



Es kann nicht schaden, ein wenig über die Hintergründe technischer Vorgänge zu wissen. Beachtet man die Hinweise von Markus Müller, wird einem manch böse Erfahrung erspart bleiben!

# Warum überhitzen Modellflugregler?

Die Ströme und Spannungen im Elektromodellflug – bei den Elektrojets im Speziellen – werden immer höher. Die Leistungsdichte der Li-Po-Technologie hat das Problem von überhitzten Reglern akzentuiert.

Nachfolgend wollen wir auf die elektrotechnische Funktionsweise von Brushless-Motoren und heutiger Regler eingehen, Ursachen für Verlustleistung am Regler aufzeigen und Empfehlungen geben, um thermische Überlast zu vermeiden.



## Spule bzw. Wicklungen eines Motors

Wicklungen eines elektrischen Motors sind aus elektrotechnischer Sicht Spulen bzw. ein induktiver Widerstand. In einer Spule kann sich der Strom nicht sprunghaft ändern. Wird an einer Spule plötzlich eine Gleichspannung eingeschaltet, folgt ein asymptotischer Anstieg des Stromes (e-Funktionskurve). Wird die Spannung plötzlich abgeschaltet, so fließt der Strom noch weiter und erzeugt eine Gegenspannung (Abb. 1).

Ein plötzliches Abschalten des Spulenstroms führt zu Spannungsspitzen, deren Höhe mit der Induktivität der Spule und der Stromstärke steigt, mit der sie aufgeladen worden ist. Diese Spitzen können Schäden durch Überspannung verursachen. Mit Gleichstrom betriebene Spulen werden daher oft durch eine Freilaufdiode (Schottky-Diode) geschützt, die beim Abschalten des Stromkreises dem weiter fließenden Strom durch eine zur Spule antiparallel geschaltete Diode das Freilaufen ermöglicht und die gespeicherte magnetische Energie aufbraucht – die Spannungsspitze wird damit verhindert.

Wird eine Spule an einer Wechselspannung betrieben, so eilt der Strom der Spannung stets 90° hinterher.

## Brushless-Motor

Ein Brushless- bzw. bürstenloser (oder elektronisch kommutierter) Motor ist eine Mischform aus Drehstrom-Synchro-Motor

und Gleichstrommotor. Betrachten wir den einfachsten Fall eines bürstenlosen Motors:

Der Stator besitzt drei räumlich um 120° versetzte Wicklungen (Spulen) und der Rotor hat einen zweipoligen Permanentmagneten. Fließt ein Strom durch eine Spule, wird ein Magnetfeld erzeugt. Werden die drei Wicklungen des Motors mit je einem sinusförmigen Strom angesteuert, der zeitlich um 120° versetzt ist (Drehstrom genannt), wird ein drehendes Magnetfeld erzeugt. Dieses drehende Magnetfeld zieht nun den Permanentmagneten des Stators hinter sich her – der Motor beginnt sich zu drehen (Abb. 2).

Daraus erkennt man bereits ein Grundprinzip des Brushless-Motors: Das drehende Magnetfeld des Stators und die Drehzahl des Rotors müssen stets gleich schnell sein, eben synchron – sonst bleibt der Motor stehen oder läuft gar nicht an.

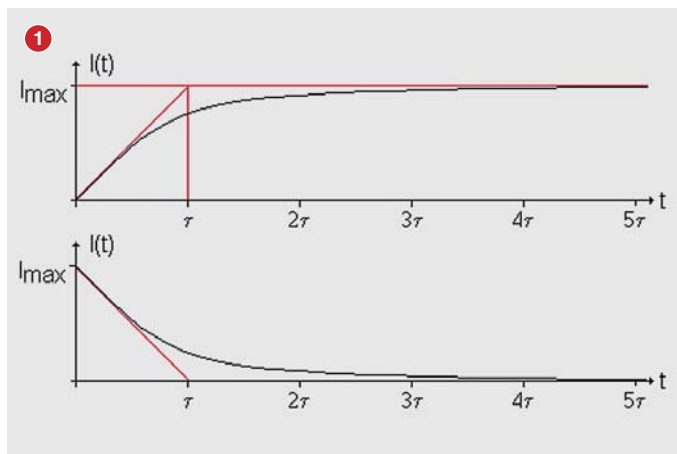
## Pulsweitenmodulation

Um später die Funktionsweise eines Reglers im Teillastbereich besser zu verstehen, müssen wir an dieser Stelle kurz auf die Pulsweitenmodulation eingehen.

Bei der Pulsweitenmodulation (engl. Pulse Width Modulation, abgekürzt PWM) wird die Aus- und Einschaltzeit eines Rechtecksignals bei fester Grundfrequenz variiert, woraus unterschiedliche mittlere Spannungen ( $U_m$ ) resultieren (Abb. 3). Wie zu erkennen ist, gilt für den Mittelwert der Spannung:

$$U_m = U_{aus} + (U_{ein} - U_{aus}) \times \frac{t_{ein}}{t_{ein} + t_{aus}}$$

Das kann man sich wie einen Lichtschalter vorstellen, den man sehr schnell ein und aus schaltet: Ist die Ausschaltzeit größer als die Einschaltzeit, erscheint das Licht im Durchschnitt ( $U_m$ ) dunkler; ist



Stromverlauf in einer Spule beim Ein- (oben) bzw. Ausschalten (unten) der Gleichspannung.