

## Die Erwärmung von Motoren in Handgeräten

Motoren, die in der Nähe des Nennmoments betrieben werden, können sehr heiss werden. Im Dauerbetrieb darf die Wicklung bis 155°C erreichen, was eine Gehäusetemperatur im Bereich von 120°C ergibt. Kein Chirurg würde gerne mit einem so heissen Handgerät operieren, nicht mal, wenn es sich nur halb stark erhitzen würde.

Vernachlässigt man die Reibung, gibt es zwei Hauptverlustquellen, welche den Motor aufheizen: Stromwärmeverluste und Wirbelstromverluste, die beide durch die Ansteuerung negativ beeinflussbar sind.

### Stromwärmeverluste

Die Stromwärmeverluste sind mit dem zum Strom proportionalen benötigten Lastdrehmoment verknüpft. Wie allgemein bekannt, nehmen diese Verluste quadratisch mit dem Strom zu. Hohe Ströme in der Nähe des Nennstroms führen zu Temperaturen, die für menschliche Berührung ungeeignet sind. Lässt man Motoren nur beim halben Nennstrom laufen, ergeben sich moderate Temperaturen (typisch unterhalb 50°C), die besser zur menschlichen Haut passen.

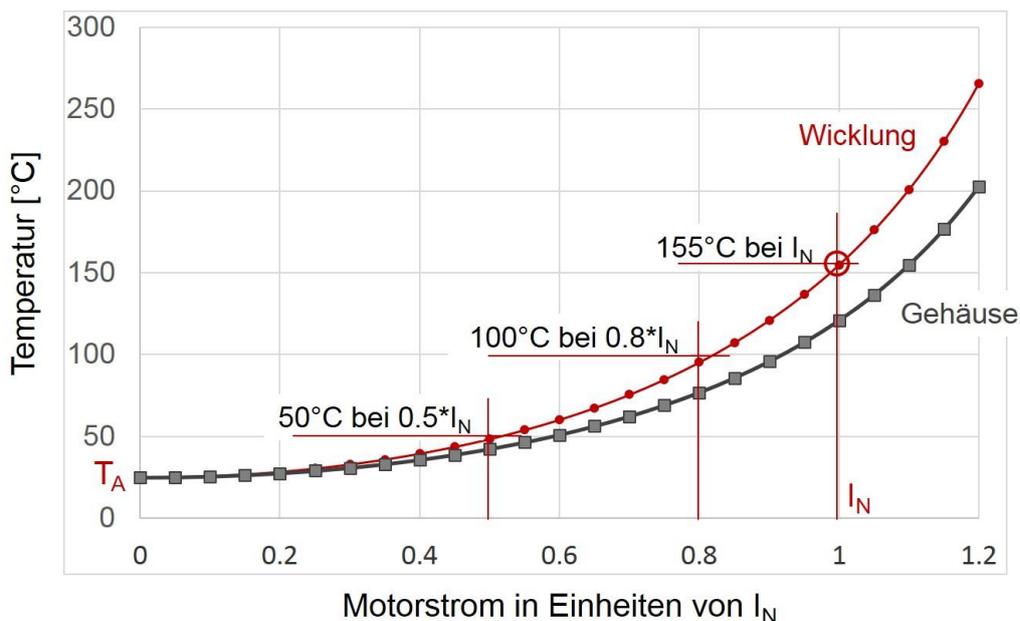


Fig. 1 Wicklungs- und Gehäusetemperatur in Abhängigkeit des Motorstroms (Motor im Dauerbetrieb)

Für die Motorauswahl bedeutet dies im Wesentlichen: Den Motor überdimensionieren! Die Betrachtungen bis hierher gründen auf Dauerbetrieb, wo die maximalen Temperaturen erst nach einigen 10 Minuten erreicht werden. In Handgeräten hat man es meist mit intermittierendem Betrieb zu tun, der bis zu 30 Minuten und länger dauern kann. Das bedeutet, dass auch hier eine Dauerbetriebsbetrachtung angewendet werden muss, allerdings mit dem Effektivwert (RMS) des Laststroms (quadratische Mittelung über den gesamten Lastzyklus). Die mittlere Erwärmung entspricht dann einem Dauerbetrieb mit dem RMS Lastmoment.

## **Eisenverluste**

Die Eisenverluste sind mit der Drehzahl gekoppelt. Die Wirbelstromverluste steigen quadratisch mit der Drehzahl an und erwärmen den Motor beim Drehen – sogar ohne Last. In Handgeräten kann dies bei Schleifern und Fräsern, die bei mehreren zehntausend Umdrehungen pro Minute (UpM) arbeiten, ein Problem sein. Solche hoch drehenden Motoren benötigen ein spezielles Design, um die Wirbelstromverluste klein zu halten. Sie werden typischerweise mit einer kleinen Anzahl Magnetpole, einer eisenlosen Wicklung und ultradünnen Eisenblechen mit tiefer Hysterese im Rückschluss ausgeführt. Das maxon ECX SPEED Programm kombiniert diese speziellen Eigenschaften. Die lange Bauform mit Durchmessern zwischen 16 und 22 mm passt perfekt in Handgeräte, die bei hohen Drehzahlen von mehreren 10'000 UpM arbeiten – was man aufgrund der Namensgebung schon fast vermuten konnte.

## **PWM-Ansteuerung und Induktivität**

Es zeigt sich allerdings, dass Motorerwärmung nicht nur eine Frage von Drehmoment, Drehzahl und Bauweise ist, sondern auch von der Gestaltung der PWM-Ansteuerung und der Einstellung der Regelparameter abhängt. Kürzlich beklagte sich ein Kunde über seinen heißen Motor (80°C und mehr) sogar bei Leerlaufbetrieb. Eine genauere Analyse ergab, dass die Ansteuerung und die Versorgungsspannung einen bedeutenden Einfluss hatten. Eisenlose Wicklungen haben eine sehr tiefe Induktivität, was sich in einer kleinen elektrischen Zeitkonstante auswirkt. Entsprechend reagiert der Strom sehr schnell auf Spannungsänderungen; das ist gut für ein dynamisches Motorverhalten. Wird der Motor aber mit einer pulsweiten-modulierten (PWM) Endstufe angesteuert (was die meisten Regler tun), kann der Motorstrom den schnellen Spannungswechseln folgen, was zu einem grossen Stromrippel führen kann. Während die PWM-Spannung und der Stromrippel keinen Einfluss auf das mechanische Verhalten des Motors haben – der Motor „sieht“ im Wesentlichen den Mittelwert von Strom und Spannung –, heizen die Stromspitzen des Rippels den Motor auf. In ähnlicher Weise führen steif eingestellte Regelkreise zu starken schnellen Stromreaktionen mit entsprechender Erwärmung. Gegenmassnahmen, um den Stromrippel klein zu halten sind:

- Die Versorgungsspannung der PWM-Endstufe verkleinern in Fälle, wo dies aufgrund der Drehzahlanforderungen der Anwendung möglich ist.
- Die PWM-Frequenz erhöhen, um dem Stromrippel weniger Zeit zu geben sich auszubilden.
- Eine Zusatzinduktivität (Motordrossel) in Series zu den Motoranschlüssen anbringen. Damit wird die elektrische Zeitkonstante vergrössert und die Stromreaktion gedämpft. Diese letzte Massnahme ist nicht sehr attraktiv, erhöht sie doch die Kosten und benötigt extra Bauraum.
- Möglichst weiche Regelparameter wählen.

Der Stromrippel und das ihn begleitende hochfrequente Magnetfeld erzeugen weitere Verluste. Die magnetische Flussänderung mit der PWM-Frequenz kann in metallischen Motorteilen (z.B. im Magneten) Wirbelströme induzieren. Weiter macht sich der Skineneffekt im Wicklungdraht bemerkbar. Beide Mechanismen können einen bedeutenden Anteil – wir reden hier von 30% und mehr - an den gesamten Verlusten und damit an der Erwärmung ausmachen. Die Unterdrückung des Stromrippels wie oben beschrieben ist also von herausragender Wichtigkeit.

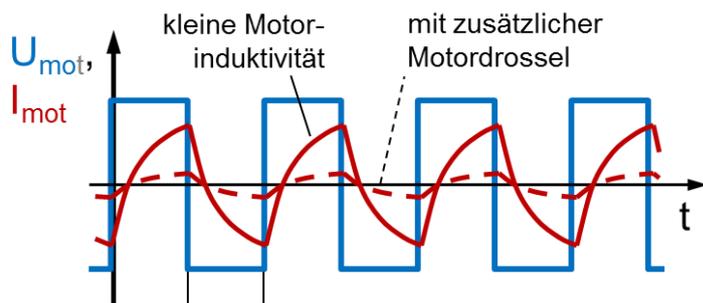


Fig 2. Stromripple im Stillstand mit und ohne Zusatzinduktivität (schematisch). Der Strommittelwert (d.h. das mittlere Drehmoment) ist in beiden Fällen Null. Die Motorerwärmung ist aber unterschiedlich.

Die maxon Controller berücksichtigen die tiefe Induktivität der maxon Motoren. Sie arbeiten bei hohen PWM-Frequenzen von 50 bis 100 kHz und sind mit genügend Zusatzinduktivität für die meisten Motoren und Situationen ausgestattet.

Das Temperaturproblem des Kunden war übrigens schnell gelöst; es genügte seine überdimensionierte Steuerung durch einen maxon ESCON Controller zu ersetzen. Die ESCON Lösung hat zwar weniger aber durchaus genügend Nennleistung. Sie arbeitet bei höherer PWM-Frequenz als der bestehende Regler und enthält eine grössere eingebaute Motordrossel. Die Temperatur konnte überdies weiter gesenkt werden durch eine Verkleinerung der Versorgungsspannung in die Nähe des absolut benötigten Minimums.