

# ELEKTRISCH, ABER RICHTIG

## TIMING – DIE „VORZÜNDUNG“ DES ELEKTROMOTORS

Immer wieder werden Fragen rund um das Thema Timing auf dem Modellflugplatz heiß diskutiert. Markus Müller hat sich dem Thema angenommen und bringt Licht in so manche Modellbauwerkstatt.

Bereits in **AUFWIND 2/2015** sind wir auf den Aufbau und die Funktionsweise eines Brushless-Motors eingegangen. Dabei haben wir gelernt, dass der Motor aus einem Rotor und einem Stator besteht. Der Rotor ist eine mit Magneten bestückte Welle und der Stator nimmt die Kupferwicklungen auf, die im einfachsten Fall aus drei Wicklungen bestehen.

Die Wicklungen eines elektrischen Motors sind aus elektrotechnischer Sicht Spulen, beziehungsweise ein induktiver Widerstand. In einer Spule kann sich der Strom nicht sprunghaft ändern. Wird an einer Spule plötzlich eine Gleichspannung angelegt, folgt ein asymptotischer Anstieg des Stromes (e-Funktionskurve; vgl. Bild 1). Das Magnetfeld der Wicklung ist erst mit Erreichen des maximalen Stroms komplett aufgebaut. Folglich nicht unmittelbar mit dem Anlegen der Spannung, sondern leicht verzögert.

Damit der Rotor sich zu drehen beginnt, müssen die Wicklungen in vorgegebener Reihenfolge ein- beziehungsweise ausgeschaltet werden. Damit entsteht ein rotierendes Magnetfeld am Stator, das den Rotor in Bewegung setzt. Die Phase eines Brushless-Motors wird aber nicht etwa exakt dann eingeschaltet, wenn sich der Magnet des Rotors über der entsprechenden Wicklung des Stators befindet. Damit das Magnetfeld der Wicklung beim Durchgang

des Magneten des Rotors komplett aufgebaut ist und sich die volle Stärke einstellt, muss folglich die Spannung an der Wicklung „früher“ angelegt werden. Dies ist mit der Vorzündung eines Verbrennungsmotors vergleichbar. Da das Brennstoff-Luft-Gemisch eine gewisse Zeit benötigt um sich zu entzünden um die optimale Kraft auf den Kolben auszuwirken, wird der Zündfunke vor Erreichen des Totpunktes appliziert. Wird die Vorzündung zu hoch eingestellt, schlägt der Motor insbesondere beim Anlassen zurück.

Zurück zum Elektromotor: Die Zeit zwischen anlegen der Spannung an der Statorwicklung und dem komplett aufgebauten Magnetfeld ist nicht nur abhängig von der Spule (Induktivität) selbst, sondern auch von der Anzahl der Pole und der Drehzahl. Daher wird diese „elektrische Vorzündung“ in Grad angegeben. Diese Winkelangabe in Relation zum Drehstrom wird Timing genannt. Damit hat jeder Motor sein individuelles optimales Timing, das zusätzlich vom Anwendungsziel abhängt.

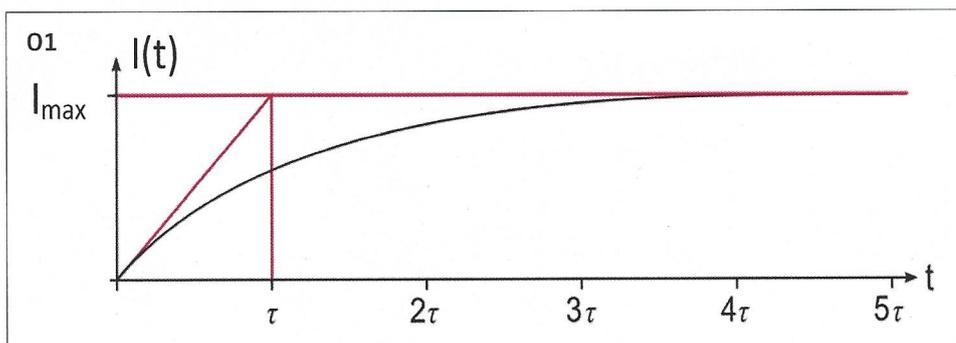
Nur bei der einfachsten Bauform des BL-Motors mit drei Wicklungen (Bild 2) entspricht dies auch der räumlichen Winkeldifferenz zwischen Rotor-Pol und Stator-Wicklung zum Anlegezeitpunkt der Spannung. Bei komplexeren Windungsarten (Bild 3) bezieht sich die Winkelangabe ausschließlich auf das Drehstromfeld und entspricht räumlich einem wesentlich geringeren Winkel.

Schön und gut, wird sich nun so mancher fragen, aber welche Relevanz hat dies im täglichen Einsatz?

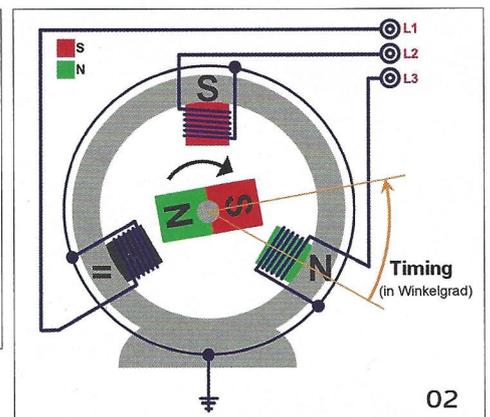
Wurde bei Bürstenmotoren noch das Lager Schild verdreht um das Timing zu ändern, erledigt dies heute der Regler für bürstenlose Antriebssysteme. Wird das Timing erhöht, also die Wicklung früher zugeschaltet, so erhöht sich die Drehzahl in gewissen Grenzen. Dadurch erhöhen sich Strom und Eingangsleistung. Leider geht aber ein hohes Timing auf Kosten des Wirkungsgrades. Hohes Timing macht somit für Anwendungen Sinn, wo eine ultimative Drehzahl von Vorteil ist (z.B. Pylon). Wird das Timing verringert, also die Wicklung erst kurz vor Durchgang zugeschaltet, so nimmt die Drehzahl ab, wie auch die Strom-beziehungsweise Leistungsaufnahme. Der Wirkungsgrad wird erhöht. Tiefes Timing macht Sinn, wenn Dauerbetrieb das Ziel ist.

Aber Vorsicht: Mit dem Timing kann nur sehr begrenzt auf die Drehzahl Einfluss genommen werden. Wird das „optimale Timing“ zu sehr verlassen, wird sich der Strom wohl noch erhöhen, die Drehzahl aber nicht mehr. Der Motor wird also nur noch wärmer, ohne aber mehr mechanische Leistung abzugeben. Dies kann zur thermischen Überlast und/oder zu Fehlkommunierungen führen und der Antrieb nimmt Schaden. Sobald der Motor zu stottern, beziehungsweise kreischen beginnt oder nicht mehr sauber anläuft, ist das ein untrügliches Zeichen, dass das eingestellte Timing falsch gewählt ist.

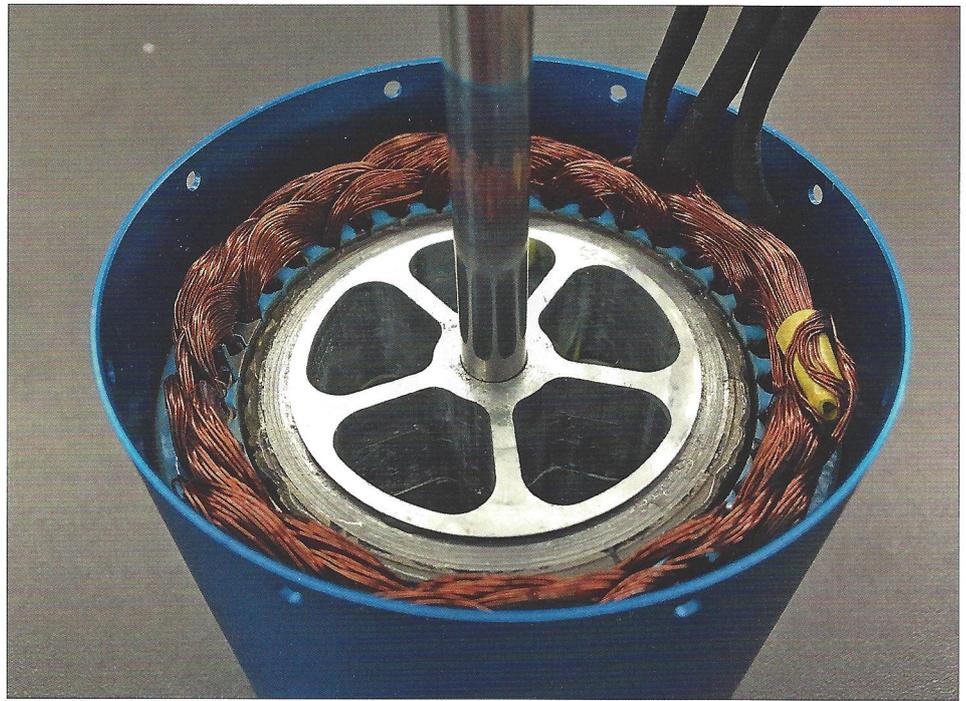
Im Modellbaualltag wird das „Auto-Timing“ oder auch «Normal-Timing» der meisten Reglerhersteller einen optimalen Kompromiss zwischen Wirkungsgrad und Leistung bieten. Betreiben Sie ihren Motor stets in dem vom Mo-



**Bild 01** | Asymptotischer Stromverlauf einer Induktivität bei Anlegen einer DC-Spannung **Bild 02** | Räumliches Timing an einfachster Bauform



**Bild 03** | Komplexer Wicklungsaufbau eines Leomotion-Motors „L90“



torenerhersteller empfohlenen Timing-Bereich. Sollten Sie in der Motorenanleitung nichts finden, können Sie folgende Richtwerte verwenden, vorausgesetzt der Motor läuft ohne jegliches Stottern oder Kreischen:

- 2-polig: 0-5°
- 4-polig: 5-10°
- 10-polig: 10-20°
- 14-polig und mehr: 15-30°

Dies gilt für Innen- wie auch für Außenläufer gleichermaßen. Da der Außenläufer naturgemäß mehr Pole hat, wird auch sein Timing stets höher sein.

Noch einmal ein paar Richtwerte: Wird das optimale, beziehungsweise Auto-Timing verlassen und maximal erhöht – auch „scharfes Timing“ genannt – kann die Drehzahl typischerweise bis fünf und der Strom bis 15 Prozent ansteigen. Wird hingegen das Timing verringert (gegen 0°) nimmt die Drehzahl bis zwei und der Strom bis sechs Prozent ab. Es gilt zu bedenken,

dass die Verlustleistung am Motor quadratisch mit dem Strom ansteigt (bis 35 Prozent!) und damit die Wärme überproportional zunimmt, beziehungsweise nicht mehr genügend abgeführt werden kann. Der Motor droht zu überhitzen oder gar „abzurauchen“.

Das Timing ist ein weiterer Baustein in der Antrieboptimierung. Die Timingverstellung kann jedoch nur in engen Grenzen eingesetzt werden und eignet sich daher nur für's Feintuning. ■

Markus Müller, [www.ecalc.ch](http://www.ecalc.ch)



Der AeroClub Göppingen-Salach freut sich schon heute zusammen mit unseren Sponsoren auf die Weltmeisterschaft 2017 im GPS-Triangle Fliegen!

**GPS TRIANGLE**  
4th World Masters | Grubingen Germany  
20th - 26th of August 2017

[www.gps-triangle.net](http://www.gps-triangle.net)  
[www.gps-wm2017.de](http://www.gps-wm2017.de)

Florian **Schambeck**  
Luftsporttechnik

[airshow-events.com](http://airshow-events.com)

windwings

**PARI**  
TECH

SERVORAHMEN.de

Schwaben  
Flieger

Tomahawk

TORCMAN

TUNmodellbau

[www.hoelleinshop.com](http://www.hoelleinshop.com)  
... taking you higher!

KA-WI-TECH  
Kabelsatz- und Energieverleihsysteme

CHOCO  
FLY

Flying Circus  
events

Graupner

TANGENT  
Modelltechnik

AUFWIND  
Das Modellsportmagazin für Segel- und Elektroflug

modellpilot.eu