

Vom "RC-Wakefield" zum "mini-Re"

Die Entwicklung eines "Handlichen Ferien- Elektro- Seglers", getragen vom technischen Fortschritt aus 3 Jahrzehnten

Als ich 1975 meinen ersten RC-Elektromotorsegler konzipierte und baute, tappte ich beim Wissen um das Zusammenspiel Flugmodell und Elektro-Antrieb ziemlich im Dunkeln. Ein Teilnehmer an Elektro - Schiffsmodellwettbewerben schenkte mir für dieses Vorhaben einen frühen Schweizer Maxon-Motor. Als Luftschraube müsste eine so und so große passen und als Akku sollte ich mir einen bestimmten General Electric beschaffen. So kam es wie es kommen musste. Mein "Cheerio" enttäuschte mich maßlos und gab mir nie die Gelegenheit, auch nur bei einem einzigen Flug Cheerio (engl. Gruß, "Mach´s gut") auszurufen.



Webra brachte dann 1978 einen Kleinempfänger auf den Markt. Komplettiert mit einem 100 mAh-Akku und zwei Mini-Servos wog die ganze Einheit nur 120 g. Dies inspirierte mich spontan dazu, erstmals ein Gummimotormodell der Freiflug-Wakefieldklasse damit auszurüsten und fernzusteuern. Darüber erschien ein ausführlicher Artikel in der Zeitschrift Flug+Modelltechnik 290/1980.

Die Flugleistungen dieses "RC-Wakefield" mit Gummimotor waren eher bescheiden. Verschiedene kleine Änderungen, besonders an der Luftschraube, brachten auch keine nennenswerte Verbesserung. Nichts lag also näher, als dieses Modell für den gerade aufsprießenden sauberen, geräuscharmen Elektroflug umzurüsten. Es sollte die Basis bilden, für eine kontinuierliche Entwicklung meiner Elektrofliegerei, im Besonderen des Modelltyps, "Handlicher Ferien-Elektro-

Segler". Er erhielt aus diesem Grund den Namen "RC-Holiday".

Optimale Gesamtflugzeit wurde zum flugtechnischen Grundsatz erhoben. Ihm mussten sich Entwurf, Aerodynamik, Zelle und Antrieb unterordnen. Den philosophischen Hintergrund bildete dabei das Streben nach einem möglichst harmonischen Zusammenspiel zwischen "vergnüglihem" Kraftflug und einem auf gute Sinkleistung beruhenden "beschaulichen" Gleitflug.

Das Aussehen des Modells entwickelte sich weitestgehend aus den Gegebenheiten der Flugmechanik sowie der Antriebs- und Fernsteuereinbaumaße. So entstand schließlich auch als Annäherung an das Rohr, weg vom einfachen Vierkantrumpf, die etwas unübliche Form des Sechseckkrumpfes.

Für den Modellteil galt also: ein guter Griff bei der Profilwahl zur Minimierung der Gegensätzlichkeit zwischen Kraft- und Gleitfluggegebenheit, aber auch Leichtbauweise der Zelle, mit dem begleitenden Pflichtgebot nach genügend Festigkeit. Dem Optimum der Kombination "leicht und fest", konnte unter Rücksicht auf erträglichen Zeitaufwand (kein Formenbau), durch sorgfältige Balsaholz Auswahl und gekonnter Weiterverarbeitung, nahe gekommen werden. Um auch seiner Bestimmung als Ferienmodell gerecht zu werden, wurde für sicheren Transport in einem handlichen Karton immer auf Zerlegbarkeit geachtet.

Für den Antrieb galt: *preiswerte, leicht beschaffbare* Motor- und Getriebekombinationen, ergänzt durch maßgeschneiderte, also Eigenbauluftschrauben, geringe Akku-Zellenanzahl bei hoher Energiedichte, sowie Bedachtnahme bestmöglicher Wirkungsgrade in diesen Bereichen. Als Dauerauftrag für alle Zubehörteile verblieb eine nie enden wollende up to date Suche nach optimalen Komponenten der mittleren bis unteren Preisklasse.

Harte Nüsse, wie sich bald herausstellte. Einige forderten von mir im Laufe der Jahre ein beharrliches Studium über das Basiswissen der Physik des Elektromotors, der Getriebetechnik, der Luftschraubentheorie und mathematisch-physikalisches Teilwissen, zur Bestimmung und Nutzung der aus all diesen Faktoren sich ergebenden möglichen optimalen Gesamtleistung. Der Nachteil dieses Modelltyps mag wohl sein, dass er kein Allwettermodell darstellt, also eher ruhiges Wetter bevorzugt. Als Ausgleich dafür ist er jedoch auf Grund der gewählten Aerodynamik im Stande, schon geringste Thermikfelder auszufliegen.

Nicht unerwähnt sollte auch bleiben, dass in all den Evolutionsjahren dieses Modells keine Gelegenheit ausgelassen wurde, die Option des Leichtwindhangfluges bei jeder sich bietenden Gelegenheit wahrzunehmen. Welch ein genießerisches Vergnügen, Hangflug bei leichtesten Brisen zu betreiben, mit dem Sicherheitsgefühl, dass mit einem kurzen Motorlauf die Gefahr einer Tallandung wegen Absaufens abgewendet werden kann.

Für das erste Modell dieser scheinbar nie enden wollenden Entwicklungsreihe erhielt ich von einem Bekannten einen frisierten Permax 25 F-Motor. Ein Schlensschalter gekonnt mit der

Höhenrudermaschine besorgte das Ein- und Ausschalten. Regler/Steller waren zu jener Zeit noch gewichtige, stromfressende Ungeheuer. Kennzeichnend für den damaligen Leistungsstand: beim Anblick des ersten Elektromotorfluges rief ein Klubmitglied spontan aus: "Endlich ein Elektroflieger der wegsteigt"! Nach einigen Starts verrieb sich eines Tages der Motor. Folge: Kurzschluss mit kleinem Feuerwerk und totales Versagen der Fernsteuerung mit anschließendem argem Absturz.

1988 erschien eines Tages am Flugplatz ein Klubmitglied mit einem Kyosho - Hartschaum - Fertigmotormodell, in welchem statt des damals noch gängigen kleinen Cox-Verbrenners, ein Elektromotor des Typs Le Mans AP 29 eingebaut war. Ich war von den gezeigten Flugleistungen so angetan, dass ich mich sofort hinsetzte und aus den Resten des alten, einen neuen "RC-Holiday" für die Antriebseinheit des Kyosho-Modells baute. Hier begann schon die stete Veränderung von



Funktionalität, Formgestaltung und Dimensionierung vom Wakefieldmodell (F1B) mit seiner 0,17-0,19 m² Fläche und dem Mindestgewicht von 230 g, hin zum oben beschriebenen, angestrebten Modelltyp.

Noch setzte ich diesen Le Mans AP 29 Motor in einen kleinen Baldachin, vorn auf die Rumpfspitze. Die Steigerung der Flugleistung durch den neuen E-Motor und des mitgelieferten, schwarzen 5-zelligen 500er Hochstrom-Akkupacks war unverkennbar. Es tat sich also etwas am Sektor Motor-Akkuentwicklung und das sollte so bleiben. Überzeugt war ich jedoch vom schlechten Wirkungsgrad der zu diesem Antrieb angebotenen Luftschraube. Ihr Laufgeräusch war überdurchschnittlich

laut und glich dem einer gerade vorbeibrummenden Hummel. Denn: eine gute Luftschraube ist eine leise! Da musste also Abhilfe geschaffen werden.

Also begann ich im zeitigen Frühjahr 1989 mit Propellerversuchen. Schon seit den 40er-Jahren (v. J.) war mir neben der Berechnung von Propellerseitenrissen auch die Anfertigung von Holzluftschrauben geläufig. Wie sich jedoch Änderungen an den einzelnen Parametern einer Luftschraube auswirkten, blieb für mich zunächst verborgen. Mit der mir damals zur Verfügung stehenden Lektüre konnte ich auch nicht viel anfangen. Aus Flugversuchen meiner Freiflugzeit in den USA wusste ich lediglich, dass kleine Durchmesser und große Steigungen mehr für den Geschwindigkeitsflug geeignet sind, dagegen große Durchmesser mit kleinen Steigungen für den Steigflug. Das war aber auch schon alles.

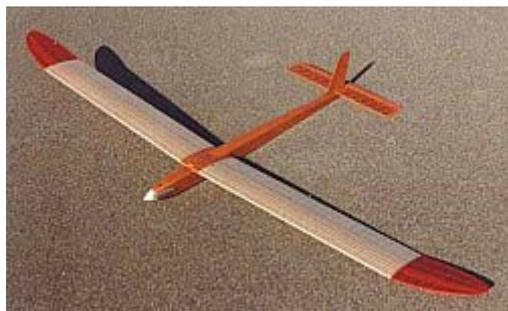
Um beim Schnitzen von Versuchsluftschrauben nicht bis zu den Knien in Holzspänen zu versinken, musste wohl bedacht werden, wie mit wenig Aufwand greifbare Ergebnisse erlangt werden. Als Ausgangsgröße wählte ich den *Hummelbrummer* von Kyosho. Innerhalb kürzester Zeit entstand eine Versuchsreihe von insgesamt 11 Typen mit wechselndem Durchmesser/Steigungsverhältnis, verschiedenen Blattbreiten und unterschiedlichen Blattprofilen. An der Optimierung der Grund- und Seitenrisskonfiguration konnte kaum gearbeitet werden. Damit beschäftigte ich mich bei einer späteren Testreihe. Jede Luftschraube wurde nicht nur am Stand, sondern dann auch im Flug erprobt. Da ich nur immer einen Parameter änderte, war jeder Versuch erfolgreich, denn entweder war ich mit dem einen am richtigen Weg oder ich musste mir eingestehen, mit dem anderen am falschen zu sein. Da ich zu dieser Zeit noch kein Gleichstromnetzgerät besaß, zogen sich die Versuche durch das ewige Aufladen der Akkus in die Länge. Auch eine gewisse Streuung der Standmessergebnisse befriedigte nicht. Doch konnte ich zumindest für diesen Motor im Direktantrieb und bei einer bestimmten Drehzahl nicht nur eine insgesamt längere Motorlaufzeit erreichen, sondern vor allem auch eine Wirkungsgrad- und damit Steigflugverbesserung. Dies war der Beginn von wohl nie enden werdenden Luftschraubenversuchen, verbunden mit Studien aller nur greifbaren Luftschraubenliteratur, der Suche nach einfacheren Herstellungsmethoden und der Erstellung praktischer Rechen- bzw. Zeichenprogramme.

Inzwischen gab es neben elektronischen Ein- und Ausschaltern auch schon kleinere, leichte Regler, die allerdings bis zum heutigen Tag, *typenabhängig*, ihren Besitzern nicht immer zur Freude gereichten. Über die Jahre gerechnet, dürfte sich die Anzahl der Brüche, verursacht durch eigene Fehler, gegenüber denen durch mangelhaft arbeitende Regler-Steller, die Waage halten. Die meisten Fabrikate funktionieren am Arbeitstisch problemlos. Im Flugeinsatz jedoch haben einige ihre Mucken, von harmlosen, zeitweiligen Aussetzern bis zum letalen Abschalten der Empfangsanlage. Dessen nicht genug, zeigen sie sich bei den Empfängern auch noch wählerisch. Den einen mögen sie, den anderen nicht.

Leider wird über den Frust der dabei entsteht selten berichtet. Teils geniert man sich, manchmal aber auch aus Unsicherheit nicht, denn die Absturzursache lag vielleicht doch woanders? Dazu kommt der Aberglaube, dass was produziert wird, auch funktionieren muss, also nur ein Anwenderfehler die Ursache allfälliger Störfälle sein kann! Und so kann es passieren, dass man zunächst verschiedene Empfänger ausprobiert, Schaltergarnituren ja sogar Akkus austauscht auch

an der Entstehung des E-Motors herumfummelt, bevor einem ein Licht aufgeht und man endlich den Steller wechselt. Inzwischen hat man natürlich das reparierte Modell - falls es da noch was zu reparieren gab - ein weiteres Mal zu Bruch geflogen. Daher die Devise: zeigt der Regler am Arbeitstisch auch nur ein einziges Mal den geringsten Schaltfehler, am besten, nicht damit fliegen! Am Flugplatz selbst, unbedingt Reichweitentests mit laufendem Motor vornehmen und Motorstartvorgang mehrmals wiederholen. Ein Tipp zur Schmerzminimierung: falls möglich, alten Styroporbomber aus dem Fundus holen und bei Probeflügen fraglichem Steller auf Herz und Nieren testen!

Und noch ein Beispiel eines besonderen Teufelchens: eines Tages tauchten am Markt schwarze AMP- Buchsen und Stecker mit 2,5 mm Innen- und Außenquerschnitt auf. Steckt man nun an eine so konfektionierte 2,5 mm Akkubuchse einen heute überall üblichen weißen 2,0 mm Stecker an, mag in den meisten Fällen Kontakt hergestellt sein. Doch schon die geringste Kabelberührung- oder Akkubewegung bewirkt manchmal eine Kontaktunterbrechung, zumal der 2,0 mm Stecker ja



eigentlich lose in der 2,5 mm Buchse steckt. Bei der häufig angewandten Methode des BEC-Fliegens bedeutet dies: Ausfall der Empfängerstromversorgung! Dann hört man meistens vor dem Crash den Verzweiflungsschrei: "Störung"!

Im März 1990 flog ich dann eine neue Version des "RC-Holiday" ein, mit dem nun im Rumpf eingebauten Motor.

Techn. Leistungsstand etwa 1990:

E-Motorsegler "RC-Holiday": Gewicht 5,08 N, Sinkgeschwindigkeit 0,45 m/s

E-Motor: RS 380 PH 4045 ohne Getriebe

(Direktantrieb),

Propeller Nylon 160/82, Akku 6 Zellen á 600 mAh, Gesamtwirkungsgrad ab Regler: 32,6 %

Gesamtflugzeit bei 5 Steigflügen: 16,8 min + 5,0 min = **21,8 min!**

Mit diesem Modell endeten vorerst die Versuche mit Direktantrieb und kleinen Luftschrauben.

Inzwischen hatte ich mich dem Solarflug zugewendet. Fortan wurden die dort gewonnen Erkenntnisse über Getriebemotoren und Luftschrauben mit großen Durchmessern für vorliegenden Modelltyp übernommen.

Techn. Leistungsstand etwa 1995

E-Motorsegler "RC-Holiday": 1890 mm Spannweite, Gewicht 0,555 g = 5,44 N, Sinkgeschwindigkeit 0,45 m/s, E-Motor RS 380 PH 4045 (Speed 400-Klasse) mit Planetengetriebe 6:1, Propeller CFK 370/260, Antriebsakku 6 Zellen á 6 600 mAh. Gesamtwirkungsgrad ab Regler: 44%

Gesamtflugzeit aus 5 Steigflügen: 26,4 min + 9,7 min = **36,0 min!**

Den modellbauerischen Abschluss des Jahres 1996 bildete die nun schon x-te Version des "RC-Holiday". Bei einer Computerversuchsreihe mit verschiedensten Profilparametern entwickelte sich ein für kleine Re-Zahlen besonders geeignet erscheinendes Profil. Es bekam den Beinamen "**mini-Re**" und so hieß dann fortan auch jede weitere Modellvariation.

Der 24. Feber 1997 war zwar mit seinen +10°, einem bedecktem Himmel und leichtem Westwind noch kein Frühlingstag, doch einladend genug, "mini-Re" endlich in die Lüfte zu befördern. Am Flugplatz verlief die Prozedur des Einfliegens wie gewohnt. Zuerst zwei Handstarts die zur Zufriedenheit verliefen, Motor eingeschaltet und ab ging's. Es packt mich jetzt noch leichte Euphorie, wenn ich an diesen ersten Flug denke, der (für damals!) mehr als zufrieden stellend verlief. Erfüllt wurden also die Wunschvorstellungen: hervorragende Ruderwirkung um alle Achsen, sehr guter, unkomplizierter Steigflug, wohl auch mit Hilfe des gelungenen Propellers und gute Gleitleistung dank des neuen Profils. Eine Variation dieses Modells war mit der "sparsamsten" aller Antriebseinheiten ausgerüstet. Nur vier! 1,2 Ah-Zellen versorgten die Einheit des Graupner Speed Gear 4:1 - Speed 400-4,8 V mit Energie.

Bei jeder neuen Antriebseinheit wurde wohl immer wieder um jeden Prozentpunkt des Wirkungsgrades geknausert. Letztendlich lag aber der entscheidende Durchbruch zur beachtlichen Leistungssteigerung der Gesamtflugzeit offensichtlich beim Akku. Durch die Bemühungen der einschlägigen Industrie wurde im Laufe der Jahre, neben der Hochstromzelle, auch die für vorliegenden Modelltyp erforderliche Akkuzelle mit großer Energiedichte, beträchtlich weiterentwickelt. Von 1988-2002 kamen bei den beschriebenen Modellen folgende Größen und Kapazitäten zum Einsatz: 2/3 AA und AF 0,5 u. 0,6 Ah. Mignon AA 1,0 Ah. 4/5 AF 1,2 Ah. AF 1,4 u. 1,6 Ah. Bei der Zellenanzahl war die Änderung: 5, 4, 5, 6 Stk. Nichts spricht jedoch eine beredtere Sprache, als die Gegenüberstellung der theoretischen Energiedichte (TE) (Wh/kg) der zuerst verwendeten, zur vorläufig (2002) zuletzt eingesetzten Zelle:

1988: SANYO Ncd N-500 Ar Gewicht 19 g Einbauvol = 51 0 cm³ TE = 32 9 Wh/kg

2003: SANYO NiMH Twicell 2100 AA, Gewicht 28 g, Einbauvol. = 87,0 cm³, TE = 93,75 Wh/kg!

Den trockenen Ausdruck theoretische Energiedichte kann man einfach als das Verhältnis Akkuleistung (Wh) zu Zellengewicht (kg) verstehen und errechnet sich aus der Leerlaufspannung (V) mal der am Akku angegebenen Kapazität (Ah) dividiert durch das Zellengewicht (kg). Rechenbeispiel für Sanyo 2100: (1,25 V * 2,1 Ah) / 0,028 kg = 93,75 Wh/kg.

Weitere systematische Modellmodifikationen folgten. Bei der Tragfläche wichen die elliptischen Ohren der Rechteckform. Auch das Profil wurde nochmals zu Gunsten einer spürbaren Verbesserung der Sinkgeschwindigkeit geändert. Es entspricht, von geringfügigen Abweichungen abgesehen, dem S 4083. Geändert oder abgewandelt wurde wiederholt nicht nur die Dimensionierung des Seiten- und Höhenleitwerks für höchst ausgewogene Proportionalität der Ruderwirkung, sondern auch das H/D-Verhältnis der Luftschaube, mit Hilfe eines inzwischen selbst erstellten Computerrechenprogrammes.



Akkuanchlussmöglichkeiten und Fernsteuerkomponenten blieben da nicht verschont.

In der Version 2002 wurde schließlich ein Kraft- zu Gleitflugverhältnis von etwa 1:5,57, bei einer Leistungsabgabe der Luftschaube von etwas mehr als 15,0 W! erreicht.

Welch eklatanter Unterschied zu den Steigflugfetischisten, bei denen Ökonomie mit Action vertauscht wird: für sie beginnt der E-Flugspaß bei einem K/G-Verhältnis von mindestens 1:10. Als Beispiel: bei einem 2 kg-Modell, das eine Höhe von 200 m in 7s erreicht und eine besonders optimistisch angenommene Sinkrate von 1 m/s aufweist, wäre das Kraft/Gleitflugverhältnis 1:28,57. Dafür müsste, je nach Wirkungsgraden, die Luftschaube aber mit 600 Watt Ausgangsleistung protzen und aus dem brennheißen Hochstromakkupack etwa 1500 Watt (z.B. 30 Zellen bei 50 A?) herausgequält werden!

Techn. Leistungsstand etwa 2002:

E-Motorsegler "**mini-Re**": Spannweite $b = 1,915$ m, Flügelfläche $FF = 0,2873$ m², Streckung $\lambda = 12,76$, Profil S 4083 modifiziert, Fluggewicht $G = 0,566$ kg = 5,55 N, Sinkgeschwindigkeit $v_y = 0,416$ m/s. Gewicht der Antriebseinheit: Akku, Regler, Motor mit Getriebe, Prop-Mittelstück-Spinner 267 g = 2,62 N, E-Motor: Permax 280 BB mit Planetengetriebe Mini-Pile 6:1, Propeller: Ahorn 0,315/0,245 m, H/D = 0,778, Steller: Schulze slim-10be, Antriebsakku: Twicell 6/1600 NiMH.

Mini-Empfangsteil: Robbe RX 600, 2 x Robbe FS 40 Servos und separater Empfängerakku GP 4/550, Gewicht: 83 g.

Umsetzerkette:

Antriebskomponenten:	Akku-Ausgang	Regler	Getriebe	Motor	Propeller	
Wirkungsgrade:	5,7 A	6,5 V ^{*1}	95%	95%	70%	65% *1 0,86%
Leistungsverluste:	37,0 Watt	35,2	33,4	23,4	15,2 Watt	eff. Prop-Ausg.

Gesamtwirkungsgrad ab Regler: 41%

Motorlaufzeit: Akkukapazität in Amperesekunden: 1,6 Ah * 3600 s * 0,86 % Stromfaktor/5,7 A = 869 s oder 14 min und 29 s = 10 Steigflüge á 87 s.

Steigfluggeschwindigkeit: $v_{st} = (15,2$ W / 5,55 N) - 0,416 $v_y = 2,32$ m/s

Erzielbare Höhe bei 87 s Motorlaufzeit: 2,32 m/s * 87 s = 201 m

Gleitflugzeit: 201 m / 0,416 m/s (Sinkgeschwindigkeit) = 483 s oder 8 min und 3 s

Gesamtflugzeit aus 10 Steigflügen: 14 min 29s + 80 min 30s = 94 min 59 s = 1 h 35 min, oder: theoretisch erreicht das Modell nach 14 min und 29 s eine Flughöhe von 2016 m, aus der ein Gleitflug von 80 min und 30 s, also eine Gesamtflugzeit von **1 h 35 min** resultiert.

Zur Krönung der nun schon über 25 Jahre anhaltenden Entwicklungsreihe und zu Gunsten einer Maximalleistung im Bereich Antrieb, wurde 2003 versuchsweise der Aspekt der Ökonomie vernachlässigt. Die Wirkungsgradzunahme durch einen brushless-Hochpreismotor samt Regler war nicht gravierend, eher mit mehr technischem Aufwand verbunden. Erst durch die Montage eines 9:1-Getriebes zwecks Bändigung der hohen Drehzahl und der sich daraus ergebenden Erhöhung des Grunddrehmoments des E-Motors auf das 9-fache, wurde, bei gleichzeitiger Schonung des Akkueffizienzgrades, die Verwendung einer etwas größeren Luftschaube möglich. Dies alles führte schließlich zu einer geringen Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades im Antriebsbereich. Reim

Akku hingegen konnte den alten Grundsätzen treu geblieben werden. Dank steter Weiterentwicklung der SANYO Twicell und ähnlicher Produkte, erfolgte ein weiterer beachtlicher Kapazitätssprung von 1,6 auf 2,1 Ah bei gleichem Gewicht (TE = 97!) und nahezu gleichem Preis, was zur entscheidenden Leistungssteigerung beitrug. **Mehr noch: das Laden am Flugfeld hatte sich erübrigt!** Mit zwei zu Hause geladenen Akkupacks kann man nun einen ganzen Nachmittag "oben bleiben". Vor Augen halten sollte man sich also den seit 1988 erfolgten unglaublichen, wohl nie enden wollenden Anstieg der Energiedichte bei Normalakkus von 32 auf 97 Wh/kg!

Die Fotoindustrie macht es möglich. Das bislang letzte Testmuster ist ein AA-Mignon-Akku mit der Kapazität von 2,35 Ah = 105 Wh/kg!!!

Techn. Leistungsstand Mitte 2003:

E-Motorsegler "**mini-Re**": Spannweite $b = 1,915$ m, Flügelfläche $F_F = 0,2873$ m², Streckung $\lambda = 12,76$, Profil S 4083 modifiziert, Fluggewicht $G = 0,574$ kg = 5,63 N, Sinkgeschwindigkeit $v_y = 0,416$ m/s.

Gewicht der Antriebseinheit: Akku, Regler, Motor mit Getriebe, Prop-Mittelstück-Spinner 269 g = 2,64 N, E-Motor: AXI Mini 1215/16 brushless mit Aeronaut-Getriebe 9:1, Propeller: Ahorn 0,320/0,256 m, H/D = 0,8, Steller: model motors 18e+3ph, Antriebsakku: Sanyo Twicell 6/2100 NiMH AA Mignon.

Empfangsteil: Simprop Scan 7, zwei Robbe FS 40 Servos mit separatem Empfängerakku Sanyo Twicell 4/700, Gesamtgewicht: 83 g.

Umsetzerkette:

Antriebskomponenten:	Akku-Ausgang	Regler	Getriebe	Motor	Propeller		
Wirkungsgrade:	5,5 A	6,5 V ^{*1}	---	90%	80%	68%	*1 0,86%
Leistungsverluste:	35,75 Watt	---	32,17	25,74	17,50 Watt	eff. Prop-Ausg.	

Gesamtwirkungsgrad ab Regler: 49%

Motorlaufzeit: Akkukapazität in Amperesekunden: 2,1 Ah * 3600 * 0,86 (Stromfaktor) / 5,5 A = 1182 s oder 19 min und 42 s = 14 Steigflüge á 84 s

Steigfluggeschwindigkeit: $v_{st} = (17,5 \text{ W} / 5,63 \text{ N}) - 0,416 \text{ m/s} = 2,69 \text{ m/s}$

Erzielbare Höhe bei 84 s Motorlaufzeit: 2,69 m/s * 84 s = 226 m

Gleitflugzeit: 226 m / 0,416 m/s (Sinkgeschwindigkeit) = 543 s oder 9 min und 3 s

Gesamtflugzeit aus 14 Steigflügen: Motorlauf 19 min 36 s + 126 min 42 s Gleitflug = 146 min 18 s = 2 h 26 min, oder: theoretisch ^{*2} erreicht das Modell nach 19 min und 42 s Motorlauf eine Flughöhe von 3180 m, aus der ein Gleitflug von 126 min und 42 s, somit eine Gesamtflugzeit von **2 h 26 min** resultiert.

^{*2} Diese theoretische Flugleistung kann nur mit einem gut geladenen Antriebsakku, bei ruhiger Wetterlage und perfekter Trimmung des Modells realisiert werden! In der Praxis: alle in den letzten Jahren durchgeführten Flüge wurden wegen Ermüdungserscheinungen des emeritierten Piloten vorzeitig mit reichlich Restkapazität im Antriebsakku beendet!

Anfang der Neunzigerjahre fanden sich in den Handys die ersten Lithium-Ionen-Akkus. Interessierten Modellfliegern war sofort klar, dass dieser Akkutyp mit seinem geringen Gewicht und der hohen Spannungslage früher oder später für den Elektromodellflug zu einem Renner werden musste. Inzwischen sind einige Jahre vergangen und am Ladentisch liegt der Lithium-Polymerakku. Sein Inneres, die Hülle und Form aber auch das Handling haben sich so zu seinem Vorteil gewandelt, dass er auch den Modellfluganforderungen entspricht.

Protzen kann er wie gesagt mit seiner sagenhaften theoretischen Energiedichte von z.B. 181 Wh/kg! (1,5 Ah -Type). Darüber hinaus kennt er weder Selbstentladung noch Memory-Effekt und nach momentanem Stand ist er mit 10 C auch schon als hochstromfähig anzusehen. Auch der Preisunterschied zum NC-Akku ist kleiner geworden. 6 Mignon GP 2000 mit 7,2 V Nennspannung kosten dzt. € 22,--. Um knapp 58% mehr, also um € 34,70, ist ein fertigkonfektionierter 2/1500 Kokam Lipo mit 7,4 V Nennspannung zu haben.

Auch seine Gefährlichkeit im Ladebereich wurde mit neuen Ladegeräten und Spezialzubehör gemindert, wenn auch der Umgang mit ihm weiterhin Sorgfalt erfordert. Einmal Tiefentladen oder Überladen und das kleine Juwel wandert zum Sondermüll.

Anfang 2004 wurde nun auch mit oben angegebenen Lipo-Akkusatz (2/1500) folgender Leistungsstand mit der Antriebsvariante Bürstenmotor von 2002 erreicht: neues Fluggewicht = 4,905 N. Flächenbelastung = 16,94 N/m², Sinkgeschwindigkeit = 0,4 m/s.

Motorlaufzeit: Akkukapazität in Amperesekunden: 1,43 Ah * 3600 / 6,5 A = 792 s oder 13 min und 12 s = 13 Steigflüge á 61 s

Steigfluggeschwindigkeit: $v_{st} = (21,5 \text{ W} / 4,905 \text{ N}) - 0,4 v_y = 3,98 \text{ m/s}$

Erzielbare Höhe bei 61 s Motorlaufzeit = 243 m

Gleitflugzeit: $243 \text{ m} / 0,4 \text{ m/s}$ (Sinkgeschwindigkeit) = 607 s oder 10 min und 7 s Gesamtflugzeit aus 13 Steigflügen: 13 min und 12 s + 131 min 31 s = 2 h 24 min, oder: theoretisch erreicht das Modell nach 13 min und 12 s eine Flughöhe von 3152 m, aus der ein Gleitflug von 131 min und 31 s, also eine Gesamtflugzeit von **2 h 24 min** resultiert.

Es ist Mitte **Oktober 2004**. Gerade wurde ein neuer Antrieb ohne! Getriebe getestet. Unter dem Eindruck einer überaus gelungenen, praktischen Erprobung wurden diese Zeilen noch am Abend desselben Tages geschrieben.

Bei Probeläufen für ein Testmodell hinterließ der Winzling eines AXI Brushless 2212/26 Außenläufers zusammen mit einem "Model Motors"- Regler 2512/3 (beide Č. R.) einen so guten Eindruck, dass spontan der Entschluss gefasst wurde, ihn auch dem "mini-Re" einzuverleiben. Eine Nachrechnung ergab, dass gegenüber der Version Anfang 2004, eine Wirkungsgradverbesserung von mindestens 10% im Steigflug zu erwarten war, und dies trotz kleinerer Luftschaube.

Nun zu den Details: bis auf die Steigfluggeschwindigkeit bleiben alle Werte von Anfang 2004 unverändert. Mit einem käuflichen 10 x 6 Cam-Prop (besser wäre eine 10,63 x 4,42 Luftschaube) ist nun für die Steigfluggeschwindigkeit v_{st} die Propellerausgangsleistung mit 25 W einzusetzen und das Gewicht mit 4,69 N = 25,0 W / 4,69 - 0,4 $v_y = 4,9 \text{ m/s}$.

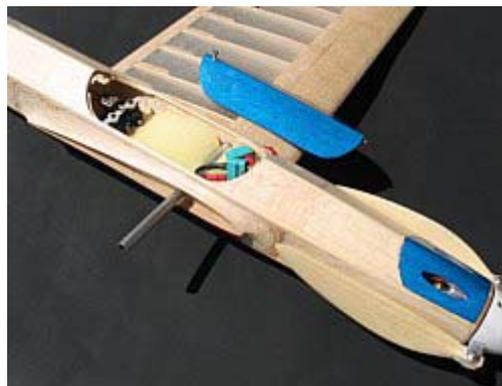
Erzielbare Höhe mit 25 s Motorlauf = 117 m

Gleitflugzeit: $117 \text{ m} / 0,4 \text{ m/s} = 292 \text{ s}$ oder 4 min und 52 s

Motorlaufzeit $792 \text{ s} = 792 / 25 = 31$ Steigflüge mit insgesamt 13 min und 12 s. Ergibt eine theoretische Gesamtflughöhe von 3627 m, aus der ein Gleitflug von 2 h 31 min und 7 s resultiert. Zusammen mit der Motorlaufzeit ist die Gesamtflugzeit **2 h 44 min 19 s**.

Mittwoch der **27. April. 2005**: was für ein großer Tag für die Luftfahrt! Der Airbus 380 erstrahlte vor Millionen Zusehern bei seinem gelungenen Erstflug. Und am selben Tag und fast zur gleichen Stunde durfte der neue "mini Re 05" bei seinen Testflügen genau so erfolgreich glänzen.

Dieses Modell entstand in den Wintermonaten 2004/2005. Hatte es der Erbauer doch wenige Wochen davor wieder einmal geschafft, das Vorgängermodell beim Herunterholen aus größerer Höhe zu zerlegen. Also lag dem Neubau ein einfaches Konzept zugrunde. Unter Beibehaltung des bisherigen Grundtypes, vor allem aber des Baugewichtes, wurde eine wesentliche Verbesserung der Flächenfestigkeit durch Neugestaltung des Mittelteils angestrebt. Umgesetzt wurde dies durch Kohlefaserrohre in den Tragflächen, eigens angefertigte kohlefaserverstärkte Endleisten und eine eigens angefertigte V-förmige Kohlefaser-Steckverbindung (siehe nebenstehendes Bild).



Weitere Änderungen: statt Schulterdecker, Umwandlung zum Mitteldecker. Aufhängung der Flächen frei schwimmend, jedoch fixiert durch Führungskästen, geringfügige Vergrößerung der Spannweite auf zwei Meter ($F = 0,3 \text{ m}^2$), sowie Stäbchenbauweise für den hinteren Rumpfteil.

Der Antrieb erhielt die schon angekündigte Ahorn-Eigenbauluftschaube, allerdings nun mit der Größe 280/140 (11x 6) und den letzten Schrei an Controller, den "Jeti Advance 12 plus" für Sofortscharfstellung und Programmierkarte.

Angeführt seien auch die Beweggründe zum Wechsel auf einen kostspieligeren Brushless-Antrieb, entgegen des eingangs geforderten Grundsatzes der Billigkeit bei diesem Modelltyp: die Störanfälligkeit durch Bürstenfeuer des Bürstenmotors, seine Kurzlebigkeit, aber auch der schlechtere Wirkungsgrad gegenüber dem Außenläufer. Mitentscheidend: Kosten und Gewicht mildernder Wegfall eines subtilen, die Wirkungsgradkette belastenden Getriebes.

Das neue Abfluggewicht hat sich trotz separatem Empfängerakku überraschenderweise auf 4,49 N verringert, woraus wiederum eine Verbesserung der Steigflug- und Sinkgeschwindigkeit resultierte.

32 Watt Propellerausgangsleistung aus zwei 1500er Lipos, 4,49 N Gewicht und 0,37 m/s Sinkgeschwindigkeit ergeben eine Steigfluggeschwindigkeit von 6,7 m/s, was schließlich zu einer theoretischen Gesamtflugzeit von knapp 3 h führte. Eine sorgfältige Nachmessung zur Überprüfung des Wirkungsgrades des eingesetzten 1500er Kokam Lipos zeigte, dass der seinerzeit angesetzte Wert bei weitem nicht erreicht wurde. Bei 5 C Belastung durch die neue Luftschaube fallen Strom und Spannung schnell in den Keller. Ein Noname-LiPo-Produkt mit einer Kapazität von 2200 Ah, den Abmessungen 62 x 42 x 19 mm und einem Gewicht von 95 g für zwei Zellen zeigt nun Muskeln und erbringt folgende Änderungen: Modellgewicht 471 g, Sinkgeschwindigkeit 0,375 m/s, Motorlaufzeit: $783 \text{ s} (2\text{Ah} * 3600\text{s} / 9 \text{ A})$ Motorausgang = $6 \text{ V} * 9 \text{ A} * 0,75 \text{ } \eta = 39 \text{ W}$ Propellerleistung

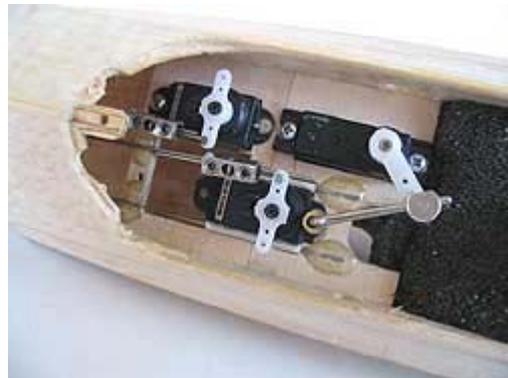


(0,65% η) = 29,6 W, Steigfluggeschwindigkeit = 6,03 m/s. Daraus theoretische Gesamtflugzeit aus 19 Steigflügen mit je 41 s Motorlauf: **3 h und 29 min.**

Obwohl die Festigkeitsverbesserungen beim zuletzt beschriebenen Modell ausschließlich dem "Herunterdrücken" aus der Thermik dienen, wurde **Ende Mai 2006** dennoch der Einbau einer ferngesteuerten Thermikbremse in Angriff genommen. Den Impuls dafür gab Graupners Neuerscheinung "Der kleine RC-Uhu" 2006, in dessen Freiflugversion eine Höhenruderblatt-Thermikbremse eingezeichnet ist, die mit einem empfohlenen Ruderblattausschlag von 65° funktionieren soll.

Bis zu einer zufrieden stellenden Lösung wurden zunächst fünf verschiedene Höhenruderblattvariationen und somit Leitwerke gebaut, denn das beim "Kleinen Uhu" eingezeichnete Größenverhältnis, Dämpfungsfläche zu Ruder, bewirkte beim ersten Testflug nur eine wilde Loopingfliegerei, bei der das Modell noch mit der Blase wegstieg. Erst durch schrittweise Vergrößerung der Ruderblattfläche auf 55 % der HLW-Gesamtfläche entstand eine stark wirkende Thermikbremse, gleich einer Autorotation. Ihre "Sinkgeschwindigkeit" liegt dabei weit über der des Modells. Zur Vermeidung einer Bruchlandung, muss dieses Art thermikbremsen in Sicherheitshöhe unterbrochen werden.

Mit der 65°-Ruderblattstellung gelang der perfekte Sackflug jedoch erst beim sechsten! HLW. Seine Gesamtfläche beträgt 10,8 % der Flügelfläche. Davon entfallen 42% auf die Dämpfungsfläche und 58% auf das Ruderblatt. Es weist an der Nasenleiste eine positive Pfeilung von je 3,8° auf, gedacht zur Richtungsstabilisierung gegen die Autorotation. Gewicht: 13 Gramm. Das Profil ist eine ebene Platte mit einer Dicke von 4%.



Das Thermikbremsen sollte genau gegen den Wind und im überzogenen Flugzustand eingeleitet werden, sonst geht das Modell in Autorotation. Man kann diese jedoch durch schnelle Gegenkorrektur mit dem Seitenruder zur vermeintlichen Drehrichtung verhindern! Auch die Fallrichtung kann mit dem Seitenruder beeinflusst werden. Zu viel Seitenruder bringt jedoch das Modell wieder in Autorotation.

Das gebremste Fallen entspricht nun dem eines Fallschirmes. Die Fallgeschwindigkeit beim Thermikbremsen: der c_w -Wert für die Hohlkugel des Fallschirmes wird mit c_w 1,35, der für eine Platte, wie sich das Modell im Grundriss darstellt, mit c_w 1,25 angegeben. Die Formel lautet dann: Wurzel aus dem Gewicht des Modells 4,8 N dividiert durch c_w 1,25 * F 0,34 m² * $\rho/2$ 0,603 = 4,3 m/s. Das Modell setzt bei der Landung sanft auf.

Die für das "Hochklappen" des Höhenruderblattes verwendete Technik zeigt das nebenstehende Bild: das Höhenruderservo (vorn) läuft nun als Schlitten. Eine zusätzliche Rudermaschine, dahinter rechts, sorgt bei vollem Hebelweg für den großen Höhenruderblattausschlag als Thermikbremse.

Endlich kann ich wieder so hoch fliegen wie es meine Sehkraft zulässt, denn nun ist auch die Angst vor dem "außer Sicht kommen" weg!

In der Sommerhitze 2006. Ein neuer Motor, neue Messungen, korrigierte Modellparameter und neue Flugzeiten.

Zeitgleich mit den abschließenden Versuchen an der Thermikbremse trudelte von Graupner der neue Compact 300VA-Motor* ein, mit dem herausragenden Prospekt-Wirkungsgrad η_{opt} von 86%. Stellte sich die Frage: konnte die berechnete und selbstgefertigte Ahorn-Luftschraube 280/176 bei gegebenen Betriebsbedingungen diesen hohen Wert annähernd erreichen?

Da kein Messblatt von der Lieferfirma erhältlich war, wurde das Eigenbau-Drehmomentprüfgerät á la Geck in Betrieb genommen. Als Vergleichstestmodell diente der bisher eingesetzte, erzeugergleiche AXI 2212/26 Außenläufer. In Größe, Gewicht und Drehzahl pro Volt ist er mit dem Compact nahezu identisch. Das Testergebnis ergab, dass beide Motoren in die Nähe der angegebenen max. Wirkungsgrade kamen. Wohl ein sehr glücklicher Umstand, dass der Prüfpropeller diese Werte bei Betriebsspannung erzielte.

Derzeitiger Leistungsstand nach korrigierten Modell- und Antriebwerten:

Propellerleistung 33,89 W, Modellgewicht 488 g gleich 4,787 N, Sinkgeschwindigkeit 0,392 m/s, Akkukapazität aus 2 Lipos 2200, 809 As. Kein BEC. Daraus theoretische Gesamtflugzeit: 4 Stunden und 3 Minuten

Weitere Ergänzungen folgen, solange die biologische Uhr des Schreibers tickt.

Dankenswerterweise wurde diese Entwicklungsarbeit im Laufe der Jahre immer wieder durch verschiedene Testprodukte nachstehend angeführter Firmen gesponsert: **Graupner/Kirchheim a.d.Teck, Graupner-Röga Hr. Malacek †, Hepf Modellbau Hr. Pfeiffer, robbe Austria Hr. Böhm und Webra Hr. Kaineder**. Besonderen Dank auch an Wolfgang Lemmerhofer, der geduldig und ehrenamtlich die fortlaufenden Änderungen dieser Arbeit in der prop-Homepage vorbildlich bearbeitet.

Begleitende Beiträge:

Flug+Modelltechnik: 290/1980: O.Czepa "RC Wakefield", **prop:** 5/94: H. Steiner "Leichtbau, wie er im Buche steht 6/94: O. Czepa "Die geheimnisvolle Tarnkappe 400", 3/95: O. Czepa "Getriebe ja oder nein?", 4/97: H. Steiner "mini-Re", 2/98: O. Czepa "Die verflixte Luftschraubenanpassung". 3/2000: O. Czepa "Profiländerungen am Außenflügel, 3/02: O. Czepa "Nickel Metallhydrid-Zellen", 2/04: O.Czepa "Lipos, Lipos, Lipos", 3/06: O. Czepa "mini-Re, neue Thermikbremse, neuer Motor".