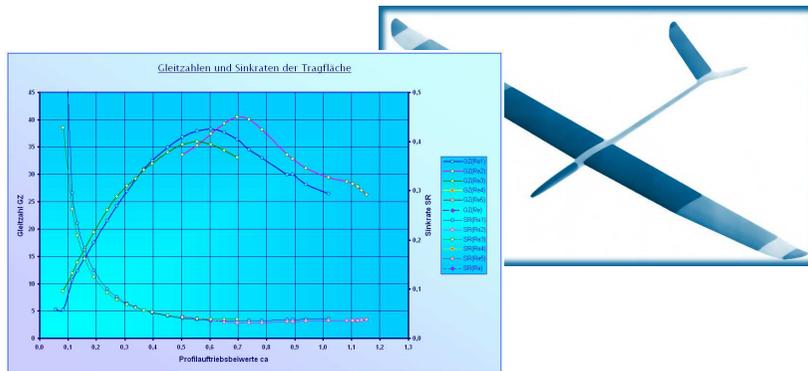


Benutzerhandbuch

FMFM – VERSION 1

Flugmechanik für Flugmodelle



Das umfassende und anspruchsvolle
Programm zur
Bestimmung der flugmechanischen
Charakteristika
von Modellflugzeugen

von

Dr. Helmut Quabeck

* * *

© Verlag: HQ-Modellflugliteratur, 1994 – 2008

2. Auflage, Juli 2008

© HQ-Modellflugliteratur, 1994 - 2008
Finkenweg 39, D-64832 Babenhausen
Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-9804171-1-2

HINWEIS:

Der Inhalt dieses Handbuchs kann bei Bedarf ohne vorherige Ankündigung geändert werden.

HQ-Modellflugliteratur übernimmt keine Haftung für Fehler oder Folgeschäden im Zusammenhang mit der Verwendung dieses Handbuchs. Dieses Handbuch darf ohne vorhergehende schriftliche Genehmigung von HQ-Modellflugliteratur weder vollständig noch teilweise fotokopiert, nachgedruckt, vervielfältigt oder in eine andere Sprache übersetzt werden.

MARKEN:

Microsoft, Windows, Office und Excel sind eingetragene Marken der Microsoft Corporation

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2. Systemanforderungen.....	3
3. Installationshinweise.....	4
4. Funktion der Arbeitsblätter.....	5
Arbeitsblatt <COVERDIA>.....	5
Arbeitsblatt <Flächenkoordinaten>.....	7
Grafikchart <Flächengeometrie>.....	11
Arbeitsblatt <Leitwerkskoordinaten>.....	13
Arbeitsblätter <Eingabeauswertung> und <Zirkulationsverteilung>.....	15
Grafikchart <Verteilungskurven>.....	19
Arbeitsblatt <Flächenpolaren>.....	21
Arbeitsblatt <Flugstabilität>.....	25
Arbeitsblatt <Seitenstabilität>.....	31
Arbeitsblatt <Modellpolaren>.....	35

1. Einleitung

Das Softwareprogramm „*FMFM - Flugmechanik für Flugmodelle*“ baut auf dem Microsoft Excel 2000/2002-Kalkulationsprogramm auf und wurde mittels der Microsoft Programmiersprache *Visual Basic für Applikationen* zur Programmierung mit Excel 2000/2002 entwickelt.

Dem Excel-versierten Modellflieger und -Konstrukteur ermöglicht das FMFM-Programm, alle relevanten aerodynamischen und flugmechanischen Parameter und Charakteristika von Modellflugzeugen in kurzer Zeit und mit der im Flugmodellbau erforderlichen Genauigkeit zu ermitteln.

Wesentliche Bestandteile des Programms sind :

- Traglinien- und Panelverfahren zur Berechnung der Zirkulations-, der Auftriebs-, der induzierten Widerstands- und der Neutralpunktverteilungen für Tragflächen beliebiger Form und Profilierung und ihre grafische Darstellung sowie der daraus resultierenden Gesamtbeiwerte, des Gesamtneutralpunktes und des Gesamtauftriebsanstieges,
- Verfahren zur Berechnung des integrierten Profilwiderstandsbeiwertes von Tragflächen,
- Bestimmung der entsprechenden Charakteristika der Leitwerke,
- Prozeduren zur Berechnung der Widerstands- und Momentenbeiwerte des Leitwerkträgers (Rumpf),
- Prozeduren zur Bestimmung der Kriterien für die Längsstabilität des Modells, wie Gesamtneutralpunkt, Schwerpunkt, statische Längsstabilität, Nickdämpfung und Einstellwinkeldifferenz,
- Prozeduren zur Bestimmung der Kriterien für die Richtungsstabilität und Gierdämpfung, der charakteristischen Maße für Rollmoment, Rolldämpfung und korrespondierende Kopplungsmomente,
- Schließlich noch Prozeduren zur Ermittlung der Gleitzahlen, Sinkraten und Geschwindigkeitspolaren für den Tragflügel und das ganze Modell.

Hervorzuheben ist insbesondere, daß mit dem Panel-Auswertungsverfahren auch den Liebhabern und Konstrukteuren von Nurflügelmodellen die Mög-

lichkeit zur Berechnung ihrer Flugleistungen und zur Bestimmung ihres Flugverhaltens geschaffen wurde.

Um dem Anwender den Umgang mit dem FMFM-Programm so einfach wie möglich zu machen, sind den einzelnen funktionellen Arbeitsblättern FMFM-spezifische Menüs zusätzlich zu den Excel-Menüs angefügt worden. Mittels dieser Menüs werden Dialoge aufgerufen, mit denen die Eingabe von Modell-daten und deren aerodynamische und flugmechanische Auswertung leicht und übersichtlich ausgeführt werden können. Auf jedem dieser Dialoge befindet sich ein On-Line-Hilfe-Feld mit Anweisungen oder Erläuterungen zu den unmittelbar anstehenden oder ausgeführten Operationen. Darüber hinaus werden, wo erforderlich, fachliche Erläuterungen auf den einzelnen Arbeitsblättern angeboten.

Weiter lässt es die Programmgestaltung zu, auf die grundlegenden Excel-Menüs und -Kommandos zuzugreifen. Z.B. ist es damit möglich, Tabellen oder Tabellenbereiche und die korrespondierenden Grafiken mittels der bekannten Excel Kopier- und Einfüge-Kommandos in neu angelegte modellspezifische Excel-Arbeitsmappen oder in andere Microsoft Office-Anwendungen zu übertragen und dort bezugsunabhängig abzuspeichern (Kopieren / Einfügen Werte).

Es würde im Rahmen dieses Handbuches oder der On-Line-Hilfe des FMFM-Programmes zu weit führen, ausführlicher auf die theoretischen aerodynamischen und flugmechanischen Grundlagen einzugehen. Wo immer erforderlich, wurden die benutzten Kenngrößen definiert, so daß der Benutzer sich leicht über deren Bedeutung in der einschlägigen Fachliteratur in Kenntnis setzen kann. Zum großen Teil sind die theoretischen Grundlagen zum FMFM- Programm im Theoriebuch „*Design, Leistung und Dynamik von Segelflugmodellen*“ des Autors nachzulesen, das im Verlag HQ-Modellflugliteratur direkt zu beziehen ist.

2. Systemanforderungen

Microsoft Windows XP

Das FMFM-Programm wurde unter Windows XP entwickelt und sollte darunter ohne Probleme arbeiten.

Im Prinzip sollte es auch mit Windows 98 und Windows 2000 arbeiten. Bei Testläufen sind aber in einzelnen Fällen ungeklärte Fehler aufgetreten, so daß ein einwandfreies Funktionieren des FMFM-Programmes mit diesen Betriebssystemen nicht unbedingt gewährleistet ist.

Microsoft Excel 2000 bis 2007

Für einwandfreies Arbeiten des FMFM ist eines dieser Anwendungsprogramme Voraussetzung.

Frühere Excel Versionen verwenden entweder noch nicht die Programmier-Codes des benutzten Visual Basic für Applikationen oder zum Teil noch andere und kommen deshalb für eine Anwendung nicht infrage.

Mindestens 256 MB RAM, besser 512 MB

Die für das FMFM-Programm entwickelten Traglinien- und Vortex-Panel-Verfahren zur Ermittlung der aerodynamischen und flugmechanischen Charakteristika von Tragflächen benötigen während der ablaufenden Rechnungen teilweise relativ viel Arbeitsspeicher. Um Berechnungen auch an PCs mit geringerem Arbeitsspeicher (mindestens aber 256 MB) ausführen zu können, werden im Programm Option angeboten, mit unterschiedlichen Rechengenauigkeiten, die entsprechend unterschiedlich großen Speicherplatz erfordern, zu arbeiten. In vielen Fällen reichen solche Resultate niedriger bis mittlerer Genauigkeit für die Bestimmung der Modellcharakteristika schon aus.

Rechengeschwindigkeit

Das FMFM Programm läuft natürlich auch an Rechnern mit weniger als 1 GHz-Rechengeschwindigkeit. Es muss dann aber mit relativ langen Rechenzeiten gerechnet werden.

3. Installationshinweise

Auf der mitgelieferten CD-ROM befinden sich

- das FMFM-Programm in der Version 1
- als auch eine Datei mit den Berechnungen der flugmechanischen Charakteristika eines Beispielsmodells des Autors

Einfachheitshalber wurde auf eine aufwendige SetUp-Prozedur für das Programm verzichtet. (Falls evtl. aber doch Interesse bestehen sollte, kann auch eine Version mit SetUp geliefert werden).

Das Programm kann entweder in die gewünschte Datei kopiert werden oder für den schnellen Zugriff per Drag&Drop aufs Desktop gezogen werden.

Je nachdem, welche Excel-Version Sie verwenden, kann es passieren, daß sich das Programm beim Anklicken nicht gleich öffnet. In diesem Falle wählen Sie mit dem Kontextmenü und 'Öffnen mit...' die zur Verfügung stehende Excel-Anwendung aus.

Achtung:

Beim ersten Öffnen des FMFM-Programms werden Sie mittels einer Dialogmaske dazu aufgefordert

- die angeführte Lizenzvereinbarung zu bestätigen,
- Ihren Namen oder Ihre Firma einzugeben,
- die mitgelieferte Produkt-Identifizierung einzugeben
- und den persönlichen Autorisierungs-Code, der Ihnen vom Verlag per E-Mail mitgeteilt wird, einzugeben.

Erst danach wird das Programm zur Benutzung automatisch freigeschaltet.

4. Funktion der Arbeitsblätter

a. Arbeitsblatt <COVERDIA>, Projekt-Charakteristika

Zu Beginn eines jeden Projektes sollten Sie zunächst den Projektnamen festlegen und eventuell noch weitere Angaben zum Zweck des Modells und zum Konstrukteur machen. Diese Angaben tauchen dann in den Kopfzeilen aller Arbeitsblattblätter auf und lassen sich gegebenenfalls beim Abspeichern der Projektdaten in einem eigenen Projektarbeitsbuch mit übernehmen.

Zur Eingabe der Projektbenennung rufen Sie im Arbeitsblatt <COVERDIA> den Dialog Projekt-Charakteristika mittels Menü > **Projekt-Charakteristika** auf.



Arbeitsblatt <Flächenkoordinaten> Eingabe der Koordinaten und Profilcharakteristika

PROJEKT:		ALLROUNDER									
KURZBESCHREIBUNG:		4M, DYNAMISCHER HANDBEGLEITER									
FIRMA/DESIGNER:		HQ-MODELLFLUGLITERATUR, H. QUABECK									
ADRESSE:		FINKENWEG, BABENHAUSEN									
EINGABE DER KOORDINATEN UND PROFILCHARAKTERISTIKA FÜR DIE TRAGFLÄCHE											
KOORD.-ZAHL	SPANNW.-KOORD.	EINTRITTS-KOORD.	AUSTRITTS-KOORD.	HÖHE EINTRITTS-KOORD.	SCHRÄNKUNG	PROFIL-MOMENT	PROFIL-AUFTR. GRADIENT	MEHRFACH-TRAPEZ MIT RAND			
n	Yn [mm]	Xon [mm]	Xhn [mm]	Zn [mm]	$\Delta\alpha$ [°]	C_{mo}	$dt_g/d\alpha$ [Deg ²]	Tpzschnitt			
0	0,00	0,0						0,0886	0		
1	70,00	0,0						0,0886	1		
2	1000,00	5,0						0,0886	2		
3	1650,00	23,0						0,0886	3		
4	1825,00	40,0						0,0886	4		
5	1835,00	41,0						0,0886			
6	1845,00	42,0						0,0886			
7	1855,00	44,0						0,0886			
8	1865,00	47,0						0,0886			
9	1885,00	53,0						0,0886			
10	1905,00	62,0						0,0886			
11	1925,00	77,0						0,0886			
12	1945,00	95,0						0,0886			
13	1965,00	115,0						0,0886			
14	1985,00	137,0						0,0886			
15	1995,00	151,0						0,0886			
16	2000,00	165,0						0,0886			

Eingabe-Dialogfenster:

Eingabe für Y_n [mm], X_{on} [mm], X_{hn} [mm], Z_n [mm], α [°], C_{mo} , Auftr.-Anstieg.

Optionen: Trapezflächen, Randfläche, Schnitt der Trapeze...

Buttons:

EINGABEANWEISUNGEN:

In der Regel beginnt das Design eines neuen Modells mit dem Entwurf des Tragflügels. Seine Form und Profilierung bestimmen letztendlich zum wesentlichen Teil die Leistung und das flugmechanische Verhalten des Modells. Deshalb steht am Anfang aller Arbeitsblätter des FMFM-Programms das Blatt <Flächenkoordinaten> für die Eingabe der Tragflügelkoordinaten und der wichtigsten Charakteristika der verwendeten Profile (Nullmomente und Auftriebsanstiege).

Auch wenn die Flugeigenschaften eines bekannten Modells berechnet werden sollen, sollte zuerst mit der Erfassung der Tragflügelkoordinaten und -Profilaten begonnen werden.

Für die rechnerische aerodynamische und flugmechanische Auswertung erwies es sich bei der Programmentwicklung als sinnvoll, bei der Eingabe der Tragflügelkoordinaten zwischen grundsätzlichen Flügelformen zu unterscheiden:

- Einfache Trapezflächen
relativ diffizile Vorgaben hinsichtlich der V-Form, der Schränkung und der Profilierung

- Einfache Trapezflächen mit Flächenenden, die an der Eintritts- (Vorder-) und/oder Hinterkante verrundet sind
- Mehrfachtrapezflächen
- Mehrfachtrapezflächen mit Flächenenden, die an der Eintritts- und/oder Hinterkante verrundet sind
- Tragflächen mit durchgehend verrundeten Eintritts- und/oder Hinterkanten

Zur Eingabe der Tragflügelkoordinaten und Profilangaben muss das der gewählten Flächenform entsprechende Eingabeformular mittels FMFM-Menü **Tragflächenform** aufgerufen werden:

> **Tragflächenform**

- Einfachtrapez ohne Außenrandbogen**
- Einfachtrapez mit Außenrandbogen**
- Mehrfachtrapez ohne Außenrandbogen**
- > **Mehrfachtrapez mit Außenrandbogen**
- Fläche mit verrundeten Kanten**

Bei der Eingabe der Koordinaten für Tragflügel mit durchgehend verrundeten Kanten sollten (aus Gründen, die mit der späteren mathematischen Auswertung solcher Flächen mittels kubischer Basissplines zusammenhängen) jeweils die beiden ersten und die beiden letzten Koordinatenschnitte möglichst nahe beieinander liegen, da aus ihnen die Kantengradienten an der Wurzel und Ende der Fläche berechnet werden. Gleiches gilt für Flächenenden mit verrundeten Kanten.

Ebenso sollten nicht zu wenige Koordinatenschnitte gewählt werden, in der Regel mindestens 10, und dort, wo stärkere Kantenrundungen auftreten, sollten die Koordinaten dichter gesetzt werden.

Unterstützung bei der Berechnung zusätzlicher Koordinatenpunkte für einen Flächenquerschnitt bei einer beliebigen Y-Koordinate bietet im Menü Tragflächenform der Hilfedialog

> **Tragflächenform**

...

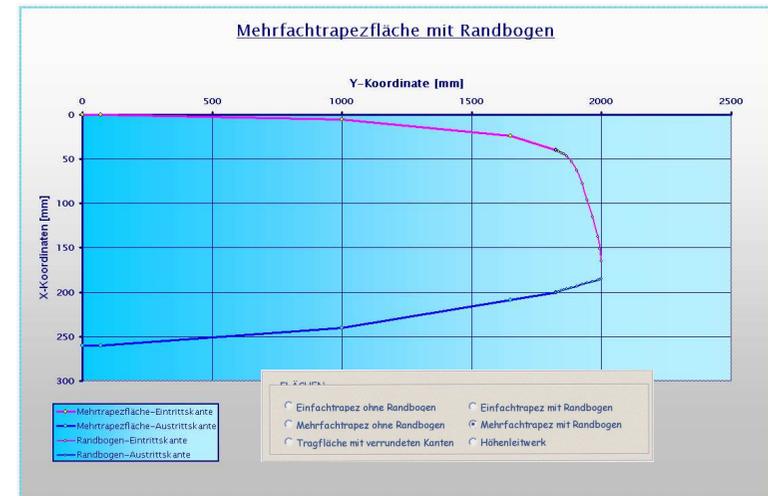
-
- > **Koordinatenberechnung für verrundete Flächenkanten**

Einer der kritischen Aspekte bei der Berechnung der aerodynamischen und flugmechanischen Eigenschaften eines Modellflugzeuges ist die Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Tragflügel und Rumpf, insbesondere wenn der Rumpfquerschnitt relativ groß ist wie bei Scale-Modellen. Hier müssen leider wegen der mangelnden Rechengeschwindigkeiten und Rechenkapazitäten der PCs Vereinfachungen in Kauf genommen werden. Für die Genauigkeit der Resultate bei der Berechnung der flugmechanischen Charakteristika, die im Modellflug erwartet wird, dürfte dies aber von nachrangiger Bedeutung sein.

Im Rahmen des FMFM-Programmes wird daher vereinfachend angenommen, daß der Einfluß des Rumpfes auf den Auftrieb des Modells in etwa dem eines Tragflügelabschnittes mit der Rumpfbreite und der Wurzeltiefe der Fläche entspricht. Demzufolge ist der Ursprung der Spannweiten-Koordinate des Tragflügels in die Symmetrieachse des Modells zu legen.

Eine grafische Kontrolle der eingegebenen Koordinaten und Korrekturmöglichkeit durch Verschieben der Koordinaten mit der Maus finden Sie im Grafikchart **<Flächengeometrie>**.

b. **Grafikchart <Flächengeometrie>**,
grafische Darstellung der Tragflächen- oder Höhenleitwerksform



Das Grafikchart <Flächengeometrie> verhilft zu einer schnellen Überprüfung der eingegebenen Koordinaten für die Tragfläche und das Höhenleitwerk.

Darüber hinaus bietet es die bekannte Excel-Chartoption, nach doppeltem oder dreifachem Anklicken eines Koordinatenpunktes mit gedrückter Maus-Funktionstaste den Punkt in X- oder Y-Richtung zu verschieben. Die Änderung der Koordinatenwerte wird dabei automatisch in den Eingabetabellen übernommen. Der Einfluss dieser Änderungen auf die aerodynamischen und flugmechanischen Parameter kann im Weiteren unmittelbar durch Ausführen der Auswertungsdialoge festgestellt werden.

Zum Aufruf der Tragflügelform muss das Auswahlformular **Auswahl der Flächengeometrie** mittels FMFM-Menü **Flächengeometrie** aufgerufen werden:

- > **Flächengeometrie**
- > **Auswahl der Flächenform**

Eine gleichzeitige Anzeige verschiedener Tragflächen oder von Tragfläche und Höhenleitwerk ist nicht möglich.

c. **-Arbeitsblatt <Leitwerkskoordinaten>, Eingabe der Koordinaten und Profilcharakteristika für die Leitwerke**

PROJEKT: ALLROUNDER												
KURZBESCHREIBUNG: 4M_DYNAMISCHER_HANDBEGLEITER												
FIRMA/DESIGNER: HQ-MODELLFLUGLITERATUR, H. QUASECK												
ADRESSE: FINKENWEG, EBBENHAUSEN												
EINGABE DER KOORDINATEN FÜR DAS HÖHENLEITWERK							EINGABE DER KOORDINATEN FÜR DAS SEITENLEITWERK					
KOORD.-ZAHL	SPANNW.-KOORD.	EINTRITTS-KOORD.	AUSTRITTS-KOORD.	PROFIL-MOMENT	PROFIL-AUFTR. GRADIENT	NORMALES HLW	KOORD.-ZAHL	SPANNW.-KOORD.	EINTRITTS-KOORD.	AUSTRITTS-KOORD.	PROFIL-AUFTR. GRADIENT	MEHRTRAPEZ-FLÄCHE
n	Yn [mm]	Xn [mm]	Xn [mm]	C _{no}	d _g /dx [Deg ⁻¹]	T _z -Schritt	n	Zn [mm]	Xn [mm]	Xn [mm]	d _g /dx [Deg ⁻¹]	T _z -Schritt
0	0,00	0,00	150,00	0,0000	0,1000	0	0,00	0,00	0,00	0,1000	0	
1	12,50						1	4,00	0,00	304,60	0,1000	1
2	137,50						2	28,00	0,00	308,00	0,1000	2
3	270,00						3	56,00	0,00	312,10	0,1000	3
4	280,00						4	138,00	56,50	323,60	0,1000	4
5	290,00								147,00	342,70	0,1000	5
6	300,00								155,70	344,10	0,1000	6
7	310,00								164,60	345,50	0,1000	7
8	320,00								175,30	347,00	0,1000	8
9	330,00								221,40	352,00	0,1000	9
10	340,00										0,1000	10
11	350,00										0,1000	11
12	355,00										0,1000	12

Zur Eingabe der Leitwerkskoordinaten und -Profilangaben muß das entsprechende Eingabeformular mittels FMFM-Menü **Leitwerksauswahl** aufgerufen werden:

- > Leitwerksauswahl
 - > Höhenleitwerk
 - Seitenleitwerk
 - V-Leitwerk

Wie bei der Eingabe der Tragflächenkoordinaten wird die Vorgehensweise bei der Koordinateneingabe für die Leitwerke per On-Line-Eingabeanweisung erläutert.

Um die Eingabe der Koordinaten für V-Leitwerke möglichst einfach zu gestalten, sind nur die X-Y-Koordinaten (senkrechte Projektion → Höhenleitwerk) und der Öffnungswinkel anzugeben. Die korrespondierenden Seitenleitwerkskoordinaten werden mittels Funktionsfeld ‚Berechnung der SLW-Koordinaten‘ dann automatisch ermittelt. Das hat den Vorteil, daß bei Änderung des Öffnungswinkels nicht alle Daten neu eingegeben werden müssen.

Eingabe charakteristischer Rumpfdimensionen

Die wesentliche flugmechanische Aufgabe des Rumpfes von Flugmodellen ist es, als Leitwerksträger zu dienen. Deshalb erscheint die Eingabe für die Dimensionen des Modellrumpfes im Arbeitsblatt <Leitwerkskoordinaten>.

Im Rahmen des FMFM-Programmes werden im Weiteren mittels einfacher aerodynamischer Betrachtungsweisen die Widerstands- und der Nickmomentenbeiwerte des Rumpfes ermittelt. Letztere spielen kaum eine Rolle bei schmalen Zweckrümpfen, können aber bei dicken Rümpfen die Lage des optimalen Modellschwerpunktes und damit die Flugstabilität wesentlich beeinflussen.

Zur Eingabe der Rumpfdimensionen muss das Eingabeformular ‚Koordinateneingabe für einen Rumpf‘ mittels FMFM-Menü **Rumpfdimensionen** aufgerufen werden:

- > Rumpfdimensionen
- > Rumpfkoordinaten

EINGABE DER KOORDINATEN FÜR DEN RUMPF					
KOORD-ZAHL	LÄNGS-KOORD.	RUMPF-BREITE	RUMPF-UNTER-KANTE	RUMPF-OBERKANTE	HÖHE GRÖSSTE RUMPFBREITE
n	Xn [mm]	Bn [mm]	Hun [mm]	Hon [mm]	Hbn [mm]
0	0,00	0,00	-30,00	-30,00	-30,00
1	10,00	17,72	-39,67	-12,15	-28,95
2	25,00	30,88	-46,68	0,84	-27,54
3	75,00	59,94	-60,55	29,24	-22,40
4	125,00				-19,64
5	175,00				-16,38
6	225,00				-13,56
7	275,00				-11,03
8	325,00				-8,80
9	375,00				-6,80
10	425,00				-5,05
11	475,00				-3,50
12	525,00				-2,06
13	575,00				-0,90
14	625,00				0,00
15	675,00				0,00

Eingabeformular mit Feldern für n, Xn [mm], Bn [mm], Hun [mm], Hon [mm], Hbn [mm] und Schaltflächen: Neu, Übergeben, Ändern, Ausführen, Löschen, Beenden.

d. Arbeitsblätter <Eingabeauswertung> und <Zirkulationsverteilung>

Die Auswertung der Eingabedaten für die Tragfläche und das Höhenleitwerk bedingt die wechselseitige Benutzung der Arbeitsblätter <Eingabeauswertung> und <Zirkulationsverteilung>!

Zunächst sind mittels der Auswertungsformulare in der <Eingabeauswertung> die geometrischen Charakteristika der Tragfläche und der Leitwerke zu bestimmen. Auf der Basis dieser Daten sind dann mittels der Dialoge im Arbeitsblatt <Zirkulationsverteilung> die entsprechenden aerodynamischen Parameter und Charakteristika zu berechnen. Diese sind dann wiederum in der <Eingabeauswertung> mittels der Auswertungsdialoge zu erfassen. Der Grund für diese Vorgehensweise ist, daß dann bei den weiteren Berechnungen und Auswertungen nur noch auf die Resultate in der <Eingabeauswertung> Bezug genommen werden muß.

Für die Auswertung der Seitenleitwerks- und der Rumpfkoordinaten wird lediglich das Arbeitsblatt <Eingabeauswertung> benötigt.

PROJEKT: ALLROUNDER
 KURZBESCHREIBUNG: 4M DYNAMISCHER HANDBEGLER
 FIRMA/DEVELOPER: HQ-MODELLFLUGLITERATUR, H. QUABECK
 ADRESSE: FRIEDRICH-BÄRENHAUSEN

AUSWERTUNG DER KOORDINATENEINGABE

1. Berechnung relevanter geometrischer und aerodynamischer Größen des Tragflügels

Teilfläche:	Trapez 1	Trapez 2	Trapez 3	Trapez 4	Randfläche
Flächeninhalte der Teilflächen, F_i [dm ²]	1,820	23,018	13,650	3,019	1,984
Gesamtflächeninhalt, F_{II} [dm ²]	86,981				
Mittlere Tragflächenkante, l_m [mm]	217,46	Xo-Wert der Tragfläche mittlerer Tiefe, X_{om} [mm]	15,11	Nullmomentenbeiwert der Tragfläche, $C_{Ma}(l_m)$	
Tiefe der Ersatztragfläche, l_E [mm]	—	Xo-Wert der Ersatztragfläche, X_{oE} [mm]	—	Nullmomentenbeiwert der Tragfläche, $C_{Ma}(l_E)$	
Neutralpunkt der Tragfläche, X_N [mm]	67,08	Neutralpunkt der Ersatztragfläche, X_{NE} [mm]	—	—	
Streckung der Tragfläche, λ	18,39				
Auftriebsanstieg des Tragflügels, $dC_A / d\alpha$ [1/Deg]	0,0993				
Nullauftriebswinkel des Tragflügels, α_0 [Deg]	-2,40				
k-Faktor des Tragflügels, $c_{wi} = k \cdot c_{wi,el}$	—				

Flächeninhalte Flügeltreckung und Effizienz

mittlere Tragflächentiefe Tiefe der Ersatztragfläche

— / α_{ref} : 0,9132

Aus Traglinien-Verfahren Aus Panel-Verfahren
 Nullmomentenbeiwert Nullmomentenbeiwert
 Lage der Neutralpunkte Lage der Neutralpunkte
 Auftriebsanstieg und Effizienz Auftriebsanstieg und Effizienz
 Nullauftriebswinkel Nullauftriebswinkel
 k-Faktor des ind. Widerstandes k-Faktor des ind. Widerstandes

Löschen Beenden

ERLÄUTERUNGEN UND KOMMENTARE

Zur Auswertung der Tragflächendaten muß das entsprechende Auswertungsformular mittels FMFM-Menü **Flächencharakteristika** aufgerufen werden:

> **Flächencharakteristika**
 > **Spezifische Auswertung der Tragflächen**
Auswertung der HLW-Koordinaten
Auswertung der SLW-Koordinaten

Dabei wird automatisch ein Auswertungsformular für die gewählte spezifische Tragflächenform aufgezeigt.

Entsprechendes gilt für die Auswertung der Höhenleitwerks- und der Seitenleitwerkskoordinaten.

Zur Auswertung der Konturen des Leitwerksträgers (Rumpf) muß das entsprechende Formular ‚Auswertung der Konturen des Rumpfes‘ mittels FMFM-Menü **Rumpffcharakteristika** aufgerufen werden:

> **Rumpffcharakteristika**
 > **Auswertung der Rumpfkonturen**

4. Geometrische und aerodynamische Größen des Rumpfes			
Gesamtlänge des Rumpfes, l_R [mm]	1920,00		
Größe Rumpfbreite, B_{Rmax} [mm]	131,35	Größe Rumpfhöhe, H_{Rmax} [mm]	182,44
		Größter mittlerer Durchmesser, D_{Rmax} [mm]	154,80
Gesamtoberfläche des Rumpfes, O_R [dm ²]	50,960	Seitenfläche des Rumpfes, F_{RS} [dm ²]	19,160
Gesamtvolumen des Rumpfes, V_R [dm ³]	13,7155	Rotationsvolumen der Breitenverteilung, V_{Rb} [dm ³]	9,9901
		Integral über X von $dV_{Rb}(X) \times \alpha_{q0}(X) \times X / 4$ [dm ³]	8,2295
Widerstandsbeiwert bezogen auf O_R , $c_{WR}(O_R)$	1,0403	$\times c_{Rf}(Re_R)$	Widerstandsbeiwert bezogen auf F_{RS} , $c_{WR}(F_{RS})$
		$\times c_{Rf}(Re_{F_{RS}})$	0,6095
Momentenbeiwert bezogen auf l_R , c_{MR}	1,00791	$\times c_{Rq}$	0,02316

Aerodynamische Analyse der Tragflügeldaten

In den Auswertungsdialogen für die Tragflügel im Arbeitsblatt <Eingabeauswertung> besteht zur Erfassung der aerodynamischen Charakteristika die Wahl zwischen einer Traglinien- und einer Panelauswertung. Bei beiden Verfahren werden im Kern die Zirkulationsverteilungen der Strömung an der Tragfläche berechnet und daraus weitere relevante Verteilungen über die

Spannweite der Tragfläche, wie die der lokalen Auftriebsbeiwerte, des lokalen Auftriebs (auch als Lastverteilung bezeichnet), des induzierten Widerstandes und, so man will, auch noch andere.

Das einfache Traglinienverfahren hat den Nachteil, dass es nicht die Konsequenzen für die aerodynamischen Parameter berücksichtigt, die sich aus einer Pfeilung der Fläche ergeben. Jedoch reicht diese Analyse in der Regel für Flächen mit mäßiger Pfeilung (<+/- 8°) aus. Im Hinblick auf den erforderlichen Eingabeaufwand hat sie aber den Vorteil, daß außer den im Arbeitsblatt <Flächenkoordinaten> erfaßten Nullmomentenbeiwerten und Auftriebsanstiegen keine weiteren Daten für die Profile anzugeben sind.

Das Panelverfahren erlaubt die aerodynamische Analyse von Tragflügeln mit beliebiger Form und Profilierung. Allerdings arbeitet dieses Verfahren nicht mit den eingegebenen Momentenbeiwerten und Auftriebsanstiegen für die Profile. Vielmehr müssen an den gewählten Tragflächenquerschnitten für vorgegebene X-Koordinaten die lokalen Gradienten dz/dx für die Mittellinien der Profile eingegeben werden. (Diese Gradienten sind extern aus den Profilkordinaten zu errechnen.)

Zur aerodynamischen Analyse der Tragflächendaten mittels Panelverfahren muß das entsprechende Auswertungs-Formular ‚Zirkulationsverteilung und relevante Charakteristika der Tragflächen (Panelverfahren)‘ im Arbeitsblatt <Zirkulationsverteilung> mittels FMFM-Menü **Tragfläche-Resultate** aufgerufen werden:

> **Tragfläche-Resultate**
 > **Zirkulations-/Auftriebsverteilung am Tragflügel**

Die Dialoge zur aerodynamischen Analyse der Tragflächendaten erklären sich selbst, deshalb wird hier auf eine exemplarische Darstellung verzichtet.

Aerodynamische Analyse des Höhenleitwerks

Die Eingabedaten für das Höhenleitwerk lassen sich, wenn sie mit dem Arbeitsblatt <Leitwerkskoordinaten> erfaßt wurden, nur mit dem Traglinienverfahren analysieren. (Allerdings lassen sie sich auch mit dem Panelverfahren analysieren, wenn sie als Flächenkoordinaten eingegeben werden.)

e. Grafikchart <Verteilungskurven>

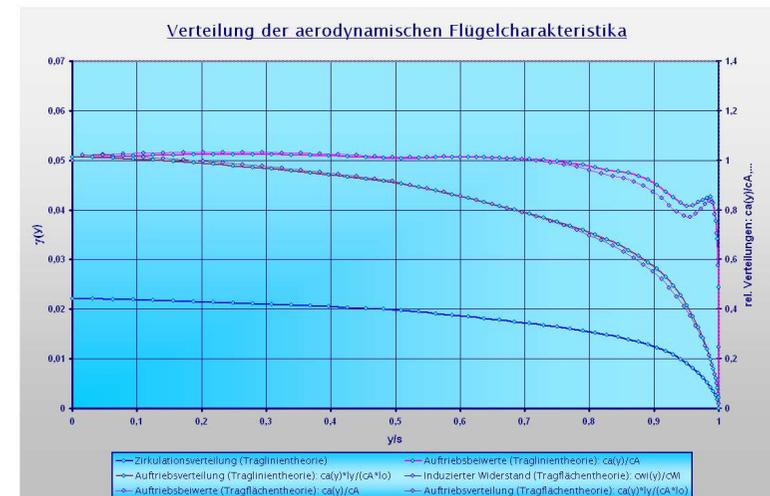
Die Ergebnisse aus beiden Analyseverfahren lassen sich anschaulich anhand ihrer grafischen Darstellung im Grafikchart <**Verteilungskurven**> vergleichen.

Zur grafischen Anzeige der analysierten Tragflächen- oder Höhenleitwerksparameter muss das entsprechende FMFM-Menü im Chart <**Verteilungskurven**> aufgerufen werden:

- > **Verteilungen (Traglinie)**
 - Zirkulation**
 - > **Auftriebsbeiwert**
 - normierter Auftrieb**

- > **Verteilungen (Tragfläche)**
 - rel. induzierter Widerstand**
 - > **Auftriebsbeiwert**
 - normierter Auftrieb**

- > **Verteilungen löschen**



f. Arbeitsblatt <Flächenpolaren>

Mit dem Arbeitsblatt <Flächenpolaren> ist es möglich

- für eine im Vorhergenden analysierte Tragfläche oder auch eine beliebige andere Tragfläche für fünf beliebige Reynolds-Zahlen zu vorgegebenen Auftriebsbeiwerten die korrespondierenden Widerstandsbeiwerte der Profile zu erfassen sowie die entsprechenden Gesamtauftriebsbeiwerte, induzierten Widerstandsbeiwerte, Gesamtwiderstandsbeiwerte und schließlich die daraus resultierenden Gleitzahlen und Sinkraten zu ermitteln.

Für Tragflügel mit Wölbklappen können beispielsweise aber auch zur selben Re-Zahl die Beiwerte, Gleitzahlen und Sinkraten bestimmt werden.

- zu vorgegebenen Re-Zahlen und korrespondierenden Auftriebsbeiwerten mittels automatisch ausgeführter numerischer Quadratur aus den entsprechenden lokalen Profilwiderstandsbeiwerten den Gesamtbeiwert des Profilwiderstandes einer Tragflächen zu bestimmen sowie die korrespondierenden induzierten Widerstandsbeiwerte, Gesamtwiderstandsbeiwerte und daraus die resultierenden Gleitzahlen und Sinkraten.

Damit erhält man die Gleitzahlen und Sinkraten als Funktion der Re-Zahlen, was physikalisch gesehen die realistische Abhängigkeit von der Flugeschwindigkeit darstellt.

- die funktionalen Abhängigkeiten der Gleitzahlen und Sinkraten von den Re-Zahlen und Auftriebsbeiwerten grafisch aufzuzeigen.

Insbesondere diese grafische Darstellung ermöglicht es, einfach und genau festzustellen, bei welchen Auftriebsbeiwerten des Tragflügels die besten Gleitzahlen und Sinkraten erzielt werden, was in den noch folgenden Bestimmungen von Modellschwerpunkt und Flugstabilität eine wesentliche Rolle spielt.

- mittels einer Hilfsdialoges ‚Interpolation von Profilwiderstandsbeiwerten‘ zu einem vorgegebenen Profilauftriebsbeiwert den Profilwiderstandsbeiwert für eine beliebige Re-Zahl aus dem bekannten korrespondierenden Widerstandsbeiwert, der zu einer nahe liegenden bekannten Re-Zahl gehört, durch Interpolation zu bestimmen.

Zur Berechnung und grafischen Anzeige der Auftriebs- und Widerstandsbeiwerte der Tragfläche sowie der korrespondierenden Gleitzahlen und Sinkraten

muß das entsprechende FMFM-Menü im Arbeitsblatt <Flächenpolaren> aufgerufen werden:

> Statische Flächenpolaren

- Profilbeiwerte-Erfassung
- Auftriebsbeiwerte der Tragfläche
- induzierte Widerstandsbeiwerte
- Gesamtwiderstandsbeiwerte

> Gleitzahlen und Sinkraten

> Dynamische Flächenpolaren

- Profilbeiwerte-Erfassung
- > Beiwerte-Integration

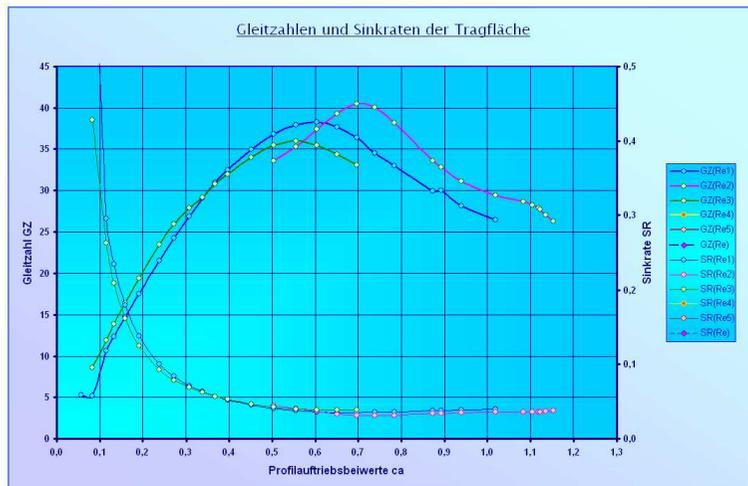
cwp-Interpolation

> GZ- und SR-Plots

- Plot der statischen GZ
- > Plot der statischen SR

- Plot der dynamischen GZ
- Plot der dynamischen SR

Löschen der GZ und SR



PROJEKT: ALLROUNDER
 KLASSESCHREIBUNG: AM DYNAMISCHER HANDESSLER
 FIRMA/DESIGNER: HGM ODELLFLUGLITERATUR, H. QUARECK
 ADRESSE: FINNENWEG, BABENHAUSEN

GLEITZAHLEN UND SINKRATEN VON TRAGFLÄCHEN

Profilpolaren der Tragfläche für durchgehend (fast) gleiches Profil HQ-1.5/12

ANMERKUNGEN:
 Der Schwerpunkt von Flugmodellen wird in der Regel so gewählt, daß im nämlich: $GZ = c_{qf} \cdot \rho \cdot V_{\infty}^2 \cdot S_{ref}$ Maximum! und $SR = c_{wq} / c_{qf} \cdot \rho \cdot V_{\infty}^2 \cdot S_{ref}$ Minimum! mit Wertes in den weiteren Rechnungen liefern dann z.B. die dazu erforderliche

Wenn an der Tragfläche eine Profilierung gewählt wurde, bei der zum über unterschiedlichen Dicken eingesetzt wurde, erhält man bei der Berechnung Flächenleiste entspricht, erfahrungsgemäß Resultate, die durch die Fluggeschwindigkeit Auftriebsbeiwert und für jede Re-Zahl mittels Auftriebsverteilung

1. Eingabe der ca-cwp-Profilpolaren für ausgesuchte Re-Zahlen	
Auftriebsbeiwert des Profils	c_{qf}
Auftriebsbeiwert der Tragfläche	$c_{qf} \cdot Re \cdot c_{wp}$
Widerstandsbeiwert für 1. Re-Zahl	$c_{wq}(Re1) = 100000$
Widerstandsbeiwert für 2. Re-Zahl	$c_{wq}(Re2) = 200000$
Widerstandsbeiwert für 3. Re-Zahl	$c_{wq}(Re3) = 300000$
Widerstandsbeiwert für 4. Re-Zahl	$c_{wq}(Re4) = 400000$
Widerstandsbeiwert für 5. Re-Zahl	$c_{wq}(Re5) = 600000$

2. Berechnung des induzierten Widerstandsbeiwertes der Tragfläche	
induzierter Widerstandsbeiwert (Tragfläche)	$c_{wi} = k \cdot c_{qf}^2 / (\pi \cdot A)$
	0

3. Berechnung der Gesamtwiderstandsbeiwerte des Modells als Funktion von ca	
Gesamtwiderstandsbeiwert I	$c_{wi} + c_{wp} \cdot Re$

4. Berechnung der Gleitzahlen als Funktion von ca und Re	
Gleitzahlen für die Tragfläche des Modells	
GZ (Re1)	5,24269
GZ (Re2)	
GZ (Re3)	
GZ (Re4)	
GZ (Re5)	

5. Berechnung der Sinkraten SR als Funktion von ca und Re	
Sinkraten für die Tragfläche des Modells	
SR (Re1)	0,84605
SR (Re2)	
SR (Re3)	
SR (Re4)	
SR (Re5)	

1. Dialogfenster: Profil-Bez.: HQ-1.5/12, Profil-ca: , cwp (ca, Re): , Buttons: Neu, Ändern, Ausführen

2. Dialogfenster: Eingabe von aF, k aus Eingabeauswertung, Unter Berücksichtigung von aF, Buttons: Ausführen, Löschen, Beenden

3. Dialogfenster: k = 1, elliptischer Flügel, k > 1, andere Flügelgeometrie, k aus Eingabeauswertung, k nach eigener Angabe, Flügelstreckung Lambda: , Buttons: Ausführen, Löschen, Beenden

4. Dialogfenster: ERLÄUTERUNGEN: , Buttons: Ausführen

5. Dialogfenster: ERLÄUTERUNGEN: , Buttons: Berechnen

6. Dialogfenster: Übernahme relevanter Tragflächendaten (Y1, I(Y1)), Re-Zahl der Tragflächenwurzel: Re(0), Auftriebsbeiwert der Tragflächenwurzel: cwp(0), lokale ca-Werte berechnen, lokale ca-Verteilung, Traglinienverfahren, lokale ca-Verteilung, Panelverfahren, Koordinatennummer: 34, Profilwiderstandsbeiwert: cwp(y), Buttons: Löschen, Ausführen, Beenden

7. Dialogfenster: Bezeichnung des Profils: HQ-1.5/12, ERLÄUTERUNGEN: , Profilauftriebsbeiwert ca: , Referenzzahl Re-ref: , cwp(ca, Re-ref): , Neue Re-Zahl: Re: , Interpolation, Beenden, cwp(ca, Re):

g. Arbeitsblatt <Flugstabilität>

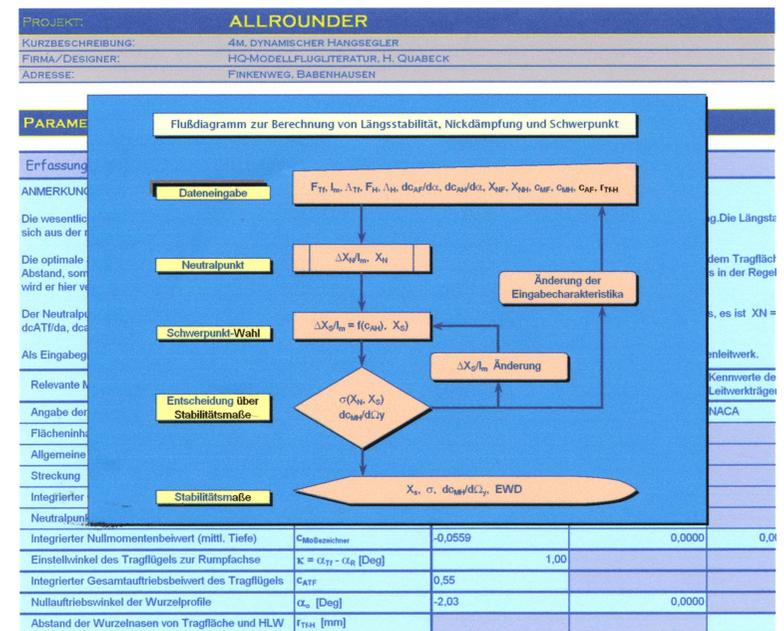
Das Arbeitsblatt <Flugstabilität> ermöglicht die Bestimmung der optimalen Schwerpunktlage des Modellflugzeuges, der charakteristischen Maßzahlen für statische Längsstabilität und Nickdämpfung (auch als dynamische Stabilität zu verstehen) und der Einstellwinkeldifferenz von Tragfläche und Höhenleitwerk.

Wie dabei prinzipiell vorzugehen ist, um die gewünschten flugmechanischen Eigenschaften des Modells zu erzielen, läßt sich anhand des ‚Flußdiagrammes zur Ermittlung der Längsstabilität‘ studieren, das mit dem FMFM-Menü **Längsstabilität** aufgerufen werden kann:

> Längsstabilität

> Flußdiagramm zur Ermittlung der Längsstabilität

Daraus erkennt man, welche geometrischen und aerodynamischen Variablen des Modells hier eine Rolle spielen und welche Variationen der Variablen gegebenenfalls erforderlich oder möglich sind, um das gewünschte Ergebnis für die Flugstabilität zu erzielen.



Bei der Bestimmung der charakteristischen Maßzahlen für die Flugstabilität ergibt sich unmittelbar die Frage nach den Kriterien für die „richtigen“ Maße, vor allem bei Neukonstruktionen. In den meisten Fällen kann man solche Maße ermitteln, indem man mit Hilfe dieses FMFM-Programmes zunächst die geometrischen, aerodynamischen und flugmechanischen Stabilitätscharakteristika von Modellen nachrechnet, von denen man weiß, daß sie die gewünschten Eigenschaften in etwa aufweisen. Solche „Vorbilder“ gibt es in nahezu allen Kategorien der Modellflugzeuge.

Zur Festlegung der geometrischen und aerodynamischen Parameterwerte, von denen die Längsstabilität eines Modellflugzeuges beeinflusst wird, und zur Berechnung der daraus resultierenden flugmechanischen Charakteristika der Längsstabilität, sind die entsprechenden Eingabe- bzw. Auswertungsdialoge des FMFM-Menüs **Längsstabilität** der Reihe nach aufzurufen und zu bearbeiten. Auch nach Änderung der Parameter sind die Menüpunkte wiederum alle abzarbeiten:

- > **Längsstabilität**
Flußdiagramm zur Ermittlung der Längsstabilität

 > **Erfassung relevanter Modellcharakteristika**
Schwerpunkt als Funktion des HLW-Auftriebes
Stabilitätsmaße der Längsbewegung

Parameterübernahme und -Eingabe

Der Dialog zur **Erfassung der für die Längsstabilität relevanten charakteristischen Modellparameter** bietet zwei Optionen für die Wahl und Festlegung der Parameter:

- Wenn die Parameter eines Modells, dessen geometrische und aerodynamische Tragflächen-, Leitwerks- und Rumpfcharakteristika im Vorausgehen ermittelt wurden, übernommen werden sollen, ist die Option **• Übernahme aus Eingabeauswertung** zu wählen.
- Wenn aber für ein neues Modellkonzept erst einmal grob abgeschätzt werden soll, wie sich die geplanten Dimensionen und aerodynamischen Parameter auf die Flugstabilität auswirken, bietet sich hierzu ein ideales Verfahren mit der Option **• Angaben nach beliebiger Wahl**.

Neben den übernommenen oder frei eingegebenen Parameterwerten für Tragfläche, Höhenleitwerk und Rumpf sind noch weitere Festlegungen für den Einstellwinkel des Tragflügels zur Rumpfbezugsachse, den Gesamtauftriebswert des Tragflügels, die Nullauftriebswinkel von Tragflügel und Höhenleitwerk (nicht notwendig identisch mit den Nullauftriebswinkeln der Profile!) und den Abstand von Tragflügel und Höhenleitwerk zu treffen.

The screenshot shows the FMFM software interface. At the top, the project name is 'ALLROUNDER'. Below it, there are fields for 'KURZBESCHREIBUNG', 'FIRMA/DESIGNER', 'ADRESSE', '4M. DYNAM.', 'HQM. MODE', and 'FIRMENWE'. The main window is titled 'PARAMETER UND KRITERIEN DER LÄNGSSTABILITÄT'. It has two tabs: 'Übernahme aus < Eingabeauswertung >' (selected) and 'Angaben nach beliebiger Wahl'. The dialog is divided into three columns: 'Tragfläche', 'Höhenleitwerk', and 'Leitwerksträger'. It contains input fields for various parameters like 'Fläche, F [dm²]', 'Bezugstiefe, Im [mm]', 'Streckung, Lambda', 'dca / dalphi', 'Neutralpunkt, XN... [mm]', 'Momentenbeiwert, cMo...', 'Einstellwinkel [°Deg]', 'Auftriebsbeiwert, cA', 'Nullauftriebswinkel [°Deg]', and 'TF-Hlw-Abstand, rH [mm]'. There are buttons for 'Ausführen', 'Löschen', and 'Beenden'. Below the dialog, there is a table with the following data:

Parameter	Bezeichnung	Tragfläche	Höhenleitwerk	Leitwerksträger
Streckung	A	18,39	5,7	
Integrierter Gesamtauftriebsanstieg	dca / dα [1/Deg]	0,0969	0,08	
Neutralpunkt (bezogen auf jew. Flächenursprung)	XN	67,15	45,34	
Integrierter Nullmomentenbeiwert (mittl. Tiefe)	cMo	-0,0637	0,0000	0,0033
Einstellwinkel des Tragflügels zur Rumpfachse	κ = αT - αR [Deg]	1,5		
Integrierter Gesamtauftriebsbeiwert des Tragflügels	cATF	0,6		
Nullauftriebswinkel der Wurzelprofile	α0 [Deg]	-2,46	0,0000	
Abstand der Wurzelachsen von Tragfläche und HLW	rTH [mm]			1100,00

Below the table, there is a section titled 'Berechnung des Modellneutralpunktes für die Längsstabilität' with two calculation methods:

Method	Parameter	Value
1. Näherungsweise Berechnung auf Basis der Auftriebsanstiege quasielliptischer Flächengeometrie bei gleicher Streckung. dca/dα = 2 * π * Δ / (Δ * 2), für überschlägige Betrachtungen	Tragflächen-Neutralpunkt	XNF [mm] 67,15
	Neutralpunktverschiebung	ΔXN [mm] 71,52
	Neutralpunkt des Modells	XN = XNF + ΔXN [mm] 138,67
2. Exakte Berechnung auf der Grundlage der integrierten Auftriebsanstiege für die Tragfläche und das Höhenleitwerk ('Arbeitsblätter 'Zirkulationsverteilung' und 'Eingabeauswertung')	Tragflächen-Neutralpunkt	XNF [mm] 67,15
	Neutralpunktverschiebung	ΔXN [mm] 68,51
	Neutralpunkt des Modells	XN = XNF + ΔXN [mm] 135,66

Sollten bei einem Modell, für das die geometrischen und aerodynamischen Charakteristika von Tragfläche und Höhenleitwerk bereits ermittelt und mittels Option **• Übernahme aus Eingabeauswertung** übernommen wurden, die charakteristischen Maßzahlen der Längsstabilität nicht den gewünschten Ergebnissen entsprechen, lässt sich jetzt durch Übergang auf Option **• Angaben nach beliebiger Wahl** auch die eventuell notwendige Änderung der Para-

meterwerte für Tragfläche und Höhenleitwerk für die Erzielung der gewünschten Längsstabilität des geplanten Modells ermitteln. Die gefundenen notwendigen Korrekturen der Tragflügel- und Leitwerksdimensionen sind dann bei der Koordinateneingabe vorzunehmen und die Eingabeauswertungen erneut auszuführen.

Mit der Eingabebestätigung werden nicht nur alle Parameterangaben in das Arbeitsblatt <Längsstabilität> übernommen, sondern es wird auch gleichzeitig der Gesamtneutralpunkt des Modells berechnet und angezeigt.

Schwerpunkt als Funktion des Höhenleitwerkauftriebs

Die Lage des Schwerpunktes hängt außer von den bereits erfaßten Parametern auch noch vom Auftriebsbeiwert des Höhenleitwerks ab. Wird bei einem neu zu konstruierenden Modell ein symmetrisches Höhenleitwerksprofil eingesetzt, dann sollte in der Regel dieser Auftriebsbeiwert zu Null gewählt werden, um den Profilwiderstand des Höhenleitwerks zu minimieren. Bei einem gewölbten Höhenleitwerksprofil ist es eher empfehlenswert, einen Auftriebsbeiwert zu wählen, der den geringstmöglichen Profilwiderstand liefert. Sollten sich mit der daraus resultierenden Schwerpunktlage nicht die gewünschten Stabilitätsmaße für die Längsstabilität erzielen lassen, dann sind eher die anderen relevanten Parameter zu ändern.

Anders verhält es sich mit der Festlegung des Schwerpunktes, wenn einem z.B. zwar die Flugleistungen (Auftriebs-Widerstandsverhältnis) eines Scale-Modells oder eines erworbenen Modells zusagen, nicht aber seine Flugstabilität in Bezug auf das Flugverhalten. Da in diesem Falle Änderungen der geometrischen Dimensionen oder aerodynamischen Charakteristika kaum möglich sind, bleibt bei etwa gleicher Flugleistung nur eine angemessene Wahl der Schwerpunktlage. Dies bedingt aber auch einen anderen Auftrieb am Höhenleitwerk, was in der Regel mittels Trimmung des Höhenleitwerkstellwinkels erreicht wird.

Zur Ermittlung der „passenden“ Schwerpunktlage als Funktion des Höhenleitwerkauftriebes ist der Dialog **Schwerpunkt und HLW-Auftrieb** aufzurufen:

> Längsstabilität

...

> Schwerpunkt als Funktion des HLW-Auftriebes

Alles Weitere geht aus den Erläuterungen des Dialogs hervor.

Schwerpunkt in Abhängigkeit von Ab-/Auftrieb am HLW

ANMERKUNGEN:

- Wie weiter oben erwähnt wird relevanten Parameter blieb lediglich bei Nullauftrieb am geringsten zuzustellen, für den $c_{aH} = 0$ ist. HLW-Auftriebes zu bestimmen. gel das Widerstandsminimum ein!
- Da der Beitrag des Profilmomentes zum Gesamtdrehmoment des Modells in die Rechnung einbezogen werden. (Siehe auch ERLÄUTERUNGEN im Dialog)

ERLÄUTERUNGEN:

$c_{aH} = 0$; $X_S =$ [mm]

Unterer Grenzwert für c_{aH} : []

Oberer Grenzwert für c_{aH} : []

Ausführen Beenden

Auftriebsbeiwerte des Höhenleitwerkes	c_{aH}	-0,0100	-0,0060	-0,0020	0,0020	0,0060	0,0100
relative Schwerpunktlage gegen X_{NF}	$\Delta X_S(c_{aH}) / l_m$	0,092	0,096	0,099	0,102	0,106	0,109
absolute Schwerpunktlage des Modells	$X_S(c_{aH})$ [mm]	87,247	87,965	88,683	89,399	90,115	90,829

Berechnung der Stabilitätsmaße für die Längsbewegung

Zur endgültigen Berechnung der Maße für die flugmechanische Längsstabilität des Modellflugzeuges ist der Dialog **Berechnung der Stabilitätsmaße für die Längsbewegung** aufzurufen:

> Längsstabilität

...

> Stabilitätsmaße der Längsbewegung

Darin wird zuerst aufgefordert, den Auftriebsbeiwert des Höhenleitwerkes anzugeben und die davon abhängige Schwerpunktlage ausrechnen zu lassen. Im Folgenden können dann die Maße für statische Längsstabilität, für die Nickdämpfung und die resultierende Einstellwinkeldifferenz von Tragfläche und Höhenleitwerk (EWD) des Modells abgerufen werden.

Achtung:

Einer besonderen kritischen Betrachtung bedarf die Einstellwinkeldifferenz. Diese hängt wesentlich davon ab, wie das Höhenleitwerk von der freien Ausenströmung und dem Strömungsnachlauf des Tragflügels angeströmt wird. Beim Strömungsnachlauf des Tragflügels handelt es sich im Wesentlichen um eine dissipative Kármánsche Wirbelstraße, deren Nachlaufwinkel sich mit der Fluggeschwindigkeit ändert. Je nach Fluggeschwindigkeit und Hochlage des Höhenleitwerks ändert sich also der Einfluß dieses Strömungsnachlaufes auf die EWD. Die ermittelten Werte sind daher nur ungefähr „passende“ Richtwerte. Die tatsächliche EWD des Modells ist durch eventuelles Nachtrimmen des Anstellwinkels beim Höhenleitwerk in der Flugpraxis einzustellen.

Berechnung der Stabilitätsmaße für die Längssta

ANMERKUNGEN:

Die wichtigsten flugmechanischen Kriterien eines Flugmodells sind seine Stabilitätsmaße für die Längsbewegung. Hier werden diese Maße für die vorgegebene Konstruktion eines Flugmodells mit Höhenleitwerk berechnet. Dazu müssen alle vorausgehenden Arbeitsschritte dieses Arbeitsblattes vollständig durchgeführt worden sein!

Für den Konstrukteur stellt sich hier am brunnendsten die Frage, welche Stabilitätswerte für ein geplantes Modell anzustreben sind. Wenn keinerlei Erfahrungswerte vorliegen, so kann man geeignete Stabilitätsmaße ermitteln, indem man zunächst die von bekannten guten Modellen nachrechnet, die für gleichen Zweck konstruiert wurden (also z. B. die Stabilitätsmaße von guten F3B-, F3J-, Elektro-, von Acromodellen usw.).

Die Einstellwinkeldifferenz, EWD, von Tragfläche und Höhenleitwerk hängt stark von der Hochlage des Höhenleitwerks ab, die berechneten Werte sind deshalb sehr kritisch zu bewerten und stellen in den meisten Fällen nur eine erste Näherung dar!

Hlw-Auftrieb caH	Schwerpunkt X _S [mm]	Statische Längsstabilität		Nickdämpfung		Einstellwinkeldifferenz	
		$\sigma = (X_H - X_S) / l_m$		$dc_{MH}/d\Omega_y = -dc_{MH}/d\alpha_H + F_{H1}/F_{T1} \cdot (c_{l,m})^2$		EWD [°Deg]	
		Näherung (s.o.) $\sigma = \alpha(\Delta)$	Exakte Rechnung (s.o.) $\sigma = \alpha(dc_H/d\alpha)$	Näherung (s.o.) $dc_{MH}/d\Omega_H \sim 2 \pi \Lambda / (\Lambda + 2)$	Exakte Rechnung (s.o.)	Näherung	Exakt
0,0000	89,041	0,2282	0,2144	-10,6927	-11,0037	-2,42	-2,54



h. Arbeitsblatt <Seitenstabilität>

Das Arbeitsblatt <Seitenstabilität> ermöglicht die Bestimmung von praxisgerechten Maßzahlen für die charakteristischen Kriterien in Hinblick auf das Flugverhalten eines Modellflugzeuges bei Flugmanövern mit Seitenbewegung wie dem Schieben und Gieren sowie der gekoppelten Roll-Gierbewegung.

Zur Berechnung der meisten Charakteristika der Seitenbewegung des Modells werden vereinfachte Näherungsverfahren verwendet, die für den Modellflug genügend präzise Maßzahlen liefern, mit denen sich die richtungsabhängigen Flugeigenschaften eines Flugmodells mathematisch-physikalisch beschreiben lassen.

Auf der Basis der relevanten geometrischen und aerodynamischen Variablen des Modells und seiner Schwerpunktlage lassen sich seine Richtungsstabilität und Gierdämpfung, seine Neigung zu Schiebe-Rollbewegungen und Gier-Roll-Bewegungen und seine Fähigkeit zur Roll- und Schiebe-Roll-Dämpfung in Maßzahlen ausdrücken. Auch hier gilt für das Design eines neuen Modells wie für die Längsbewegung, dass sich Maßzahlen für die Stabilitätskriterien der Seitenbewegung durch das Nachrechnen der Schiebe-Eigenschaften von „vorbildlichen“ Modellen ermitteln lassen.

Zur Festlegung der geometrischen und aerodynamischen Parameter, von denen die Seitenbewegungen eines Modellflugzeuges beeinflusst werden, und zur Berechnung der daraus resultierenden relevanten flugmechanischen Charakteristika sind die entsprechenden Eingabe- bzw. Auswertungsdialoge des FMFM-Menüs **Seitenstabilität** aufzurufen und zu bearbeiten. Auch nach Änderung der Parameter sind die gewünschten Menüpunkte wiederum abzarbeiten:

> Seitenstabilität

> Erfassung relevanter Modellcharakteristika

Richtungsstabilität
Schiebe-Rollmoment
Gier-Roll-Moment
Rolldämpfung

Parameterübernahme und -Eingabe

Für die Erfassung der Variablen bei der Seitenbewegung des Modells ist im

Prinzip genau so vorzugehen wie im Falle der Längsbewegung. Deshalb soll hier nur noch auf folgende Besonderheiten hingewiesen werden:

Ebenso wie bei der Längsstabilität bietet der Dialog zur **Erfassung der für die Seitenstabilität relevanten charakteristischen Modellparameter** Optionen zur Übernahme der Variablen aus Vorhergehendem und zur freien Festlegung.

Neben den übernommenen oder frei eingegebenen Parametern für Tragfläche, Höhenleitwerk und Rumpf sind noch weitere Festlegungen für den Gesamtauftriebsbeiwert des Tragflügels, den Gesamtwiderstandsbeiwert des Tragflügels, den Abstand von Tragflügel und Höhenleitwerk und den Abstand des Tragflügels von der Rumpfspitze zu treffen.

Relevante Modellparameter	Parameterbezeichnung			
Angabe der Profilstraks	Wurzelprofil ...			
Flächeneinhalte	F Bezeichner [dm ²]			
Bezugstiefe: Halbspannweite der Tragfläche	s [mm]			
Streckung	λ Bezeichner			
Integrierter Gesamtauftriebsanstieg	dca / dα [1/Deg]	0,0969	0,0554	
Neutralpunkt (bezogen auf jew. Flächenursprung)	XN Bezeichner [mm]	67,15	16,66	
Mittlere effektive V-Form der Tragfläche	v [°Deg]	1,9		
Integrierter Gesamtauftriebsbeiwert des Tragflügels	cATF	0,7000		
Profilwiderstandsbeiwert des Tragflügels	cwpTF	0,0100		
Abstand der Wurzelachsen von Tragfläche und HLW	TTiSlw [mm]			1000,00
Abstand der Tragfläche von der Rumpfspitze	X (Ro → TF) [mm]			525,00

Berechnung der Beiwerte und Maßzahlen für Richtungsstabilität und Gierdämpfung

Mit Hinblick auf das richtungsabhängige Flugverhalten eines Flugmodells ist die Kenntnis der Seitenkraft- und Giermomentenbeiwerte von Seitenleitwerk, Rumpf und Tragflügel sowie der statischen Längsstabilität und der Dämpfung der Gierbewegung von Wichtigkeit. Um den Umgang mit den Kriterien zu er-

leichtern, wird dem Anwender im Arbeitsblatt **<Seitenstabilität>** jeweils der funktionale Zusammenhang mit den relevanten Modellvariablen und ihrer jeweiligen Einflußnahme angezeigt.

Zur Abschätzung der Maßzahlen für die Richtungsstabilität und die Gierdämpfung des Modellflugzeuges ist der Dialog **Berechnung der Beiwerte und Maßzahlen für Richtungsstabilität und Gierdämpfung** aufzurufen:

- > **Seitenstabilität**
- ...
- > **Richtungsstabilität**

Da die Hochlage des Höhenleitwerkes einen nicht unwesentlichen Einfluß auf die Effizienz des Seitenleitwerkes hat, wird zuerst aufgefordert, diese optional anzugeben und damit die Seitenleitwerkseffizienz festzulegen.

Die Angaben zu den Rumpfdimensionen können entweder, falls diese schon im Arbeitsblatt **<Leitwerkskoordinaten>** eingegeben wurden, übernommen oder frei eingegeben werden.

Da sich die Giermomente des Modells auf den Schwerpunkt beziehen, ist auch die Angabe der Schwerpunktlage zwingend erforderlich.

Berechnung der Beiwerte und Maßzahlen für die Schiebe-Roll-Bewegung, die Gier-Roll-Bewegung und die Rolldämpfung

Die Berechnung dieser Charakteristika wird in den Dialogen erläutert und der jeweilige funktionale Einfluß von Variablen ähnlich wie bei der Richtungsstabilität im Arbeitsblatt selbst aufgezeigt.

i. Arbeitsblatt <Modellpolaren>

Mit dem am Schluß des FMFM-Programms angebotenen Arbeitsblatt **<Modellpolaren>** ist es möglich,

- mit Hilfe der Arbeitsblätter **<Eingabeauswertung>**, **<Zirkulation>** und **<Flächenpolaren>** zur Analyse der geometrischen Dimensionen und aerodynamischen Parameter von Tragfläche, Leitwerk und Rumpf eines Modellflugzeugs unter Berücksichtigung der Flughöhe (Einfluß der Luftdichte) und des Modellgewichtes die Gesamtbeiwerte für die Profilwiderstände von Tragflügel und Leitwerk, die induzierten Widerstandsbeiwerte, die Widerstandsbeiwerte des Leitwerkträgers und schließlich die daraus summierten Gesamtwiderstandsbeiwerte als Funktion der Gesamtauftriebsbeiwerte des Modells zu ermitteln,
- im Weiteren, wiederum unter Berücksichtigung von Flughöhe und Gewicht sowie der geometrischen Dimensionen, die zur funktionalen Abhängigkeit der Gesamtbeiwerte für Auftrieb und Widerstand korrespondierenden Leistungsparameter, nämlich Bahngeschwindigkeit, Horizontalgeschwindigkeit, Sinkgeschwindigkeit, Gleitwinkel sowie Gleitzahlen und Sinkraten des Modells zu berechnen.
- Die resultierenden Geschwindigkeits- und Gleitzahlpolaren grafisch zu verfolgen.

Zur Eingabe der geometrischen und aerodynamischen Parameterwerte, von denen die Flugleistungen eines Modellflugzeuges beeinflusst werden, und zur Berechnung der daraus resultierenden Leistungspolaren, sind die entsprechenden Eingabe- bzw. Auswertungsdialoge des FMFM-Menüs **Modellpolaren** aufzurufen:

> **Modellpolaren**

> **Luftdichte und Fächengewicht**

Auftriebsbeiwerte

Widerstandsbeiwerte der Tragfläche
Widerstandsbeiwerte der Leitwerke
Widerstandsbeiwerte des Rumpfes

Leistungspolaren des Modells

Da die Dialoge in ähnlicher Weise wie alle anderen vorhergehenden zu bearbeiten sind, erübrigt sich hier eine weitere exemplarische Darstellung, jedoch sei zum Schluß noch ein Beispiel für die automatische grafische Wiedergabe der Leistungspolaren mittels des eingebetteten Diagramms im Arbeitsblatt <Modellpolaren> angeführt:

