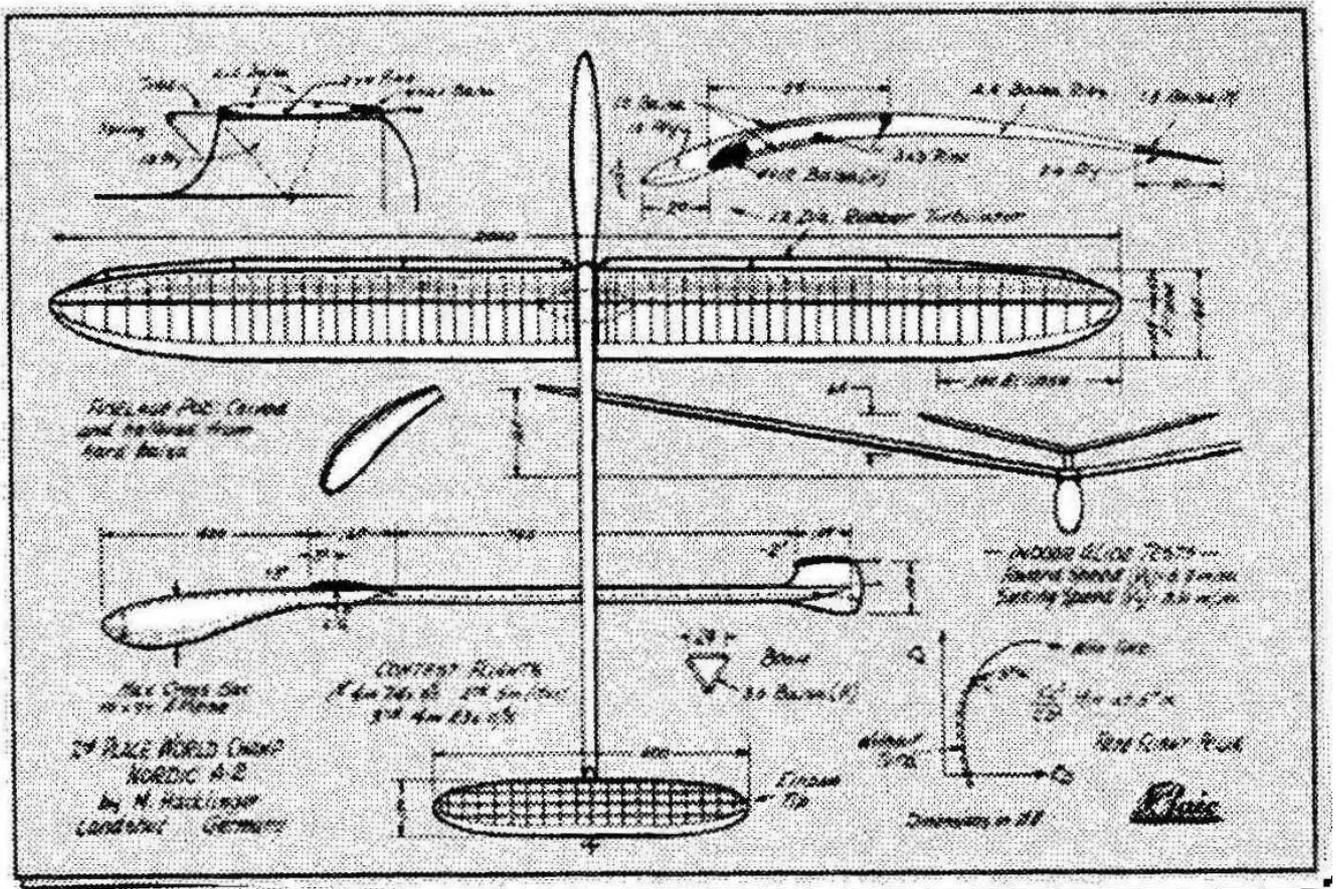


des Entwurfes einschließt: Mit zunehmender Schwerpunktrücklage bewirkt eine bestimmte Änderung des Leitwerkseinstellwinkels eine größere Änderung des Gesamtanstellwinkels. Allgemein wird durch Schwerpunktrücklage ein Flugmodell empfindlicher gegen Änderungen der einzelnen Bauteile (Verzug des Leitwerksträgers, des Tragflügels, Beschädigungen der Oberfläche, usw.). Hierzu ein Beispiel: Ein mit unzulässig starker Schwerpunktrücklage fliegendes A/2-Modell kann auf das Unterlegen eines 0,3 mm dicken Streifens am Höhenleitwerk mit einer Anstellwinkeländerung von 4° reagieren und dadurch mit einer (?) cm/sec schlechteren Sinkgeschwindigkeit fliegen. Ein kaum wahrnehmbarer Verzug des Leitwerksträgers würde bei diesem Modell einen Leistungsverlust verursachen, der größer ist als zwischen den Klassen A/2 und A/1.

**Aus der Zusammenfassung der Abschnitte A und B folgt schließlich die Methode de vollkommenen Einfliegens:**

In einer ersten Versuchsreihe wird bei konstantem Schwerpunkt der Einstellwinkel des Höhenleitwerks solange verändert, bis die maximale Steigzahl des Flugmodells erreicht oder soweit angenähert ist, wie der Maximalauftrieb des Tragflügels erlaubt. In einer zweiten Versuchsreihe wird bei nunmehr durch Nachtrimmen des Höhenleitwerks konstant gehaltenem Anstellwinkel diejenige Schwerpunktlage bestimmt, die den Bedingungen 1. bis 4. genügt.

Wenn die Längsstabilität dieser Einstellung für die gestellten Anforderungen noch nicht ausreicht, kann zuletzt der Kurvenradius des Flugmodells solange verkleinert werden, bis der stabile Flug erreicht ist.



Die hier beschriebenen Erscheinungen, die beim Einfliegen von Flugmodellen auftreten, zeigen sich am ausgeprägtesten beim Segelflugmodell (daher auch die Vorliebe des Verfassers für diese Kategorie). Sie sind grundsätzlich ebenso beim Antriebsmodell vorhanden, nur werden sie dort vielfach von den Problemen der Antriebsseite überdeckt. Dennoch hat aber schon mancher Erbauer eines Motorflugmodells großen Nutzen daraus gezogen, dass er sein Modell unabhängig vom Motor als Gleitflugmodell behandelte.

Nicht immer wird es möglich sein, das ganze hier aufgestellte Programm für ein Flugmodell, das nur Wettbewerbszwecken dienen soll, streng durchzuführen — dies ist auch nicht in allen Fällen erforderlich. Notwendig ist es aber, sich über das Problem des Einfliegens Klarheit zu verschaffen, um systematisch vorgehen zu können. Erst wenn man sich über das Problem in seiner Gesamtheit klar ist, weiß man wie die einzelnen Faktoren sich auswirken, und erst dann kann man ohne Risiko vereinfachen.

Vielen Dank an Jean Wantzenriether für die Digitalisierung dieses Beitrags.

