

Beschreibung des Programms Laengs4 bzw. WinLaengs4

Jörg Rußow und Dietrich Meissner

Einleitung

Von einem Flugzeug (gleichgültig ob menschtragend oder Modell) wird verlangt, dass sein Flugverhalten es dem Piloten möglichst einfach macht, die gewünschte Flugbahn zu erreichen. Ist dies der Fall, spricht man von guten Flugeigenschaften. Eine wesentliche Voraussetzung dafür ist, dass der Schwerpunkt des Flugzeugs in einem günstigen Bereich zu liegen kommt.

In diesem Beitrag soll der Themenkreis Längsstabilität und (damit verbunden) Schwerpunktlage einmal von der praktischen Seite her aufgezeigt werden, ohne mehr als erforderlich auf die dahinter steckende Theorie einzugehen. Zunächst trotzdem einige (hoffentlich anschauliche) Erklärungen, um was es dabei überhaupt geht.

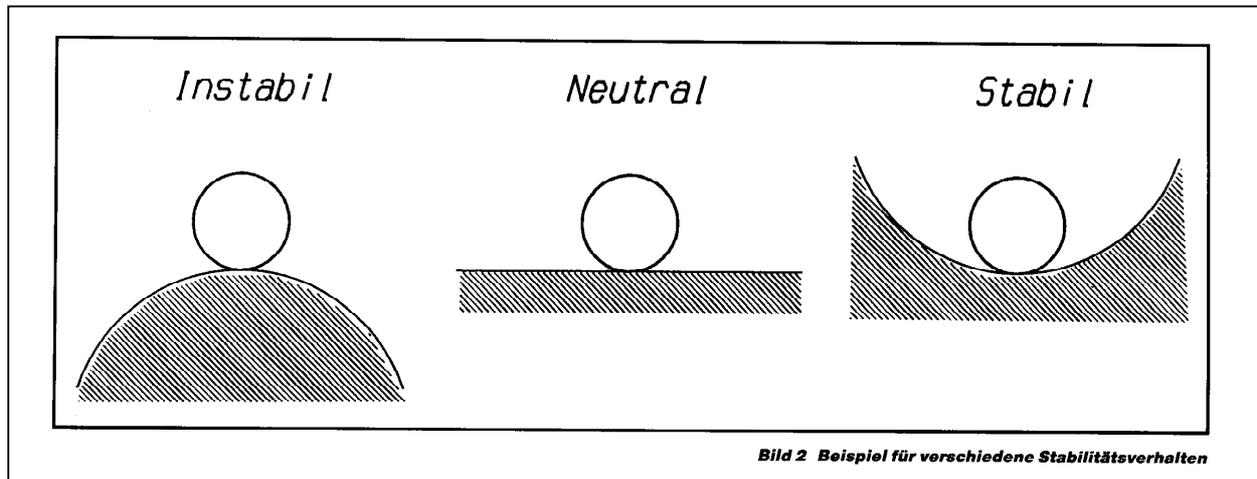
Längsstabilität des Flugzeugs

Ein Flugzeug verhält sich bezüglich seines Anstellwinkels ähnlich wie (eine horizontal gelagerte) Windfahne, die sich immer in den Wind dreht. Wir nehmen dazu ein Flugzeug in einem ausgetrimmten Zustand, bei einem Motorflieger idealerweise den stationären Horizontalflug und bei einem Segler einen entsprechenden stationären Bahnneigungsflug. Der Anstellwinkel eines Flugzeugs wird durch den Ausschlag des Höhenruders bzw. den Einstellwinkel des HLWs eingestellt (getrimmt). Soweit der Ausgangszustand, es ist ein momentenfreies Gleichgewicht.

Nehmen wir nun an, eine kleine Störung in der Längslage des Flugzeugs oder eine Böe würde den Anstellwinkel des Flugzeugs verändern. Als Reaktion auf eine Anstellwinkelvergrößerung soll das Flugzeug selbsttätig abnicken, also seine Längslage verkleinern (Drehung um die Querachse), was den Anstellwinkel verringert. Umgekehrt bei einer Anstellwinkelverkleinerung. Um die Längslageänderungen herbeizuführen, ist ein zusätzliches Moment erforderlich, das selbsttätig entstehen soll. Der stationäre Anstellwinkel eines Flugzeugs wurde vom Piloten durch das Höhenruder getrimmt, die Stabilisierung dieses Zustands macht ein Flugzeug aber ohne Eingriff ins Höhenruder. Man spricht dann von natürlicher Stabilität. Ohne diese Anstellwinkelstabilität oder statische Längsstabilität kann sich kein definierter Flugzustand einstellen, auch bei ruhiger Luft nicht.

Ein instabiles Flugzeug muss laufend durch Höhenruderausschläge dazu überredet werden, seine Fluglage einzuhalten. Jeder der mal ein instabiles Flugzeug geflogen hat, weiß, wie schwierig das ist. Eine ausreichende statische Längsstabilität ist daher die erste Voraussetzung für gute Flugeigenschaften eines unregelmäßigen Flugobjekts.

Das Bild erklärt die Begriffe instabil, neutral und stabil für den Fall einer Kugel, die auf verschiedenen gewölbten Flächen liegt. Man beachte, dass alle drei Kugeln sich im Gleichgewicht befinden, aber nur die stabile Konfiguration, die Kugel im Tal, nach einer auch noch so kleinen Störung wieder an den alten Ort zurückkehren würde, d.h. sich bezüglich der Lage stabil verhalten wird.



Die Bedeutung des Neutralpunkts

Entscheidend für die Längsstabilität ist die Lage des Neutralpunkts (NP) des Flugzeugs zur Lage des Schwerpunkts (SP). Der NP ist definitionsgemäß der Punkt, an den die zusätzlichen aerodynamischen Kräfte infolge einer Anstellwinkeländerung angreifen. Aus den vorher genannten Aussagen lässt sich folgern, dass der SP vor dem NP liegen muss, damit statische Längsstabilität gegeben ist. Bei einer Böe entsprechend einer Anstellwinkelerhöhung führt der entstehende Zusatzauftrieb zu einem abnickenden Moment um den SP. Der Abstand bestimmt den Hebelarm der Luftkräfte. Ist er null (also SP gleich NP), ist auch die Stabilität null und es findet keine Drehung in Anströmrichtung statt. Liegt der SP gar hinter dem NP, ergibt sich ein negativer Hebelarm und das Modell leitet bei der kleinsten Störung eine Nickbewegung ein, die den Winkel zur Anströmung weiter vergrößert. Ein Freiflugmodell oder ein RC-Modell mit einem zu langsamen Piloten stürzt unweigerlich ab. Das entspricht dem Beispiel der Kugel auf dem Berg.

Die Suche nach einer sinnvollen SP-Lage ist daher zunächst eine Suche nach dem NP. Erst der zweite Schritt ist es dann festzulegen, wie weit der SP vor dem NP liegen soll. Je weiter vorne der SP liegt, umso größer ist die statische Längsstabilität. Allerdings ist es hier wie im richtigen Leben, dass viel nicht unbedingt viel hilft; es ist wichtig, das richtige Maß zu finden. Darauf kommen wir später noch zurück. Es lohnt sich also durchaus, etwas Aufwand zu investieren, damit unser neues Modell nicht kopflastig (SP weit vorn) oder gar schwanzlastig (SP weit hinten) ist.

Die Problematik lässt sich durch die folgenden Fragen ausdrücken:

1. Wo liegt der Neutralpunkt meines Flugmodells oder Flugzeugs?
2. Wie weit soll der Schwerpunkt vor diesem Neutralpunkt liegen?

Die Suche nach dem Neutralpunkt

Die Lage des NP wird im Wesentlichen bestimmt vom Grundriss, d.h. dem Aussehen aus der Vogelperspektive. Alle Bauteile des Flugzeugs tragen zur NP-Lage bei; neben Flügel und HLW auch der Rumpf, zumindest wenn er nicht gerade spindeldürr ist. Die Hochlage der Einzelteile hat ebenfalls einen Einfluss, allerdings ist dieser (meistens) zweitrangig. Die Dicke (also die Ausdehnung in Höhenrichtung) ist ebenfalls nicht entscheidend. Man kann sich einfach alles platt gedrückt vorstellen. Trotzdem, die Ermittlung des NP einer derartigen Konstellation ist nicht trivial, bei einem Nurflügler aber deutlich einfacher als bei einem Doppeldecker.

In der Vergangenheit wurden in den Modellflugzeitschriften alle Jahre wieder graphische Methoden vorgestellt, um die Neutralpunktlage von Einfach- oder Mehrfachtrapezflügeln zu ermitteln. Man vermisst den Grundriss des Flügels und zeichnet ihn dann maßstäblich auf. Die mittlere aerodynamische Flügeltiefe sowie der geometrische NP (das ist der 25%-Punkt) dieses Flügels ergibt sich dann nach etwas Zeichnerie. Für Flügel mit normal großer Streckung, aber nicht bei stark gepfeilten Flügeln kleiner Streckung (Deltas, Concorde) ist dieser geometrische NP tatsächlich fast identisch mit dem eigentlich gesuchten aerodynamischen NP. Für einen Nurflügler mit normal hoher Streckung haben wir damit tatsächlich den relevanten NP ermittelt.

Für normale Flieger (Flügel-Leitwerk-Konfigurationen) wird meistens die Empfehlung gegeben, den SP etwas hinter diesen Flügelneutralpunkt zu legen, z.B. bei 30% der Bezugstiefe. Man kann das machen, da ja der Gesamtneutralpunkt (auf Grund des HLWs) weiter hinten liegt als der Flügelneutralpunkt. Wie weit er aber dahinter liegt, bleibt völlig offen, denn die Wirkung des HLW ist nicht berücksichtigt! Selbstverständlich kann man die gleiche Zeichnung auch fürs Höhenleitwerk machen und erhält auch dessen NP-Lage. Wie oben erläutert, ist aber der NP des Gesamtflugzeugs die wirklich relevante Größe und der kommt durch diese Zeichnerie nicht raus. Es sollte daher einleuchten, dass man auf diese Weise nicht zum Ziel kommt. Nichts desto trotz ist eine so ermittelte SP-Lage bei vielen Modellen fliegar, allerdings nur in den seltensten Fällen optimal für die Flugeigenschaften.

Ein kleiner Ausflug in Aerodynamik

Die Problematik ist die Folgende: Die aerodynamischen Eigenschaften der Einzelflächen ändern sich, wenn man sie in unmittelbare Nähe zueinander bringt. Es tritt eine gegenseitige Beeinflussung auf, man spricht von Interferenz. Voraus fliegende Flächen beeinflussen hinterher fliegende Flächen. Andersherum ist die Interferenz nicht so stark, aber auch vorhanden. Dabei ändern sich nicht primär die Lagen der Neutralpunktlagen sondern vor allem die Auftriebsanstiege der Einzelflächen.

Bei einem konventionellen Flugzeug (genannt Drachen) wirkt das HLW, das sich weit hinter dem SP befindet, stabilisierend. Der Flügel ist meistens etwas vor dem SP und damit destabilisierend. Das HLW kann seine stabilisierende Wirkung nur zu einem Bruchteil entfalten, da es sich im Abwind des Flügels befindet. Auf diese Weise wird die Wirksamkeit eines typischen HLWs etwa halbiert. Handelt es sich um eine Ente, ist das HLW durch seine Lage vor dem SP destabilisierend; dafür stabilisiert der Flügel hinter dem SP. Dabei ist unbedingt die Induktion in beide Richtungen zu berücksichtigen. Bei einem Doppeldecker wird es noch komplizierter. Nur wenn diese Induktionen berücksichtigt werden, kann man den NP einer Konfiguration halbwegs präzise ermitteln. Zeichnerisch geht das definitiv nicht.

Nachfolgend soll daher nur noch vom (Gesamt-) NP des Modells die Rede sein, wie immer er sich auch aus Flügel-, Rumpf und HLW-Anteilen zusammensetzt.

Der Rechner kann's am Besten

Im Folgenden wird ein Computerprogramm vorgestellt, das zunächst bei Eingabe der Geometrie die Lage des NP berechnet. Im zweiten Schritt werden Erfahrungswerte über die erforderliche Stabilität berücksichtigt, so dass davon ausgehend ein günstiger Schwerpunktbereich vorgeschlagen wird. Es funktioniert gleichermaßen für Motor- und Segelflugmodelle, und in der vorliegenden Version nun auch bei Entenkonfigurationen und bei Doppeldeckern. Auch ein Rumpf kann berücksichtigt werden, wenn er sich durch eine einfache Geometrie beschreiben lässt. Insgesamt können drei Flügel oder Flächen eingegeben werden.

Hinter dem Programm steckt ein Wirbelleiter-Verfahren, wie man sie sich aus entsprechenden Aerodynamik-Vorlesungen oder Fachbüchern zusammensuchen könnte. Diese Arbeit kann man sich sparen, indem das Programm benutzt wird. Der Anwender muss lediglich die Geometrie seines Flugmodells richtig ausmessen und eingeben. Insofern ist das eine mehr praktische Tätigkeit; der wissenschaftlich-mathematische Teil bleibt für den Rechner.

Die relevanten Abmessungen werden mit Hilfe eines Maßbandes ermittelt. Die Flügel (ein HLW ist ebenfalls ein Flügel und sogar ein Rumpf lässt sich durch einen solchen annähern) dürfen jeweils einen vielfachtrapezförmigen Grundriss haben. Im Moment ist der Wert im Programm auf 4 Trapeze pro Flügel-Hälfte begrenzt. Das sollte reichen, um die Geometrie entsprechend anzunähern.

Die Ermittlung der Pfeilungswerte ist etwas kritisch, wenn man nicht zufällig gerade Vorderkanten hat, die genau einen rechten Winkel zur Rumpflängsachse haben. Am besten ist es, wenn eine Strakleiste (oder ein gespannter Faden) innen an dem oben genannten Flügelpunkt an der Wurzel senkrecht zur Längsachse angelegt wird. Dann misst man mit dem Maßband von der Strakleiste zur Vorderkante (am Besten auf beiden Seiten und bildet den Mittelwert). Die Vermesserei ist zugegebenermaßen etwas fummelig, lässt sich aber leider nicht umgehen. Anschließend werden die Werte in das Programm eingetragen und als benannter Datensatz gespeichert.

Das Programm berechnet sodann aus dieser Geometrie die NP-Lage der Konfiguration.

Die Wahl der Schwerpunktlage

Wie oben begründet, wollen wir für unser Modell Längsstabilität sicherstellen. Sie ergibt sich aus der Lage des SP vor dem soeben berechneten NP. Es bleibt uns allerdings nicht erspart, die Stabilität zu definieren, mit der wir fliegen wollen. Während die Berechnung des NP zwar aufwendig aber mathematisch recht klar definiert vor sich gehen kann und auch ein recht eindeutiges Ergebnis liefert, ist das bei der Wahl des Stabilitätsmaßes nicht ganz so.

Für die SP-Lage und somit auch die Längsstabilität jedes Flugmodells existiert immer ein sinnvoller oder günstiger Bereich und nicht nur ein einziger Punkt, in dem sich vernünftige Flugeigenschaften ergeben. Der Bereich ist bei Flugzeugen mit konventionellem HLW (so genannte Drachenkonfiguration) deutlich größer als bei Enten (Höhenleitwerk vorn bzw. vorderer Flügel kleiner als hinterer). Das ist in Verbindung mit schlechteren Flugeigenschaften wegen eines größeren induzierten Widerstandes der Grund für die schlechtere Eignung von Enten als Transportflugzeug oder als Leistungssegler; demzufolge baut man so etwas auch nicht /2/, denn der sinnvolle SP-Bereich ist einfach zu klein. Auch bei Nurflüglern muss man genauer hinschauen.

Die statische Längs-Stabilität eines Flugzeugs lässt sich in einer Längeneinheit ausdrücken: Der SP liegt soundsoviel Meter, Zentimeter oder Millimeter vor dem NP. Dieses Maß ist dann zwar zum Auswiegen nützlich, allerdings ist es keine maßstabsunabhängige Darstellung des Sachverhalts. Zur flugmechanischen Definition der Stabilität bezieht man sie daher meistens auf eine typische Länge des Flugzeugs. Üblich ist der Bezug auf die „mittlere aerodynamische Flügeltiefe“ l_{μ} , ein Wert, der von der Geometrie des Hauptflügels abgeleitet wird. (Es handelt sich nicht genau um die mittlere Flügeltiefe.)

Es bietet sich dann an, die Stabilität als einen Prozentsatz dieser Flügeltiefe anzugeben. Zur Veranschaulichung: 0 % bedeutet, dass keine Stabilität vorhanden ist, der Flieger ist indifferent. Ein negativer Wert bedeutet Instabilität (SP hinter NP), 30 % l_{μ} ist eine sehr (extrem) hohe Stabilität.

Der eine oder andere wird sich fragen, warum man keine möglichst hohe Längsstabilität wählt. Der Grund ist, dass (zu) viel Längsstabilität die Flugeigenschaften verschlechtert. Je nach Konfiguration wird die Anstellwinkelschwingung zu schwach gedämpft, die Phygoide (Modellfliegerlatein: das Pumpen) auch und der Langsamflug ist nicht mehr über vernünftige Höhenruderausschläge erreichbar. Die Verschlechterung in den Flugeigenschaften geht kontinuierlich, aber irgendwann bekommt man auch Probleme mit der Steuerbarkeit. Hier sind besonders Enten und Nurflügler im Nachteil, denn bei ihnen ist das HLW sehr stark aerodynamisch belastet bzw. gar nicht vorhanden. Bei entsprechenden Drachenkonfigurationen sind dagegen Längsstabilitäten von 30 % l_{μ} noch fliegar, wenn auch nicht unbedingt sinnvoll.

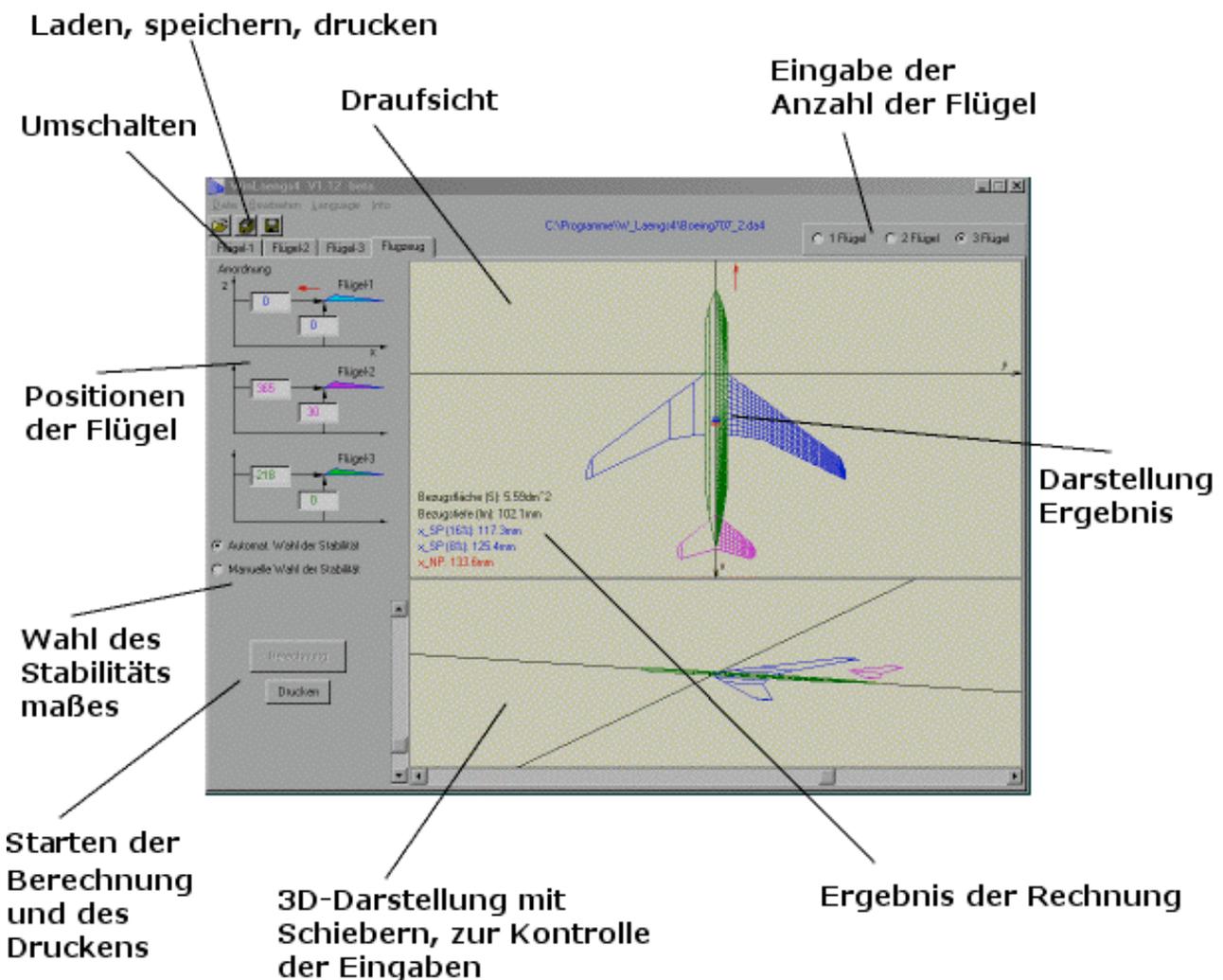
Das Programm empfiehlt Stabilitätsmaße von 8 bis 16 % l_{μ} bei Modellen mit Flügel-HLW-Kombinationen; bei Nurflüglern dagegen 4 bis 8 % l_{μ} . Diese können

als mittlere Stabilitätsmaße bezeichnet werden und lassen sich eigentlich bei jedem Flieger beherrschen und die Höhenruderwirksamkeit im Langsamflug ist bei normaler Auslegung auch kein Problem. Selbstverständlich kann es ein Ergebnis des Einfliegens sein, dass man später noch eine Verschiebung entsprechend der subjektiven Vorstellungen vornimmt. Besonders Seglerpiloten mögen gerne etwas weniger als $8\%l_{\mu}$. Daher kann man das Stabilitätsmaß im Programm bei Bedarf wählen.

Das Berechnungsprogramm W_Laengs4

Beim Entzippen des Download-Files entsteht ein Ordner mit der Bezeichnung „W_Laengs4_Vxxx“. Darin befindet sich eine ausführbare Datei Exe-Datei (W_Laengs4_Vxxx.exe) und einige Datensätze, die als Vorlage für eigene Entwürfe dienen können. Der Ordner kann an jede beliebige Stelle auf jedem beliebigen Laufwerk kopiert werden. Sinnvollerweise kann dieser Ordner unter „Programme“ abgelegt werden. Eine Installationsroutine für das Programm ist nicht erforderlich.

Startet man das Programm, sieht man ein Bild mit der Gesamtübersicht des aktuellen Flugzeugs:



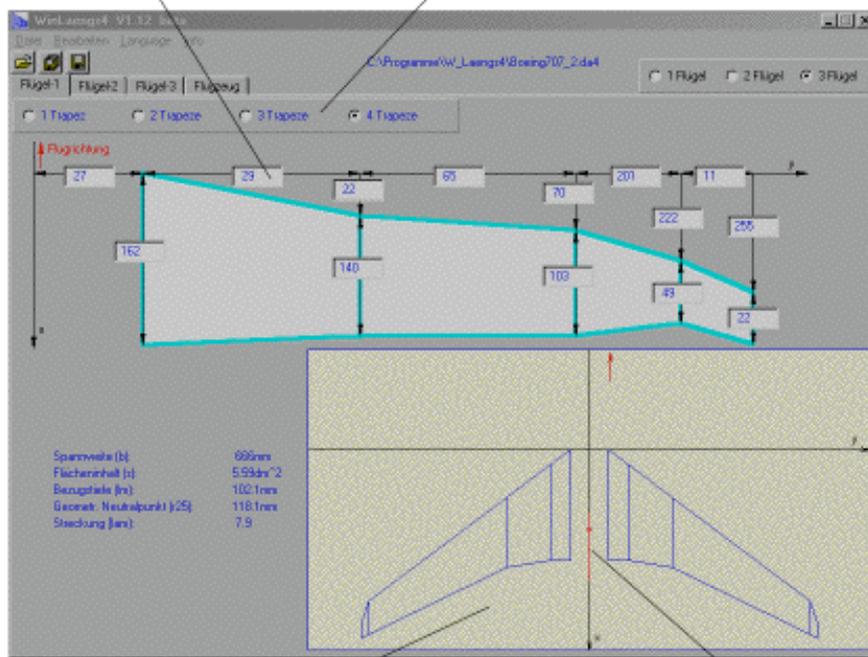
Nun kann man entweder einen neuen Datensatz laden (oben links), oder den vorhandenen Datensatz bearbeiten.

Zum Bearbeiten sollte zunächst in der vorliegenden Ansicht die richtige Anzahl der Flügel gewählt werden. Dazu oben rechts den entsprechenden Radio-Button auswählen. Maximal drei Flügel sind möglich, wobei ein eventueller Rumpf ebenfalls ein „Flügel“ ist.

Anschließend kann jeder dieser Flügel bearbeitet werden, indem er oben links mit Hilfe des entsprechenden Reiters angewählt wird. Es zeigt sich folgende Eingabemaske für die Flügelgeometrie:

Eingabefelder Geometrie

Wahl der Trapez-Anzahl



Geometrie-Kontrolle

Lage des geometrischen Neutralpunktes und der Bezugsflügeltiefe

Anhand der Geometriekontrolle kann man die Eingabedaten checken. Sie zeigt die Draufsicht des eingegebenen Flügels.

Nach der Bearbeitung der Flügelgeometrien kehrt man wieder zum Reiter Flugzeug zurück und gibt noch die Positionen der Flügel in Längs- und Höhenrichtung ein (linke Eingabefelder). Auch hier kann mittels der beiden Ansichten (Draufsicht und veränderliche 3D-Darstellung) geprüft werden, ob alles stimmt.

Zur Bedienung des Programms ein paar Bemerkungen:

- Die Beschriftungen / Ausgaben können in deutscher oder englischer Sprache angezeigt werden. Umschalten lässt sich dies mit dem Pull-down-Menü: "Sprache - deutsch" bzw. "Language - english". Wird die Sprache umgeschaltet, so merkt sich das Programm die letzte Spracheinstellung in einer Datei "Default.pa4", welche im gleichen Verzeichnis steht wie das WinLaengs-Programm.
Sollte die "Default.pa4-Datei" noch nicht vorhanden sein, so wird sie neu erstellt. Beim nächsten Start des Programms sollte dann die zuletzt benutzte Spracheinstellung automatisch eingestellt sein. Achtung: Probleme mit dem Merken der letzten Spracheinstellung gibt es, falls der Schreibschutz der "Default.pa4-Datei" aktiviert wird, was z.B. passieren kann, wenn die Datei auf CD kopiert wurde und wieder zurück auf ein normales Laufwerk. Falls hier ein Problem auftritt dann bitte einfach die "Default.pa4-Datei" löschen oder den Schreibschutz dieser Datei entfernen.
- Beim Eingeben der Flügel- und Flugzeuggeometrie dürfen nur ganze Zahlen (keine Nachkomma-Werte) eingegeben werden. Beim Eingeben eines manuellen Wertes für die Längsstabilität darf ein Dezimalzeichen verwendet werden. Falls erforderlich bitte als Dezimalzeichen hier das "."-Zeichen (Punkt) benutzen.
- Das Programm kann fast jede beliebige Flügelgeometrie berechnen, aber eben nicht wirklich jede. Das Programm versucht die einzelnen Trapeze der Flügel in noch kleinere Trapeze (Panel) zu zerlegen, welche dann für die Berechnung günstig über den Flügel verteilt sind.
Falls die eine Flächentiefe eines eingegebenen Trapezes sehr klein im Verhältnis zu seiner gegenüberliegenden Flächentiefe oder gar Null ist (das Trapez ist stark zugespitzt), kann es sein, dass das Programm nicht damit klar kommt. In dem Fall wird beim Versuch der Berechnung eine entsprechende Fehlermeldung ausgegeben, z.B. "Fehler: Kann Flügel 1 / Trapez 3 nicht berechnen. Bitte dieses Trapez verändern (Außentiefe größer)!".
Abhilfe schafft hier nur die Eingabe eines etwas größeren Wertes für die Flächentiefe des betreffenden Trapezes.
- Bei Mehrflüglern, z.B. Flügel und HLW, muss darauf geachtet werden, dass hintereinander liegende Flügel nicht auf der gleichen Höhe angeordnet sein dürfen, also in der Darstellung Flugzeug nicht der gleiche Z-Wert eingegeben werden darf.
- Die 3-D-Darstellung des Flugzeugs kann mit der Maus gedreht und gezoomt werden wenn sich der Mauszeiger in dem 3-D-Fenster befindet. Die linke Maustaste dient hierbei zum Drehen in 2 Achsen und die rechte Maustaste dient zum Zoomen und Drehen in einer Achse.
- Beim Drucken versucht das Programm den Ausdruck auf einer DIN A4-Seite unterzubringen. Dazu wird der Ausdruck entsprechend dem verwendeten Drucker und dem verwendeten Betriebssystem automatisch

gezoomt und sollte immer gleich groß sein. Die Qualität des Ausdrucks lässt sich durch Auswahl der Druckerauflösung beeinflussen. Hier gilt, je größer die "dpi-Zahl" desto besser der Ausdruck. Die angebotenen Druckerauflösungen sind abhängig vom verwendeten Drucker. Bei Farbdruckern kann neben dem Farbdruck auch Schwarzweißdruck eingestellt werden.

Das Einfliegen des Modells

Das Wichtigste beim Einfliegen eines Modells ist die fliegerische Überprüfung der gewählten Schwerpunktlage auf die persönlichen Bedürfnisse, sowie das Einstellen der Höhenrudernullstellung und des Ruderausschlags passend zur Schwerpunktlage. Diese Größen sind nicht unabhängig voneinander. Hat man seinen Schwerpunkt vorher durch Theorie überprüft, liegt man zumindest bei dieser Größe schon mal im grünen Bereich und läuft nicht Gefahr, beim Einfliegen eine Überraschung zu erleben. Die meisten Modellflieger haben sicher keine Lust, lange mit Trimmblei rumzuprobieren. Je genauer man daher den günstigen Schwerpunktbereich schon beim Bau des Modells kennt, je besser. Das hat aber nichts mit "blindem Vertrauen auf theoretische Berechnungen" zu tun /8/. Ein dummer Spruch, sonst nichts.

Schritt 1 : Austrimmen

Nach dem Start des Modells (z.B. Start eines Seglers am Hang) wird jeder Pilot als erstes mit Hilfe der Höhenrudernullstellung das Modell auf eine sinnvolle Geschwindigkeit im langsamen Bereich trimmen. Beim Motorflieger wird die der Trimmfall eher ein schneller Horizontalflug bei Vollgas sein. Egal wie, dafür wird der Höhenruder-Trimmmhebel am Sender benutzt, dessen Wirkung hoffentlich ausreicht. Falls nicht, sollte sofort wieder gelandet und das Gestänge des Ruders entsprechend verstellt werden. Falls das Höhenrudergestänge Nachgiebigkeiten und/oder Spiel hat, können wir eigentlich einpacken und heimfahren. Ohne eine vernünftige Trimmbarkeit sind alle weiteren Schritte nutzlos.

Bei einer vorderen SP-Lage ist eine größere Einstellwinkeldifferenz (EWD) erforderlich als bei einer hinteren, um die gleiche Geschwindigkeit auszutrimmen. Andererseits gilt: je kleiner die Trimmgeschwindigkeit bei gleicher SP-Lage, umso größer die EWD und umgekehrt. Es ist dabei zunächst belanglos, ob die EWD durch Anstellen des ganzen Höhenleitwerks, oder aber nur über die Höhenruder(-klappen) verändert wird. Unschön ist nur, wenn die Höhenruderklappen bei Trimmstellung nicht auf null stehen. Bei einem Pendelruder gibt es solche Probleme nicht. Ansonsten lässt sich aus der Größe der EWD aber kaum etwas entnehmen.

Schritt 2 : Schwerpunkt

Das sinnigste Verfahren ist, durch leichtes Drücken von einigen Sekunden Dauer die Flugbahn des Seglers abwärts zu neigen. Hat er einigermaßen Fahrt aufgeholt, wird der Knüppel wieder losgelassen. Bei günstiger Schwerpunktlage können Sie dann ein relativ langsames selbstständiges Abfangen des Modells beobachten, das meist in das sogenannte "Pumpen" übergeht, falls nicht mit dem Höhenruder eingegriffen wird. Das "langsame" Abfangen ist natürlich eine

ungenauere Aussage, die relativ zu verstehen ist. Je größer die statische Längsstabilität, je schneller geschieht das Abfangen und je heftiger das anschließende Pumpen. Bei zu schwach stabilen oder gar instabilen Modellen wird dagegen das sogenannte "Unterschneiden" beobachtet. Hat der Segler einmal einen deutlich negativen Bahnwinkel eingenommen, besteht eher eine Tendenz zur Verstärkung statt zum Abfangen.

Was man haben will, ist eine deutliche, aber nicht übermäßige Tendenz zum Abfangen. Die ergibt sich bei einer mittleren Schwerpunktlage, wie sie das Rechenprogramm vorschlägt. Ist noch ein deutliches Abfangen zu erkennen, kann man den SP probeweise etwa 1 cm (für ein mittelgroßes Modell) weiter nach hinten legen und wieder bei Schritt 1 beginnen. Es soll aber ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass es keine unter Flugeigenschaftsgesichtspunkten optimale SP-Lage gibt. Hier ist der persönliche Geschmack von Pilot zu Pilot etwas unterschiedlich.

Schritt 3 : Höhenruderausschlag

Die erforderlichen Höhenruderausschläge in Richtung Drücken und Ziehen sind abhängig von der gewählten SP-Lage. (Mehr als erforderlich sollte man nicht vorsehen.) Die endgültige Festlegung kann daher erst zu letzt erfolgen. Bei kleiner statischer Längsstabilität (also hinterer SP-Lage) werden generell kleinere Ausschläge benötigt um z.B. einen Looping zu fliegen oder den Flieger zu überziehen. Das soll hier nicht näher ausgeführt werden.

Im Zweifelsfall sollte man einen erfahrenen Piloten bitten, die Größe der Ausschläge (auch von Quer- und Seitenruder, die allerdings nicht von der SP-Lage abhängen) zu überprüfen. Das gilt auch für die Exponentialwerte, falls man einen entsprechenden Sender hat.

Bei einem Motormodell wird man bezüglich der Größen SP-Lage und Ruderausschläge möglicherweise etwas andere Kriterien anlegen. Ohne das komplett auswalzen zu wollen, hier nur die Stichworte: Trudeln, Messerflug senkrechter Steigflug. Außerdem gilt es immer noch den Motorsturz zu überprüfen. Je mehr Längsstabilität, desto mehr Motorsturz braucht der Flieger.

Einige Bemerkungen zum Einfluss des Flügelprofils

Einige wird überraschen, dass keine Angaben über die verwendeten Profile an Flügel und HLW erforderlich sind. Das ist auch richtig so, denn alle Profile haben bei Anstellwinkeländerung etwa den gleichen Auftriebszuwachs, genannt Auftriebsanstieg. Nur auf diesen kommt es bei einer Stabilitätsrechnung an. Die Annahme bewirkt in der Abschätzung des günstigen Schwerpunktbereichs keine nennenswerte Ungenauigkeit /3/.

Allerdings ist das, was wir hier machen, keine vollständige flugmechanische Berechnung der Längsbewegung. Dazu gehört neben dieser vorgeführten Überprüfung der statischen Längsstabilität auch die der dynamischen Stabilität und der Steuerbarkeit. Der Aufwand dafür würde aber bei weitem den Umfang dieses Beitrags überschreiten und die erforderlichen Daten des Modells wären für kaum einen Modellflieger zu beschaffen. Glücklicherweise ist es aber nicht

unbedingt notwendig, diese zusätzlichen Untersuchungen durchzuführen, solange wir es mit normalen Konfigurationen von Flugzeugen zu tun haben.

Bei der Steuerbarkeit spielt die Profilierung und Verwindung von Flügel und HLW sehr wohl eine Rolle. Alle Nurflügler (also Flieger ohne Höhenleitwerk) haben entweder ein Flügelprofil mit positivem Nullmoment, oder einen gepfeilten und verwundenen Flügel, da sie sonst bei einer stabilen Schwerpunktlage keine ausgeglichene Momentenbilanz haben. Man sieht daran, dass bei negativem Nullmomentenbeiwert (also einem normal gewölbten Seglerprofil) kein beliebig kleines HLW verwendet werden kann oder dieses ganz weggelassen werden darf. Verwenden wir aber ein mindestens normal großes HLW (also mehr als etwa 8% der Flügelfläche), sind dynamische Stabilität und Steuerbarkeit in aller Regel nicht mehr problematisch. Eine Berechnung der statischen Stabilität (also das, was wir hier machen) reicht dann aus, um den günstigen Schwerpunktbereich zu definieren.

Es soll daher an dieser Stelle noch einmal ganz deutlich der landläufigen Meinung widersprochen werden, dass Modelle mit gewölbtem Flügelprofil (und daher negativem C_{m0}) grundsätzlich größere HLWs benötigen, um die statische Längsstabilität sicherzustellen. Ein Nullmoment geht in Stabilitätsrechnungen nicht ein. Folgt man jedoch der oft gemachten Empfehlung, den SP in den Druckpunkt (nicht Neutralpunkt!) des Flügels zu legen, damit sich ein kräftefreies HLW (z.B. im Punkt des besten Gleitens) einstellt, ergibt sich oftmals ein weit hinten liegender Schwerpunkt. Das wiederum kann eine Rückverlegung des Neutralpunkts erfordern, damit man noch genügend Stabilitätsreserve hat. Eine Rückverlegung kann durch eine Vergrößerung des HLW erreicht werden. Leider wird dieser von-hinten-durch-die-Brust-ins-Auge-Zusammenhang in den meisten Modellflugartikeln und -büchern nicht schlüssig dargestellt (vielleicht weil er nicht verstanden wurde).

Ein weiterer Irrglaube ist es, dass das günstige Stabilitätsmaß vom C_{m0} des Flügels bzw. Flügelprofis abhängig ist, wie in /4/ dargestellt. Wenn ein Modell unterschneidet, liegt das in der Regel an einem nicht biegesteifen Rumpfhinterteil oder nicht torsionssteifen Flügel. Man sollte da vielleicht seine Bauweise ändern. Im Langsamflug ist das sowieso nicht relevant. Es bleibt bei den Ausführungen unklar, wieso die Profilwölbung Einfluss auf die Längsstabilität soll (wobei hier nur von nicht überzogenen Flugzuständen die Rede ist). Das beruht offensichtlich auf einem Missverständnis. Genauso überflüssig ist es, darüber zu staunen, dass das Ausschlagen von Wölbklappen (die die Grundfläche des Flügels nicht ändern) keine Verringerung der Stabilität bewirkt /5/. Es kann gar nicht!

Auch Mr. Reynolds mischt manchmal mit

Bei langsam fliegenden Thermikseglern können sich zusätzliche Effekte einstellen, die ihre Ursache in Reynolds-Zahleinflüssen haben. Im Langsamflug kann es bei einer ungünstigen Profilwahl dazu kommen, dass die Umströmung "unterkritisch" wird. In diesem Fall steigt zum einen der Widerstand deutlich an, zum anderen kann es zu Unregelmäßigkeiten im Nickmomentenverlauf des Flügels bzw. des Gesamtflugzeugs kommen.

Man beobachtet z.B., dass das Modell bei einem normalen Langsamflug plötzlich etwas aufnickt und dadurch erst recht überzieht. Die Auswirkungen dieser Momentensprünge sind bei hinterer Schwerpunktlage (bzw. geringerer Längsstabilität) schwerwiegender als bei vorderer Schwerpunktlage.

Falls Sie so etwas bei einem Thermiksegler beobachtet, sollten Sie allerdings nicht den SP verschieben, sondern das Problem an der Wurzel packen. Hier gibt es die Möglichkeit das Gewicht um ca. 10 bis 20% durch Blei in SP-Nähe zu erhöhen, wodurch die Fluggeschwindigkeit um 5 bis 10% ansteigt und damit auch die Reynoldszahl. Das sollte eigentlich reichen. Eine weitere Methode ist, die Flügelumströmung mit Hilfe von Turbulatoren überkritisch machen. Hier eignet sich z.B. Zackenband, das etwa 20 % der örtlichen Flügeltiefe hinter der Flügel Nase auf die Flügeloberseite geklebt wird. (Freiflieger benutzen diese Turbulatoren sehr oft an ihren Modellen.)

Wenn Ihnen ein Fliegerkollege den Tipp gibt, den SP nach vorn zu verlegen, weil Ihr Modell pumpt --- glauben Sie ihm nicht /1/!

Literatur :

- /1/ K. Liese, J. Rußow, Flugmechanische Untersuchungen zum Pumpverhalten von Segelflugmodellen, Flug- und Modelltechnik 11/86
- /2/ R. Eppler, Die Entwicklung der Tragflügeltheorie, Zeitschrift für Flugwissenschaft und Weltraumforschung 11 (1987), Seite 133-144
- /3/ J. Rußow, Das "tragende Höhenleitwerk" - oder, wie Mißverständnisse entstehen, Flug- und Modelltechnik 2/88
- /4/ F. Perseke, Das Segelflugmodell, Teil 3, S.113, Neckar-Verlag
- /5/ F. Borst, Eine neue ASW stellt sich vor, Flug- und Modelltechnik 3/92
- /6/ J. Rußow, P. Erang, Der Punkt , Modell 7/91
- /7/ J. Rußow, Der Punkt, die Neuauflage, Modell 1/92
- /8/ B. Schiffler, Modellflug International 7/92, S.34f