

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 Flugmodellssport 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 im Eisen und Kupfer.“

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.“

Hacker
Brushless Motors

In dieser Ausgabe der FMT starten wir eine Beitragsreihe, in der die am häufigsten gestellten Fragen rund um den Elektro-Antrieb aufgegriffen und beantwortet werden. 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.



In schlanken Segler- oder Hotlinerrümpfen reichen seitlich Luftthutzen 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 Motorspans 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 Lüfterrad 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 Flugzeugumpfes im Kühlluftstrom untergebracht sind. Die Luftauslasslöcher sollten immer etwas größer als die Lufteinlasslöcher dimensioniert sein, um einen Wärmestau zu vermeiden. 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 Multimater auslesbar. Selbst mit nicht-telemetriefähigen-Anlagen sind die Sensoren so – mit Einschränkungen – nutzbar. Einen ausführlichen Bericht finden Sie in der FMT 08.2010.