

## Lebensdauerangaben bei Kleinantrieben

T. Köder, W. Schinköthe (IKFF)

Beitrag zur

Festschrift zum  
Ehrenkolloquium für Prof. Höhne

27. Mai 2005

Ilmenau

© 2005 Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik

# Lebensdauerangaben bei Kleinantrieben

## 1 Einführung

Heutzutage werden immer kürzere Entwicklungszeiten bei steigenden Ansprüchen, insbesondere an die Zuverlässigkeit, gefordert. Um dieses Ziel realisieren zu können, sind Methoden notwendig, die bereits in frühen Entwicklungsphasen eine quantitative Lebensdauerabschätzung eines Produkts ermöglichen. Bisher können diese Informationen nur durch aufwendige Versuche am Ende des Entwicklungsprozesses gewonnen werden.

Laufende Forschungsarbeiten am IKFF beschäftigen sich mit der Zuverlässigkeit typisch feinmechanischer Bauteile in frühen Entwicklungsphasen am Beispiel von Gleichstrom-Kleinantrieben. Das besondere Augenmerk liegt hierbei auf dem elektromechanischen Teilsystem.

Dieser Beitrag beleuchtet nur einen Teil der bisher gewonnenen Erkenntnisse und befasst sich schwerpunktmäßig mit dem Stand der Technik, basierend auf einer durchgeführten Katalogrecherche und Branchenbefragung. Dadurch soll vor allem ein Bild der aktuellen Situation bezüglich der Verwendung von Zuverlässigkeitsdaten im Bereich feinmechanischer Antriebe vermittelt werden. Die vorhandenen Defizite sollen dabei durch gezielte Untersuchungen im Rahmen einer DFG-Forschergruppe behandelt und beseitigt werden.

## 2 Zuverlässigkeitsbetrachtungen am Beispiel von Gleichstromantrieben - Ergebnisse von Literaturrecherchen und Industriebefragungen

Um eine Aussage bezüglich des gewählten Demonstrators Gleichstromantrieb zu erhalten, wurde eine Katalogrecherche zu bürstenbehafteten (DC) und elektronisch kommutierten (EC) Gleichstrommotoren durchgeführt.

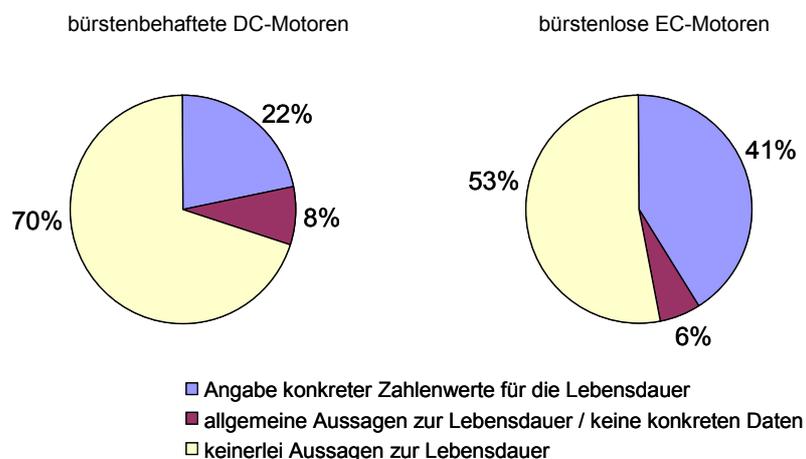


Bild 1: Angaben zur Produktlebensdauer in Herstellerkatalogen

Ausgewählt wurden zunächst alle feinwerktechnischen Motoren dieser beiden Motorbauformen, wodurch ein sehr breites Leistungs- und Anwendungsspektrum abgedeckt werden konnte. Insgesamt wurden 53 Hersteller von bürstenbehafteten DC-Motoren und 35 Anbieter von EC-Motoren abgefragt. Hierbei wurden zunächst nur die reinen Katalogdaten zur Zuverlässigkeit und Lebensdauer abgefragt und nach Kriterien zu den Lebensdauerangaben ausgewertet (Bild 1).

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen deutlich eine sehr große Unsicherheit bzw. eine unbefriedigende Situation im Umgang mit Zuverlässigkeitsangaben solcher Systeme. In vielen Fällen wird im Katalog gar nicht auf diese Problematik eingegangen, sondern eine Nachfrage von Seiten des Kunden abgewartet. In anderen Fällen werden Aussagen getroffen, die nur besagen, dass das Produkt eine lange Lebensdauer hat, ohne Angabe von konkreten Werten oder weiteren Bedingungen dazu. Sind schließlich Zahlenwerte angegeben, handelt es sich zumeist um Zeitspannen, die einen sehr großen Bereich und damit auch mehrere Typen und Anwendungsgebiete abdecken sollen. Angaben zum Bezug der Werte sind bei DC-Motoren in den Katalogen nicht enthalten, so dass unklar bleibt, ob es sich z.B. um eine ausfallfreie Zeit  $t_0$  oder eine  $B_{10}$ -Lebensdauer handelt. Alles in allem sind die Angaben damit nur wenig aussagekräftig und in vielen Fällen nur als grober Richtwert für mehrere Motortypen zu sehen.

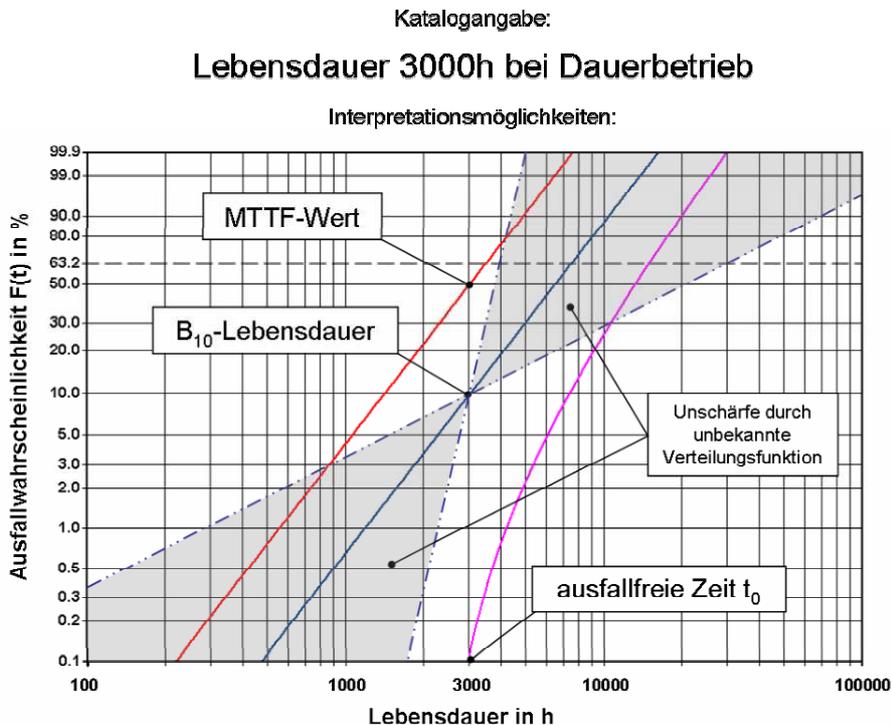


Bild 2: Interpretationsspielraum auf Grund unvollständiger Katalogangaben

Liegt beispielsweise eine Katalogangabe von 3000h als Lebensdauer für einen Motor vor, bedeutet das bei Interpretation als ausfallfreie Zeit, dass kein Motor vor diesem Zeitpunkt ausfällt. Bezieht sich die Angabe auf einen  $B_{10}$ -Wert, ist damit zu rechnen, dass innerhalb der ersten dreitausend Stunden 10% der Motoren ausfallen. Verbindet man mit dieser Angabe gar einen MTTF-Wert, liegt die Ausfallwahrscheinlichkeit je nach zu Grunde liegender Verteilung in dieser Zeit sogar bei 45%-65%. In Bild 2 sind die dazugehörigen Ausfallkurven beispielhaft im Weibullnetz dargestellt. Der Formparameter  $b$  wurde dabei zunächst konstant gehalten und ein für mechanische Systeme realistischer Mittelwert angenommen. Schon hier erkennt man große Unterschiede zwischen den verschiedenen Interpretationsmöglichkeiten, wobei die logarithmische Ska-

lierung zu beachten ist. Am Beispiel der Geraden, die durch den  $B_{10}$ -Wert verläuft, ist die zusätzlich vorhandene Unsicherheit durch die fehlende Angabe der zu Grunde liegenden Verteilungsfunktion (Formparameter  $1 \leq b \leq 4$ ) dargestellt, die entsprechend auch bei den anderen Ausfallkurven auftritt. Anhand dieses Beispiels sieht man sehr anschaulich, wie wenig Aussagekraft die Katalogdaten für den Kunden besitzen, wenn die Bezugsgröße nicht mit angegeben wird.

Bei EC-Motoren hängt die erreichbare Lebensdauer überwiegend von der Lagerbauart ab. Einige Anbieter beziehen sich auf die verbauten Kugellager und geben daher, ohne dies deutlich anzusprechen, eine  $B_{10}$ -Lebensdauer des Gesamtsystems an, die aber letzten Endes nur das Ausfallverhalten der Lagerbaugruppe widerspiegelt. Ansonsten werden auch hier zum großen Teil Bereiche angegeben bzw. einheitliche Mindestlebensdauern von 20000h, die als ausfallfreie Zeiten interpretiert werden könnten.

Um aufbauend auf der Katalogrecherche detaillierte Daten zu erhalten, wurden zusätzlich aus jedem Bereich jeweils 14 Herstellerfirmen telefonisch kontaktiert. Hierbei lag der Schwerpunkt auf Herstellern von Kleinmotoren im unteren Leistungsbereich. Ziel war herauszufinden, welchen Bezug die aufgeführten Kenndaten in den Katalogen haben (Bild 3). Bei Betrachtung der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass die Gesprächspartner aus sehr unterschiedlichen Bereichen kommen und vom Vertrieb über die technische Beratung, dem Versuch bis hin zur Entwicklungsabteilung reichten. Daher ist die Aussagekraft der Antworten teilweise schwer einzuschätzen.

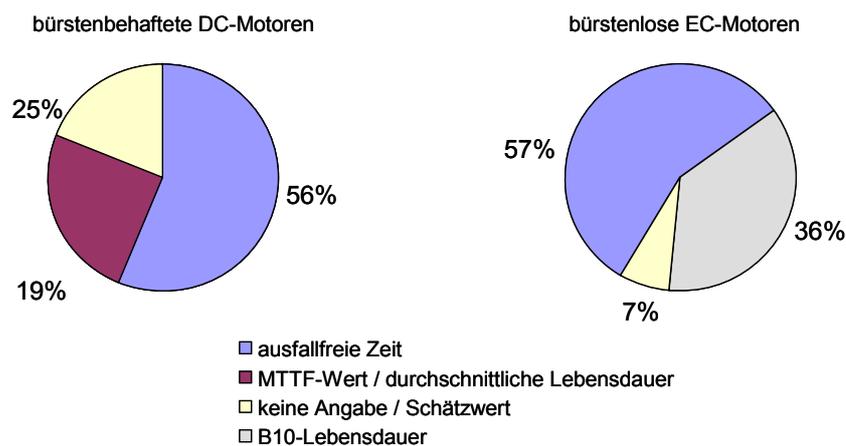


Bild 3: Bezug der Lebensdauerangaben

Überraschenderweise definieren die meisten Hersteller ihre Angaben als ausfallfreie Zeiten. Dieser Wert ist zwar für den Kunden optimal, bedeutet jedoch für den Hersteller, dass er bei einer solch konkreten Zusage einen sehr großen Sicherheitsfaktor mit einbeziehen muss. Vor allem bei EC-Motoren verwundert es sehr, dass nicht grundsätzlich die  $B_{10}$ -Lebensdauer angegeben wird, da sich alle Hersteller darin einig sind, dass nur die Lager als Ausfallursache in Frage kommen und somit eine Übernahme des gängigen Lagerkennwertes sinnvoll erscheint.

Des Weiteren hat die Umfrage ergeben, dass momentan keiner der Befragten quantitative Zuverlässigkeitsmethoden in der Konzeptphase der Entwicklung für die elektromechanischen Teilsysteme nutzt. Allenfalls kommen Festigkeits- bzw. Lagerberechnungen in frühen Phasen zum Einsatz. Ansonsten stützt sich die Entwicklung derzeit auf qualitative und quantitative Erfahrungswerte von Vorgängern. Erste konkrete Ergebnisse werden stets durch Versuche und Dauerläufe mit Prototypen bzw. in Vorserientests ermittelt. Auf Grund des hohen Kosten- und Zeitaufwands besteht jedoch ein reges In-

teresse an geeigneten quantitativen Verfahren für eine frühzeitige Bestimmung der bisher schwer zugänglichen Teilsysteme.

Bei Lebensdaueraussagen zu einem bestimmten Motortyp wird in aller Regel so verfahren, dass die Hersteller kundenspezifische Versuche durchführen, bei denen die exakten späteren Einsatzbedingungen nachvollzogen werden und somit nur für diese eine konkrete Anwendung eine Aussage getroffen wird.

Sofern Methoden und Ausfallverhalten für einzelne Komponenten, wie z.B. Elektronikbauteile oder bestimmte mechanische Baugruppen, vorhanden sind, werden diese auch genutzt. Gerade aber bei den bürstenbehafteten Motoren gibt es bisher keine geeignete Beschreibungsform für das Ausfallverhalten des elektromechanischen Subsystems, so dass Versuche weiterhin unumgänglich sind. Nicht zuletzt wegen dem stark zunehmenden Interesse an der Zuverlässigkeitstechnik und der steigenden Nachfrage nach Angaben von der Kundenseite besteht hier ein akuter Handlungsbedarf zur Verbesserung der analytischen Lebensdauerbestimmung für Gesamtsysteme, um die Produktentwicklung zu beschleunigen. Einzelne Firmen sind bereits auf diesem Gebiet tätig geworden und widmen sich dieser Problematik. Allerdings sind diese Daten auf Grund der hohen Produktvielfalt der einzelnen Hersteller meist sehr unvollständig. Da es sich zudem um sehr sensible Daten handelt, ist nahezu keine Veröffentlichung von Ergebnissen erhältlich. Ausnahmen sind z.B. [1],[2] und [3].

### **3 Zusammenfassung**

Die Recherche hat insgesamt gezeigt, dass sich bisher durchgeführte Untersuchungen im Bereich von Elektromotoren hauptsächlich auf Antriebe mit Graphitbürsten beziehen und derzeit keine allgemeingültigen Modelle oder Berechnungsmöglichkeiten zur Zuverlässigkeit dieser Systeme vorhanden sind. Das Interesse von Industrieseite an der Beschreibung des Ausfallverhaltens ist sehr groß. Es werden auch teilweise eigene Untersuchungen in den Betrieben durchgeführt, wobei die Daten nicht zugänglich sind.

Die Ergebnisse der Branchenbefragung bestätigen damit die Zielstellung des Projektes, entsprechende Modelle aufzustellen. Die Grundvoraussetzung hierfür ist eine zuverlässige Datenbasis. Zu diesem Zweck wurden spezielle Prüfstände aufgebaut, um durch institutseigene Dauerversuche die entsprechenden Zusammenhänge für die analytische Lebensdauerbestimmung zu ermitteln [4]. Anhand erster Versuchsergebnisse konnte bereits exemplarisch die weitere Vorgehensweise, um zu Aussagen in frühen Phasen zu gelangen, dargestellt werden [5].

#### **Literatur**

- [1] Meyna, A.: Experimentelle und theoretische Untersuchung der technischen Zuverlässigkeit von Elektromotoren. Dissertation, TU Berlin 1976.
- [2] Volkmann, W.: Kohlebürsten, Untersuchungsergebnisse, Erfahrungen, Empfehlungen. Schunk & Ede GmbH. Gießen, 1980.
- [3] Halmi, A.; Huba, A.: Die Vorteile der Axial-Magnetfeld Gleichstrom-Kleinstmotoren. IWK 43, TU Ilmenau, 1998. Band IV. Vortragsreihen S. 511-516.
- [4] Köder, T.; Schinköthe, W.: Untersuchungen zur Zuverlässigkeit von DC-Kleinstmotoren. Veröffentlichung zum Workshop „System-Zuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen“, Freudenstadt, 2004.
- [5] Köder, T.; Schinköthe, W.: DFG-Arbeitsbericht. Universität Stuttgart, IKFF, 2004.

#### **Ansprechpartner**

Dipl.-Ing. Thilo Köder, Pfaffenwaldring 9, 70569 Stuttgart, Tel: 0711 / 685 - 6404, Fax: 0711 / 685 - 6356, E-Mail: [zuverlaessigkeit@ikff.uni-stuttgart.de](mailto:zuverlaessigkeit@ikff.uni-stuttgart.de), URL: [www.uni-stuttgart.de/ikff/](http://www.uni-stuttgart.de/ikff/)

**Neue Telefon- und Telefaxnummer:**

**Telefon: +49 (0)711 685 – 6 6402**

**Telefax: +49 (0)711 685 – 6 6356**

**Neue E-Mail-Adressen:**

**ikff@ikff.uni-stuttgart.de**

**linearantriebe@ikff.uni-stuttgart.de**

**piezoantriebe@ikff.uni-stuttgart.de**

**spritzguss@ikff.uni-stuttgart.de**

**zuverlaessigkeit@ikff.uni-stuttgart.de**