

DER INTEGRIERTE SCHLAGFLÜGEL - ERPROBUNG EINES NEUEN KONZEPTS

K.-H. Helling
Modellflugclub Rossendorf e.V.
Bautzner Landstr. 26, 01454 Radeberg / OT Rossendorf
www.mfc-rossendorf.de, mfcr@fz-rossendorf.de

ÜBERBLICK

Das Prinzip des Integrierten Schlagflügels wird in Theorie und Praxis vorgestellt. Verschiedene Modifikationen am Modell SF8 werden mit dem Ziel untersucht, den besten Lösungsweg für einen Konstant-Auftrieb zu finden. Im Ergebnis zeigt sich, dass die Forderung nur schwierig mit *einem* Schlagflügel zu realisieren ist. Deshalb wird ein neues Modell SF9 vorgestellt, wobei das Problem mit zwei übereinander angeordneten Schlagflügeln gelöst werden kann.

1 MOTIVATION

Seit 1986 arbeite ich am Schlagflügel-Konzept als eine Alternative zum Propeller. Meine ursprüngliche Idee galt Flügen mit Muskelkraft-Flugzeugen wie dem Gossamer Condor von Paul Mc Cready, mit dem die Kanal-Überquerung gelang. Ich suchte nach einem Konzept, das weniger Leistung benötigte ohne größere oder leichtere Flugzeuge zu bauen. Ich entwickelte den "Integrierten Schlagflügel", welcher mir als die einzige Alternative zu sein schien.

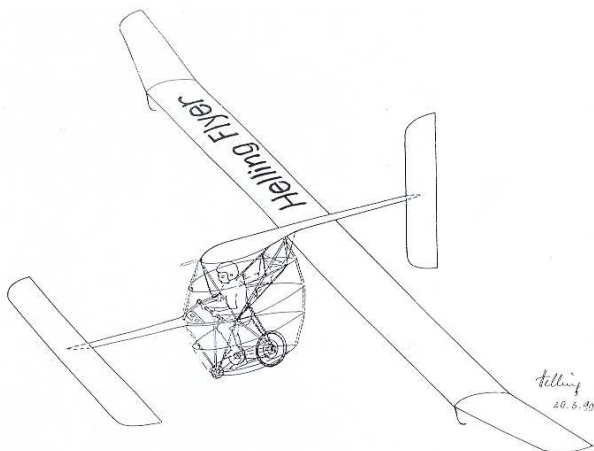


BILD 1: Muskelkraftflugzeug mit Integriertem Schlagflügel, Patent 1990 [1]

Ich erwarb dafür 1990 ein Patent. Bild 1 zeigt meine Idee für ein Muskelkraftflugzeug aus diesem Jahr. Seit dieser Zeit arbeite ich an Flugmodellen, die vom Integrierten Schlagflügel angetrieben werden: acht verschiedene Projekte wurden geplant und teilweise auch realisiert

2 DAS PRINZIP

2.1 Schlagflügel-Prinzip

In den folgenden Bildern wird das Schlagflügel-Prinzip gezeigt. Während des Abschlags werden Auftrieb und Vortrieb erzeugt als Folge eines positiven Anstellwinkels, Bild 2. Die beim Aufschlag erzeugten Kräfte hängen vom Anstellwinkel ab: Ist dieser positiv, so verursacht die Anströmung Auftrieb und Widerstand, Bild 3. Wird der Anstellwinkel negativ gewählt, so führt die Strömungsrichtung zu Vortrieb und Abtrieb, Bild 4.

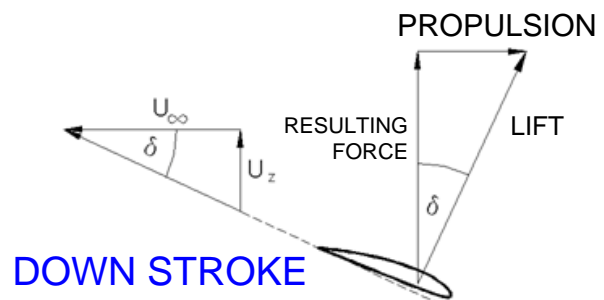


BILD 2: Kräfte während des Abschlags [2]

Weil es nicht möglich ist, mit Abtrieb zu fliegen, muss ein positiver Anstellwinkel während beider Schlagphasen gewählt werden. Dies führt zu einem kontinuierlichen, aber unterschiedlich großem Auftrieb durch Auf- und Abschlag. Dieser ungleichmäßige Auftrieb ergibt eine vertikale Bewegung des Rumpfes, folgend als "Tanzen" des Rumpfes bezeichnet.

Auf der anderen Seite gibt es ein Problem mit dem Vortrieb: weil es einen Widerstand im Aufschlag gibt,

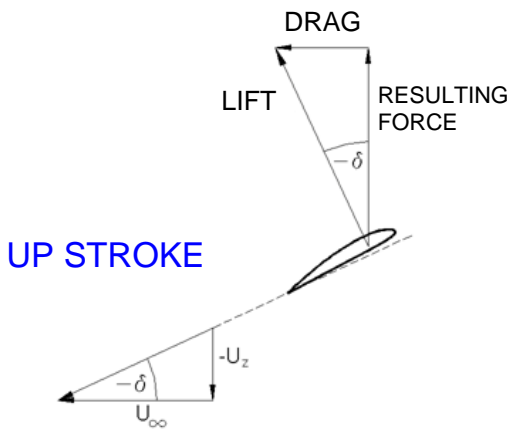


BILD 3: Kräfte während des Aufschlags mit positivem Anstellwinkel [2]

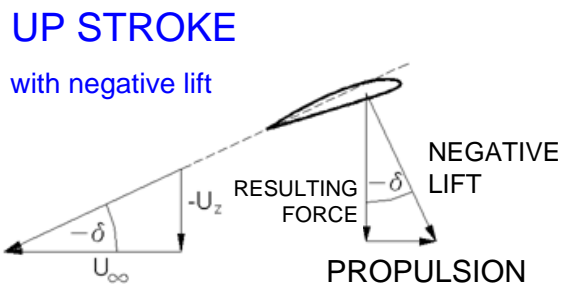


BILD 4: Kräfte während des Aufschlags mit negativem Anstellwinkel [2]

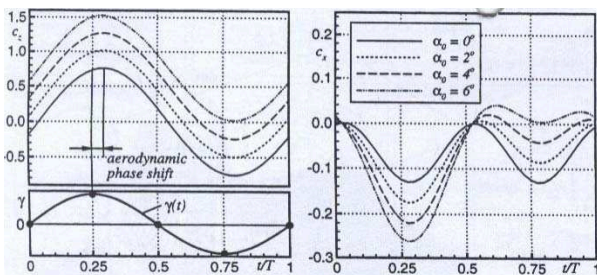


BILD 5: Auftriebskoeffizient (links) und Widerstandskoeffizient (rechts) über eine Periode des Schlagzyklus [3]

muss die Abschlagsgeschwindigkeit größer als die Aufschlagsgeschwindigkeit sein, um einen positiven Gesamtvortrieb während eines Schlagzyklus zu erhalten. Sonst würde der während des Abschlags erzeugte Vortrieb durch den Widerstand während des Aufschlags zunichte gemacht.

Der unstetige Vortrieb führt zu einer Schwankung der Momentangeschwindigkeit.

Die Verhältnisse zwischen Auftriebs- und Widerstandskoeffizient über eine Periode des Schlagzyklus sind in Bild 5 gezeigt.

2.2 Integrierter Schlagflügel

Integrierter Schlagflügel bedeutet, dass der gesamte - normalerweise feststehende - Flügel als Schlagflügel verwendet wird. Dabei wird der Bewegungsablauf in einer solchen Weise gesteuert, dass Konstant-Auftrieb während des Auf- und Abschlags und Vortrieb während des Abschlags resultieren. Das wird erzielt durch eine kombinierte Schlag- und Anstellwinkelbewegung des Flügels.

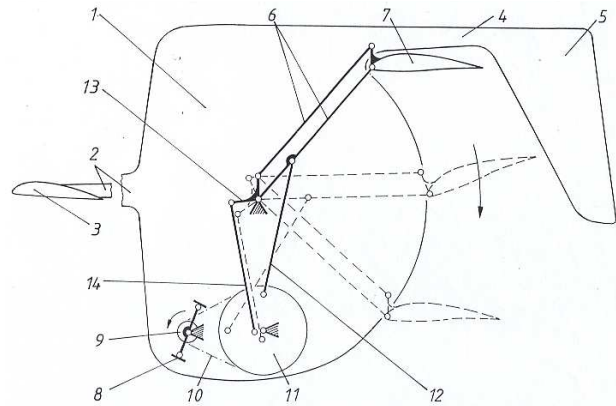


BILD 6: Prinzip und Bewegungsablauf des Integrierten Schlagflügels [1]

3 VORTEILE UND NACHTEILE

3.1 Vorteile

Die Verwendung des gesamten Flügels als Schlagflügel bietet mehrere Vorteile:

Der Strömungsquerschnitt ist viel größer als der eines gewöhnlichen Propellers und sogar größer als der eines Vogels, Bild 7. Das Ergebnis ist im Reiseflugregime ein hoher Wirkungsgrad bis zu 90% [3], welcher der höchste aller bekannten Antriebsprinzipien ist. Daneben besitzt der Integrierte Schlagflügel immer eine elliptische Auftriebsverteilung im Gegensatz zum Vogelflug. Und im Gegensatz zum Verstellpropeller kann der Schlagflügel an alle Flugregimes exakt angepasst werden. Ein weiterer Vorteil ist der geringere Fluglärm.

3.2 Nachteile

Wie im Kapitel 2 erwähnt, erzeugen nur die Abschläge Vortrieb. Deshalb variiert die Momentangeschwindigkeit über der Zeit. Im Vergleich zum Propeller müssen außerdem ständig Massen beschleunigt werden.

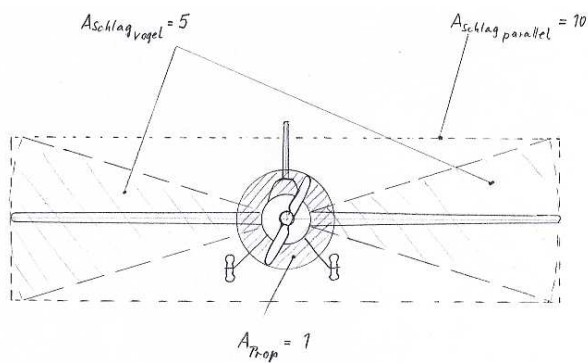


BILD 7: Vergleich der Strömungsquerschnitte von Propeller, Vogelflug und Schlagflügel



BILD 9: Modell SF5

4 VERSCHIEDENE PROJEKTE

4.1 Projekt SF1

Das erste Modell SF1 (Bild 8) wurde 1988 gebaut und hatte seinen ersten erfolgreichen Flug 1992, nachdem ich einige Veränderungen durchgeführt hatte. Es besaß einen Federspeicher (Gummistrang), welcher das Rumpfgewicht am unteren Totpunkt kompensierte. So war die im Abschlag vorhandene Kraft höher als jene im Aufschlag, so dass daraus eine höhere Abschlagsgeschwindigkeit mit Vortrieb resultierte. Außerdem stimmten die Schlagfrequenz, die Anstellwinkel und die Phasendifferenz zwischen Schlag- und Anstellwinkelbewegung gut überein, weshalb ein Rumpf-Tanzen nicht zu bemerken war.

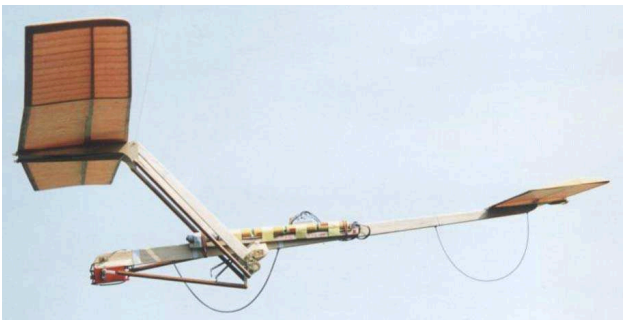


BILD 8: Modell SF1 im Flug

4.2 Projekt SF5

SF5 ist ein ziemlich großes Modell mit einer Spannweite von 3,20 m und einer Masse von 4 kg, Bild 9. Es ist in der Lage zu fliegen, aber ungeeignet als Testmodell. Es wird wieder fliegen, wenn die Beziehungen zwischen Anstellwinkel- und Schlagbewegung klarer geworden sind.

4.3 Projekt SF8

Weil die Bewegungsabläufe, die zur Erzielung von Vortrieb und Konstant-Auftrieb notwendig sind, nicht mit einfachen Methoden berechnet werden können, baute ich das leichte und langsame Testmodell SF8. Mit diesem Modell werden verschiedene Alternativen erprobt, um einen gleichmäßigen Flug zu erreichen.

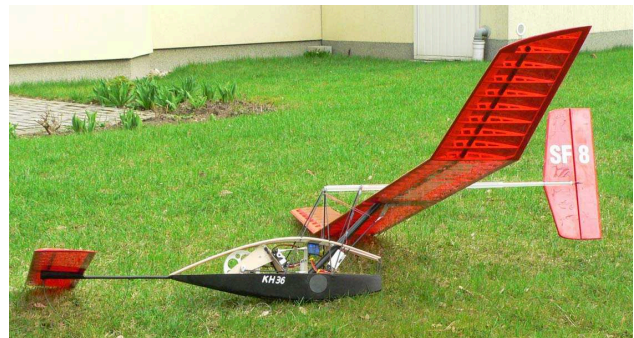


BILD 10: Modell SF8

5 ERPROBUNG UND ERGEBNISSE

Ich versuchte, das Rumpf-Tanzen mit Hilfe eines Konstant-Auftriebs zu reduzieren. Dieser sollte durch eine Regelung erzielt werden, wobei die Beschleunigung gemessen und der Anstellwinkel verändert wird. Leider war das Servo zu langsam, so dass der gesamte Regelmechanismus Instabilität verursachte. Weiterhin wurde eine extra Dämpfungsfläche vor dem Seitenleitwerk angeordnet. Diese funktionierte während der Testphase, ist aber keine Lösung für das Tanz-Problem.

Der Test mit *einem* Integrierten Schlagflügel brachte zwei Hauptergebnisse:

- Um Vortrieb zu erzeugen, muß die Abschlaggeschwindigkeit höher sein als die Aufschlaggeschwindigkeit;
- Das Rumpf-Tanzen kann nur durch eine schnelle Regelung verhindert werden, wobei die Anstellwinkelveränderung in Amplitude und Phase abhängig von der Schlagfrequenz geschehen muß.
Ich selbst kann diese Regelung nicht realisieren.

6 DAS NEUE PROJEKT SF9

Eine für mich einfachere Lösung für Konstant-Auftrieb wird mit meinem neuen Projekt SF9 realisiert werden, welches sich momentan in der Konstruktionsphase befindet. Es besitzt zwei übereinander angeordnete integrierte Schlagflügel und eine Klapp-Luftschraube, Bild 11. Während des Starts sind die Flügel fixiert und der Propeller erzeugt Vortrieb. Im Reiseflug ist der Propeller geklappt und der Vortrieb wird mit Hilfe beider Flügel erzielt.

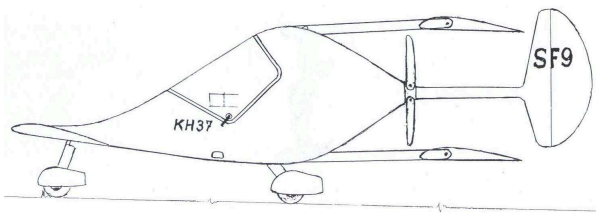


BILD 11: Skizze des neuen Projektes SF9

Die Schlagbewegung beider Flügel ist gegenläufig, d.h., die Phasendifferenz zwischen diesen beträgt 180° . Das führt in der Summe zu einem Konstant-Auftrieb, da der Anstellwinkel positiv während des gesamten Schlag-Zyklus bleibt. Andererseits bedeutet dies auch, dass der Widerstand während des Aufschlags kompensiert wird - folglich können Auf- und Abschlaggeschwindigkeit ohne Verlust an Vortrieb gleich groß gewählt werden. Das hat eine Vielzahl von Vorteilen:

Die Massenkräfte aller bewegten Teile heben sich auf und es gibt kein negatives Antriebsmoment mehr; ein Energiespeicher ist nicht mehr notwendig; Vortriebswert und -Frequenz sind doppelt so hoch und damit die Änderungen der Momentangeschwindigkeit minimiert. Darüber hinaus lässt sich die Einstellung der unterschiedlichen Flugregimes durch Veränderung von Amplitude und Phase des Anstellwinkels abhängig von der Schlagfrequenz erreichen. Dieser Einstellvorgang ist nicht so schwierig wie der in Abschnitt 5 erwähnte Regelkreis.

7 ZUSAMMENFASSUNG

Der Integrierte Schlagflügel hat Vorteile gegenüber dem gewöhnlichen Propeller und er könnte eine reale Alternative für langsam fliegende Flugzeuge wie Muskelkraft-Flugzeuge, Ultraleicht-Flugzeuge und Unmanned Aerial Vehicles (UAV) sein.

Es ist jedoch schwierig, in allen Schlagphasen konstanten Auftrieb zu erhalten. Wird *ein* Schlagflügel verwendet, kann Vortrieb nur mit einer höheren Abschlaggeschwindigkeit gegenüber der Aufschlaggeschwindigkeit erzielt werden. Ein Konstant-Auftrieb könnte durch einen Regelmechanismus erzielt werden, der den Anstellwinkel in Amplitude und Phase abhängig von der Schlagfrequenz verändert. Das ist nicht einfach zu realisieren.

Ein besserer Weg für die Anwendung des Integrierten - Schlagflügel- Konzepts könnten zwei übereinander angeordnete Flügel sein, wie in dem neuen Projekt SF9 gezeigt. Die harmonische Schlagbewegung würde dabei einen Konstant-Auftrieb und gleichmäßigeren Vortrieb ergeben. Eine offene Frage ist noch, ob das SF9-Konzept in der Praxis ebenso gut sein wird wie in der Theorie.

Literatur

- [1] K.-H. Helling: *Schlagflügelflugzeug*, Deutsches Patent DD292186 A5, 1990
- [2] H. Rübiger: *Das Flugprinzip der Ornithopter*, <http://www.ornithopter.de/prinzip.htm>, stand 9.2007
- [3] M. Neef and D. Hummel: *Euler Solutions for a Finite-Span Flapping Wing*, Technische Universität Braunschweig, 2001