Ein elektrischer Antrieb für F2B

(Aktualisiert 11. Juli 2011)

Seit dem Herbst 2010 befasse ich mich mit dem Thema elektrischer Antriebe für Fessel-Kunstflugmodelle. Dabei bin ich, wie bisher immer beim Einstieg in neue Technologien, nach dem Prinzip des Fragens und Kopierens vorgegangen und habe, ohne Ambitionen die diversen Räder neu zu erfinden, genau das gemacht, was mir kompetente Kameraden aus aller Welt, stets bereitwillig, geraten haben. Viele Inhalte zum Thema habe ich darüber hinaus unter "Gettin' all AMP'ed up" auf dem sehr aktiven "Stunthanger" Forum gefunden. http://stunthanger.com/smf/index.php#8

Ganz besonders habe ich vom regen Austausch mit Norman Whittle profitiert. Norm fliegt seit einiger Zeit erfolgreich seine "Sultan" Modelle mit elektrischem Antrieb und arbeitet dabei eng mit Paul Walker zusammen. Die Auslegung des Antriebes meiner Modelle "Signorina Elettra" und "PC-21/2 E" ist eine exakte Kopie des Systems von Norman Whittle, dem ich an dieser Stelle für die völlig offene Information und die und sehr kompetente Unterstützung herzlich danken möchte.

Bisher habe ich mit fünf verschieden Flugzeugen, vom einfachen Trainer bis hin zu einem speziell für E-Antrieb gebauten, grossen Kunstflugmodell, Erfahrungen gesammelt. Am Beispiel der "Signorina Elettra" (Eine Variante des Trivial Pursuit Special Edition mit höherer Streckung) möchte ich im Folgenden auf die einzelnen Antriebskomponenten und deren Anwendung etwas näher eingehen. Auch die Erfahrungen aus dem kürzlichen E- Umbau eines vorhandenden PA .75 Modelles sind hier eingeflossen.



Alle Beschreibungen und Aussagen, ausgenommen die technischen Daten, entsprechen meiner persönlichen Sicht der Dinge heute, im Juli 2011. Sie sind nicht allgemein gültig. Neue Erkenntnisse werden dazukommen und ich werde mich bemühen, die Inhalte laufend anzupassen. Dies ist, nach ca. 150 Flügen mit "Signorina Elettra" und "PC21/2-E", die dritte Aktualisierung.

Übersicht

| Obersicht | |
|--|------|
| Ein vorgezogenes Fazit | |
| Das Prinzip | . 2 |
| Was bewirkt die Regelung auf konstante Drehzahl? | |
| Ist das Alles nicht zu kompliziert? | . 3 |
| Gewicht und Kosten | |
| Bezugsquellen und Bestelldaten | |
| Hinweise zum Umbau vorhandener Flugzeuge | |
| Hinweise zum Flugbetrieb | |
| Die Resultate | |
| | |
| Technik im Detail | |
| Der Motor | . 9 |
| Der Regler und seine Programmierung | . 10 |
| Der Timer | |
| Die Batterie und ihre Dimensionierung | |
| Propeller | |
| Datenspeicher | |
| Aussichten | |
| , 100010111011 | |

Ein vorgezogenes Fazit

Die vor nur wenigen Jahren, nicht ohne Widerstand, erfolgte FAI Zulassung elektrischer Antriebe für die Kategorie F2B erweist sich als richtig. In kurzer Zeit und Dank der Verfügbarkeit hoch entwickelter Bauteile aus der R/C Modellflugindustrie, ist die Anwendung elektrischer Antriebe für F2B Modelle zu einer echten Alternative geworden. Damit wurde ein wichtiges Ziel dieser Zulassung, nämlich der sichtbare Betrieb von Fesselflugmodellen nahe am Menschen, erreicht.

Die Laufeigenschaften der heute ab Lager verfügbaren Antriebe sind einem sehr guten Verbrenner-Antrieb ebenbürtig und die operationelle Sicherheit, vor allem in Bezug auf die annähernd perfekte Reproduzierbarkeit der Leistungsabgabe, ist deutlich besser. Ein E-Antrieb läuft überall und immer genauso gut wie im besten Einstellflug zu Hause. Diese operationelle Sicherheit ist, nach meiner heutigen Sicht der Dinge, von ausschlaggebender Bedeutung, denn sie ermöglicht die uneingeschränkte Konzentration des Piloten auf das Wesentliche, das Fliegen des Flugzeuges.

Das Prinzip

Ein elektrischer Antrieb für ein F2B Wettbewerbsmodell üblicher Grösse, d.h. ca. 43 qdm bei ca.1'800 Gr. Gewicht, besteht aus den vier folgenden Bauteilen:

- <u>Einem bürstenlosen Gleichstrommotor</u>, aufgebaut als sogenannter Aussenläufer, ohne Getriebe. Die benötigte Dauerleistung des Motors liegt bei einer Grössenordnung von ca. 500 Watt, bzw. bei ungefähr 0.7 PS.
- <u>Einem Umformer und Leistungssteller, dem "Regler"</u>. Der Regler erzeugt aus der von der Batterie gelieferten Gleichspannung ein mehrphasiges Drehfeld. Er soll mit einem Dauerstrom von 50 bis zu 75 Ampere belastbar sein, Eingangspannungen bis 22.2 Volt verarbeiten können und mit einer Funktion zur Konstanthaltung der Drehzahl (Heli- oder Governor Mode) versehen sein. Der Regler steuert die Leistungsabgabe des Motors, indem er die vom Empfänger der Fernsteuerung kommenden Signale für die Stellung des Gashebels in geeigneter Form verarbeitet. Bei der Anwendung eines herkömmlichen R/C Reglers im Fesselflug fehlen diese Signale. Sie müssen deswegen mit einem separaten Baustein erzeugt werden.
- <u>Der Timer</u>. Er erzeugt die vom Regler benötigten Gashebel-Signale. Weitere Funktionen des Timers sind Steuerung der Startverzögerung und der Laufzeit des Motors.

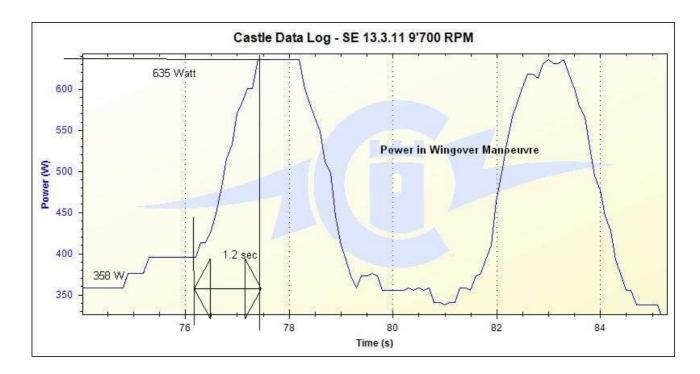
<u>Die Batterie</u>. Eingesetzt werden Lipo Batterien, bestehend aus 3-6 hintereinander (in Serie) geschalteten Zellen, mit einer totalen Nennspannung von 11.1-22.2 Volt. Die benötigte Stromkapazität der Batterie liegt, je nach Nennspannung und Fluggewicht, zwischen 1'600 mA/h (bei 22.2V und 1'400 Gr.) und 4'500 mA/h (bei 11.1V und 2'000 Gr.). Näheres dazu siehe "Die Dimensionierung der Batterie"

Was bewirkt die Regelung auf konstante Drehzahl?

Für F2B Anwendungen benötigen wir einen Regler welcher in der Lage ist, eine zum Voraus gewählte Drehzahl von selbst einzuhalten und zwar, innerhalb bestimmter Grenzen, unabhängig von der Belastung des Motors.

Eine solche Funktion, sie wird auch "Heli Mode" oder "Governing" genannt führt zu einem, dem klassischen 4-2-4 Verhalten eines ST.60 nicht unähnlichen, Leistungseinsatz. Wie bei einem gut abgestimmten Verbrenner-System wird die Leistung immer dann erhöht, wenn die Drehzahl abfällt, bzw. sie wird reduziert, wenn sich die Drehzahl, z.B. im Sturzflug oder bei Seitenwind, erhöht. Beim Übergang in den senkrechten Steigflug, also wenn das Gewicht des Modells den Motor mehr belastet und deswegen die Drehzahl zurückgeht, erhöht der Regler die Leistung so lange bis die Solldrehzahl wieder anliegt. Nach dem Durchflug des Zeniths passiert das Gleiche, nur jetzt in umgekehrter Weise, d.h. der Regler reduziert die Leistung soweit wie nötig. Das Gleiche geschieht bei Gegen- bzw. Rückenwind und bei Seitenwind in den Loopings. Der Regelvorgang zumAusgleich der sehr geringen (+/-200 U/min), lastabhängigen Drehzahlschwankungen ist schnell (+/- 1 sec) und als solcher vom Piloten kaum wahrnehmbar.

Diese Grafik, erfasst mittels eines im Regler eingebauten Datenspeichers, zeigt den **im Flug** gemessenen Verlauf der **Leistungsaufnahme** des Motors beim Durchfliegen eines Wingovers:



Auf der horizontalen Achse ist die Zeit in Sekunden dargestellt und man sieht, dass das ganze Manöver vom Zeitpunkt 76.2 sec bis zum Zeitpunkt 84.7 sec. also 8.5 sec dauert. Im ersten Steigflug erhöht der Regler innerhalb von 1.2 sec. die Motorleistung von 400 Watt auf 635 Watt, also um 158%. Die Drehzahl von 9'750 U/min bleibt dabei unverändert. Nach dem Durchfliegen des Zeniths geht die Leistung im Sturzflug wieder auf 350 Watt zurück, auch hier bei gleichbleibender Drehzahl. Diese automatische Anpassung der Motorleistung durch den Regler ist, weil die Drehzahl konstant bleibt, zwar nicht hörbar, aber dennoch, wie die Aufzeichnung nachweist, durchaus wirksam.

Bei einem im 4-2-4 Betrieb laufenden Verbrenner-Antrieb gehen wir von einer Leistungsänderung über die Drehzahl aus. Über welchen Regelbereich und wie genau diese funktioniert ist mir nicht bekannt. Exakte Messungen an einem gut funktionierenden Verbrenner-Antrieb könnten uns hier weiter helfen. Zu beachten ist allerdings, dass die Änderung des Auspuffgeräusches beim Übergang vom 4- zum 2-Takt Betrieb wohl erheblich ist (immerhin zündet im 4-Takt Betrieb der Motor nur bei jeder 2. Umdrehung und im 2-Takt jedes Mal), dass jedoch die Drehzahl, und damit die Leistung, im Übergangsbereich wohl nur um wenig zu- bzw. abnimmt.

Ist das alles nicht zu kompliziert?

Die Anwendung der (fast...) "plug and play" Komponenten ist völlig unkritisch und von jedermann problemlos in kurzer Zeit zu erlernen. Wenn das nicht so wäre, dann hätten sich elektrische Antriebe in der grossen R/C Welt kaum so rasch und umfassend durchgesetzt.

Alles was für F2B braucht, ist ein Computer mit Internetzugang und, unbescheidenerweise behauptet, diesen Bericht. Kenntnisse in Elektrotechnik bzw. Elektronik werden nicht benötigt. Einige Grundkenntnisse in Englisch sowie, und, dies vor allem, Freude am Entdecken und ein gesunde Portion Neugier, sind jedoch sehr hilfreich. Was die Handhabung und den Einbau der Komponenten betrifft, so steht jedes auf Elektroflug spezialisierte Fachgeschäft sicher gerne und kompetent mit Rat und Tat zur Seite. Insbesondere dann, wenn zuvor nicht unbedingt alle Komponenten direkt in China beschafft wurden...

Gewicht und Kosten

Antriebsgewichte

Antrieb PA .75, Pipe, inkl.157 ccm / 135 Gr. (¾ voll) Treibstoff: 758 Gr. Elektoantrieb gleicher Leistung, mit Batterie. 678 Gr.



Hier die Gewichtsbilanz einer nachträglichen Umrüstung auf e - Antrieb:

PC-21/2 PA.75 ohne Treibstoff: 1'780 Gramm $\frac{3}{4}$ (157 ccm) Treibstoff: 135 Gr.

PC-21/2 PA.75 mit Treibstoff, Fluggewicht:: 1'915 Gramm

PC-21/2 E, mit Batterie, Fluggewicht: 1'798 Gramm

In beiden Fällen wiegen die elektrischen Komponenten des Antriebes ca. 50 Gramm mehr als die Bauteile des PA.75 Pipe Antriebes. Dieser Gewichtsnachteil wird dadurch kompensiert, als dass die elektrischen Modelle ohne die für den PA .75 benötigte Treibstoffmenge von 190 ccm (161 Gramm) starten können.

Kosten

Die Kosten für die Beschaffung der elektrischen Komponenten für die S.E., bzw. den PC-21/2 E, inkl. der einmaligen Anschaffungen Programmiergerät und USB Schnittstelle, jedoch ohne Ladegerät, betrugen (März 2011) Fr. 505.- bzw. 390.- €. inkl. 1 Batterie. Jede weitere Batterie kostet Fr. 59.- / 45.- €. Ich setze für den Trainingsbetrieb 5 Batterien ein und verzichte auf das Nachladen im Feld. (ca. 45 Min pro Batterie, ab der Batterie des Autos)

Betriebskosten

Basis: 100 Flüge
Treibstoffverbrauch PA .75 pipe (Fr. 12.-/L) 200 ccm/Flug
Angenommene Lebensdauer einer Batterie 50 Zyklen
Direkte Betriebskosten, PA .75 pipe: Fr. 240.Direkte Betriebskosten, S.E. oder PC21/2 E: Fr. 118.-

Bezugsquellen und Bestelldaten

| Bauteil | Hersteller | Hersteller No. / | Lieferant | Best. | Preis | Gewicht |
|---|-------------------------------|---|---|-------|------------|---------|
| | | Bezeichnung | | No. | Fr. | Gr. |
| Motor | AXI | 2826/12 | www.eflight.ch oder Fachhandel | 1578 | 139 | 210 |
| Radial Mount Set for AXI 2820(26)xx | AXI | RMS2820 | www.eflight.ch oder Fachhandel | 423 | 26 | 20 |
| 2-Blatt Propeller 13 x 4.5 E P | APC | LP13045EP | Fachhandel, auf Bestellung | | 11 | 26 |
| Regler Phoenix ICE lite 75 A | Castle Creations | 010-0070-00 | www.eflight.ch oder Fachhandel | 8824 | 129 | 95 |
| Castle Link Phoenix Schnittstelle f. XP | Castle Creations | 010-0005-00 | www.eflight.ch oder Fachhandel | 426 | 29 | |
| Timer | Will Hubin | FM-9 extd. leads | whubin@kent.edu | | 18 | 10 |
| Programmiergerät | Will Hubin | FM-9 Programmer Phoenix High New | whubin@kent.edu | | 95 | |
| Batterie 2600mA/h 5S 135 x 44 x 26 mm | Desire Power Industries | DP2600SP25-5S V 8 | www.eflight.ch www.desire- batterie.de | 10627 | 59 | 325 |
| Lipo Ladegerät für balanced charge | Div. | Bis 6S max.10 A Ladestrom | Für 220 <u>und</u> 12V Eingangsspannung oder Fachhandel | | Ca. 200 | |

Hinweise zum Umbau vorhandener Flugzeuge

Der für einen guten Motorlauf sehr stabil ausgeführte Rumpfaufbau eines Verbrenner-Flugzeuges kann bei elektrischem Antrieb leichter gehalten werden. Beim nachträglichen Umbau eines vorhandenen Fliegers lässt so Gewicht einsparen.

- Um den Trimmzustand durch den Umbau nicht zu verändern, ist es notwendig vor dem Umbau den Tank zu ¾ zu füllen und so die Lage des Schwerpunktes **genau**, zu vermessen. Zu beachten bleibt, dass, bedingt durch die Veränderung des Massenträgheitsmomentes (die schwere Batterie ist näher am Schwerpunkt) ein nachträgliches Anpassen der Trimmung notwendig sein kann.
- Motorbalken und schwere Spanten k\u00f6nnen entfernt werden. An ihre Stelle tritt ein 5 mm Kopfspant, bestehend aus 5-fach Sperrholz, zur Heckmontage des Elektromotors. Wo technisch m\u00f6glich, ist die Frontmontage des Motors vorzuziehen.



- Motor, Regler, Batterie und Timer sind temperaturempfindlich und müssen ausreichend gekühlt werden. Dabei gilt es zu beachten, dass bei hoher Umgebungstemperatur die einzelnen Grenzwerte (Siehe "Technik im Detail") schnell ereicht werden können. Zu hohe Temperaturen reduzieren die Lebensdauer elektrischer Komponenten erheblich. Deswegen ist gute Kühlung, auch bei grosser Hitze auf dem Flugplatz, unbedingt notwendig.
- Zur sehr wirksamen, direkten Kühlung des Motors kann ein ringförmiger Luftspalt zur Kühlung des Rotors offen bleiben. Dabei ist auf genügend, mind. 3 x grösseren, Auslassquerschnitt zu achten.



Der Regler wird so eingebaut, dass er zwar gut gekühlt wird, aber vor Spritzwasser geschützt ist.

- Zur Kühlung der Batterie ist für ausreichenden Luftdurchfluss um die Batterie zu sorgen.
- Beim Einbau des Timers ist darauf zu achten, dass der 6-polige Anschluss von Aussen zugänglich bleibt. Auch der Timer und die Start/Stop Taste sind vor Spritzwasser zu schützen. Die Start/Stop Taste wird versenkt eingebaut, um so vor versehentlicher Betätigung gut geschützt zu sein.

Die Batterie wird so eingebaut, dass die vor dem Umbau vermessene Lage des Schwerpunktes (mit Treibstoff) exakt erhalten bleibt. Der Wechsel der Batterie sollte von oben möglich sein und die Länge der Kabel zwischen Batterie und Regler sollte weniger als 30 cm betragen.



Hinweise zum Flugbetrieb

- Batterie erst unmittelbar vor dem Start einsetzen und anstecken.
- Sicherstellen, dass nur mit vollständig geladenen Akkus gestartet wird. Bei Unsicherheit Batterie nachmessen (Geeignete Instrumente gibt im Modellbau Fachhandel)
- Das Ende der Gebrauchsdauer (Anzahl Zyklen) einer Batterie kündigt sich dann an, wenn die Spannung <u>unter Last</u> (in Manövern) auf einen Wert von <u>3.0 Volt pro Zelle</u> abfällt. Bei entsprechender Einstellung der Unterspannungsüberwachung des Reglers (auf 3.0V) spricht dann diese Sicherung an und reduziert die Leistung bis zum Ablauf der eingestellten Laufzeit.

- Beim Anstecken der Batterie zählt der (Phoenix ICE) Regler die Zellen und piepst für jede erkannte Zelle einmal (Bei 5S; Startmelodie und danach 5 Piepser) Mitzählen; Wird eine Zelle nicht erkannt (ein Pieps fehlt), nicht starten, Batterie wechseln. Nach den (5) Zählpiepsern ertönt noch eine kurze Tonfolge zur Bestätigung der Betriebsbereitschaft. Fehlt diese, nicht starten und alle Steckkontakte sorgfältig prüfen.
- Ist das System betriebsbereit, so ertönt alle 20 sec ein kurzer Warnpieps. Er zeigt an, dass alle Komponenten scharf sind. Nach der Landung erfolgt noch 1 pieps, danach wird diese Funktion angeschaltet.
- Startverzögerung nicht unter 30" einstellen.
- Startsequenz durch kurzes Drücken der Start/Stop Taste einleiten. Vorsicht, der Regler quittiert den Startbefehl mit einem kurzen Drehen des Propellers. Dabei Modell festhalten und Drehrichtung kontrollieren.
- Auf Gras sollte der Start mit einem Helfer erfolgen. Dieser hält das Modell fest bis der Motor hochgelaufen ist und gibt es dann auf Zeichen des Piloten frei.
- Bei Unsicherkeit oder Zwischenfällen wird die Startsequenz und/oder ein laufender Motor durch kurzes Drücken der Start/Stop Taste abgebrochen, bzw. abgestellt. Dies muss allen Helfern mitgeteilt und demonstriert werden.
- Eine abgebrochene Startsequenz und/oder ein abgestellter Motor kann nicht erneut gestartet werden. Dafür muss zuerst die Batterie aus- und wieder angesteckt werden.
- 5 sec vor dem (mit FM-9) programmierten Ausschalten des Motors nimmt der Regler für einen ganz kurzen Moment die Leistung zurück und zeigt so das bevorstehende Abstellen an. **Vorsicht**; dieses Signal kann durch die Programmierung der Bremsverzögerung und/oder der Gasannahme (Phoenix: Head Speed Change Rate) überdeckt werden und ist dann fast nicht wahrnehmbar.

Die Resultate

- Elektrische Antriebe für F2B Modelle sind uneingeschränkt wettbewerbsfähig.
- E-Antriebe sind im Betrieb erheblich einfacher und zeigen exakt reproduzierbares Verhalten.
- E-Antriebe sind nicht schwerer und im Betrieb billiger als moderne Verbrenner Systeme.
- Fast alle der benötigten Komponenten sind im lokalen Fachhandel zu günstigen Preisen zu bekommen.
- Einige F2B spezifische Bauteile werden benötigt. Diese sind bei verschiedenen Herstellern ab Lager lieferbar.
- E-Antriebe können, auf Grund der sehr viel grösseren Anzahl an Bauteilen, eine höhere, statistische Ausfallrate haben.
- Zur Lebensdauer der Motore, bzw. deren Kugellager kann ich noch keine Aussage machen.
- E-Antriebe erzeugen zwar geringe, aber durchaus "wirksame" Vibrationen. Alle heiklen Verschraubungen müssen gut gesichert werden.

Dies sind subjektive und persönliche Meinungen, gewonnen aus noch geringer Erfahrung. Sie gelten zum jetzigen Zeitpunkt für mich und sind nicht in jedem Fall auf Andere übertragbar. Einzelne Aussagen können sich als unrichtig erweisen.

- Technik im Detail -

Der Motor

Im Leistungsbereich bis ca. 700 Watt, und bei Drehzahlen in der Grössenordnung bis ca.11'000 U/min, sind bürstenlose Gleichstrommotore, aufgebaut als Aussenläufer ohne Getriebe, für unsere Zwecke gut geeignet. Solche Motore werden vom Fachhandel in grosser Auswahl angeboten. Auf Grund der mechanischen Belastung, insbesondere durch die Kreiselkräfte der Luftschraube beim Fliegen von harten Ecken (Drehrate 300%sec!), ist es wichtig ein mechanisch hochwertig konstruiertes Produkt, ausgerüstet mit Kugellagern eines namhaften Herstellers, einzusetzen. Dies vor allem dann, wenn der Motor mit Hilfe eines Heckmontage-Sets eingebaut wird, was zu erhöhter Belastung der Lager führt.

Aussenläufer Motore werden durch diese Kennwerte definiert:

- Durchmesser und Länge des, nicht drehenden, Stators: z.B. 28 mm Durchmesser und 26 mm Länge
 = 2826
- Anzahl Windungen: beispielsweise 12.
- Spezifische Drehzahl Kv (auch: RPM/V): z.B. 760. Das bedeutet, dass der Motor, <u>ohne Propeller</u>, pro Volt (V) angelegter Spannung 760 U/min dreht. Bei 18.5 Volt ergibt das 14'060 U/m. Unter Last ist dieser Wert erheblich kleiner. Der Kv Wert muss deswegen so gewählt werden, dass die Nennspannung der Batterie von 3.7 Volt pro Zelle ausreicht um die benötigte Drehzahl (mit Propeller!) sicher zu erreichen.
- Maximaler Strom: Ausgedrückt in Ampere (A) über eine bestimmte Zeit: z.B. 35 A / 30 sec.
- Anzahl Pole: z.B.14 Dieser Wert ist für die Programmierung des Reglers von Bedeutung

Hier die Daten des Motors der "Signorina Elettra" und von "PC-21/2 E"

| Hersteller | AXI | |
|------------|---------------|--------------------------|
| Тур | 2826/12 | Aussendurchmesser 35 mm |
| Kv | 760 | Länge, ohne Welle, 54 mm |
| Polzahl | 14 | |
| Max. Strom | 37 A / 30 sec | |
| Gewicht | 193 Gramm | inkl. Kabel |

Beim Einbau des Motors ist sicherzustellen, dass er mit reichlich Kühlluft umströmt wird. Die Betriebstemperatur, gemessen am rotierenden Teil, darf 85° C nie überschreiten. Hier ist Vorsicht geboten, denn bei zu hohen Temperaturen kann die Verklebung der sehr starken Permanentmagnete im Rotor Schaden nehmen. Dies kann bei ausgedehnten Standläufen ohne Propeller und/oder bei blockierter Welle sehr rasch geschehen. Der mechanische Aufbau der Motore ist kritisch, ich möchte hier vom Zerlegen ohne spezielle Vorrichtungen und Werkzeuge und von eigenen Reparaturversuchen unbedingt abraten.

VORSICHT: Die Motore, auch wenn sie gar nicht so aussehen, entwickeln ganz erhebliche Kräfte und beschleunigen unter Umständen in Sekundenbruchteilen auf volle Leistung. Darin liegt ein erhebliches



Gefährdungspotential! Die Verbindung mit einem Regler und einer Batterie (Auch wenn diese entladen ist) darf <u>nur</u> dann erfolgen, wenn der Motor genauso stabil wie ein kräftiger Verbrenner eingebaut ist und wenn der Propellerstrahl keinen Schaden anrichten kann.

Der Regler und seine Programmierung

Bürstenlose Motore benötigen eine in geeigneter Form aufbereitete Spannung. Um diese aus der Gleichspannung der Batterie zu erzeugen, wird ein elektronischer Umformer benötigt. Weil dieser gleichzeitig zur Regelung der abgegeben Leistung dient, heisst er Regler oder engl. Electronic Speed Controller ESC.



Moderne Regler sind hochentwickelte Bausteine welche auf kleinstem Raum nicht nur erheblicheLeistungen steuern, sondern deren Funktionalitäten darüber hinaus, dank intergrierten Computern, weitgehend frei programmierbar sind. Alle Regler haben diese Anschlüsse:

- 2 sehr dicke Kabel zur Verbindung mit der Batterie; Rot = Pluspol Schwarz = Minuspol.
- 1 dünnes, dreiadriges Kabel mit Flachstecker für den Anschluss am Empfänger der R/C Anlage, bzw. des Timers im Fesselflug. ("Servokabel")
- 3 dicke Kabel, weiss, rot, schwarz, zur Verbindung mit dem Motor.

Beim Betrieb eines Reglers gibt es einige allgemeine Hinweise zu beachten:

- Die Kabel vom Regler zur Batterie sollten nicht länger als ca. 30 cm sein. Bei längeren Zuleitungen können Störimpulse im Kabel der Stromversorgung zu Fehlfunktionen des Reglers führen. (Die Länge der Motorkabel spielt keine Rolle)
- Regler nie an die Batterie anschliessen, wenn das Servokabel nicht am Empfänger (bei Fesselflug; am Timer) angeschlossen ist.
- **VORSICHT**: Falsches Anschliessen der Stromversorgung, bzw. vertauschte Polarität (auf Farbe achten) zerstört den Regler <u>sofort</u>.
- Den Regler immer so einbauen, dass er reichlich mit Kühlluft umströmt wird. Dabei aber auch auf Schutz vor Spritzwasser achten.
- Der Regler darf nie wärmer als 100℃ werden. (Siehe Data Logging)
- Regler gut befestigen, z.B. indem die Batterie- und/oder Motorkabel nahe am Regler mit soliden Klemmen im Rumpf fixiert werden. Lose herumhängende Kabel können fatale Kontaktprobleme verursachen.
- Ein **Unterbruch** in einer der drei Motorzuleitungen im Betrieb führt zur sofortigen Zerstörung des Reglers.

Die wichtigsten Kenndaten von Reglern sind:

Maximaler Strom: In Ampere (A), gemessen zwischen Batterie und Regler. Dauerstrom und/oder kurzfristiger (30 sec.) Spitzenstrom. Für F2B Anwendung ist eine Dauerlastfestigkeit von 50 - 75 A notwendig.

Spannungsbereich: Oft angegeben in Anzahl LiPo Zellen (zu je 3.7 V pro Zelle). Für uns geeignet ist ein Bereich von 3 - 8 Lipos oder 11.1 bis 29.6 Volt.

"Heli Mode" oder engl. "Governor Mode": In dieser Betriebsart hält der Regler die vom Empfänger (bei Fesselflug vom Timer) vorgegebene Motordrehzahl konstant. Diese Funktion, sie wird nicht von allen Reglern angeboten, ist für F2B unverzichtbar.

Bremse: Das FAI F2B Reglement schreibt vor, dass der Propeller im Landeanflug "stillstehen" muss. Dabei wird "stillstehen"so definiert, dass, wenn der Motor noch ganz langsam nachdreht, die einzelnen Propellerblätter noch deutlich sichtbar sein müssen. Diese Forderung wird von einem lediglich stromlos geschalteten Elektromotor nicht erfüllt, denn dessen Drehzahl fällt im Fahrtwind sehr (zu) langsam ab. Es ist deswegen nötig, den Motor beim Abschalten elektrisch zu bremsen. Hier ist zu beachten, dass es Regler gibt, welche den gleichzeitigen Betrieb von "Heli, bzw. Governor Mode" und Bremse nicht unterstützen. Bei den Reglern der Phoenix ICE Reihe von Castle kann, durch Aktivierung der "Control Line" Funktion im "Governor Mode", die Funktion der Bremse frei programmiert werden.

Einige Fabrikate (Jeti, Castle Creations Phoenix) verfügen über eingebaute Datenspeicher. Diese registrieren während dem Flug eine mehr oder weniger umfangreiche Anzahl von Betriebsdaten und ermöglichen so nach der Landung die sorgfältige Analyse der Abläufe und Funktionen. Bei Phoenix wird dazu der <u>nicht</u> mit der Batterie verbundene Regler über das Servokabel und die Phoenix Castle Link Schnittstelle mit einem PC verbunden. Die Firma Castle Creations hat in das Betriebssystem, die "Firmware", der Baureihe Phoenix ICE einige Funktionen speziell für Fesselflug eingebaut. Details dazu siehe:

http://www.castlecreations.com/products/phoenix_ice.html

Hier sind die Daten des Reglers in "Signorina Elettra":

| Hersteller | Castle Creations | |
|------------------|-----------------------|-----------------------|
| Тур | Phoenix ICE lite 75 A | |
| Spannungsbereich | 14 - 34 V | 4 – 8 Lipos |
| Max. Strom | 37 A / 30 sec | |
| Governor Mode | ja | |
| Datenspeicher | ja | Alle relevanten Werte |
| Programmierbar | Sehr weitgehend | Via PC Schnittstelle |
| Gewicht | 67 Gramm | Inkl. Kabel |

Castle Phoenix ICE Regler programmieren

Zur Konfigurierung des Reglers, d.h. Programmierung der Funktionen, der Datenspeicherung und für die graphische Auswertung wird die CastleLink Software benötigt. Diese läuft auf PC's mit Betriebssystem bis und mit Windows XP. Für Vista, Windows 7 oder MAC, bei Castle entsprechende Hinweise beachten. CastleLink ist kostenlos erhältlich auf:

http://www.castlecreations.com/downloads.html

Ich verwende die Version V3 28.1 der CastleLink Software.

Nach erfolgreicher Installation wird der <u>nicht an die Batterie angeschlossene</u> Regler über den 3-poligen Servostecker und das CastleLink Kabel (Schnittstelle) an einem UBS Eingang des PC angeschlossen.

- CastleLink starten
- Pulldown Menü "Software" öffnen
- Im Fenster "Device" muss der richtige Regler Typ erscheinen (z.B Phoenix ICE 75)
- Unter "Available Firmware Versions" V 3.26 (Beta) markieren
- Button "Update Firmware" anklicken.

"Firmware" ist die Bezeichnung für das Betriebsystem des Reglers. Ich verwende die Version V 3.26 (Beta)

Für die Ansteuerung mit dem FM-9 Timer (siehe dort), kann der Phoenix ICE Regler auf <u>zwei verschiedene</u> Arten konfiguriert werden:

- 1.) Betrieb mit im Feld frei wählbarer Drehzahl. Dafür wird der Regler am PC zu Hause am Computer konfiguriert und die gewünschte Drehzahl im Feld mit dem FM-9 Programmiergerät eingegeben. Der FM-9 Timer ist in der Lage, die Funktion der Leistungsregelung im Phoenix Regler nachzubilden, bzw. zu emulieren.
- 2.) Betrieb mit 3 vorkonfigurierten Drehzahlen. Hier werden am PC drei verschiedene Drehzahlen vorprogrammiert und im Feld mittels des FM-9 Programmiergerätes angewählt. Die Emulation des Reglers im Timer entfällt, es wird lediglich Drehzahl No. 1, 2 oder 3 gewählt.

"Signorina Elettra" und "PC-21/2 E" fliegen mit Variante 1.) "Governor High" und FM-9 Einstellung "ESC Mode New Phoenix High". Dafür wurde der von der Batterie getrennte Regler mit Hilfe des auf dem PC vorher installierten Programms "Castle Link" und der zugehörigen Schnittstelle wie folgt konfiguriert:

| Castle Bezeichnung | Einstellung | Bemerkung | |
|------------------------|---------------------|--|--|
| | | | |
| Firmware | V 3.26 (Beta) | Version des Castle Betriebsystems | |
| | | | |
| Throttle | | Leistungsregelung | |
| Vehicle | Control Line | Betriebsart Fesselflug (mit Bremse) | |
| Throttle Type | Governor Mode | Konstante Drehzahl | |
| Governor Mode Setting | Governor High | Gas-Emulation via FM-9 Timer | |
| Governor Gain | Medium (25) | Steilheit der Drehzahl-Regelfunktion | |
| Initial Spool Up Rate | High (8) | Hochlaufgeschwindigkeit beim Start | |
| Head Speed Change Rate | High (8) | Reaktionsgeschwindigkeit auf Gasänderung | |
| | | | |
| Brake | | Bremse | |
| Brake Strength | 100% | Wirksamkeit der Bremse | |
| Brake Delay | 0.8 sec | Verzögerung der Bremse | |
| Brake Ramp | medium | Steilheit der Bremsfunktion | |
| Cutoffs | | Sicherheits- Abschaltungen | |
| Cut-off Voltage | Auto-Lipo | Spannungsüberwachung | |
| Auto-Lipo Volts/Cell | 3.0 Volts/Cell | Schwellwert der Sicherheitsabschaltung | |
| Current Limiting | Very sensitive 75 A | Strombegrenzung* | |
| Cutoff Type | Soft Cutoff | Art des Abschaltens bei zu hohem Strom | |
| | | | |
| Motor | | Motor Ansteuerung | |
| Motor Start Power | Custom (75) | Motorleistung am Anfang des Hochlaufens | |
| Motor Timing | Custom (4) | Motor Kennfeld ** | |
| Direction | Reverse | Drehrichtung*** | |
| PWM Rate | 8 Khz | Ansteuerfrequenz des Motors**** | |
| | | | |
| Other | | Weitere Einstellungen | |
| Power-On Beep | Enabled | System piepst alle 20 sec wenn scharf | |
| BEC Voltage | 5.0 V | Stromversorgung Empfänger, bzw. Timer | |
| | | | |
| Logging | | Daten Aufzeichnung | |
| Sample Frequency | 5 Sample / sec | Registriert alle Werte 5 x pro sec / 30 Min. | |
| Download Logged Data | | Schickt die Aufzeichnungen zum PC | |
| Clear Logged Data | | Löscht den Datenspeicher | |
| | | | |
| Settings Control | Update | Konfiguriert den Regler wie eingestellt | |
| | Defaults | Stellt Einstellungen auf std. ab Werk zurück | |

^{*} Beim Blockieren der Motorwelle steigt der Strom sehr schnell auf kritische Werte an. Die Einstellung "Very sensitive 75 A" soll Schäden an der Elektronik verhüten.

Weiterführende Informationen zur Funktion von Motoren und Reglern sind im sehr instruktiven Aufsatz: "Warum überhitzen Modellflugregler" von Markus Müller zu finden:

http://www.s4a.ch/eflight/reglerleistung.pdf

^{**} Der Phoenix ICE Regler bestimmt den optimalen Grad der "Frühzündung" eines angeschlossenen Motors vollautomatisch. Die Automatik arbeitet dabei mit verschiedenen, einstellbaren Kennfeldern. Für den AXI 2826/12 hat sich die Einstellung "Custom (4)" gut bewährt.

^{***} Die Drehrichtung kann auch durch das Vertauschen von zwei der drei Motoranschlüsse umgekehrt werden.

^{****} Die Faustregel zur Bestimmung der Ansteuerfrequenz lautet: (Kv des Motors x Anzahl Pole x Nennspannung) dividiert durch 20, abgerundet auf den nächst niedrigen PWM Wert. Hier: $(760 \times 14 \times 20) / 18.5 = 9'842$ Hz bzw. 8 Khz. Die Einstellung der Motor-Ansteuerfrequenz (PWM Rate) 8 Khz hat sich für den AXI 2826/12 bewährt. Die an gleicher Stelle wählbare Einstellung "Outrunner" (Aussenläufer) wird für diesen Motor nicht empfohlen.

Der Timer

Um dem Regler anzusteuern benötigen Fesselflieger ein besonderes Bauteil, welches passende Signale erzeugt und diese über das 3-adrige Servokabel an den Regler schickt. Dafür ist der "Timer" genannte Baustein vorgesehen. Er wird, auch über das Servokabel, vom Regler mit Strom versorgt.

Der von mir eingesetzte, direkt programmierbare Timer FM-9 von Wilbert Hubin besteht aus einem IC Baustein und einer extern zu montierenden Start/Stop Drucktaste. Er wiegt ca. 10 Gramm. Die 5 Volt Stromversorgung des Timers geschieht über den 3-poligen Servostecker. Dazu muss die BEC (<u>Battery Elimination Circuit</u>) des Reglers auf 5.0V eingestellt werden.



Zur Programmierung des FM-9 Timers im Feld benötigt man das FM-9 Programmiergerät.



Um den ausgeschalteten FM-9 Programmer in Betrieb zu nehmen, wird der Servostecker vom Timer abgezogen (Verbindung Batterie-Regler getrennt!) und die 6-adrige Verbindung zum Programmer angesteckt. Die rote Markierung ist rechts. Jetzt wird die Start/Stop Taste gedrückt gehalten und gleichzeitig der Programmer eingeschaltet. Danach die Start/Stop Taste wieder loslassen. Die Meldung "FM-9 Progr: Press OK to continue" erscheint und zeigt an, dass der Computer des Programmers gestartet wurde. Bestätigen mit der Taste OK und weiteren Anweisungen folgen. Nicht vergessen; Nach der Programmierung den Hauptschalter ausschalten. Eine herkömmliche 9 Volt Ersatzbatterie für den Programmer gehört ins Werkzeug.

Mit dem FM-9 Programmer können diese Funktionen in den Speicher des FM-9 Timers geladen werden:

| Anzeige | Funktion | Bereich |
|------------------|---|----------------------|
| Flight Time | Motor Laufzeit ab Ende Hochlauf bis Stop. | 1'00" – 9'59" |
| Delay | Startverzögerung bis Hochlauf | 2" – 99" |
| ESC Mode | Für Phoenix Governor High Betrieb * | 7'300 - 11'990 U/min |
| Phoenix New High | (Für "Signorina Elettra") | |
| ESC Mode | Feste Leistungseinstellung | 15% - 100% |
| Throttle mode | | |
| ESC Mode | Leistungseinstellung ** | 59% - 91% |
| compen throttle | | |
| ESC Mode | Für Phoenix Governor High Betrieb *** | 8'040 – 12'880 U/min |
| Phoenix High RPM | | |
| ESC Mode | Für Betrieb mit 3 programmierten Drehzahlen | No. 1 – No. 3 |
| Phoenix SET RPM | | |
| ESC Mode | Für Schulze F2B Regler, niedriger Bereich | 7'340 -12'040 U/min |
| Schulze F2B low | | |
| ESC Mode | Für Regler Jeti Spin | 8'490 -10'470 U/min |
| Jeti Spin | | |
| ESC Mode | Für Regler Hacker X30, hoher Bereich | 8'070 -13'050 U/min |
| Hacker High X30 | | |

^{*} Für Phoenix Betriebsysteme (Firmware) grösser als 3.20

Der FM-9 Programmer ist bei Will Hubin whubin@kent.edu zu bekommen.

^{**} Mit autom. Ausgleich des Spannungsabfalls der Batterie (einstellbar)

^{***} Für Phoenix Betriebssysteme (Firmware) bis 3.20

Die Batterie und ihre Dimensionierung

Die elektrischen Eigenschaften unserer Batterien werden im Wesentlichen durch die Spannung und den Strom bestimmt, welche über einen bestimmten Zeitraum abgegeben werden können. Die dafür gebräuchlichen Einheiten sind:

- Die Spannung, in Volt (V)
- Die Stromkapazität, in Ampere, oder Milliampere (tausendstel Ampere), pro Stunde (mA/h)
- Die Leistung, in Watt pro Stunde (W/h)

Die Spannung, in Volt (V)

Lipo Akkus bestehen aus einer Anzahl einzelner, hintereinander (in Serie) geschalteter Zellen. Jede Zelle gibt eine Gleichspannung im Bereich von 3.0 – 4.5 Volt, je nach Ladezustand und Belastung, ab. Als mittlere Nennspannung wird 3.7 Volt pro Zelle angenommen. Die Anzahl Zellen wird mit einer Zahl, gefolgt vom Buchstaben S (für Serieschaltung) angegeben: 3S bedeutet somit 3 in Serie (hintereinander) geschaltete Zellen. Die Nennspannung eines in Serie geschalteten Akkus ist also gleich der Anzahl Zellen mal 3.7. Je grösser die Nennspannung, desto geringer wird die Strombelastung des Reglers und des Motors. Allerdings wird das Verhältnis von Gewicht zu Stromkapazität der Akkus mit zunehmender Zellenzahl ungünstiger.



Die Stromkapazität in Milliampere pro Stunde (mA/h)

Die Stromkapazität C eines Akkus wird in Ampère pro Stunde ausgedrückt, wobei unsere Batterien mit milliAmpère (1/1000 A) angeschrieben werden. Der Wert 3'000 mA/h bedeutet, beispielsweise, dass die Batterie während einer Stunde einen Strom von 3'000 mA, bzw. 3 Ampere, abgeben kann. Oder eben während 1/10 Stunde 30 Ampere. Der C Wert ist ein theoretischer Grenzwert, er darf in der Praxis zu höchstens 80% ausgenutzt werden.

Die Leistung, in Watt pro Stunde (W/h)

Die Leistung einer Batterie in Watt pro Stunde ist gleich dem Produkt aus Spannung mal Strom mal Zeit. Gibt also eine Batterie mit einer Nennspannung von 11.1 V während einer 1/10 Stunde (h) einen Strom von 40 A ab. berechnet sich die Leistung mit:

 $1/10 \text{ h} \times 11.1 \text{ V} \times 40 \text{ A} = 44.4 \text{ W/h}$

Bei anderer Spannung, über die gleiche Zeit, ändert sich der Strom umgekehrt proportional, die Leistung hingegen bleibt gleich:

 $1/10 \text{ h} \times 18.5 \text{ V} \times 24 \text{ A} = 44,4 \text{ W/h}$

Die Dimensionierung der Batterie

Die Bestimmung der elektrischen Kennwerte einer Batterie geschieht durch das Festlegen von

- Nennspannung in V
- Leistung in W/h
- Stromkapazität C in mA/h
- Maximal zulässiger Entladestrom ...C (Vielfaches von C/1000)

Nennspannung in V

Die benötigte Nennspannung einer Batterie berechnet sich aus der vorgesehenen, maximalen Betriebsdrehzahl im Flug und der spezifischen Drehzahl (Umdrehungen pro Volt) des Motors (siehe Datenblatt), sowie einer für die Funktion des automatischen Drehzahlreglers (Governors) notwendigen Spannungsreserve von ca. 30 %:

Beispiel:

Vorgesehene, max. Betriebsdrehzahl: 10'670 U/min (= Drehzahl 13 x 4.5 APC E für 5.4 sec/Runde = 9'700 + 10% = 10'670)

Umdrehungen pro Volt des Motors: 760 (AXI 2826/12)

Spannungsreserve: 30%

Benötigte Spannung: (10'670 dividiert durch 760) + 30% = **18.25 Volt**

Leistung in W/h

Unsere Freunde in den USA haben einen einfachen Grundsatz entwickelt: Um mit einem herkömmlichen F2B Modell, bei einer Motorlaufzeit von 5 Min 20 Sec, ein volles Programm zu fliegen, lässt sich die benötigte Leistung der Batterie, in Watt pro Stunde (W/h), mit einer Faustregel berechnen:

Leistung in W/h = (Fluggewicht dividiert durch 10) x 2 x 1.25, wobei:

2 = Leistungsbedarf in W/h pro 100 Gramm Gewicht.

1.25 = Leistungsreserve, benötigt um eine Entladung der Batterie unter 20% Restkapazität zu vermeiden. Beispiele: Benötigte Leistung der Batterie in Abhängigkeit vom Fluggewicht:

- Gewicht 1'400 Gr /10 = 14 x 2 x 1.25 = 35 W/h
- Gewicht 1'600 Gr /10 = 16 x 2 x 1.25 = 40 W/h
- Gewicht 1'800 Gr /10 = 18 x 2 x 1.25 = 45 W/h
- Gewicht 2'000 Gr /10 = 20 x 2 x 1.25 = 50 W/h

Stromkapazität C in mA/h

Je nach gewählter Nennspannung (siehe dort) und benötigter Leistung berechnet sich die notwendige Stromkapazität C:

Benötigte Leistung in W/h dividiert durch Nennspannung in V = Notwendige Stromkapazität C in A/h Beispiele

- 35 W/h dividiert durch 11.1 V = 3.153 A/h, bzw. 3'153 mA/h
- 45 W/h dividiert durch 18.5 V = 2.432 A/h, bzw. 2'432 mA/h
- 50 W/h dividiert durch 18.5 V = 2.703 A/h, bzw. 2'703 mA/h

Maximal zulässiger Entladestrom

Der **kurzzeitig** (Grössenordnung weniger als1 Minute) zulässige maximale Entladestrom in Ampere ist: Stromkapazität in mA/h dividiert durch 1000, multipliziert mit dem aufgedruckten C Wert. Beispiel: 3'000 m/h / 1000 x 25 C = 75 A.

Da bei F2B, im drehzahlgeregelten Betrieb, nur kurze (weniger als 5 sec) Stromspitzen auftreten, und da sich diese auf eine Grössenordnung von +50% beschränken, ist für unsere Anwendung weniger der maximal zulässige Spitzenstrom als der mittlere Strom über die ganze Flugdauer von Bedeutung*. Dieser berechnet sich aus dem Leistungsbedarf für den Flug (ohne Reserve), dividiert durch die Nennspannung, umgerechnet auf die Flugdauer:

Leistungsbedarf 40W/h / 11.1 V = 3.6 A/h = 36 A über 1/10 h. (Flugdauer)

Dies entspricht, bei einer 3'000 mA/h Batterie, lediglich 12 C.

* Es gibt mittlerweile, im Juli 2011, Hinweise darauf, dass die im F2B Betrieb in sehr kurzer Folge auftretenden Stromspitzen von gegen 40 A, die Batterie recht hoch belasten und die Lebensdauer einschränken könnten. Obwohl eine Kapazität von 25 C ausreichend erscheint, könnte es deswegen sein, dass eine höhere Kapazität von zum Beispiel 45 C, sich in Bezug auf die Lebensdauer (und möglicherweise auf die Regelgeschwindigkeit) vorteilhaft auswirkt. Dies ist eine unbestätigte Vermutung.

Betriebsvorschriften: Für den Betrieb von Lipo Akkus gelten diese Regeln:

- Strombelastung deutlich unter dem aufgedruckten C-Wert halten.
- Aufgedruckte Stromkapazität zu nicht mehr als 80 % beanspruchen.
- Kurzschlüsse, zum Beispiel beim Anlöten der Stecker, unbedingt vermeiden.
- Beim Einbau auf Luftkühlung achten. Nicht in Schaumstoff o.ä. einwickeln.
- Ausschliesslich moderne, computerisierte Lipo Ladegeräte einsetzen.
- Nicht unter 3.0 Volt pro Zelle entladen.



Hier die einzelnen Spannungen (in Volt) eines 5-Zellen Akkus nach dem Flug (F2B Programm)

Nicht auf über 4.2 Volt pro Zelle "balanced" laden.



Hier die Zellenspannungen nach dem Laden.

- Ladestrom gering wie möglich einstellen, typischerweise das 1 2 fache der Kapazität/1000.
- Nie unbeaufsichtigt laden.
- Langzeitlagerung, in feuerfesten Lipo Taschen, geladen auf ca. 50% der Kapazität. (Alle 2-3 Monate nachprüfen)

Das **Ende der Lebensdauer** ist absehbar, wenn die Batterie **unter Last**, das heisst in Manövern während dem Flug eine Spannung von ca. 3.0 V pro Zelle unterschreitet. Wird im <u>Normalbetrieb</u>, d.h. beim Fliegen eines std. Programmes, die auf **3.0 V** eingestellte Abschaltschwelle* im Flug erreicht und spricht deswegen die automatische (<u>soft</u> cutoff, <u>nicht</u> hard) Reduktion der Leistung an, so ist die Batterie fachgerecht zu entsorgen. **VORSICHT**: Auch ein entladener oder defekter Akku kann bei Kurzschluss einen gefährlich hohen Stromfluss verursachen!

Heute, im Juni 2011, bin nicht in der Lage Genaueres zur Lebensdauer meiner Batterien zu sagen. Meine fünf Akkus des Typs DesirePower **V6** SP 2600 mAh. 5S1P 25C haben je ca. 40 Entlade-Ladezyklen hinter sich beginnen erste Symptome der Alterung zu zeigen:

- Temperatur nach der Landung ca. 50 60℃
- Leichte Blähung
- Deutlich längere Ladezeit
- Höherer Innenwiderstand, d.h. leicht reduzierte Regelgeschwindigkeit

Unterdessen habe ich auch 6 Batterien der neuen Version 8 des gleichen Typs 8 (DesirePower **V8** SP 2600 mAh. 5S1P 25C) im Einsatz. Sie zeigen keines der oben erwähnten Symptome, haben aber erst ca. je 10 Zyklen.

*Ich habe zwei Fälle erlebt, bei denen die auf 3.2 V eingestellte Unterspannungssicherung im ersten Flug mit einer neuen Batterie angesprochen hat. In diesem Fall macht es Sinn den Fehler sauber zu dokumentieren und die Batterie zurückzugeben (Garantie) Hier die den Energieverbrauch bestimmenden Eckwerte von "PC-21/2 E":

| Tragfläche | 43 qdm | Flügel, inkl. Flaps |
|----------------------|------------------|---------------------------------|
| Gewicht | 1'798 Gramm | Mit Batterie 5S 2'600 mA/h |
| Kabel / Länge | 0.39 mm / 19.5 m | Oese-Oese |
| Rundenzeit | 5.35 sec | |
| Propeller | 13" x 4.5" | 2-Blatt APC Electric Pusher |
| Drehzahl eingestellt | 9'553 RPM | Am Programmiergerät FM-9 |
| Motor-Laufzeit | 5' 20" | Ende Hochfahren bis Abschaltung |
| Verbrauch | 1'850 mA/h | (Nachladung) |

Bei einer aufgezeichneten Spannung (unter Last) von 20.9 V am Anfang des Fluges und 18.2 V (3.65 V/Zelle) am Ende, fliesst im Horizontalflug ein Strom von bei ca. 25 A und die kurzen Stromspitzen in Manövern erreichen 35 A. Um ausreichend Spannungsreserve für die Drehzahlregelung bereitzustellen, setze ich einen 5 Zellen Akku (18.5 V) mit einer maximalen Kapazität von 2'600 mA/h ein. Diese Batterie ist maximal mit 25 C, also mit 2'600/1000 x 25 = 65 A, belastbar, wiegt 330 Gramm und kostet Fr. 58.-: Typ: DesirePower V8 SP 2600 mA/h 5S1P bei www.eflight.ch oder www.desire-batterie.de

Propeller

Die ausschliesslich für elektrische Antriebe entwickelten APC E Luftschrauben zeichnen sich durch einen sehr hohen Wirkungsgrad aus. Darüber hinaus sind sie leicht und fast überall im Fachhandel günstig zu erwerben. In letzter Zeit haben einige Piloten herausgefunden, dass die Auswirkungen von Drehmoment und Kreiselkraft auf den Leinenzug in bestimmten Manövern dann von Vorteil ist, wenn die Luftschraube links herum läuft. Um diesen Effekt auszunutzen verwenden sie sogenannte "Pusher" also linkslaufende Propeller. APC stellt davon eine ganze Reihe unter der Bezeichnung Thin E (für Elektro) und P (für Pusher) her. Diese sind zwar nicht überall vorrätig, können aber per Sonderbestellung von jedem Fachhändler kurzfristrig beschafft werden.

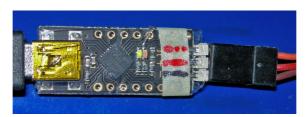
Siehe auch unter: http://www.apcprop.com/pindex.asp

Zwei Dinge gilt es zu beachten

- Die Bohrung der APC E (Thin Electric) Propeller ist nicht mittig. Sie ist deswegen zuerst um ca. 1 mm Durchmesser grösser als die Motorwelle aufzubohren. Die genaue Zentrierung geschieht danach durch das Einlegen eines passenden Ringes in die Eindrehung auf der Rückseite des Propellers. Solche Ringe liegen jedem E Propeller bei, sie werden mit einem Tropfen Sekundenkleber gesichert.
- Die Nabe der dünnen E Propeller ist eher knapp dimensioniert. APC empfiehlt deswegen eine bestimmte Drehzahl nicht zu überschreiten. Diese Grenzdrehzahl berechnet sich so: 145'000 dividiert durch den Durchmesser in Zoll. Für eine 13 Zoll Luftschraube ergibt sich ein Grenzwert von 11'153 U/min.

Datenspeicherung

Die Regler der Phoenix ICE Baureihe von Castle Creations enthalten einen Datenspeicher (Data Logger). Die Funktionen des Speichers sind vom Anwender frei programmierbar. Um die während dem Flug gespeicherten Werte auszulesen, wird der im Modell eingebaute Regler über das 3-adrige Servokabel (mit einer passenden Schnittstelle) mit einem PC verbunden.



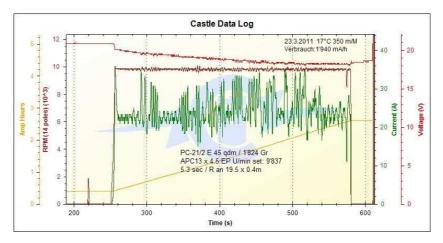
Die USB Schnittstelle ist im Fachhandel erhältlich und das dazu benötigte Programm kann von der Castle Website kostenlos heruntergeladen und installiert werden. Das mitgelieferte Programm "CastleLinkGraph Viewer" erlaubt zudem die graphische Darstelleung der gespeicherten Daten. Diese Werte können gespeichert und graphisch dargestellt werden:

| Bezeichnung | Funktion | Einheit |
|-------------------------------|---|---------|
| | | |
| Battery Voltage | Batteriespannung | Volt |
| Battery Ripple | Spannungsimpulse am Eingang des Reglers | Volt |
| Battery Current | Batteriestrom | Ampere |
| Controller Temperature | Regler Temperatur ** | S |
| Controller Input Throttle | Leistungseinstellung | % |
| Controller Motor Power Output | Motorleistung | Watt |
| Motor RPM | Drehzahl *** | U/min |

^{**} Im Programm "Castle Link Graph Viewer" muss dazu unter "View" die Anzeige auf "Celsius" umgeschaltet werden. Die maximal zulässige Temperatur beträgt 100℃.

*** Im Programm "CastleLink" müssen dafür, unter "Edit", die Polzahl, der Kv Wert und die Getriebeübersetzung des Motors abgespeichert werden.

Die Dauer der Aufzeichnung hängt von der Anzahl der registrierten Parameter und der Messfrequenz ab. Beides ist programmierbar. Werden beispielsweise Spannung, Strom und Drehzahl mit jeweils 10 Messungen pro Sekunde erfasst. Die Aufzeichnung beginnt beim ersten Flug. Nach Ablauf der Zeit, hier 15 Minuten, schaltet sich die Messung ab, d.h. ein automatisches Überschreiben des Speichers findet nicht statt. Hier das Beispiel einer Darstellung von geregelter Drehzahl und nachgeführtem Strom über die Zeit eines Fluges.



Auf diese Art können die elektrischen Werte eines Fluges dokumentiert werden. Hier das Flugdiagramm eines 45 qdm / 1'824 Gramm Modelles (PC-21/2 E), bei dem ein APC 13" x 4.5" 2-Blatt E P Propeller mit konstant 9'800 U/min drehte. Stromquelle war ein 5-Zellen (5S) 18.5V Akku mit einer Kapazität von 2'600 mA/h. Jedes einzelne F2B Manöver ist auf Grund des Stromflusses (Current A, grüne Kurve) identifizierbar. Dabei ist gut zusehen, wie der Strom (die Leistung*) innerhalb eines Manövers beträchtlich erhöht, bzw. verringert wird.*Die jeweilige Leistungsaufnahme des Motors in Watt ist gleich dem Produkt von Strom x Spannung, d.h. W = Grüner Strom in Ampere x rote Spannung in Volt.

Aussichten

Mit grossem Interesse verfolge ich die Arbeiten verschiedener Kameraden zum Thema adaptive, d.h. von verschiedenen Flugparametern abhängige, Leistungsregelung für F2B Antriebe. Fähige Köpfe wie Igor Burger, Wolfgang Nieuwkamp, Kim Doherty, Wilbert Hubin, Erik Jansen, Wolfgang Mahringer und Andere befassen sich sehr ernsthaft mit den nicht ganz einfachen Aspekten dieser Thematik. Es ist durchaus denkbar, dass ihre Anstrengungen in absehbarer Zeit zu weiteren Fortschritten führen werden. Auch bei den Batterien sind Fortschritte zu erwarten. So meldet beispielsweise Norman Whittle aus den USA sehr gute Erfahrungen mit einer neuen Batterie von ThunderPower. Diese soll, dank sehr geringem Innenwiderstand, nicht nur eine sehr schnelle Regelung ermöglichen, sondern darüber hinaus auch mehr als 500 (!) Zyklen erreichen und dabei mit bis zu 12 C in 15 min geladen werden können. Bei den Propellern hören wir von einem APC Projekt, welches für Ende 2011 eine EP Luftschraube mit breiteren Blättern, zu Verbesserung des Bremseffektes, ankündigt,



Was eigentlich bedeutet, dass es heute an der Zeit wäre, auf den Zug aufzuspringen...

11.Juli 2011 Peter Germann peterdgermann@bluewin.ch