

Inhaltsverzeichnis

Über den Autor.....	7
Vorwort.....	8
1. Einführung	10
1.1 Elektromechanischer Energiewandler	11
1.2 Unterschied zwischen Brushed- und Brushless-Motor	12
1.3 Kein Brushless-Motor ohne Brushless-DC-Regler	14
1.4 Brushless-DC-Motor oder nur Brushless-Motor?.....	15
2. Funktionsweise des Brushless-Motors	16
2.1 Wirkprinzip	16
2.2 Kraftwirkung auf einen stromdurchflossenen Leiter im magnetischen Feld.....	19
2.3 Kraftwirkung in der Praxis am Beispiel eines Innenläufers	20
2.4 Mehrere Statornuten und Magnetpole am Beispiel der Außenläufer 6N8P und 12N14P ..	23
2.5 Sternbewicklung und Dreieckbewicklung.....	29
2.6 Erkenntnisse in Kurzform	33
3. Kennzahlen des Brushless-Motors	35
3.1 kV, U/(MinV), rpm/V.....	35
3.2 Wicklungswiderstand	38
3.3 Motorkennlinie	41
3.4 Turns.....	47
3.5 Motorleistung	47
3.6 Bremsbetrieb	50
3.7 Wirkungsgrad.....	51
3.8 Erkenntnisse in Kurzform	55
4. Brushless-DC-Regler	56
4.1 Endstufe.....	57
4.2 Timing und Messung des Phasennulldurchgangs.....	61

4.3 Maximalstrom, Strommessung, Temperaturmessung	67
4.4 BEC-Spannung	69
4.5 Unterspannungsmessung und - abschaltung	71
4.6 Betriebsmodi, Knüppelstellung = Spannung oder Drehzahl	71
4.7 Mikrokontroller und Programmierung	72
4.8 Erkenntnisse in Kurzform	74
5. Lasten	76
5.1 Propeller beim Modellflugzeug	76
5.2 Pitchgesteuerte Modellhubschrauber	79
5.3 Die Schiffsschraube	80
5.4 Beschleunigen und Bremsen beim Modellauto	81
6. Praxisbeispiele	84
6.1 Tabellenhilfe für den Kaufentscheid	84
6.2 Praxistipps für den Motoreinbau und die Verkabelung	86
6.3 Test von verschiedenen Antriebskombinationen	90
6.4 Multiplex Roxxy Antriebskombination	94
6.5 Hacker Motor-und Reglerkombination	95
6.6 Kontronik-Regler und Plettenberg-Motor	98
6.7 Umbau eines Monster-Trucks auf einen LRP-Motor	101
7. Brushless Motoren und -Regler für Multicopter	106
7.1. Spezielle Anforderungen an die Brushless Regler	106
7.2. Technische Ausführungen bei Brushless Reglern für Multicopter	109
7.3 Der Einbau und die Verkabelung bei Multicoptern	115
8. Fehlerquellen	122
8.1 Masseschluss, Windungschluss und Kurzschluss	122
8.2 Lager und Welle	123
8.3 Defekte Reglerendstufe	124
9. Literatur	125
Nachwort	126



Bild 12: Innenläufer, Rotor mit Permanentmagneten.

Es handelt sich wie im vorhergehenden Kapitel, als das Wirkprinzip beschrieben wurde, um einen Innenläufer. Der Permanentmagnet auf dem Rotor ist ringförmig ausgeführt. Wenn man sich ihm mit einem Süd- oder Nordpol eines anderen Permanentmagneten nähert, dann stellt man beim Drehen fest, dass eine Seite abgestoßen und nach einer halben Umdrehung die gegenüberliegende angezogen wird. Gleich wie schon in Bild 5 dargestellt wurde, gibt es also auch hier genau einen Nord- und einen Südpol bei diesem Rotor. Man sagt in der Fachsprache auch, es handle sich hierbei um einen zweipoligen Rotor oder einen Rotor mit einem Polpaar.

Nimmt man den Stator genauer unter die Lupe und vergleicht ihn mit Bild 5, dann fällt einem sofort auf, dass die Einkerbungen, die sogenannten Nuten, in welche dort die Wicklungen gelegt werden, fehlen. Es scheint hier so, als ob die Wicklung wie ein Fliesenteppich auf die Innenseite des Stators gelegt wurde. In der Tat handelt es sich hierbei um eine sehr häufige Ausführung der Innenläufer, um die sogenannte ‚eisenlose Wicklung‘. Andere Namen dafür sind auch ‚nutenlose Wicklung‘ oder ‚Luftspaltwicklung‘. Wenn die zuvor hergeleitete Theorie hier angewendet werden soll, müssen das die stromdurchflossenen Leiter sein, auf welche es nach den Gesetzen des Magnetismus eine Kraftwirkung gibt.

Bild 13 zeigt eine schematische Darstellung des Motors auf Bild 11 und 12. Der Rotor ist wie oben auch mit einem Permanentmagneten

ausgeführt. Die Feldlinien sind wie im letzten Kapitel gefordert in sich geschlossen. Der Regel getreu, dass ihre Richtung vom Nord- zum Südpol zeigt, verlaufen sie zuerst nach oben. Dann folgen sie dem Radius des Stator-Ringes aus Eisen und treten aus diesem aus, um wieder zum Südpol zu gelangen.

Man könnte sich auch andere Verläufe der Feldlinien vorstellen. Sie könnten ja beispielsweise auch innerhalb des Rotorraumes vom Nord- zum Südpol verlaufen. Dieser Idee spricht jedoch eine weitere Eigenschaft entgegen. Die Feldlinien suchen sich wie viele andere technische Größen auch den Weg des geringsten Widerstandes. Luft, aus welcher der Rotorraum besteht, setzt ihnen einen viel größeren sogenannten magnetischen Widerstand entgegen, als es Eisen, auch ferromagnetisches Material genannt, tut. Sie suchen sich also auf dem Weg vom Nord- zum Südpol immer denjenigen Weg aus, auf welchem sie möglichst viel Eisen und möglichst wenig Luft antreffen. So kommt der im Bild dargestellte Feldlinienverlauf zustande.

Wenden wir uns nun der vorhin etwas despektierlich ‚Fliesenteppich‘ genannten Wicklung zu. Soll das in Kapitel 2.1 behandelte

Bild 13:

Prinzipiskizze des Innenläufers aus Bild 11 und 12.