

ENTWURF UND UMSETZUNG EINES WETTBEWERBSFLUGMODELLS PYLON RACER

André Kubasik¹

Paul Schreiber¹

J.-Michael Bauschat²

FH Aachen University of Applied Sciences

Übersicht

In dieser Veröffentlichung wird die Entwicklung eines elektrisch angetriebenen Wettbewerbsflugmodells für Pylonrennen beschrieben. Bei dieser Art Wettbewerb ist es das Ziel, in möglichst kurzer Zeit 10 Runden um einen Dreieckskurs zu fliegen. Der Kurs wird mit Pylonen auf dem Boden abgesteckt und ergibt ein gleichschenkliges Dreieck mit in der Summe 400 m Kantenlänge. Im Rennen sind immer 3 elektrisch angetriebene Flugmodelle gleichzeitig. Es werden in ca. 60 Sekunden zehn Umrundungen des Dreieckskurses geflogen. Neben einem leistungsfähigen Modell ist besonders die Geschicklichkeit des Piloten Bedingung für einen Erfolg. Der hier diskutierte Entwurf entstand mit dem Ziel einer erfolgreichen Teilnahme an der F5D-Weltmeisterschaft 2010 in den USA. Dabei sollen einem für die WM qualifizierten Piloten Modelle des hier vorgestellten Typs zur Verfügung gestellt werden, um dort ihre Leistungsfähigkeit zu demonstrieren.

In der Veröffentlichung wird der Werdegang des Projektes, von der Idee und der Teambildung, über Ausarbeitung, Versuche zum endgültigen Modell und die gesammelten Erfahrungen beschrieben.

Es handelt sich bei dem Projekt um eine private Initiative einer heterogenen Gruppe von Studenten überwiegend technischer, aber auch nichttechnischer Fächer an verschiedenen Studienorten, verbunden durch die Freude am Modellflugsport. Weder gibt es eine Gruppenleitung, noch fest verteilte Aufgaben. Die Entstehung des Projektes geschah ebenso spontan, wie dessen Verlauf.

Kernmerkmal und Besonderheit der Entwicklung ist die Art der Steuerung, die sich grundsätzlich von derer bisher eingesetzter Modelle unterscheidet. Üblich ist z. Z. in der Szene allein die Steuerung

über konventionelle Querruder und Höhenruder (steuerbare Seitenruder werden nicht gebraucht). Die hier vorgestellte Konstruktion besitzt dagegen am Leitwerk überhaupt keine beweglichen Teile. Stattdessen werden die Steuerflächen der Querruder für die Höhensteuerung mitgenutzt.

Bei den aktuell auf Wettbewerben eingesetzten Modellen handelt es sich um moderne Sportgeräte. Faserverbundbauweise ist Stand der Technik und unverzichtbar, will man reale Erfolgschancen haben. Die Technik ist über die Jahre immer weiter verfeinert worden, was nach und nach natürlich mit einer Verlangsamung der technischen Weiterentwicklung einhergeht. Hier liegt die Vermutung nahe, das weitere, größere Verbesserungen entweder gar nicht, oder nur noch mit grundlegend neuen Ideen und grundsätzlich geänderten Lösungsansätzen zu erreichen sind.

Die hier beschriebene Neuentwicklung stellt einen solchen Versuch dar.

¹ Student an der FH Aachen University of Applied Sciences, Fachbereich *Luft- und Raumfahrttechnik*

² Professor an der FH Aachen University of Applied Sciences, Fachbereich *Luft- und Raumfahrttechnik*, Fachgebiet *Flugsystemtechnik und Flugführung*

Einleitung

Die FAI (Fédération Aéronautique Internationale, N.N. (2010a)) ist eine nicht kommerzielle, unabhängige, weltweit aktive Gesellschaft, die den Luftsport reglementiert und Rekorde anerkennt. Ihr sind etwa 100 Länder angeschlossen. In allen Sparten des Luftsports (u.a. Motorkunstflug, Segelfliegen, Fallschirmsprung, etc.) werden regelmäßig Wettbewerbe nach den Richtlinien der FAI ausgeschrieben, so auch im Modellflugbereich.

In dieser Veröffentlichung geht es konkret um den Wettbewerb für ferngesteuerte Modellflugzeuge in der Sparte F5D (F5=elektrisch angetrieben, D=Pylon Racing, s.a.S N.N. (2010b)). Bei dieser Art Wettbewerb ist es das Ziel, nach dem Start aus der Hand, in möglichst kurzer Zeit 10 Runden um einen Dreieckskurs zu fliegen (Bild 1). Der Kurs wird mit Pylonen auf dem Boden abgesteckt und ergibt ein gleichschenkliges Dreieck mit in der Summe 400 m Kantenlänge. Im Rennen sind immer 3 elektrisch angetriebene Flugmodelle gleichzeitig. Jedem Teilnehmer steht eine Energiemenge von 60 kJ pro Rennen zur Verfügung. Ein im Modell installierter so genannter Limiter schaltet nach Durchfluss der genannten Energiemenge den Antrieb ab. Die insgesamt mindestens 4 km werden typischerweise in ca. 60 s geflogen. Die Anforderungen an die Geschicklichkeit des Piloten sind hoch. Jeder zu weit geflogene Meter kostet Zeit, andererseits wird ein zehnprozentiger Zeitaufschlag gegeben, sollte das Modell einmal innen statt außen an einem der Pylone vorbeigeflogen sein. Bei der zweiten Verfehlung in einem Rennen, geht selbiges mit pauschal 200 Sekunden in die Gesamtwertung ein. Üblicherweise werden in einem Wettbewerb meist 6 bis 10 Läufe durchgeführt und abzüglich einer Anzahl Streichdurchgänge gewertet.

Ein teilnehmendes Team besteht aus 2 Personen, dem Piloten und seinem Helfer aus dessen Hand das Modell gestartet wird (Handstart ist Reglement-Anforderung). Der Helfer ist außerdem erforderlich, weil der Pilot sich ausschließlich darauf konzentrieren muss, das Modell zu steuern. Während des Rennens ist es die Aufgabe des Helfers, dem Piloten zum genau richtigen Zeitpunkt das Einleiten der Wende um den Pylon zu kommandieren.

An dieser Stelle wird der Weg beschrieben, der beschritten wurde, um ein Modellflugzeug zu entwickeln, das bei der F5D-Weltmeisterschaft 2010 in den USA eingesetzt werden soll.

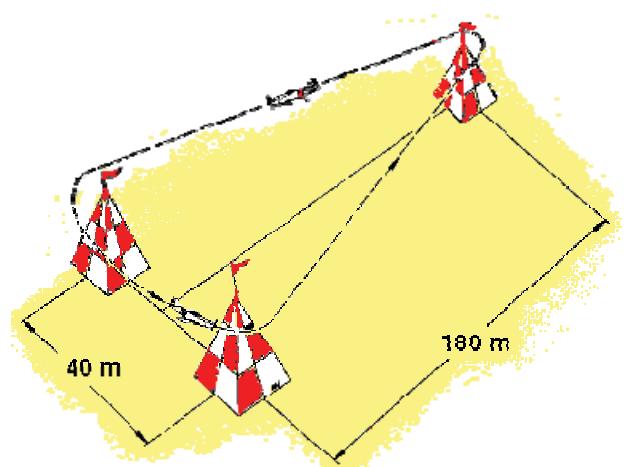


Bild 1: Wettbewerbs-Parcours (Quelle: Hepperle (2008))

Entwicklungsplattform Wettbewerb

Es sollte erwähnt werden, dass die Wettbewerbsumgebung sich sehr gut dazu eignet, technische Ideen, Detailverbesserungen, sowie ungewöhnliche Konfigurationen zu entwickeln und zu testen. Probleme, Schwachpunkte oder Irrtümer treten im direkten Vergleich zur Konkurrenz offen und unvermeidbar zu Tage.

Es gibt eine klar definierte Aufgabe und gleichzeitig die nötige Infrastruktur, um die Qualität der Lösung realistisch zu bewerten. Dabei wird ganz selbstverständlich Praxistauglichkeit nachgewiesen. Es können sehr banale Probleme, oder im Vorfeld getroffene Fehleinschätzungen zum Misserfolg führen. Dafür kann aber ein Erfolg sehr wohl die Güte oder Reife einer neuen Idee und deren Ausführung beweisen.

Wettbewerb fördert Kreativität und damit immer wieder neue Lösungsansätze für bestimmte definierte Probleme. Der dem Ingenieur, der Ingenieurin innewohnende *natürliche Spieltrieb* führt hier auf sehr effizienten Wegen zu Innovationen und technischem Fortschritt.

Team und Projekt

Das lose zusammenhängende Projektteam setzt sich im Wesentlichen aus zwei Ingenieursstudenten, einem Lehramtsstudenten und einem Fahrzeuggenieur zusammen. Alle Beteiligten kannten einander schon vorher durch das gemeinsame Interesse am Modellflug und Teilnahme an Wettbewerben (ein Team-Mitglied war 2005 Deutscher Meister in der ausschließlich national geflogenen Klasse F5D Limited). Die jeweiligen Fähigkeiten und Vorkenntnisse jedes Einzelnen ergänzen sich hier komplementär, wodurch erst die Umsetzung des Projektes möglich wurde. Dabei gab es in vielen Bereichen wesentliche Überschneidungen, sodass die meisten Teilaufgaben jeweils von mindestens zwei Teammitgliedern gemeinsam bearbeitet wurden.

Die Initialzündung des Projektes fand spontan statt. Bei einem Zusammentreffen anlässlich eines Wettbewerbes im Sommer 2009 entwickelte sich die Idee fast wie von selbst im Laufe eines einzigen Abends.

Allgemeine Entwurfsanforderungen

Wesentliche Entwurfsanforderungen folgen direkt aus der Aufgabenstellung durch das Wettbewerbsreglement.

Einige weitere Anforderungen folgen implizit aus den Umgebungsbedingungen unter denen das Modell betrieben wird.

Für den Entwurf entscheidend sind zunächst die zwei recht klar abgegrenzten Flugzustände, Geradeausflug und Wendemanöver.

Die typische Fluggeschwindigkeit liegt recht konstant bei etwa 70 bis 90 m/s womit auch die herrschenden Reynoldszahlen festliegen. Der Geradeausflug ist gekennzeichnet durch einen Auftriebsbeiwert von etwa Null. Die Wende wird typischerweise bei einem CA von 0,5 bis 0,7 geflogen, wobei der Wert stark vom persönlichen Flugstil des jeweiligen Piloten bestimmt wird.

Hier kann recht gezielt versucht werden, das Modell zu optimieren, da es sich um sehr definierte und einfache Flugzustände handelt. Allerdings wird die

Optimierung durch den nötigen Kompromiss zwischen Hochauftrieb und Fast-Nullauftrieb erschwert.

Weitere Rahmenbedingungen entstehen durch die zur Verfügung stehenden 60 kJ, welche bei der typischen Dauer eines Fluges von 60 Sekunden, zu Antriebsleistungen um 1 kW führen. Mit dem Abfluggewicht von einem kg bedeutet das ein Leistungsgewicht von durchschnittlich 1 kg/kW (Formel1 Fahrzeug: etwa 1,3 kg/kW bei Spitzenleistung). Die einzelnen Wendemanöver dauern nur wenige zehntel Sekunden, wobei Lastvielfache bis etwa 40 auftreten.

Natürlich gehören zum Flug auch Start und Landung, deren sicheres Gelingen Grundbedingung ist.

Auch ein mittelmäßiger Werfer sollte in der Lage sein, das Modell aus der Hand zu starten.

Diese Einsatzsicherheit ist auch sehr wichtig, um das Vertrauen des Piloten ins Modell zu fördern, sodass er sich voll auf seine Flugaufgabe konzentrieren kann. Flugeigenschaften wie ein verlässlicher Geradeauslauf und berechenbares Verhalten des Modells spielen in der Praxis eine große Rolle.

All das lässt sich nicht richtig gezielt optimieren, sondern, man ist auf Erfahrungswerte angewiesen.

Ein typisches Problem, dass beim Bau schneller Modelle mit schlanken Flügeln beachtet werden muss, ist das Flattern. Wenn im Flug Flattern auftritt, bedeutet es im besten Fall nur einen erhöhten Luftwiderstand. Im schlimmsten Fall wird das Modell zerstört.

Aufgrund der zwei o.g. aerodynamischen Betriebspunkte bieten sich zur Widerstandsreduktion Wölbklappen an. Alle Versuche Wölbklappen in der Klasse F5D einzusetzen sind jedoch bisher am Flattern gescheitert.

Eine strukturdynamische Analyse, wie sie bei bemannten Flugzeugen selbstverständlich ist, ist bisher im Flugmodellsport seltenst gemacht worden. Aufwand und das nötige *Know How* übersteigen das hier übliche Maß.

Im Modellflugbereich versucht man dem Flattern in der Regel durch eine steifere Bauweise zu

begegnen. Die Erfahrung lehrt aber, dass dieser Weg nicht in allen Fällen zum Ziel führt. Im vorgestellten Entwurf wurde bei der baulichen Umsetzung großer Wert darauf gelegt, dass die sehr großen Steuerflächen besonders verdrehsteif sind und gleichzeitig die Massenmittelpunkte ihrer Querschnitte möglichst nah an der Drehachse liegen.



Bild 2: F5D-Modell 'Avionik-D05' (Quelle: NN (2010b))

Spezielle Entwurfsmerkmale

In der frühen Entwicklungsphase stand die Idee im Mittelpunkt das Modell entgegen bisheriger Erfahrung (s.o.) mit einer großen Wölbklappe über die ganze Länge jedes Halbflügels auszustatten, die gleichzeitig als Querruder genutzt werden sollte. Für eine solche Steuerfläche gibt es den englischen Begriff Flaperon, zusammengesetzt aus *Aileron* für Querruder und *Flap* für Wölbklappe. Das Team ging davon aus, dass das vorhandene Fertigungs-Know-How ein flatterfreies Modell erlaubt. Die Nutzung einer Wölbklappe sollte die Verwendung eines sehr dünnen und schwach gewölbten Flügelprofils erlauben, das auf den Geraden des Parcours einen besonders geringen Widerstand aufweist. Mit Hilfe der Wölbklappe sollte in den Wenden das dann von Haus aus auftriebsschwächere Grundprofil bei akzeptablem Widerstandsbeiwert den erforderlichen hohen Auftrieb liefern können.

Profilauswahl und Anpassung an die Aufgabe

Überschlägig mit einer Tabellenkalkulation ermittelte Rundenzeiten, basierend auf einfachen Widerstandsabschätzungen, ließen vermuten, dass vor allem eine Widerstandsreduktion auf den zu fliegenden Geraden eine Rundenzeitenverkürzung ermöglichen kann. D. h. besonders lohnend ist eine Reduzierung des Profilwiderstands bei dem sehr geringen Auftriebsbeiwert während des Geradeausfluges. Auf der Geraden ist der Gesamtwiderstand wesentlich durch den Profilwiderstand des Flügels bestimmt. Demgegenüber kommt in der Wende der (nach unten) relativ schwer zu beeinflussende Induzierte Widerstand hinzu, so dass der Anteil des Profilwiderstandes am Gesamten geringer wird.

Unter der Annahme, dass eine Wölbklappe entlang der gesamten Spannweite konstruktiv und baulich machbar sein würde, konnte daher ein sehr dünnes und schwach gewölbtes Profil gewählt werden. Das nötige Auftriebsvermögen sollte dann durch die Wölbklappe erreicht werden.

Für die Analyse von in der Wettbewerbsklasse bewährten Profilen und deren Modifikation wurde, wie in der Szene üblich, als Software X-Foil (N.N. 2008) genutzt. Als Grundlage für das zu erstellende Profil wurde das RL1PY1 von Norbert Hübner gewählt. Dieses Profil ist in der Szene gut bekannt und sehr verbreitet.

In Bild 3 ist ein Vergleich der theoretischen Profilpolaren des originalen RL1PY1-Profils und des modifizierten und schließlich eingesetzten Profils für den Geradeausflug zwischen den Pylonen zu sehen.

Der geringste Widerstand des Ausgangsprofils liegt bei einem etwas zu hohen Auftriebsbeiwert und nimmt bei abnehmendem Auftriebsbeiwert sehr schnell zu.

Der durchschnittliche Auftriebsbeiwert im Geradeausflug liegt typischerweise bei etwa 0,015. Böen und Steuerkorrekturen werden den tatsächlichen Wert ständig mit einer gewissen Breite schwanken lassen, so dass beiderseits des Mittelwertes die Widerstandszunahme nicht zu groß sein sollte.

Zur gewünschten Verschiebung der C_a - C_w -Polare nach unten bietet sich eine verringerte Profilwölbung an. Der dadurch vergleichsweise schlechtere Widerstand oberhalb von $C_a = 0,2$ soll durch Verwendung einer Wölbklappe ausgemerzt werden.

Als relative Wölbklappentiefe wurde nach einigen Versuchen mit Xfoil zunächst 30% festgelegt. Auch hier ein Vergleich (Bild 4) zwischen dem RL1PY1 ohne Klappenausschlag und dem modifizierten Profil bei 10° Klappenausschlag nach unten.

Die Wölbklappe scheint demnach auszureichen, um das modifizierte Profil im Hochauftriebsbereich dem RL1PY1 mindestens ebenbürtig zu machen. Hier ist vor allem entscheidend, dass der nötige Auftrieb mit der Klappensteuerung auch tatsächlich erreicht werden kann.

Des Weiteren schien es lohnenswert, für den Außenflügel ein den dort geringeren Reynoldszahlen angepasstes Profil zu wählen. Dabei ist neben einem günstigen Profilwiderstand auch der Nullauftriebswinkel zu beachten, um nicht ungewollt die Zirkulationsverteilung zu deformieren und so unnötig induzierten Widerstände zu erzeugen.

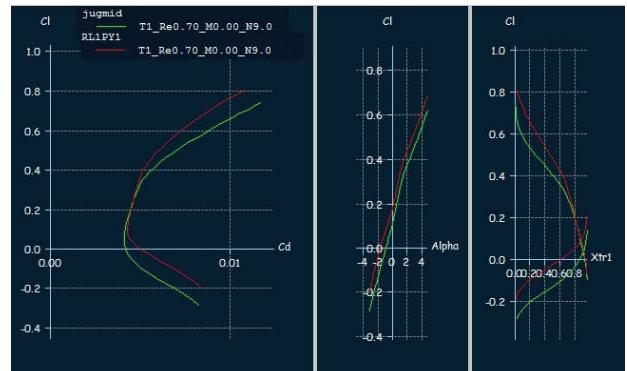


Bild 3: Vergleichspolare

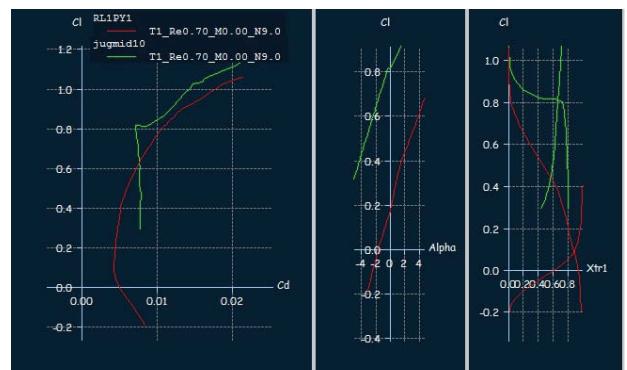


Bild 4: Vergleichspolare

Flugmechanischer Entwurf

Während der Entwicklungsphase des Modells entstand die unkonventionelle Idee der zusätzlichen Nutzung der Wölbklappe als Höhenruder. Dabei sollte ein Ausschlag der Klappe nach unten ein Aufnicken des Modells bewirken. Die Höhensteuerung entspricht der typischerweise an Flugzeugen in Entenkonfiguration verwendeten, nur das es sich hier eben gerade nicht um eine solche handelt.

Dieser Ansatz löst eine ganze Kaskade weiterer Möglichkeiten aus, wie z. B. einen leichteren, baulich sehr simplen Leitwerksträger und besonders dünne Leitwerksprofilierung. Auch steht Bau Raum, der sonst für Steuerung benötigt würde, für andere Zwecke zur Verfügung. Die Analyse des ursprünglichen Entwurfs ergab, dass nur geringe Modifikationen notwendig waren, um dieses Prinzip zu verwirklichen. So erst wurde schließlich der Entwurf zu einer wirklichen Neuerung.

Um abzuschätzen, ob diese Steuerung für ein Pylonmodell möglich ist, wurde das auf einem Wirbelleiterverfahren basierende Programm Vortex (Ranis (2010)) herangezogen. Mit diesem lassen sich beliebige nichtplanare Mehrfachflügelkonfigurationen untersuchen.

Merkmale, die die Wirksamkeit des besonderen Steuerungsprinzips unterstützen sind folgende:

- Je größer die relative Wölbklappentiefe ist, desto weniger zusätzliches negatives Profilmoment muss für eine bestimmte Auftriebserhöhung am Flügel durch Klappenausschlag in Kauf genommen werden.
- Ein großes Höhenleitwerksvolumen erhöht den Abstand der Neutralpunkte von Flügel und Modell.
- Ein geringes Stabilitätsmaß erhöht den Abstand von Flügelneutralpunkt und Flugmassenschwerpunkt.

Jede dieser drei Maßnahmen kam im Entwurf zur Anwendung. Im Zusammenspiel ermöglichen sie eine Steuerbarkeit, wie von herkömmlichen Modellen gewohnt.

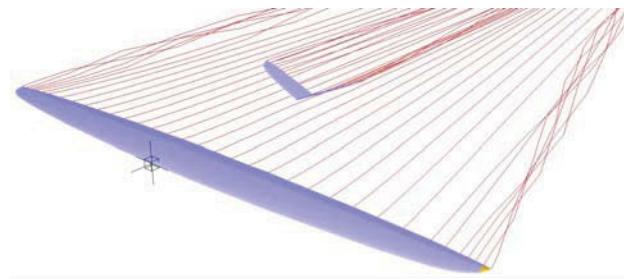


Bild 5: Stromliniendarstellung in Vortex

Prototypen

Um die bis dahin nur theoretisch erwartete Steuerbarkeit im Flugversuch zu verifizieren wurden zwei Prototypen gebaut.

Zwei Teammitglieder haben dafür aus jeweils verschiedenen vorhandenen Bauteilen zwei Modelle zusammengestellt, welche allein mit Flaperons gesteuert werden sollten.

Die Testflüge verliefen erfolgreich. Gerade bei geringeren Geschwindigkeiten bis ca. 40 m/s war die Ruderfolgsamkeit hervorragend, so dass der Pilot praktisch keine Unterschiede gegenüber konventionell gesteuerten Flugzeugen feststellen konnte. Allerdings ließ mit steigender Geschwindigkeit die Steuerbarkeit, wegen offenbar nicht ausreichender Verdrehsteifigkeit der Steuerflächen, nach.

Ein weiterer Prototyp sollte zeigen, dass die geplanten sehr großen Flügelklappen auch bei Geschwindigkeiten über 90 m/s flatterfrei sind. Daher wurde dieser speziell im Klappenbereich so gefertigt, wie es bei dem endgültigen Entwurf werden sollte. Die Testflüge waren auch hier erfolgreich und es konnte selbst mit stärkster Motorisierung kein Flattern provoziert werden.

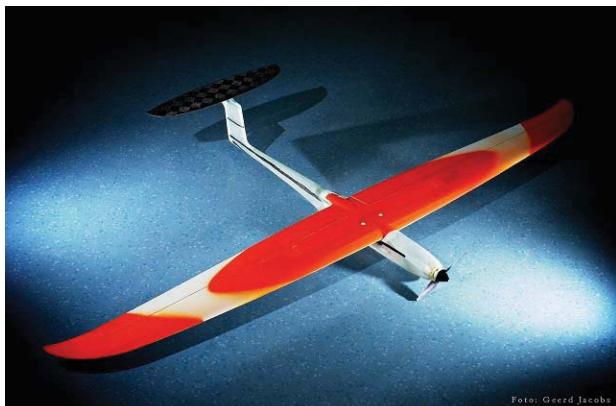


Bild 6: Prototyp zur Verifizierung der Steuerbarkeit

Endgültiger Entwurf

Nachdem die Richtigkeit der flugmechanischen Auslegung gezeigt worden war, wurden die endgültigen Proportionen der Flügelflächen und Hebelarme festgelegt, die weitgehend dem Prototypen entsprachen.

Die aufgrund der Ruderlosigkeit des Leitwerkes neu gewonnenen Freiheiten, ermöglichen, beim Leitwerk ein nur 4% dickes und widerstandsarmes Profil zu wählen.

Nach dem die wichtigen geometrischen Parameter festgelegt waren, wurde das gesamte Modell im CAD erstellt (Bild 7 und 8).

Schließlich wurden Urmodelle gefräst und darauf die späteren Produktionsformen gebaut.

Diese Arbeitsschritte übernahm, genauso wie den Bau von den Modellen daraus, die Firma LE-Composites (Homepage?). Auf Bild 9 sind die Positiv-Urmodelle zu sehen.

Schließlich folgten Testflüge mit in den Produktionsformen gebauten Modellen sowie weitere Anpassungen und Korrekturen an den Modellen und an den Formen.

Das Ziel des Einsatzes auf der F5D-WM konnte am Ende aus Zeitgründen leider nicht erreicht werden.

Hier haben vor allem Testflüge und Nachbessern, Justieren und erneute Testflüge, wie immer, mehr Zeit gekostet als vermutet.

Auch Paketdienste hatten ihren Anteil an Verzögerungen, nicht etwa wegen zu langsamer Zustellung, sondern, wegen Beschädigung des Transportguts.

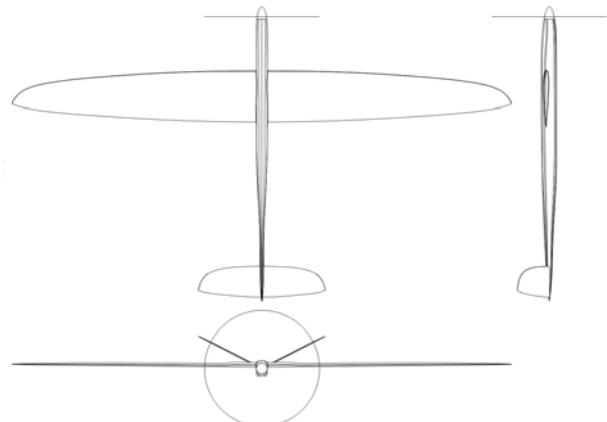


Bild 7: Dreiseitenansicht

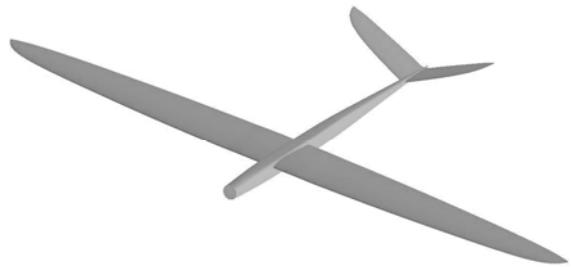


Bild 8: Gerenderte CAD- Ansicht



Bild 9: Gefräste und polierte Flügelformen.

Antrieb eigener Entwicklung

Parallel zur Entwicklung des Modells, fand die eines dazu passenden Antriebes statt.

Basis ist ein auf dem Markt erhältlicher getriebeunterstützter Elektromotor, kombiniert mit einem selbstenwickelten Propeller.

Die Negativformen des Propellerblattes sind wiederum von LE-Composite gefräst worden. Als Baumaterial kam nur CfK in Frage.

Die Besonderheit bei dem Antrieb gegenüber den Szeneüblichen liegt einerseits in der Verwendung eines Getriebes und dem damit ermöglichten sehr großen Propellerdurchmesser. Andererseits werden bisher in der Szene nur Propeller verwendet, bei denen Durchmesser und Steigung etwa gleich groß sind, womit zwangsläufig Blattspitzengeschwindigkeiten von etwa Mach 0,9 erreicht werden. Hier muss durch Kompressibilitätseffekte schon mit Wirkungsgradnachteilen gerechnet werden. Bei dem neu entwickelten Propeller liegt das Verhältnis von Steigung zu Durchmesser bei etwa zwei und daher die Machzahl der Blattspitzen nur um 0,5.

Anders als das Modell konnte der Antrieb erfolgreich auf der WM eingesetzt werden.

Auffallend ist dabei neben einem herausragenden Wirkungsgrad die durch die niedrige Blattspitzengeschwindigkeit und geringe Propellerdrehzahl gegenüber den üblichen Antrieben ebenfalls verringerte Geräuschentwicklung.

Erfahrungen/Erkenntnisse

Am Beispiel des getriebeunterstützten Antriebs mit sehr großem Propellerdurchmesser und extremer Steigung wurde gezeigt, dass Innovationsbereitschaft entgegen dem oft konservativen Szenetrend sich durchaus auszahlt. Die endgültige Entscheidung, ob gleiches für das neu entwickelte Flugmodell gilt, steht noch aus, aber die gemachten Testflüge lassen die erhofften Verbesserungen realistisch erscheinen.

Interessant ist, dass von Anderen getriebeunterstützte Antriebe auch schon vorher versucht worden sind, jedoch ohne Erfolg.

Durch die erfolglosen Versuche wurde dieser Weg oft als technische Sackgasse gedeutet, was sicher falsch war. Wenn eine an sich gute Idee, falsch umgesetzt wird, wird sie offenbar zu oft zu schnell verworfen.

Bemerkenswert am Steuerprinzip des entwickelten Flugmodells ist, wie problemlos die Steuerbarkeit tatsächlich ist.

Während des Fluges merkt der Pilot den Unterschied nicht. Start und Landung sind ebenso sicher, wie bei Normalmodellen.

Neben den gesammelten technischen Erkenntnissen sind nicht minder aufschlussreich auch die gemachten sozialen Erfahrungen während der Teamarbeit. Das sehr lose organisierte Team hat ohne konkrete Führung das Projekt vorangebracht. Dies ist sicher nicht selbstverständlich.

Zusammenfassung, Ausblick

Die Entwicklung des beschriebenen Wettbewerbsflugmodells ist noch nicht abgeschlossen, aber es ist kurz vor der Einsatzreife.

Als ein nächstes Ziel nach der WM, wäre eine weitere Erprobung u. a. auch auf nationalen Wettbewerben sinnvoll.

Das umgesetzte Steuerungsprinzip könnte auch in anderen Wettbewerbsklassen zur Anwendung kommen. Hier wären noch Überlegungen anzustellen, welche Klassen sich besonders dafür anbieten könnten. Auch nicht Wettbewerbsorientierte Konstruktionen könnten von der Einfachheit der Steuerung profitieren.

Schrifttum

Hepperle, Martin, Internetseite *Aerodynamics for Model Aircraft*, url: www.mh-aerotools.de,

16. Februar (2008)

N.N., Internetseite der *Fédération Aéronautique Internationale (FAI)*, url: www.fai.org, Stand: August (2010a)

N.N., Internetseite *F5D-Pylonracing*, url: www.f5d.org, Stand: August (2010b)

N.N., Internetseite: xfoil Subsonic Airfoil Development System,
url: <http://web.mit.edu/drela/Public/web/xfoil/>,
7. April (2008)

Ranis, Frank; Internetseite Programs developed by Frank Ranis, Vortex, url: <http://frank-ranis.software.informer.com>, (2010)