FMT: "Was muss bei der Reglerwahl beachtet werden? Wie gehe ich dabei mit den benannten Nennströmen von Motor und Regler um?"

Rainer Hacker: "Wir befassen uns eigentlich nur noch mit Brushless-Reglern. Regler für Bürstenmotoren spielen im Modellbau keine große Rolle mehr. Brushless-Regler gibt es mit und ohne Sensoren, wobei Regler mit Sensoren im Flugmodellbau eigentlich nicht zum Einsatz kommen. Bei den Reglern gibt es viele Fabrikate und Marken in den unterschiedlichsten Größen. Die Regler verfügen mittlerweile über viele Software-Programmeinstellungen. Sowohl die Taktfrequenz als auch das Timing spielen hier eine wichtige Rolle. Das Timing ist im Grunde die "Vorzündung", wie bei einem Verbrennungsmotor und beeinflusst in gewissen Grenzen das Drehmoment und die Drehzahl – darauf wollen wir in einer kommenden Ausgabe noch näher eingehen. Die Taktfrequenz ist die Frequenz, mit der der Regler die Endstufen im Teillastbereich ein- und ausschaltet. Sie hat enormen Einfluss auf die Performance des Antriebs im Teillastbereich. Beides ist letztendlich für die Laufkultur und die Performance eines Motors entscheidend. Hier kann aber keine generelle Empfehlung gegeben werden. Es sollte sich an die Herstellerangaben gehalten werden.

Programmiert werden solche Regler meist über eine oder mehrere verschiedene Eingabemöglichkeiten – entweder über die Sticks der Fernsteuerung, mit einer Programmierkarte, mit einer Programmier-Box (Beispielsweise die JetiBox), oder über eine USB-Schnittstelle zum PC.

Renomierte Motorenhersteller geben in der Bedienungsanleitung des Motors an, welcher Regler der optimale für den jeweiligen Motor ist. Die Motorenhersteller arbeiten, wenn sie keine eigenen Regler im Portfolio haben, mit den Reglerherstellern eng zusammen. Die Empfehlungen der Motorenhersteller sind meistens perfekt auf die jeweiligen Motoren abgestimmt und wurden ausgiebig getestet. Dennoch gibt es ein paar Details zu beachten.

Nennstrom: Die benannten Nennströme von Motor und Regler hängen wie folgt zusammen: Die Nennströme bei den Reglern haben nicht immer etwas mit der wirklichen Belastbarkeit zu tun. Grundsätzlich sollte ein 40-A-Regler dauerhaft mit 40 A belastet werden können. Im Modellbau ist mit Dauerstrom eine Laufzeit von ca. von drei bis vier Minuten gemeint, bei Industrieanwendungen von mehreren tausend Stunden. Einbaulage und Kühlung sind für eine sichere Funktion maßgebende Kriterien.

Motortyp und Einsatzzweck: Auch die Motor-Bauweise und der -Typ spielen bei der Auswahl des Reglers eine wichtige Rolle. Grundsätzlich kann man sagen, dass ein Motor mit wenigen Polpaaren den Regler weniger beansprucht als ein Motor mit vielen Polpaaren. Mit dieser groben Aussage soll hier die Drehzahl des Motors bzw. die Drehfrequenz des elektrischen Feldes angesprochen werden. Da bei hochpoligen Motoren die Drehzahl des magnetischen Feldes ein Vielfaches der Drehzahl des Rotors beträgt, muss natürlich auch der Regler entsprechend öfter die jeweiligen Phasen ein- und ausschalten. Jeder Schaltvorgang erzeugt aber Verluste im Regler. Diese Verluste werden den Regler mehr oder weniger erwärmen.

Manche Motoren stellen geringe Anforderungen an den Regler. Dies sind z.B. unsere zweipoliger Innenläufer (z.B. B50- und C50-Serie). Dann gibt's anspruchsvollere Motoren, die den Regler stärker belasten, wie die hochpoligen (flussgeführten) Außenläufermotoren (z.B. Q80).

Auch der Einsatzzweck des Antriebs spielt bei der Wahl des Reglers eine Rolle. Bei einem schnellen Hotliner werden völlig andere Ansprüche an den Antrieb (Regler) gestellt, als z.B. an einen Kunstflugmaschine oder Hubschrauber. Bei einem Hotliner wird der Antrieb beispielsweise immer nur für sehr kurze Zeit, 5-6 s, angeschaltet, dies dafür aber mit maximaler Leistung. Also nur "Motor-An" und "Motor-Aus". Bei Hubschraubern, Kunstflug- oder 3D-Modellen hingegen wird meist der Antrieb über die gesamte Flugdauer (4-9 Minuten) im Teillastbereich betrieben. Was man erst nicht vermuten mag, aber hier ist die Belastung für den Regler wesentlich größer. Bei Halbgas wollen wir nur die halbe Leistung des Antriebs. Das könnte ganz einfach so gelöst werden, dass die Endstufen des Reglers nur halb durchgesteuert werden. Das würde aber auch bedeuten, dass dieselbe Leistung, die der Motor aufnimmt, auch an der Endstufe "verbraten" also in Wärme umgewandelt wird. Das ist nicht nur äußerst ineffizient, sondern es müssten zudem auch noch wesentlich größere Endstufen verbaut werden, die wiederum eine viel stärkere Kühlung benötigen. Damit wäre der Regler dann wesentlich schwerer und größer. Um dies zu vermeiden, bedient man sich hier eines Tricks: Das Magnetfeld in den Spulen eines Motors benötigt jeweils immer eine gewisse Zeit bis es sich bei der "Bestromung" aufgebaut und bei der Wegnahme des Stroms wieder abgebaut hat. Wenn man nun sehr schnell den Strom ein- und ausschaltet wird sich das Magnetfeld in der Spule bis zur nächsten "Bestromung" nicht merklich ändern und die Wicklung wird zeitlich gesehen (bei Halbgas) nur mit dem halben Strom betrieben. Die Endstufentransistoren aber werden immer komplett ein- und ausgeschalten, was die Verluste dort gering hält. Je nach Knüppelstellung wird also nur das An-Aus-Verhältnis geändert. Diese Frequenz mit der dies geschieht, nennen wir Schalt- oder Taktfrequenz des Reglers. Wichtig ist hier, unbedingt den Angaben des Motorenherstellers bei der Wahl der Taktfrequenz zu folgen.

Fazit: Bei einem niederpoligen Motor, der hauptsächlich und nur für kurze Zeit im Vollgasbereich betrieben wird (zweipoliger Innenläufer im Hotliner) ist die Reglerwahl oft einfacher, da die Anforderungen an den Regler unkritisch sind. Wenn 70 A zu erwarten sind, dann kann ich auch ohne weiteres einen 70-A-Regler verwenden. Bei einem hochpoligen Motor, der hauptsächlich im Teillastbereich geflogen wird (Kunstflug, 3D-Fläche und 3D-Helis), muss der Regler während des Betriebs sehr viel mehr leisten und die Verluste im Regler sind höher. Hier empfiehlt sich ein Regler, der 20-25% mehr Nennstrom ausweist als der Motor bei Vollgas zieht. Bei einem Motor mit angenommenen 80 A bei Vollgas sollte man also einen Regler mit ca. 100 A verwenden.



FMT: "Was bewirkt eine Timing-Veränderung? Was ist zu beachten, wenn das Timing des Motors nicht bekannt ist?"

Rainer Hacker: "Ein Brushless-Motor besteht aus einem Rotor und einem Stator. Der Rotor ist ein Magnetsystem, dass auf einer Welle installiert ist. Der Stator besteht aus dem Rückschlussring und Kupferdrahtwicklungen, die im einfachsten Fall aus drei Wicklungen bestehen. Diese Wicklungen sind elektrisch gesehen eine Spule, die unter Strom eine gewisse Induktivität besitzt. Der Brushlessmotor funktioniert dadurch, dass seine Wicklungen in bestimmter Reihenfolge vom Regler unter Strom gesetzt werden, dadurch baut sich ein rotierendes Magnetfeld auf, das den Rotor in Drehung versetzt. Die Phasen eines BL-Motors werden aber nicht etwa exakt dann eingeschaltet, wenn sich ein Magnet über der entsprechenden Wicklung des Motors befindet. Durch die Induktivität der Spulen muss der Regler die jeweilige Wicklung etwas früher einschalten, also unter Strom setzen, da das

Magnetfeld immer eine gewisse Zeit braucht, um sich komplett aufzubauen. Eine Spule erlaubt keinen schnellen Stromanstieg, d.h. dass der Strom, je nach Induktivität der Spule, schneller oder langsamer ansteigt. Das Timing kann man mit der Vorzündung eines Verbrennungsmotors vergleichen. Dort wird auch schon vor dem oberen Totpunkt gezündet, da das Benzin-Luft-Gemisch eine gewisse Zeit benötigt, um sich zu entzünden und dann im richtigen Zeitpunkt die optimale Kraft auf den Kolben auszuüben.

Um dies auch beim Elektromotor zu erreichen, muss somit auch hier die Spannung früher an der jeweiligen Wicklung angelegt werden. Da dieser Punkt ja drehzahlabhängig ist, wird dies in Grad angegeben. Diese Winkelangabe wird allgemein als Timing bezeichnet.

Erhöht man das Timing, sprich die Wicklungen werden früher eingeschalten, so erhöht sich (in gewissen Grenzen) die Drehzahl und der aufgenommene Strom des Motors. Die Eingangsleistung wird dadurch zwar erhöht, leider geht aber ein zu hohes Timing auf Kosten des Drehmomentes und Wirkungsgrades.

Das optimale Timing hängt maßgeblich von der Bauart des Motors ab. Die Anzahl der Pole, die Wicklungen (Induktivität) und die Drehzahl sind hier entscheidend. Grundsätzlich sollte das Timing so gering wie möglich gehalten werden, damit ein bestmöglicher Wirkungsgrad gesichert ist. Bitte immer zuerst in die Bedienungsanleitung des Motorenherstellers schauen, dort findet man in den meisten Fällen das optimale Timing.

Sollt man dort nichts finden kann man das Timing in etwa nach folgenden Angaben einstellen: 2-polig: 0-5°, 4-polig: 5-10°, 10-polig: 18-25°, 14- und mehr-polig: 25-30°.

Eventuell findet man bei den Drehzahlreglern ja auch ein so genanntes "Auto-Timing". Dies sollte auf jeden Fall auch mal probiert werden. Die verschiedenen Reglerhersteller setzten diese "Automatik" zwar etwas unterschiedlich um, grundsätzlich wird dies aber für die meisten Anwendungsfälle ein guter Kompromiss aus Wirkungsgrad und Leistung sein."



In dieser Ausgabe der FMT setzen wir die Beitragsreihe, in der die am häufigsten gestellten Fragen rund um den Elektro-Antrieb aufgegriffen und beantwortet werden, fort. Für die Beantwortung der Fragen konnten wir den Elektromotor-Experten Rainer Hacker gewinnen. Rainer Hacker beschäftigt sich seit etwa 16 Jahren mit dem Thema Elektroflug, seit 1999 entwickelt und vertreibt er mit seiner Firma Hacker Motor sehr erfolgreich Elektromotoren und Antriebskomponenten.



FMT: "Kann bei großen und schweren Luftschrauben mit einer Timing-Änderung auch das Anlauf- u. Beschleunigungsverhalten verändert werden?"

Rainer Hacker: "Das Anlaufverhalten wird durch das Timing nicht verändert. Man kann aber durch eine Anpassung des Timings das Laufverhalten des Motors in gewissen Grenzen verändern. So kann man dem Motor in Grenzsituationen etwas mehr Power beim Beschleunigen geben. Aber hier bitte absolute Vorsicht! Der Wirkungsgrad kann drastisch sinken, wodurch der Motor sehr schnell überlastet wird."

FMT: "Welchen Einfluss hat die Propellergröße auf Strom und Leistung? In welchem Bereich darf von den Herstellerangaben abgewichen werden?"

Rainer Hacker: "Die Propeller werden üblicherweise mit Durchmesser und Steigung bezeichnet. Die Angaben sind meist in Zoll, oft auch in cm (oder in beiden Größen) angegeben. Eine APC-E 12×6 ist also vom Hersteller "APC", hier aus der Elektroflug-Reihe, und hat einen Durchmesser von 12 Zoll (ca. 30 cm) und eine Steigung von 6 Zoll (ca.15 cm). Die Angabe des Durchmessers ist wohl klar, die Steigung ist der Weg, den die Luftschraube (theoretisch in einem festen Medium) bei einer Umdrehung zurücklegt. Man kann dies auch mit der Steigung eines Gewindes vergleichen. Hier würde die Luftschraube eine theoretische Strecke von 15 cm bei einer Umdrehung zurücklegen. Dieser Wert wird aber noch durch viele weitere Faktoren beeinflusst.

Leider geben die Hersteller in den seltensten Fällen an, wie die Steigung gemessen wurde - bezogen auf den "Nullauftriebswinkel" des Profils am Blatt, oder an der Blattunterseite? Dies ist aber auch gar nicht so entscheidend, da ja meist schon vom Motorenhersteller eine Antriebsempfehlung ausgesprochen wird. Wird der Motor mit dem empfohlenen LiPo-Pack und Propeller betrieben, kann schon nicht viel falsch laufen. Was aber, wenn man keinen passenden Prop zur Hand hat?

Propeller benötigen ein gewisses Drehmoment, um mit einer bestimmten Drehzahl zu drehen. Das benötigte Drehmoment nimmt mit der Drehzahl quadratisch zu. Die Leistung, die der E-Motor abgeben muss, nimmt zur dritten Potenz der Drehzahl zu. Das bedeutet: bei Verdopplung der Drehzahl muss man die 8-fache Leistung ein-

FMT: "Was kann und was sollte bei der ersten Inbetriebnahme eines Antriebs gemessen werden? Wie müssen die Ergebnisse von Standlaufmessungen bewertet werden und welche Rückschlüsse können daraus gezogen werden?"

Rainer Hacker: "Mindestens messen sollte man Strom, Spannung und Drehzahl. Standlaufmessungen sollten immer nur sehr kurz ausgeführt werden, da die Kühlung des Antriebsstrangs im Standbetrieb oft nicht ausreichend ist.

Je nach verwendetem Antrieb kann die Standmessung ganz verlässliche Werte bringen. Dies ist z.B. bei Antrieben der Fall, bei denen Luftschrauben mit einem Steigungs-/Durchmesser-Verhältnis von unter 0,5 verwendet werden, z.B. 14×7. Steigt das Verhältnis gegen 1, z.B. bei einer 16×16, kann es je nach Drehzahl sein, dass die Strömung am Profil der Luftschraube schon abreißt (man kennt das Geräusch von den Hotlinern). Das heißt, der gemessen Strom und Drehzahl sind wenig aussagekräftig bzgl. den Werten, die dann im Flug auftreten würden.

Grundsätzlich sollte man sich an die Angaben des Motorenherstellers bzgl. Akku und Propeller halten. Eine zusätzliche Messung im Stand dient zur Überprüfung und Bestätigung der gewählten Produkte. Wenn die Messungen hier schon extrem von den Herstellerangaben abweichen, sollten unbedingt die Antriebskomponenten überprüft werden."

setzten. Anschaulicher ist, dass man bei Verdoppelung der Leistung "nur" eine Erhöhung der Drehzahl von ca. 25% erwarten kann.

Durchmesser und Steigung bestimmen das benötigte Drehmoment des Props ganz erheblich und es sollte nur in kleinen Schritten von den Antriebsvorschlägen des Motorenherstellers abgewichen werden. Hilfreich bei der groben Abschätzung wäre der N₁₀₀-Wert der Luftschraube. Dieser Wert gibt die Drehzahl der Luftschraube an, welche erreicht wird, wenn der Motor 100 W an der Welle abgibt.

Propeller mit gleichem N_{100} -Wert kann man also tauschen, ohne eine Überlastung des Antriebs zu befürchten. Leider geben nur wenige Hersteller den N_{100} -Wert ihrer Propeller an – somit ist ein Vergleich oft schwierig.

Eine grobe Abschätzung sei hier aber erlaubt: Hat man nicht den passenden Prop zu Hand, kann man grob davon ausgehen, dass bei einer Erhöhung des Durchmessers um ein Zoll die Steigung um zwei Zoll verringert werden muss. Hier sind aber viele Variablen nicht berücksichtigt und dies sollte wirklich nur als grobe Vorauswahl dienen. Bei Abweichungen von der Empfehlung sollte unbedingt der aufgenommene Strom des Antriebs gemessen und sichergestellt werden, dass die Grenzen des Motors und Reglers nicht überschritten werden.

Ein kleinerer Propeller verursacht in der Regel eine deutlich geringere Leistungsaufnahme und ist daher recht unkritisch."



FMT: "Wann und wie sollte ich eine Motorbremse einsetzen?"

Rainer Hacker: "Motorbremsen werden eingesetzt, um die Drehzahl des Motors zu reduzieren. Hier wird die Endstufe des Drehzahlstellers so angesteuert, dass sie gezielt die Wicklungen des Motors kurzschließt. Ein reiner Kurzschluss wäre aber nicht sinnvoll, die Bremswirkung wäre zu radikal und oft nicht gewünscht. Deshalb werden auch hier die Endstufen getaktet, d.h. in einem bestimmten Muster und Rhythmus ein- und ausgeschalten, was ein sanfteres Abbremsen ermöglicht.

Dies kann zum einen dazu dienen, eine Klappluftschraube anzuklappen, zum anderen, um in Kunstflug-Abwärtsfiguren nicht zu viel Geschwindigkeit aufzubauen.

Bei Seglern mit E-Motor verwenden wir fast ausschließlich Klappluftschrauben. Diese haben den Vorteil, im Segelbetrieb am Rumpf strömungsgünstig anzuliegen und somit die Segeleigenschaften nicht allzu stark zu beeinflussen. Beim Einschalten des Motors werden die Blätter durch die Fliehkraft aufgeklappt, das Modell kann auf Höhe gebracht werden. Schaltet man nun einfach den Motor ab, würde der Propeller durch den Fahrtwind weiter angetrieben werden und nicht anklappen. Hierzu muss die Bremsfunktion des Reglers aktiviert sein. Diese wird den Motor gezielt abbremsen, um die Drehung stark zu reduzieren. Ab einem bestimmten Punkt ist dann der Luftdruck auf die Klappluftschraube so groß, dass sich diese sauber an den Rumpf anlegt.

Anders sieht es beim Kunstflug aus. Hier wird durch ein gezieltes Bremsen versucht, eine konstante Geschwindigkeit des Flugmodells auch in Abwärtspassagen zu erreichen. Die Drehgeschwindigkeit soll hier nur in sehr kleinen Bereichen beeinflusst werden, keinesfalls darf der Propeller zu stark gebremst werden, da sonst seine Bremswirkung bezogen auf die Vorwärtsgeschwindigkeit nicht mehr vorhanden ist. Aus diesem Grund kann bei hochwertigen Drehzahlstellern auch bei der Programmierung zwischen normaler Bremse (für Klappluftschrauben), oder der oft genannten F3A-Bremse für den Kunstflug gewählt werden.

Die Einstellung für einen E-Segler ist da noch relativ einfach und unkritisch, der Propeller muss halt einfach sicher anklappen. Zur Not wählt man die Bremse etwas stärker.

In dieser Ausgabe der FMT setzen wir die Beitragsreihe, in der die am häufigsten gestellten Fragen rund um den Elektro-Antrieb aufgegriffen und beantwortet werden, fort. Für die Beantwortung der Fragen konnten wir den Elektromotor-Experten Rainer Hacker gewinnen. Rainer Hacker beschäftigt sich seit etwa 16 Jahren mit dem Thema Elektroflug, seit 1999 entwickelt und vertreibt er mit seiner Firma Hacker Motor sehr erfolgreich Elektromotoren und Antriebskomponenten.

Beim Kunstflug geht man genau den anderen Weg. Man beginnt mit einer sehr leichten Bremseinstellung und beobachtet wie sich das Modell in Abwärtsfiguren bei aktivierter Bremse verhält. Ist das Modell noch recht schnell, wird eine eingestellte Bremse stärker wirken als wenn das Modell langsamer fliegt. Darum kann z.B. bei den MasterSpin-Reglern auch die Bremse in zwei Stufen (erst sanft, dann mit Zeitverzögerung etwas stärker) eingestellt werden. Dies ermöglicht dem Piloten, sein Modell bei Abwärtspassagen mit einer sanften Bremseinstellung anzubremsen. Die zweite, verzögerte und etwas stärkere Bremse hält dann die Geschwindigkeit des Modells bestmöglich konstant.

Diese Werte und Einstellungen der Bremse sind stark vom Flugstil des Piloten und dem eingesetzten Modell abhängig. Hier sind einige Testflüge zum Einstellen der Bremse sinnvoll und man bekommt sehr schnell ein Gefühl für die richtigen Einstellungen."



FMT: "Was muss ich beachten, wenn ich einen Akku auswähle?"

Rainer Hacker: "Mittlerweile kann man bei der Beantwortung dieser Frage die "alte" Technologie der NiCd- und NiMH-Akkus außen vor lassen. Ich beziehe mich hier ganz gezielt auf LiPo- und LiFe-Akkus. Die Entscheidung, ob man LiPo- oder LiFe-Akkus einsetzten will, bleibt dem Piloten überlassen. Hier kann man grundsätzlich sagen, beide Akku-Technologien sind mittlerweile sehr ausgereift und im Modellbau bewährt.

LiFe-Akkus sollten bevorzugt verwendet werden, wenn es sich um Anwendungen handelt, bei denen man nicht unbedingt auf das letzte Prozent Leistung achten muss, dafür bekommt man sehr robuste Akkus, die schon mal eine Tiefentladung o.ä. mitmachen und verzeihen.

LiPo-Akkus sind die Leistungssportler, hier kann man hohe Leistung bei geringerem Gewicht erwarten. Bei Ladung mit guten Markenladegeräten geht dies auch mit mehreren C Ladestrom sicher und schnell. Beide Akku-Technologien können mittlerweile mit mehr als 1C geladen werden, ohne großartige Lebensdauereinbußen in Kauf nehmen zu müssen.

Die Ladung mit Balancer – ob nun extern oder im Ladegerät integriert – ist mittlerweile Standard und dient hauptsächlich der Sicherheit beim Laden. Das Ladegerät kann in den Ladevorgang eingreifen und notfalls unterbrechen, sollte eine Zelle "aus der Reihe tanzen"!

Grundsätzlich gelten alle hier genannten Hinweise für beide Akku-Technologien. Man muss nur beachten, dass LiFe-Akkus eine geringere Zellenspannung (ca. 3 V/Zelle unter Last) aufweisen.

Typisch gehen wir für unsere Antriebsauslegungen von LiPo-Akkus mit ca. 3,7 V/Zelle aus.

Die Akkus sind mittlerweile so leistungsfähig, dass nicht mehr der maximal mögliche Endladestrom (C-Rate) über die Qualität der Zelle entscheidet. Die Leistungsfähigkeit der Zellen ist heute so enorm, dass man sich, weg von der einfachen Dauerstromentladungen, auf andere Merkmale konzentrieren muss.

Kaum ein Pilot entlädt in der Praxis seinen 5.000er-Pack mit 40C (das sind 200 A Dauer!) in nur 1,5 Minuten, obwohl die heutigen Akkuzellen dazu durchaus in der Lage wären. Auch kann keine Verdrahtung/Verkabelung der Zellenpacks diese hohen Ströme auf Dauer verkraften. Aus Gewichtsgründen werden oft – je nach Akkutyp – 4- oder 6-mm²-Kabel verwendet. Auch die Stecker sind in den meisten Fällen gar nicht für so hohe Dauerströme zugelassen oder konstruiert worden.

Ein Beispiel aus der Praxis: bei unseren Tests wurden 4-mm²-Kabel und 4-mm-Stecker bei 100 A Dauerstrom 140°C heiß – und das nach nur 1,5 Minuten!

Wichtiger ist das optimale Leistungs-/Gewichtsverhältnis für den geplanten Einsatzzweck. Das heißt, je nach Modell, Flugstil oder Belastung wählt man einen leichten, mit weniger C-benannten Pack oder einen schwereren, hochbelastbaren Pack.

"Welchen Akku verwende ich?", stellt sich oftmals die Frage. Hier geht es um die Belastung des Akkus und die zu erwartende Flugzeit. Dazu wieder ein typisches Beispiel:

Für ein Kunstflugmodell mit ca. 1,5 m Spannweite und ca. 2,5 kg Abfluggewicht sieht der Hersteller einen bestimmten Motor vor. Man kann sich nun beim Motorenhersteller über die Messwerte erkundigen, um den Vollgasstrom beim gewünschten Propeller zu erfragen. Nehmen wir mal an, der gewünschte Antrieb würde 65 A mit einem 5S-Akku bei Vollgas ziehen. Wir wünschen uns bei gemischtem Flugstil eine Flugzeit von acht Minuten. Man kann davon ausgehen, dass man hier im Schnitt mit ca. 1/3 des Vollgasstroms rechnen kann. Das sind hier dann also ca. 21 A. Nun ermitteln wir die Kapazität des Akkus: Durchschnittsstrom (21 A) × Flugzeit (8 Minuten) : 60 Minuten = 2.8 Ah.

Da wir den Akku nicht ganz leer fliegen möchten, um eine optimale Lebensdauer zu erhalten, rechnen wir mit einer maximalen Entladung von bis zu 80%. Also wird ein Akku mit ca. 3,4 Ah unsere Anforderung gut erfüllen. Dieser Akku wird auch in den Vollgaspassagen mit den 65 A (~19C) keine Probleme haben. Der gesuchte Akku kann also ein 5S 3.400 mAh mit 20C sein.

Wer gerne noch etwas "Luft" in der Flugzeit hat, kann gerne noch etwas mehr Kapazität wählen. Ein Akku mit 20C ist auch genug, hier muss keineswegs Geld und Gewicht in 40-, 50- oder 60-C-Akkus investiert werden. Besser ein leichter Qualitätspack, das Modell bleibt leicht, fliegt besser, landet mit langsamerer Geschwindigkeit und hat einfach ein besseres Handling."



In dieser Ausgabe der FMT setzen wir die Beitragsreihe, in der die am häufigsten gestellten Fragen rund um den Elektro-Antrieb aufgegriffen und beantwortet werden, fort. Für die Beantwortung der Fragen konnten wir den Elektromotor-Experten Rainer Hacker gewinnen. Rainer Hacker beschäftigt sich seit etwa 16 Jahren mit dem Thema Elektroflug, seit 1999 entwickelt und vertreibt er mit seiner Firma Hacker Motor sehr erfolgreich Elektromotoren und Antriebskomponenten.

FMT: "Welche Vorteile haben LiFePo-Akkus? Was muss ich beim Tausch LiFe gegen LiPo beachten?"

Rainer Hacker: "In letzter Zeit kommen immer mehr Modellbauer auf den Geschmack, LiFe-Akkupacks in Ihren Modellen einzusetzen. Woher kommt das? Was ist der Grund? Warum machen die das?

Schauen wir uns diese LiFe-Akkus einmal genauer an. Zuerst einmal fällt es auf, dass die Abmessungen und Gewichte der LiFe-Packs etwas größer bzw. schwerer ausfallen als bei LiPo-Packs vergleichbarer Kapazität. Außerdem ist die spezifische Zellenspannung geringer als die einer LiPo Zelle. Die großen Vorteile der LiFe-Akkus liegen in ihrer Robustheit, der hohen Zyklenfestigkeit und ihrer ungefährlichen Handhabung. LiFe-Akkus verzeihen auch mal eine tiefere Entladung, ein Schaden an den Zellen muss nicht so schnell befürchtet werden. Die hohe Lebensdauer spricht zusätzlich für den Einsatz von LiFe-Zellen, viele Hersteller geben eine Zyklenzahl von 600-800 Lade-/Entladevorgängen an. In der Praxis hat sich bei diversen Modellbauanwendungen sehr aktiver Modellbauer diese hohen Zyklenzahlen auch bestätigt. Vorsichtige Modellbauer werden sich auch über die deutlich höhere Sicherheit der LiFe-Packs freuen. Eine Flammenbildung tritt selbst bei extrem beschädigten, tiefentladenen oder überladenen LiFe-Zellen nicht auf. Das ist natürlich ein deutliches Sicherheitsplus."

Wie wähle ich den passenden LiFe-Akku aus?

"Eine LiFe-Zelle hat, unter einer für Ihre Kapazität typische Belastung, ca. 2,8 V Spannung. Möchte ich einen dreizelligen (3S) LiPo-Akkupack ersetzen, greife ich also zu einem 4S LiFe-Akkupack. Damit erhalte ich ungefähr die gleiche Spannung unter Last und brauche mein Setup nicht zu ändern. Einen modernen 6S-Lipo ersetze ich entsprechend mit einem 8S-LiFe.

Im Zweifelsfalle sollte man immer eine Strommessung durchführen, um eine Überlastung des vorhandenen Antriebes zu vermeiden. Unterschiede in der Spannung unter Last und damit der Stromaufnahme und Leistung des Antriebes lassen sich oftmals auch über die Propellergröße anpassen.

Der eingesetzte Regler im Modell hat oft kein spezielles LiFe-Programm, um die Akkuspannung zu überwachen. Man hilft sich dann mit einem einfachen Trick: wir möchten den Antrieb mit einem 4S-LiFe-Akku bei 2 V pro Zelle, das sind 8 V Akkuspannung, abregeln. Zwei Volt pro Zelle werden aber im Regler nicht angeboten. Also setzt man die Programmierung einfach auf 3S-LiPo und 2,7 V pro Zelle (8V : 3 = ca.2,7 V). Der Drehzahlsteller misst ja hier nur die Gesamtspannung des Akkupacks. Im Zweifelsfalle hilft eine Anfrage beim Hersteller des Antriebes, um eine optimale Anpassung zu erreichen.

Die Ladung der LiFe-Akkus: Nichts einfacher als das! Moderne Ladegeräte verfügen über ein spezielles LiFe-Ladeprogramm und einen integrierten Balancer. Damit lässt sich der LiFe, bei korrekter Einstellung des Ladestromes und der Zellenzahl, problemlos und schnell auch mit bis zu 3-4C laden."

Muss ich diesen Akkutyp balancieren?

"Das möchte ich mit einer Gegenfrage beantworten: Warum nicht? Wenn der Balancer sowieso schon "an Bord" des Ladegerätes ist, kann ich ihn auch nutzen! Der Anschluss des Balancerkabels bringt zusätzliche Sicherheit und bei fast allen modernen Ladern eine zusätzliche Überprüfung der eingestellten Ladeparameter."



In dieser Ausgabe der FMT setzen wir die Beitragsreihe, in der die am häufigsten gestellten Fragen rund um den Elektro-Antrieb aufgegriffen und beantwortet werden, fort. Für die Beantwortung der Fragen konnten wir den Elektromotor-Experten Rainer Hacker gewinnen. Rainer Hacker beschäftigt sich seit etwa 16 Jahren mit dem Thema Elektroflug, seit 1999 entwickelt und vertreibt er mit seiner Firma Hacker Motor sehr erfolgreich Elektromotoren und Antriebskomponenten.

FMT: "Dürfen Zuleitungen zum Motor und zum Akku beliebig verlängert werden? Was muss ich beachten, wenn dies erforderlich wird?"

Rainer Hacker: "Grundsätzlich sollten alle Kabelverbindungen im Antriebsstrang so kurz wie möglich gehalten werden. Unnötig lange Kabel bedeuten unnötige Verluste, ein höheres Gewicht und eine evtl. Beeinflussung der Elektronik. Aber bei manchen Anwendungen, wie z.B. bei Impeller-/Jetmodellen oder Segler mit Klapp- bzw. Aufstecktriebwerk, lassen sich längere Kabel kaum vermeiden. Wir gehen hier nur auf bürstenlose Antriebe ein, die Bürstenmotoren spielen bei diesen Anwendungen kaum noch eine Rolle."





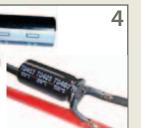


Schritt 1:

Mit einem scharfen Messer wird die Isolierung der Kabel abgeschält. Vorsicht: die Kabeladern nicht verletzen!

Schritt 2:

Die Stellen mit den blanken Kupferadern werden verzinnt.



Schritt 3:

Die Anschlussdrähte des Kondensators werden auf die passende Länge gekürzt, isoliert, gebogen und verzinnt.



Löten Sie den vorbereiteten Kondensator polrichtig auf die verzinnten Stellen des Kabels.



Isolieren Sie die Lötstellen mit passendem Schrumpfschlauch.



Um eine mechanische Stabilität zu erreichen, werden nun der Kondensator und die Kabel zusammen eingeschrumpft.





Welchen Teil der Antriebsverkabelung darf ich verlängern?

Dazu gibt es zwei Möglichkeiten: Erstens kann ich die drei Kabel zwischen dem Steller/Regler und dem Motor verlängern. Je nach Leistungsbedarf des Antriebes ist hierbei auf ausreichenden Querschnitt der Kabel zu achten, um Verluste durch den Kupferwiderstand so gering wie möglich zu halten. Diese drei Kabel werden dann entweder verdrillt oder zu einem "Zopf" verflochten. Man erreicht damit eine enge Positionierung der drei Kabel zueinander, die elektrischen und magnetischen Felder um diese Leitungen heben sich größtenteils auf. Die RC-Anlage, Regler und weitere elektronische Bauteile werden dann weitestgehend vor Beeinflussungen geschützt.

Zweitens ist eine längere Zuleitung zwischen Akku und Regler machbar. Auch hier ist auf ausreichenden Querschnitt der Verlängerung zu achten. Diese Vorgehensweise bringt aber ein Problem mit sich, welches wir hier mal stark vereinfacht wiedergeben. Durch das Pulsen des Motorstroms bauen sich auf langen Akkuzuleitungen bei ungünstigen Konstellationen Spannungsspitzen auf. Diese kurzzeitigen Spitzen können eine so hohe Spannung erreichen, dass der Regler Schaden nehmen kann oder sogar völlig zerstört wird. Diesen Effekt verhindern wir durch den Einsatz sogenannter Stützkondensatoren, die in diese Akkuzuleitungen gelötet werden. In der Praxis hat sich folgende Anordnung bewährt:

Man verwendet im Normalfall einen Kondensator mit den gleichen Werten wie sie auch im Steller bereits verbaut sind. Alle 12 bis 15 cm sollte das Kabel mit einem solchen Kondensator bestückt werden."



FMT: "Ich möchte einen Druckantrieb mit einem Brushless-Motor ausrüsten. Darf der Motor in beide Richtungen drehen?"

Rainer Hacker: "Die Frage, ob ein Brushless-Motor auch in beide Richtungen drehen darf, wird häufig gestellt. Zum Beispiel bei einem Druckantrieb in einem Nurflügel-Modell würde es die Auswahl der verfügbaren Propeller deutlich vergrößern, wenn wir den Motor anders herum laufen lassen könnten.

Der Bürstenmotor hat da ein bauartbedingtes Problem. Durch seinen Aufbau mit Kollektor und Bürstenapparat wird eine bestimmte Drehrichtung meist vorgegeben. Er dreht beim Wechsel der Polarität zwar auch in die andere Richtung, aber er wird nie seine optimale Leistung und den besten Wirkungs-

Dem Brushless-Motor ist es grundsätzlich egal in welche Richtung er dreht, da er "nur" aus einer feststehenden Wicklung und einem drehenden Magnetkörper mit symmetrischem Aufbau besteht. Es gibt keine Vorzugsdrehrichtung. Das Timing und die Drehrichtung wird vom Brushless-Regler vorgegeben. Eine Änderung der Drehrichtung kann in vielen Reglern problemlos programmiert werden oder man tauscht ganz einfach zwei der drei Motoranschlusskabel. Daher sind bei vielen Motorherstellern auch die drei Motorkabel nicht farblich gekennzeichnet, es ist einfach nicht notwendig. In der Praxis verbindet man den Motor mit dem Regler und macht einen kurzen Probelauf im eingebauten Zustand ohne Propeller, um die Laufrichtung zu prüfen. Sollte die Laufrichtung nicht passen, wird einfach – wie oben beschrieben – über die Reglerprogrammierung oder das Vertauschen von zwei der drei Motoranschlusskabel die Drehrichtung umgekehrt.

Wichtig! Bei einem Druckantrieb sollte man besonders auf eine ausreichende Kühlluftzufuhr zum Motor achten. Da bei einer Frontmontage des Motors in den Motorhauben oftmals große Kühlluft-Öffnungen vorhanden sind, macht man sich kaum Gedanken darum. Bei einem Druckmotor wäre zum Beispiel eine kleine Lufthutze vor dem Motor als Lufteinlass sehr sinnvoll. Die warme Abluft kann dann direkt am Rumpf-/ Motorhalterungsende wieder entweichen. Wichtig dabei: Die Abluftöffnung sollte immer deutlich größer als die Lufteinlassöffnung sein, damit ein Stau der Kühlluft vermieden wird."



In dieser Ausgabe der FMT setzen wir die Beitragsreihe, in der die am häufigsten gestellten Fragen rund um den Elektro-Antrieb aufgegriffen und beantwortet werden, fort. Für die Beantwortung der Fragen konnten wir den Elektromotor-Experten Rainer Hacker gewinnen. Rainer Hacker beschäftigt sich seit etwa 16 Jahren mit dem Thema Elektroflug, seit 1999 entwickelt und vertreibt er mit seiner Firma Hacker Motor sehr erfolgreich Elektromotoren und Antriebskomponenten.



Fragen aus der Praxis mit Elektro-Antrieben

FMT: "Ich benutze moderne und leistungsstarke Lipo-Akkus wie muss sie ihn behandeln, damit siew möglichst lange leben?"

Rainer Hacker: "Zunächst einmal beginnt die Pflege bei einem ganz neuen, ungebrauchten Akku. Vor dem ersten Gebrauch empfiehlt es sich, die Einzelzellenspannungen mit einem einfachen Volt-Checker oder einem Multimeter zu messen. Die Zellenspannungen werden in der Regel so bei 3,8-3,85 V pro Zelle liegen. Ergeben sich sehr große Unterschiede in der Spannung der einzelnen Zellen sollte der Hersteller bzw. der Verkäufer

Ist alles im Lot (Zellenspannung annähernd gleich), können wir mit der ersten Ladung beginnen. Auch wenn der Aufdruck eine Laderate von 2 bis 5C erlaubt, sollte die erste Ladung trotzdem mit maximal einem "C" erfolgen. Ein "C" bedeutet dabei, die Kapazität des Akkus entspricht dem Ladestrom in Ampere. Ein Beispiel: der Akku hat eine Kapazität von 2,5 Ah – also beträgt der Ladestrom bei 1C 2,5 A. Alle modernen Ladegeräte verfügen mittlerweile über einen integrierten bzw. über einen mit einer Datenverbindung gekoppelten Balancer. Während dieser ersten Ladung sollte darauf geachtet werden, dass alle etwaigen Spannungsunterschiede der Zellen sauber ausbalanciert werden.

Die Praxis hat gezeigt, dass ein neuer Akku eine Art "Einlaufphase" benötigt. Die Chemie im Akku wird gewissermaßen formatiert. Dies bedeutet für uns: Der erste Start mit unserem neuen Pack sollte mit mittlerer Belastung erfolgen. Dauervolllast bei hohen Strömen und heftige, leistungsfressende Manöver sind beim ersten Einsatz des Akkus zu vermeiden.

Wird zum Beispiel ein neuer Akku mit einem Heli oder Acro-Modell geflogen, so empfiehlt es sich, den Erstflug eher im flotten Rundflug zu gestalten und auf harte 3D-Figuren zu verzichten. Auch sollte der Pilot beim ersten Flug nicht unbedingt die Flugzeit komplett ausreizen und den Akku lieber etwas weniger entladen. Beim zweiten/dritten Flug wird dann die Belastung langsam erhöht und auch der Ladestrom kann dann bis zur zulässigen Höhe ansteigen.

Wie weit darf ich den Akku im Flug entladen?

Das ist nicht so einfach zu beantworten. Die neuen, modernen Akkutypen sollten nach dem Flug bei einer Leerlaufmessung (also ohne Last) eine Zellenspannung von mindestens 3,7 V pro Zelle aufweisen. Andernfalls habe ich den Akku schon zu tief entladen. Viele der eingesetzten Regler haben eine sogenannte LiPo-Überwachungsfunktion. Damit wird die gesamte Spannung des Packs gemessen und der Motor des Modells bei Erreichen der Minimalspannung abgeregelt oder abgeschaltet (je nach Programmierung).

Diese Messung während des Fluges hat zwei Nachteile: Erstens sind die Regler oft auf eine recht geringe Zellenspannung



Beispiel eines V-Checker & Balancer

eingestellt, um dem Nutzer von älteren Akkutypen mit geringer Zellenspannung unter Last auch die Möglichkeit zur Nutzung der vollen Kapazität zu geben. Hat man einen modernen, hochbelastbaren Pack, greift der Regler zu spät ein und die Spannung bricht schlagartig weg. Der Akku ist wieder zu tief entladen.

Zweitens: Fliegt man z.B. ein Oldtimer- oder Sportmodell mit nur geringer Leistung, wird die Abregelspannung des Reglers nur sehr, sehr spät erreicht. Auch hier ist eine Tiefentladung zu befürchten.

Die Nutzer neuerer RC-Anlage mit Telemetriemöglichkeit sind hier ganz klar im Vorteil. Diese Piloten setzen einen Sensor ein, welcher den Strom und die Spannung und damit die Kapazität misst. Eine einstellbare Alarmfunktion meldet dann einen leer werdenden Akku rechtzeitig. Eine feine Sache!

- Antworten vom Fachmann



Beispiele für Stromsensoren: Jeti Duplex Mui 75, Graupner HoTT General Engine-Module und Multiplex 100-A-Sensor

Bei welchen Temperaturen setze ich den Akku am besten ein, wann erhalte ich die beste Leistungsausbeute?

Die höchste Leistung und die besten Hochstromeigenschaften erhalte ich mit einem Akku, dessen Temperatur bei ~30-35°C liegt. Ist ein Akku unter 15°C kalt, entnehme ich besser keine hohen Ströme, die Spannung der Zellen wird zusammenbrechen. Also:

- im Winter oder bei sehr niedrigen Außentemperaturen den Akku z.B. in einer Wärmebox vorheizen und dann erst nutzen. Als Wärmebox eignet sich sehr gut eine 12-V-Klimabox (Kühlbox, umschaltbar auf Heizen).
- bei normalen Temperaturen um 20-30°C den Akku normal nutzen ohne Vorheizung.
- für extreme Belastung den Akku auf 30-35°C vorwärmen und gleich nach der Entnahme nutzen.

Wie werden LiPos gelagert?

Nach dem Flugtag laden wir unsere Akkus auf eine Lagerspannung von ~3,85 V pro Zelle auf. Viele Ladegeräte bieten dazu ein sogenanntes Storage-Programm. Die Lagerung selbst sollte in einer feuerfesten Umgebung bei ca. 15-18°C vorgenommen werden. Nicht vergessen – vor dem nächsten Flug wieder vollständig aufladen! Damit sind wir auch bei längeren Flugpausen bestens für den nächsten Einsatz gerüstet."



In dieser Ausgabe der FMT setzen wir die Beitragsreihe, in der die am häufigsten gestellten Fragen rund um den Elektro-Antrieb aufgegriffen und beantwortet werden, fort. Für die Beantworten der State der St



Fragen aus der Praxis mit Elektro-Antrieben -

FMT: "Wie heiß darf ein Motor im Betrieb werden und wo wird gemessen?"

Rainer Hacker: "Ein Elektromotor wird im Betrieb deshalb heiß, weil elektrische Energie in mechanische Drehbewegung gewandelt wird und dies mit Verlusten behaftet ist. Bei unseren Anwendungen im Flugmodellsport werden Motoren mit elektrischer Energie in Drehbewegung versetzt, damit der Propeller Vortrieb für das Modell erzeugen kann. Jeder Motor hat einen bestimmten Wirkungsgrad. Würde der Motor einen Wirkungsgrad von 100% haben, so hätte man keinerlei Verluste. Verluste bei einem Elektromotor sind Eisen- und Kupferverluste, mechanische Verluste an Kugellagern und der Luftwiderstand an den rotierenden Magneten. Manche Verluste sind auch von der Drehzahl eines Motors abhängig. Je höher die Drehzahl desto höher der Widerstand. Die Luftwirbel um die Magnete müssen mit mehr Energie überwunden werden. Ebenso Ummagnetisierungsverluste, oder Verluste

Der Energieerhaltungssatz, den wohl jeder noch aus dem Physikunterricht kennt, besagt, dass Energie in einem geschlossenen System weder erzeugt, noch vernichtet werden kann. Die Energie wird lediglich in ihrer Form gewandelt. Verluste bei einem Elektromotor sind im Prinzip nichts anderes als Energie, die an Stelle von Drehbewegung, durch die oben genannten Faktoren in Wärme gewandelt wird. Dies bedeutet letztendlich, dass ein Motor dann am besten funktioniert, wenn er im Rahmen seiner Einsatzbestimmung nach Möglichkeit nicht heiß wird. Bei einem heißen Motor wird viel wertvolle Energie in Hitze anstatt in Vortrieb gewandelt. Dies gilt es unbedingt zu vermeiden.

Ein Motor mit einem guten Wirkungsgrad wandelt Energie in Drehbewegung, ein Motor mit einem schlechten Wirkungsgrad dagegen in Wärme. Beispiel: Ein Motor mit einem Wirkungsgrad von 90% wandelt somit 90% der zu Verfügung stehenden Energie in Drehbewegung, 10% sind Verluste, größtenteils Wärmeverluste. Leider gibt es keinen Motor der einen Wirkungsgrad von 100% aufweist - Verluste entstehen zwangsläufig.

Selbstverständlich muss der komplette Antrieb auf Modell und Einsatzgebiet abgestimmt sein. Luftschraube, Akku, Drehzahl etc. Dadurch wird erreicht, dass die Verluste klein bleiben und die entstehende Wärme bestmöglich vom Motor abgeführt wird, da mit steigender Motortemperatur auch der Wirkungsgrad nachlässt. Mit steigender Temperatur leitet Kupfer schlechter und Magnete lassen in ihrer Leistung nach, der Motor hat hierdurch weniger Drehmoment. Steigt die Temperatur in unzulässige Höhen, werden die im Motor verbauten Materialien leiden und der Motor wird dauerhaft geschädigt. Der Motor sollte also möglichst kühl laufen. Kühl bedeutet bei einem Motor zwischen 30 und 50°C über Umgebungstemperatur!

Dies ist auch der Grund, weshalb eine gute Luftzufuhr für ein im Modell verbauten Motor so wichtig ist. Der Motor darf im Betrieb seine maximale Betriebstemperatur nicht überschreiten. Wenn die Kühlung eines Motors bei Temperaturen in unserem Gefilden passt, dann sollte der Motor ca. 65°C während des Betriebs haben. Eine einfache Methode, die Temperatur des Motors ohne Thermometer zu testen ist, den Finger auf das Motorgehäuse zu drücken. Wenn man den Finger zwei bis drei Sekunden auf dem Gehäuse lassen kann, ist die Temperatur noch ok. Heißer als 65°C sollte ein Motor nicht werden. Genauer kann man die Motortemperatur überwachen, wenn man z.B. die Temperatursensoren einsetzt. Dafür bieten sich z. B. die Telemetriesensoren des M-Link-Systems von Multiplex oder des JETI-Duplex-Systems an. Der Sensor sollte dann so platziert werden, dass er möglichst nahe an der Kupferwicklung (Stator) befestigt wird. Dann kann man sich die Wicklungstemperatur in Echtzeit auf den Sender übertragen lassen und verfolgen. Auch Grenzwerte können programmiert werden und den Piloten somit warnen.

Die absoluten Grenzwerte, die bei einem Motor auftreten dürfen sind heute wesentlich höher als früher. So können sich die Magnete heute auf bis zu 180°C erhitzen, ohne Schaden zu nehmen, also um ein vielfaches höher als die Temperatur, die der Motor verträgt. Auch die Klebstoffe zum fixieren der Lager und Magnete halten Temperaturen von bis zu 150°C aus."





In schlanken Segler- oder Hotlinerrümpfen reichen seitlich Lufthutzen oft nicht aus, da der Kühlluftstrom damit nicht durch den Motor geleitet wird. So genannte Turbo-Spinner - hier gezeigt von Staufenbiel - leiten über ein Lüftungsloch in der Spitze bei Verwendung eines aufgebohrten Motorspants die Kühlluft direkt durch den Motor und sorgen damit für eine optimale Kühlung.

Antworten vom Fachmann



Der Temperaturfühler des Sensors sollte an oder nahe der Wicklung platziert werden. Zum Verkleben eignet sich UHU Endfest 300.



Bei vielen Motoren wird bereits konstruktiv für eine effiziente und aktive Kühlung gesorgt, als Beispiel wird hier der Plettenberg Orbit 25XL gezeigt, der zusätzlich zu dem aktiven Lüftungsrad über das neuartige integrierte Kühlungssystem ICS verfügt, dass lange Laufzeiten bei hoher Belastbarkeit ermöglicht.



Plettenberg Copter 30 für Helis der 90er Klasse ist mit einem innen liegendem Lüfterrad für eine effiziente Kühlung ausgestattet, was Wirkungsgrade über 90% ermöglicht.



Auch beim Hacker A50-12S-ET im Electric-Turbine-Design wird bereits konstruktiv für eine effiziente Kühlung gesorgt.

FMT: "Was passiert, wenn ein Motor überhitzt?"

Rainer Hacker: "Durch die Hitze wird der Leitwert des Kupfers schlechter, der Innenwiderstand steigt, auch die Magnetkraft lässt nach und die spezifische Drehzahl wird höher. Dies hat zur Folge, dass der Motor weniger Drehmoment hat und noch mehr Strom aufnimmt. Dieser Strom kann aber nicht in Drehbewegung umgesetzt werden und der Motor überhitzt weiter. Da jetzt die Verluste innerhalb kürzester Zeit exponentiell zunehmen, überhitzt auch der Motor zunehmend und kann hierdurch dauerhaft geschädigt werden.

Somit ist absolut wichtig, dass für ausreichend Kühlung am Motor gesorgt wird. Luftein- und Auslasslöcher am Rumpf sind enorm wichtig und sollten so gelegt werden, dass sowohl der Motor, als

auch Regler und Akku bestmöglich innerhalb des Flugzeugrumpfes im Kühlluftstrom untergebracht sind. Die Luftauslasslöcher sollten immer etwas größer als die Lufteinlasslöcher dimensioniert sein, um einen Wärmestau zu vermieden. Selbstverständlich muss auch auf die Herstellerangaben für die Motoren und Regler geachtet werden, damit der Motor in seinem richtigen Anwendungsbereich betrieben wird."

Bei den ersten Flügen mit einem neuen Antrieb sollte erst mal verhalten geflogen werden. Die Motortemperatur kann überwacht werden und der Antrieb wird nicht überlastet. So ist man auf der sicheren Seite.



Jeti bietet zwei Telemetrie-Temperatursensoren an: den Jet MT 125 (bis 125°C, 10 g) und den MT 300 (bis 300°C, 6 g). Die Programmierung und Anzeige erfolgt über die im Bild gezeigte JetiBox oder die JetiBox mini.



Der Messbereich des M-Link Telemetriesensors von Multiplex reicht von -25 bis +200°C. Die Daten werden direkt auf dem Senderdisplay angezeigt. Maximal-/Durchschnitts-/Minimalwerte werden in den Multiplex-Sensoren auch gespeichert und sind nach der Landung mit dem Programmiergerät Multimate auslesbar. Selbst mit nichttelemetriefähigen-Anlagen sind die Sensoren so – mit Einschränkungen - nutzbar. Einen ausführlichen Bericht finden Sie in der FMT 08.2010.

Fragen aus der Praxis mit Elektro-Antrieben -

FMT: "Welche Bedeutung hat die Anzahl der Pole auf die Motorcharakteristik und dessen Einsatz?"

Rainer Hacker: "Grundsätzlich besteht ein Brushless-Motor aus einem Stator, dies ist ein Eisenpaket, das mit isoliertem Kupferdraht umwickelt wird, und einem Rotor. Der Rotor ist eine Welle, auf der Magnete aufgebracht sind. Im einfachsten Fall ist dies ein zweipoliger Motor. Dieser Motor hat zwei Pole und drei Spulen. Da man immer eine Vielzahl von Nord- und Südpolen (Polpaare) benötigt, gibt es nur Motoren mit geradezahligen Polen. Ein zweipoliger Brushless-Motor, wie z.B. die Innenläufer Hacker B40 und B50, verfügen über ein Polpaar, also einen Nordund einen Südpol. Selbstverständlich gibt es auch Motoren mit wesentlich mehr Nord- und Südpolpaaren.

Einfach gesagt kann man die unterschiedlichen Charakteristika eines niederpoligen Motors zu einem hochpoligen Motor folgend beschreiben: Ein Motor mit wenig Polen hat eine hohe spezifische Drehzahl und eher wenig Drehmoment. Ein Motor mit vielen Polen hat dagegen mehr Drehmoment und weniger Drehzahl. Mit steigender Polzahl nehmen die Drehzahl ab und das Drehmoment zu (natürlich bei gleich bleibender Windungszahl).

Dies ist eine sehr simple Erklärung. Tiefer gehend den Unterschied von unterschiedlich hohen Polezahlen zu erklären, ist natürlich umfangreicher und mehr Faktoren spielen eine Rolle, die die Performance eines Brushless-Motors charakterisieren.

Das Drehmoment eines Motors wird aber nicht nur durch Erhöhung der Polzahl vergrößert, der Stator muss ebenfalls angepasst werden und hat Einfluss auf die Motor-Charakteristik. Diverse Kombinationen aus Polzahlen und Nuten sind möglich. Als Nuten werden die Zwischenräume im Statorblech bezeichnet. Dort hinein werden die Kupferwicklungen gelegt. Einige Kombinationen haben sich bewährt, andere wiederum nicht. Performance und Charakteristik eines Motors hängen von mehreren, gleichermaßen wichtigen Faktoren ab. Neben der Anzahl der Polpaare spielen auch die Qualität der Magnete (Magnetkraft) und die Windungszahl eine entscheidende Rolle. Ein Motor mit vielen Polpaaren hat grundsätzlich eine niedrigere spezifische Drehzahl (abgekürzt: kv) dafür aber wesentlich mehr Drehmoment. Ein großer Vorteil von Motoren mit vielen Polpaaren liegt darin, dass wesentlich größere Propeller direkt angetrieben werden können.

Allerdings dreht sich das elektrische Feld mit steigender Polzahl im Motor wesentlich öfters als der Rotor selbst. Bei einem zweipoligen Innenläufer folgt der Magnet 1:1 dem Magnetfeld, das durch die Kommutierung des Reglers in den Spulen erzeugt wird. Dreht der Motor mit 30.000 1/min, dann muss der Regler natürlich auch ein Drehfeld in den Spulen erzeugen, das dann 30.000 1/min entspricht. Wenn wir vierpolige Motoren einsetzen, dann wird der Rotor nur mit der halben Geschwindigkeit des Drehfelds in den Spulen drehen. Dies ist letztendlich eine elektrische 2:1 Untersetzung. Ein 14-poliger Motor hätte somit quasi eine 7:1 elektrische Untersetzung.

Der Regler "sieht" von all dem nichts. Für den Regler sind es immer drei Spulen, die er in bestimmter Reihenfolge bestromen soll. Daraus ergibt sich auch die Tatsache, dass die Anzahl der Nuten immer durch drei teilbar ist. Beim Wickeln des Motors werden die drei Motorphasen jeweils auf mehrere Nuten verteilt. Die konstruktive Aufteilung sorgt nun dafür, dass die Magneten des Rotors dem umlaufenden Feld nicht 1:1 folgen, sondern je nach Anzahl der Pole und Nuten immer nur einen Bruchteil. Durch diese Vervielfachung wird der Rotor aber wesentlich kräftiger dem umlaufenden Feld nachgezogen – das Drehmoment steigt.

Durch die verschiedenen Motorkonstruktionen ist es allerdings sinnvoll das sogenannte Timing richtig einzustellen. Diesen Wert entnimmt man am besten aus der Anleitung des Motorenherstellers.





Ein zweipoliger Magnet (Rotor), hier als Blockmagnet, wird in den Stator eines Innenläufers gesetzt.

Antworten vom Fachmann

Eine Untersetzung kann man natürlich auch mechanisch umsetzen, wie z.B. bei unseren B40 und B50 mittels eines Planetengetriebes. Ob eine mechanische Untersetzung sinnvoll ist, hängt davon ab wie der Motor gebaut ist und wo er zum Einsatz kommt. Bei einem Hotliner benötigt man z.B. nur kurzzeitig den maximalen Schub durch eine große Luftschraube. Hier greift man auf hochdrehende Motoren mit Getriebe zurück. Ein mechanisches Getriebe wird von einem mit 60 - 70.000 1/min drehenden Motor angetrieben. Die Ummagnetisierungs- und Schaltverluste sind beim Zweipoler sehr gering und durch Einsatz eines mechanischen Getriebes können diese Vorteile des hochdrehenden Innenläufers optimal in Drehmoment umgesetzt werden. Da der Motor immer nur für kurze Zeit in mehreren Intervallen mit maximaler Drehzahl läuft, ist es wünschenswert, dass nur geringe Massen beschleunigt und wieder abgebremst werden. Dies ist mit einem kleinen zweipoligen Rotor hervorragend zu lösen.

Außenläufer sind im Gegensatz zu Innenläufern immer höherpolig – mindesten 6-, meist 14-polig und mehr. Momentan hat sich ein Standard von 14 Polen durchgesetzt. Wenn der Begriff 14-polig verwendet wird, spricht man immer von der Anzahl der Magnetpole, beim 14-Poler also 14 Magnetpole (Magnetstreifen), dies entspricht dann sieben Polpaaren.

Diese Technik wird zumeist im Direktantrieb, also einem Motor verwendet, der niedrig dreht, dafür aber großer Luftschraube antreibt. Verluste durch Untersetzung entstehen hier nur elektrisch



Der zweipolige Innenläufer-Blockmagnet im Vergleich mit einem 14-poligen Außenläufer.



Die Magnete eines zweipoligen Innenläufers, mittig die eines 14-poligen und rechts eines 28-poligen Außenläufers.

(kein mechanisches Getriebe), durch die höhere Frequenz des Drehfeldes, welches die Schaltverluste im Regler und Ummagnetisierungsverluste im Motor erhöht. Die Verluste im Regler sind deshalb größer, da der Regler ja wesentlich öfters die einzelnen Motorphasen ein- und ausschalten muss (elektrische Untersetzung). Der große Vorteil eines vielpoligen Außenläufers liegt darin, dass er mechanisch sehr einfach gehalten werden kann, mechanische Verluste eines Getriebes fallen hier weg. Ein Außenläufer muss kaum gewartet werden und ist der optimale Antrieb für den Allrounder und Piloten, die gerne viel fliegen und wenig Zeit mit Servicearbeiten verbringen möchten.

Unser aktueller Q80-Außenläufer hat z.B. 28 Pole, also 14 Polpaare, dies entspräche sozusagen einer 14:1 Untersetzung, verglichen mit einem zweipoligen Innenläufer. Angenommen die Luftschraube soll 6.300 1/min machen, dann müsste der zweipolige Innenläufer mit 14:1 Getriebe ca. 90.000 Umdrehungen machen. Man müsste hier mit speziellen Kugellagern im Motor und extrem aufwendigen Getrieben diese hohe Eingangsdrehzahl bändigen. An diesem Beispiel lässt sich gut erkennen, dass es, je nach Einsatz und Verwendung, manchmal besser ist mit einem Außenläufer und seiner elektrischer Untersetzung zu arbeiten, als mit einem Innenläufer und mechanischem Getriebe. Aber auch bei hochpoligen Motoren bekommt man nichts geschenkt. Ein wichtiger Punkt sind die verwendeten Materialen in einem Motor. Diese müssen von sehr guter Qualität sein, damit der Motor einen guten Wirkungsgrad erreicht. In die Materialen kann man leider nicht einfach so reinschauen. Aber wie oftmals gilt auch hier, man bekommt was man bezahlt! Günstige Motoren unterscheiden sich optisch manchmal kaum von hochwertigen, doch die verwendeten Materialen lassen keine lange Lebensdauer und gute Performance des Motors zu. Der Stator eines mehrpoligen Motors muss wegen der hohen Kreisfrequenz des Magnetfelds und den dadurch notwendigen vielen Ummagnetisierungen des sich ständig ändernden Magnetfelds aus hochwertigsten Blechen hergestellt sein, um die Verluste gering zu halten. Vorsicht hier bei "günstigen Angeboten". Diese Motoren können bei etwas höherer Leistung sehr schnell überhitzen.



Ein A20-Stator mit 12 Nuten im Vergleich mit einem Q80-Stator mit 24 Nuten.