

# **Interdisziplinäres Projekt**

## **Entwicklung und Bau eines Motor- prüfstandes für bürstenlose Gleich- strommotoren**

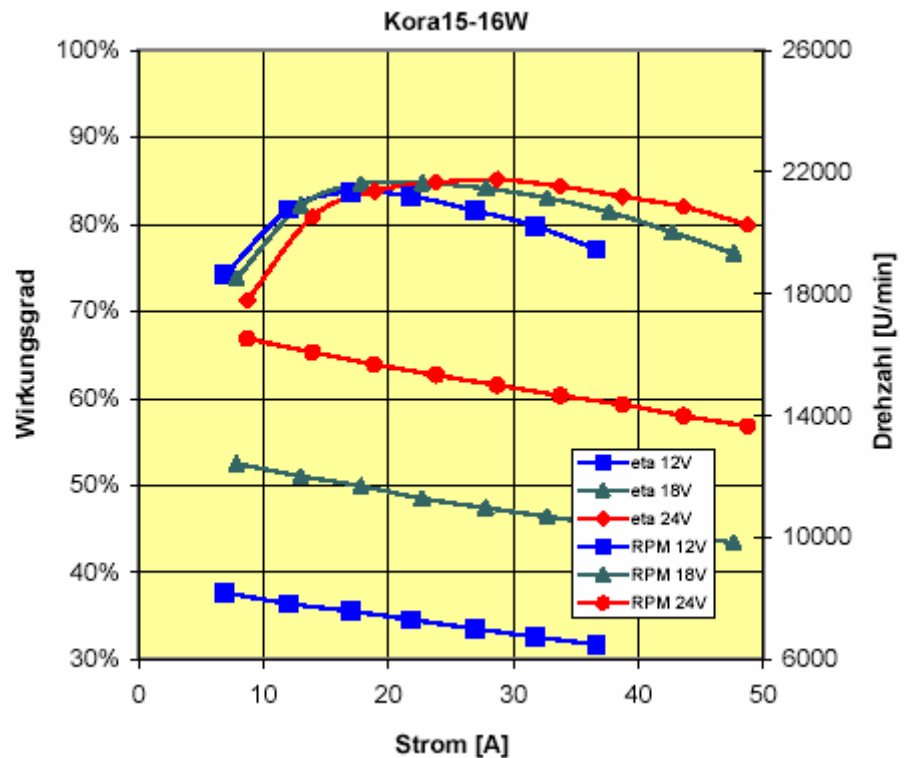
Erstellt von: Matthias Ebner und Florian Lang  
Matrikelnr.n: 294059, 294168  
Studiengang: Wirtschaftsingenieurwesen  
Betreuer: Dipl. Wirt.-Ing. René Triebenstein  
Stand: 24.04.2006

# 1. Klären der Aufgabenstellung

Um einen Elektrohubschrauber aus recyclefähigem Material zu bauen, wird unter anderem auch ein bürstenloser Motor als Antrieb benötigt. In einem Projekt, das diesem vorangegangen ist, wurden deshalb Motoren aus CD-Rom Laufwerken und Festplatten ausgebaut und durch neue Bewicklung leistungsfähiger gemacht (vgl. Projekt „Entwicklung von Brushless-Motoren“).

Um eine ausreichende Vergleichbarkeit mit den im Handel erhältlichen Motoren zu erreichen, müssen zunächst folgende phys. Parameter aufgenommen werden:

- Drehzahl [U/min/V],
- Drehmoment, [Nm]
- bzw. (Gewicht [g],)
- Innenwiderstand [mOhm] und
- Wirkungsgrad [%].



Weiterhin wurde es als sinnvoll erachtet, zusätzlich zu diesen Werten die Motortemperatur [°C] an den Wicklungen und die Anlaufspannung [Vdc] aufzunehmen.

Um diese Messgrößen aufnehmen zu können, werden unterschiedliche Sensoren benötigt. Anschließend muss die Messelektronik stabil auf der Grundplatte des Messtandes montiert werden und die Verletzungsgefahr muss minimiert werden. Der Prüfstand sollte dann im CAD-System SolidWorks abgebildet werden. Während des gesamten Entwicklungsprozesses ist auf eine möglichst einfache und günstige spätere Realisierung zu achten.

## 1.1 Die grundlegende Funktion des Brushless-Motors

Die aus den CD-Rom Laufwerken und Festplatten umgebauten Motore sind zumeist Außenläufer. Sie benötigen eine Gleichstromspannung von 15 Vdc. Der Arbeitsstrom kann zwischen 10 und 50 A betragen. Leistungsmäßig bewegen wir uns in einem Bereich von 10 - 500 W (evtl. für Extremfälle bis 800 W). Dies hängt auch von der jeweiligen Flugphase des Heli ab. Die Dauerleistung kann von der Spitzenleistung (z.B. beim Steigflug) des Motors erheblich abweichen. Der Motor hat die Aufgabe den Rotor zu bewegen und so für den Auftrieb zu sorgen. Über den Controller des Motors kann der Motor angesteuert werden. Die Steuerung des Controllers erfolgt über Funk. Damit der Hubschrauber abhebt, müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt werden. Zunächst muss die nötige Hubkraft aufgebracht werden, damit der Hubschrauber abheben kann, d.h.  $F_{Hub} > F_G$  sein. Diese Größen werden vornehmlich vom Gewicht des gesamten Hubschraubers, der Art des Rotors und der Drehzahl, d.h. der Hubkraft des Motors beeinflusst.

## 1.2 Systemanalyse ‚bürstenloser Motor‘

### Input:

- Anzahl und Anordnung der Pole
- Güte der Wicklung
- Drehzahl [U/min]/ Drehmoment [Nm]
- Spannung [U]
- Zustand Lager/ Welle
- Art der Luftscharube
- Witterungsbedingte Einflüsse werden als konstant betrachtet, bzw. werden reproduzierbare Bedingungen vorausgesetzt (optimalerweise werden jedoch Extremsituationen getestet (Überhitzung des Motors, wenn vom Fahrtwind durch Hülle abgetrennt)).

**Output:** - Hubschrauber hebt ab

## 1.3 Herleitung der Messgrößen

### Rotation:

#### - Drehzahl [U/min/V]

Die Drehzahl  $n=z/t$  ist definiert als die Anzahl der Umdrehungen durch die Zeit.

#### - Drehmoment $M$ :

Laut dem Hebelgesetz gilt:

$M=r \cdot F \rightarrow M = J \cdot \alpha$ , wobei  $r$  der Hebel ist und  $F$  sich aus den entgegenwirkenden Kräften  $F'$  und  $-F'$  zusammensetzt.  $J$  ist das Massenträgheitsmoment und  $\alpha$  die Winkelbeschleunigung.

- Winkel bei gleichmäßig beschleunigter Rotation:  $\rho = \frac{1}{2} \cdot \alpha \cdot t^2$

- Winkelgeschwindigkeit  $\omega$ :  $\omega = \alpha \cdot t$

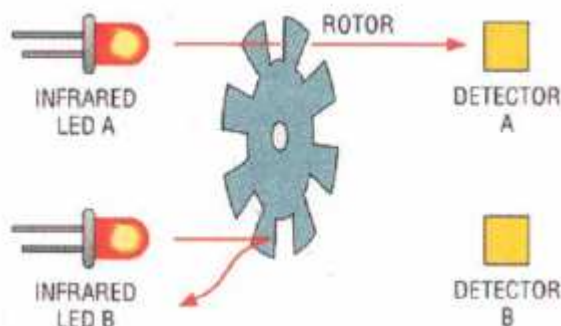
- Leistung:  $P = M \cdot \omega$

- Rotationsenergie:  $\Delta E_{rot} = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2$

- **Arbeitspunkt:** Der Arbeitspunkt, auch **Betriebspunkt** oder **-zustand** genannt, ist ein bestimmter Punkt im Kennfeld oder auf der Kennlinie eines technischen Gerätes, der aufgrund der Systemeigenschaften und einwirkenden äußeren Einflüsse und Parameter eingenommen wird. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Arbeitspunkt>) Häufig ergibt er sich als Schnittpunkt zweier Kurven.

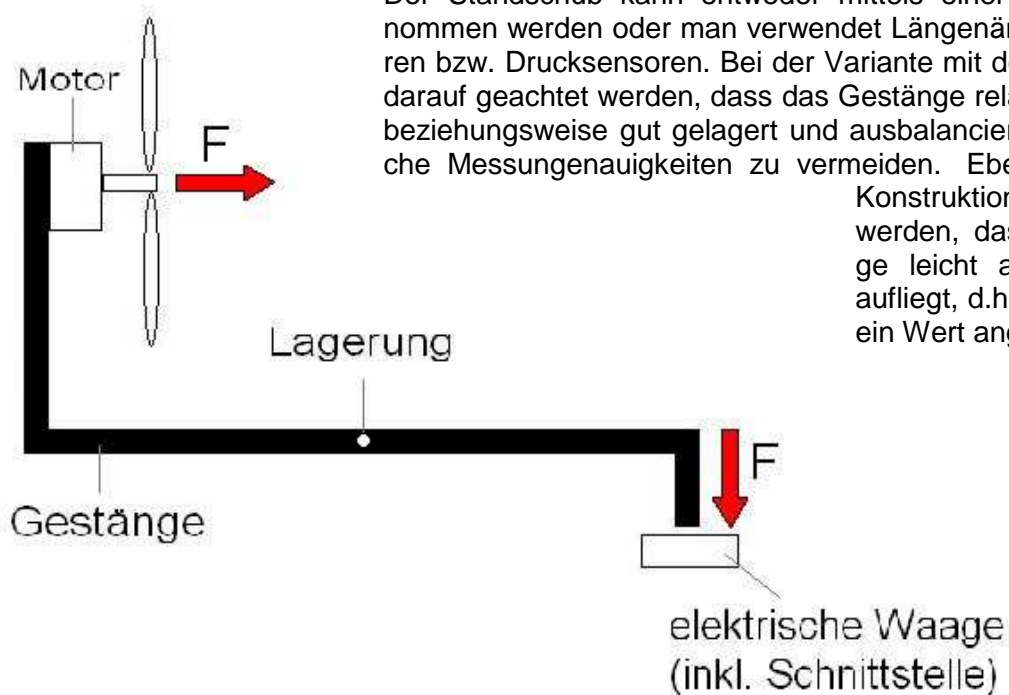
## 1.4 Bestehende Lösungsansätze für die Messungen

### Drehzahl:



Bei dem links dargestellten zweikanaligen Winkelsensor ist, ähnlich einer Lichtschranke, darauf zu achten, dass die Abtastrate für die teilweise recht hohen Drehzahlen geeignet ist.

## Hubkraft, bzw. Standschub:

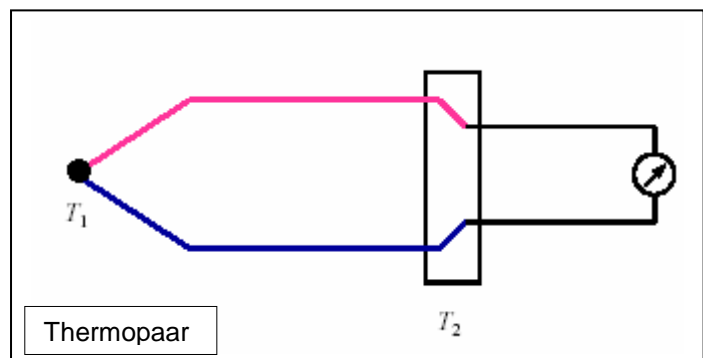


Der Standschub kann entweder mittels einer Waage aufgenommen werden oder man verwendet Längenänderungssensoren bzw. Drucksensoren. Bei der Variante mit der Waage muss darauf geachtet werden, dass das Gestänge relativ wenig wiegt, beziehungsweise gut gelagert und ausbalanciert ist, um mögliche Messungenauigkeiten zu vermeiden. Ebenso sollte die Konstruktion so ausgelegt werden, dass das Gestänge leicht auf der Waage aufliegt, d.h. so dass schon ein Wert angezeigt wird.

## Temperatur:

Die Temperatur wird in Grad Celsius gemessen. Die Temperaturänderung in Kelvin. Die Temperatur könnte über einen PTC oder ein sogenanntes Thermopaar aufgenommen werden. Der Widerstand ändert sich hier mit zunehmender Temperatur.

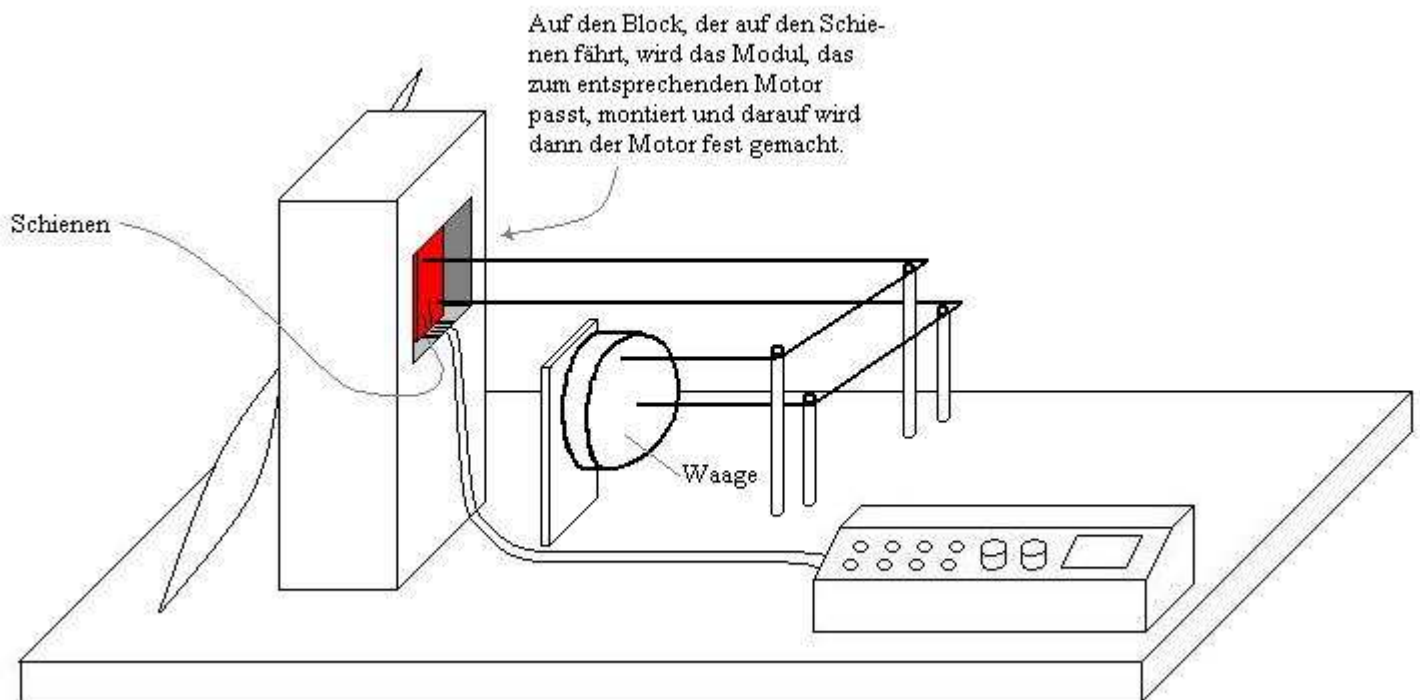
Die Verarbeitung der elektrischen Messwerte könnte mit der sogenannten ‚Wheatstone’schen Messbrücke‘ vorgenommen werden. Der unbekannte Widerstand wird dann durch Vergleich mit den bekannten Widerständen gemessen.



Problematisch könnte hier jedoch sein, dass am Motor vor allem die Wicklungen temperaturkritisch sind. Dies hat zur Folge, dass die Temperatur in der Umgebung und nicht direkt auf den Wicklungen gemessen werden könnte, was zu Ungenauigkeiten führt. Durch Versuch sollte deshalb herausgefunden werden, ob die Messungenauigkeit in Kauf genommen werden kann.

Spannung  $U$  [V]:  $U=R \cdot I$   
Strom  $I$  [A]:  $I=U/R$

**Hieraus ergibt sich folgende Skizze für den Prüfstand:**



### **1.3.2 weiteres Vorgehen:**

In Zusammenarbeit mit der Elektrotechnikwerkstatt wurde der Einsatz eines sog PIC-Prozessors beschlossen.

#### Zu klärende Fragen:

- Welche Sensoren können verwendet werden?
- Wie und in welcher Sprache erfolgt die Programmierung des PICs?