

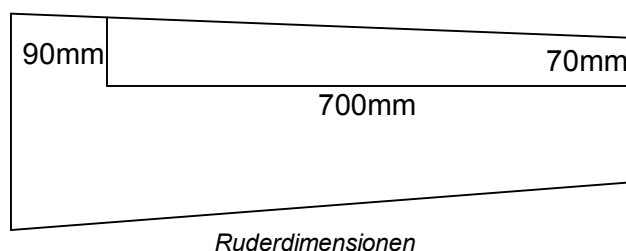
## Know-how – Elektrische Modelle optimal auslegen (II)

Nachdem wir im letzten Teil unseren elektrischen Antrieb berechnet und dimensioniert haben, wollen wir in diesem Teil die Stellkraft der Servos, die Versorgung der Empfangsanlage mit einem BEC und die Dimensionierung des Flugreglers genauer betrachten.

Hierbei verwende ich Hilfsmittel, welche auf dem Internet für nichtkommerzielle Zwecke frei verfügbar sind. Eine komplette Aufstellung finden sie unter «[www.s4a.ch/eflight](http://www.s4a.ch/eflight)».

### Servostellkraft

Die benötigte Servostellkraft muss mindestens dem Rudermoment entsprechen. Das Rudermoment nimmt mit der Rudergrösse, grösserem Ausschlagswinkel und höherer Strömungsgeschwindigkeit zu, z.T. gar dramatisch. Das Excel «benötigte Stellkraft für Servo» berechnet schnell und zuverlässig die erforderliche Servostellkraft. Wir berechnen die minimale Kraft die nötig wird um das abgebildete Ruder zu versorgen.



Ruderdimensionen

Hierbei gilt es zwei extrem Fälle zu betrachten: Speedflug und 3D. Wir tragen mal die Ruderdimensionen in die blauen Felder ein. Bei trapezförmigen Rudern tragen sie einfach die mittlere Rudertiefe ein. Im Speedflug berechnen wir das Rudermoment mit einem reduzierten Ruderausschlag von 25° (höhere Ausschläge würden das Modell abreißen lassen bzw. extreme Rollraten erzeugen). Als Geschwindigkeit setzten wir die Pitch-Geschwindigkeit (theoretische max. Fluggeschwindigkeit) von 98km/h ein. Wir erhalten so ein max. Rudermoment von 52Ncm bzw. 5.1kgcm.

Im 3D-Flug haben wir kaum Vorwärtsgeschwindigkeit, hauptsächlich der Propeller Wash strömt die Ruder an. Meine Erfahrung zeigt, dass die halbe Pitch-Gewindigkeit (49km/h) praxisorientierte Resultate liefert: 61Ncm / 6.0kgcm bei 50°.

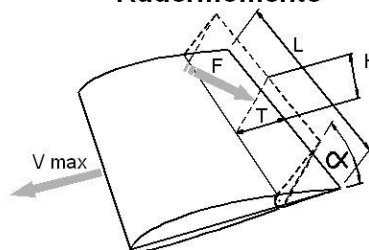
Das höhere Rudermoment bestimmt nun die nötige Stellkraft für das Servo, also 6.1Ncm bzw. 6.0kgcm.

Diese Berechnung stellen wir für jede Steuerfläche an und bestimmen so sukzessive die einzelnen Stellkräfte um eine korrekte Servowahl treffen zu können.

### BERECHNUNGSPROGRAMM für:

#### Rudermomente

Eingabe  
Resultat



Rudergewicht (G)	=	50 gr	G
Rudertiefe in mm (mittel)	=	80 mm	T
Rudertiefe in mm	=	700 mm	L
Geschwindigkeit in km/h	=	98 km/h	V max
Ausschlag max in mm (H)	=	52 mm	H
Max. Beschleunigung (Für Akro 8g, nicht Akro 3g)	=	8 g	g

Ruderkraft (Fg) = 4 N

Ausschlag in:		Ruderkraft		Rudermoment (Nur Einfluss durch Anströmung Fl)		Max. Rudermoment M max = (Fl-Fg) x T/2	
α in Grad	mm	Fl N	Fg N	Ncm	Kgcm	Ncm	Kgcm
5°	7	0.0	4	2	0.2	16	1.6
10°	14	1.5	4	6	0.6	22	2.2
15°	21	3.4	4	14	1.3	30	2.9
20°	27	5.9	4	24	2.3	40	3.9
25°	34	9.1	4	36	3.6	52	5.1
30°	40	12.7	4	51	5.0	67	6.5
35°	46	16.7	4	67	6.6	83	8.1
40°	51	21.0	4	84	8.2	100	9.8
45°	57	25.4	4	102	10.0	118	11.5
50°	61	29.8	4	119	11.7	135	13.3

Rudermoment für Speedflug

### BEC mit Reserve

BECs erfreuen sich zunehmender Beliebtheit durch verbesserte Güte und resistenterer 2.4GHz-Sendertechnologie. Bei heutigen Reglern mit BEC bzw. separaten BECs wird in den Anleitungen lediglich rudimentäre Angaben zu dessen Leistungsvermögen gemacht. Dabei

beschränkt man sich die zulässige Anzahl von analogen sowie digitalen Servos und den maximalen Strom zu nennen.

Ein Servo zieht den höchsten Strom, wenn es vollständig blockiert. Dieser Blockierstrom (engl. Stall Current) lässt sich meist bei Herstellern oder Beipackzettel in Erfahrung bringen und soll uns als Basis für die weitere Berechnung dienen.

In der Praxis hat sich die Annahme bewährt, dass ein Servostrom von  $\frac{1}{4}$  des Blockierstroms ausreicht, um ein leicht gängiges Ruder auszuschlagen. Vorausgesetzt die Servostellkraft wurde korrekt dimensioniert, wird somit der «normale» Servostrom nur im Fehlerfall überschritten. Da die Wahrscheinlichkeit als sehr gering einzuschätzen ist, dass zwei Servos gleichzeitig ausfallen, wollen wir den Strombedarf für ein blockiertes Servo bzw. für alle Servos unter normalen Bedingungen mit einer doppelten Sicherheitsreserve abdecken. Daraus ergibt sich folgender Ansatz zur Berechnung des benötigten Dauer-BEC-Stroms:

BEC-Dauerstrom  $\geq$  Maximum aus

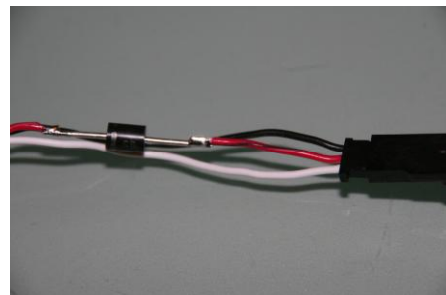
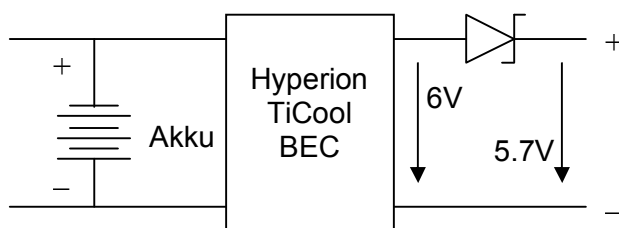
- 2x grösster Blockierstrom oder
- Summe aller Blockierströme / 2

Ein Beispiel: Wir setzen 5 Servos ein (2xH, 2xQ, 1xS). Folgende Blockierströme entnehmen wir den Herstellerangaben: Höhe 0.8A, Quer 2.0A, Seite 2.2A. Wir wenden unsere Formel an und gelangen zu folgendem Ergebnis:

$$\begin{aligned} \text{BEC-Dauerstrom} &\geq \text{Max (2x 2.2A und (2x0.8A+2x2A+2.2A)/2)} \\ &\geq \text{Max (4.4A und 3.9A)} \\ &\geq \mathbf{4.4A} \end{aligned}$$

Ist ihr BEC im Stande einen Dauerstrom von mindestens 4.4A zu liefern, ist dies für einen sicheren Betrieb ausreichend.

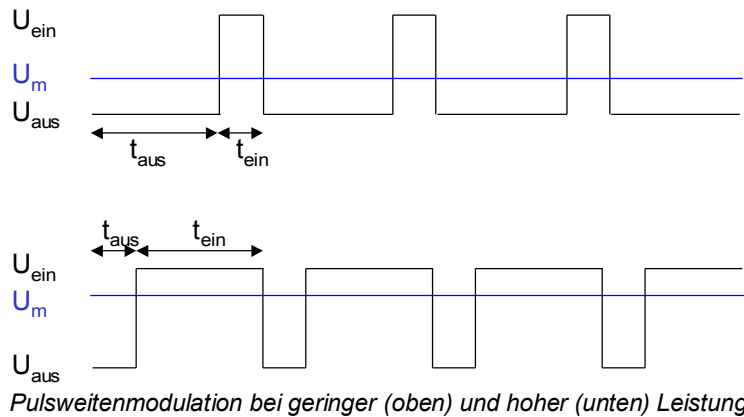
Sollten sie feststellen, dass ihr (separates) BEC nun an seine Leistungsgrenze gelangt, kann auf einfache Art zwei **baugleiche** BECs parallel geschaltet werden, wodurch sich der verfügbare max. Strom verdoppelt. Dazu müssen beide BECs mit einer Shottky-Diode (8A/40V) entkoppelt werden, da sonst die beiden Spannungsquellen gegeneinander arbeiten und zerstört würden. Die Diode wird im Zuleiter (rotes Kabel) in einem Servoverlängerungskabel zwischen BEC und Empfänger eingelötet. Dabei gilt es zu beachten, dass der silberne Ring der Diode Richtung Empfänger zeigt. Das BEC wird nun auf 6V programmiert, was zu einer Versorgungsspannung von etwa 5.7V am Empfänger führt.



Glücklicherweise gibt es heute leistungsstarke getaktete BECs, welche bis 20A liefern können (z.B. CastleCreation CC BEC Pro 20A bis 12s) und somit ein Parallelschalten überflüssig macht.

### Reglerwahl

Die Leistungsdichte der nicht wegzudenkenden Lithium-Zellen akzentuiert das Problem überhitzter Regler bei unsachgemässer Auslegung. Alle Regler für bürstenlose Motoren basieren auf dem Prinzip der Pulsweitenmodulation (PWM), bei der die Aus- und Einschaltzeiten eines Rechtecksignals bei fester Grundfrequenz variieren. Daraus resultieren unterschiedliche mittlere Spannungen ( $U_m$ ), welche die Motordrehzahl und den Strom steuert.



Um eine Reglerüberhitzung zu vermeiden, gilt es die Verlustleistung am Regler möglichst gering zu halten. Die Verlustleistung entsteht zum grössten Teil während dem Abschalten der FET-Drehstrom-Brücke. Bei Teillast erfolgen bedingt durch die Pulsweitenmodulation ein Vielfaches an Abschaltungen gegenüber dem Vollastbetrieb und erzeugt damit ein Mehrfaches an Abwärme. Ohne auf weitere technische Details einzugehen, gilt es daraus folgende Grundsätze zu beachten:

#### 1. Effiziente Kühlung

Ein stetiger Luftstrom am Regler vorbei vermag die Abwärme sehr effizient abzuführen. Sollte dies baulich bedingt nicht möglich sein, sollte diesem Umstand durch Schaffung höherer Reserven oder künstlichem Luftstrom (CPU-Lüfter) Rechnung getragen werden.

#### 2. Gasstellung

0%-70% und 100% Gasstellung sind im Flug zu bevorzugen, da zwischen 80% und 99.9% (Teillast) die höchsten Verluste anfallen.

#### 3. Reserven schaffen

Bei Reglern ohne Rippenkühlkörpern empfehle ich die bekannte 80-20-Regel als Faustregel anzuwenden: Den Regler maximal mit 80% seines spezifizierten Dauerstroms (20% Reserve) und höchstens an 80% der maximalen Zellenzahl betreiben (20% Reserve). Sollte bei der Zellenzahl die vorgesehenen 20%-Reserven aus technischen oder finanziellen Gründen nicht eingehalten werden können, sollte beim Strom gar eine 40%ige Reserve berücksichtigt werden. Regler mit Rippenkühlkörper (nicht zu verwechseln mit Kühlblech!) führen die Wärme wesentlich effizienter ab. Dadurch kann auf die 20% Reserven meist verzichtet werden.



120A-Regler mit Rippenkühlkörper und zusätzlichem CPU-Lüfter

#### 4. tiefe PWM-Frequenz

Die Frequenz der Pulsweitenmodulation beeinflusst direkt die Anzahl Abschaltungen im Teillastbetrieb und damit die Verlustleistung. Stellen sie nach Möglichkeit immer die

tiefste PWM-Frequenz ein.

#### 5. Lange Akkukabel sind tödlich

Generell gilt es die Gesamtsumme der Kabellängen **im** Akku und zwischen Akku und Drehzahlsteller-Leiterplattengrenze gemäss Herstellerangaben einzuhalten (um 20cm). Leitungen sind Induktivitäten und führen bei den getakteten Drehzahlstellern (PWM) zu Spannungsspitzen von mehreren Hundert Volt, die von den außen angebrachten Kondensatoren und internen Schutzschaltungen vernichtet werden müssen. Je länger die Kabel, desto mehr schädliche Energie müssen die Schutzschaltungen im Regler (die u. U. nicht dauerbelastbar sind) übernehmen. Verlängerungen zwischen Regler und Motor sind unbedenklich.

Heutige Qualitätsregler sind mit guten BECs bis 8s und 5A (z.B. Phoenix Ice Serie) ausgestattet. Zudem ist die 2.4GHz-Sendertechnologie weniger störanfällig. Somit kann das interne Regler-BEC genutzt werden, falls es den oben berechneten BEC-Dauerstrom zu liefern vermag.

Das Auto-Timing der Regler arbeitet zuverlässig, ist aber nicht immer verfügbar. Welches Timing ist nun das Beste? Eine gute Ausgangslage bildet hier die Faustregel

#### **Timing [°] ~ 2x Polzahl des Motors**

Beim oben evaluierten Scorpion S4025 handelt es sich um einen 14 Poler. Somit bildet ein Timing von 28° ein guter Anfangswert um sich an ein Optimum heranzutasten. Ein kleineres Timing verbessert die Laufzeit bei geringerem Strom, bei höheren Timings nimmt die Leistung zu bei höherem Strom. Lläuft der Motor nicht mehr sauber und ruckelfrei an, ist oft das Timing schlecht gewählt. So habe ich aktuell 24° eingestellt.

**Ein teurer Regler ist oft die preiswertere Lösung.** Bedenkt man insbesondere die thermische Zerstörung von zu schwach dimensionierten Reglern oder gar einen daraus resultierenden Modellverlust.

Mit dieser, in zwei Teilen aufgezeigten Methodik habe ich bereits über ein Duzend Modelle in den Bereichen Impeller, Kunstflug und Pylon erfolgreich ausgelegt. Die sorgfältig errechneten Abfluggewichte lagen meist innerhalb von 5% und das Leistungsvermögen der Antriebe erfüllte stets meine Erwartungen. Probleme mit zu schwach dimensionierten Reglern, Servos und Empfängerversorgungen habe ich – glücklicherweise – nie erfahren. Versuchen Sie es bei Ihrem nächsten Elektromodell selbst. Sie werden feststellen, dass es leichter ist, als viele vermuten.

*electric power – what else?!*

**[www.s4a.ch/eflight](http://www.s4a.ch/eflight)**

*Dieser Artikel ist im FMT 05/2010 erschienen.*