

# 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 geradzahligem Polen. Ein zweipoliger Brushless-Motor, wie z.B. die Innenläufer Hacker B40 und B50, verfügen über ein Polpaar, also einen Nord- und 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 Unterersetzung. Ein 14-poliger Motor hätte somit quasi eine 7:1 elektrische Unterersetzung.

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.

**Hacker**  
Brushless Motors

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.



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

(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 Materialien in einem Motor. Diese müssen von sehr guter Qualität sein, damit der Motor einen guten Wirkungsgrad erreicht. In die Materialien 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 Materialien 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.



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.



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