

Untersuchungen zur Zuverlässigkeit von DC-Kleinstmotoren

T. Köder, W. Schinköthe (IKFF)

Beitrag zum Workshop

Systemzuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen

27. - 28. September 2004

Freudenstadt

© 2004 Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik

Untersuchungen zur Zuverlässigkeit von DC-Kleinstmotoren

Vortrag im Rahmen des Workshops „System-Zuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen“ am
27./28.09.2004 in Freudenstadt

Autoren:

Dipl.-Ing. Thilo Köder; Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe;
Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik (IKFF)
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 9
70550 Stuttgart
Tel.: 0711/685-6402
Fax: 0711/685-6356
E-Mail: zuverlaessigkeit@ikff.uni-stuttgart.de
Homepage: <http://www.uni-stuttgart.de/ikff/>

Kurzfassung:

Heutzutage werden in der Entwicklung 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.

Die laufende Forschungsarbeit am IKFF beschäftigt sich mit der Zuverlässigkeitsbestimmung typisch feinmechanischer Bauteile in frühen Phasen am Beispiel von DC-Kleinstantrieben. Das besondere Augenmerk liegt hierbei auf dem elektromechanischen Teilsystem.

Ausgehend vom Stand der Technik und einer Branchenbefragung hat sich gezeigt, dass die Notwendigkeit besteht, zuerst eine zuverlässige Datenbasis für das untersuchte System zu schaffen. Hierfür wurden spezielle Prüfstände aufgebaut, um durch institutseigene Dauerversuche die entsprechenden Zusammenhänge für die analytische Lebensdauerbestimmung ermitteln zu können. Anhand erster Versuchsergebnisse wird exemplarisch die weitere Vorgehensweise, um zu Aussagen in frühen Phasen zu gelangen, dargestellt. Die abschließende Zusammenfassung verdeutlicht nochmals den aktuellen Stand der Untersuchungen und die angestrebten Ziele nach Beendigung der ersten Versuchsreihe.

1 Einleitung

Zuverlässigkeitsoptimierungen erfolgen bisher überwiegend in den späten Entwicklungsphasen. Die endgültige Gestalt der Systeme steht da bereits weitgehend fest, so dass Änderungen mit erheblichem Zeit- und Kostenaufwand verbunden sind. Da die größten Einflussmöglichkeiten am Beginn des Entwicklungsprozesses vorhanden sind, sollte auch die Zuverlässigkeitsbetrachtung in sehr frühen Entwicklungsphasen durchgeführt werden. Gerade auf Systemebene und im Bereich feinwerktechnischer Erzeugnisse stehen aber keine geeigneten Methoden zur Verfügung.

Feinwerktechnische Antriebe bestehen aus mechanischen, elektromechanischen und elektronischen Komponenten und verkörpern komplexe mechatronische Systeme. Basisdaten und Methoden für die Beschreibung der Zuverlässigkeit fehlen sowohl für elektromechanische als auch für feinmechanische Baugruppe meist völlig und es liegen nahezu keine konkreten Aussagen bzgl. des Ausfallverhaltens vor. Feinmechanische Lager, Getriebe u.a. gleichen zwar den Baugruppen des Maschinenbaus, umfangreiche Untersuchungen zur Zuverlässigkeit und eine Verifizierung der Auslegungsmethoden bei kleinen Abmessungen fehlen jedoch. Hinzu kommt, dass sich die Durchführung von Versuchen sehr schwierig und zeitaufwendig gestaltet, da speziell für Elektromotoren keine sinnvoll nutzbaren Ansätze zur Testzeitverkürzung vorhanden sind. Allerdings ist die Systemzuverlässigkeit erst ermittelbar, wenn die beschriebenen Lücken für feinmechanische und elektromechanische Komponenten geschlossen sind und aus anderen Gebieten bekannte Rechenverfahren verifiziert wurden. Dieses Basiswissen bildet letztlich die Voraussetzung für die Verbesserung des Entwicklungsprozesses.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Bestimmung der Zuverlässigkeit in frühen Phasen. Dabei werden zunächst neben den wichtigsten Grundlagen der Stand der Technik und damit auch die bereits geleisteten Vorarbeiten erläutert. Ein wesentlicher Teil der Aufgabe besteht darin, eine eigene, zuverlässige Datenbasis zur ermitteln, insbesondere für die bisher noch unzureichend untersuchten elektromechanischen und feinmechanischen Komponenten. Hierfür sind die Konzeption und der Aufbau institutseigener Dauerversuchsstände nötig.

Basierend auf diesen Versuchen gilt es, das Ausfallverhalten der Einzelkomponenten sowie des Gesamtsystems möglichst genau zu beschreiben. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen zudem genutzt werden, um daraus bisher noch fehlender Strategien zur Testzeitverkürzung zu entwickeln.

2 Stand der Technik

Typische Elektromechanische bzw. mechatronische Baugruppen in der Feinwerktechnik sind Antriebe und Aktoren. Beispielsweise DC-Motoren mit integrierten inkrementalen Gebern und dazugehöriger Auswerte- und Regelelektronik, finden in vielen feinwerktechnischen Erzeugnissen, von der Audio- und Videotechnik bis zum PC, von der Meßtechnik bis zur biomedizinischen Technik und darüber hinaus in sehr vielen anderen Gebieten, insbesondere in der KFZ-Technik, eine sehr breite Anwendung /1/, /2/. Diese elektromechanischen Baugruppen werden in sehr großen Stückzahlen teilweise extrem kostengünstig gefertigt.

Derartige feinwerktechnische Baugruppen stellen häufig sehr komplexe mechatronische Systeme, bestehend aus mechanischen Komponenten (Getrieben, Lagern), elektrotechnischen Komponenten (Aktoren) und Elektronik (Ansteuerung, Regelung, integrierte Meßtechnik) dar (Abb. 1).

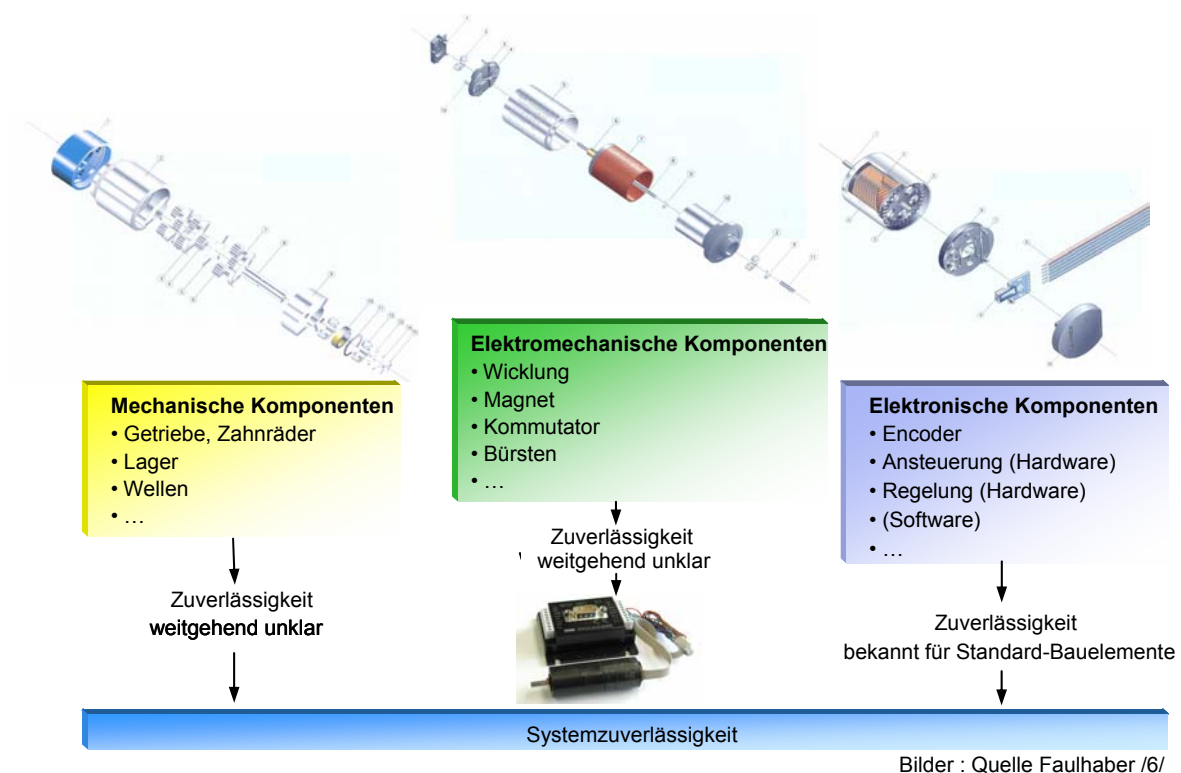


Abb. 1: Beispielhafter Aufbau komplexer mechatronischer Systeme

Den Ausgangspunkt für die Ermittlung der Systemzuverlässigkeit bildet das Ausfallverhalten der Einzelelemente. Die Randbedingungen sind durch die funktionellen Beanspruchungen sowie die Umgebungsbedingungen festgelegt. Nur die elektronischen Komponenten sind dabei hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit gut berechenbar.

Bei Elektromechanischen Komponenten liegen bisher nur punktuelle experimentelle Untersuchungen vor und feinmechanische Komponenten sind noch nahezu gar nicht erfasst /3/, /4/.

Die Berechnung der Systemzuverlässigkeit scheitert daher meist an elektromechanischen und feinwerktechnischen Systembestandteilen, während für elektronische Bauteile ausreichend genaue Basisdaten per Katalog verfügbar sind.

Neben der Berechnung des Ausfallverhaltens über das Boolesche Modell existieren deshalb weitere, teilwissenschaftliche Methoden zur Ermittlung von Zuverlässigkeitsangaben, wie die Ausfall-Effekt-Analyse bzw. FMEA (failure mode and effect analysis) /3/, die Fehlerbaummethode /3/, die Technische Diagnostik oder die Checklistenmethode, da sich die vielfältigen Einflussfaktoren auf die Zuverlässigkeit oft nur qualitativ erfassen lassen. Letztlich sind für komplexe mechatronische Baugruppen und Systeme exakte und gesicherte quantitative Aussagen nur experimentell durch z.B. Dauerversuche, forcierte Tests bzw. Stresstests zu ermitteln.

3 Zuverlässigkeitsbetrachtung am Beispiel von Gleichstromantrieben

Um eine Aussage bzgl. des ausgewählten Demonstrators zu erhalten, wurde eine Katalogrecherche zu bürstenbehafteten und elektronisch kommutierten Gleichstrommotoren durchgeführt. Das Hauptauswahlkriterium lag hierbei auf der Motorbauart, wodurch Motoren mit einem sehr breiten Leistungs- und Anwendungsspektrum berücksichtigt wurden. Insgesamt wurden 53 Firmen mit bürstenbehaftete DC-Motoren im Programm und 35 Hersteller von EC-Motoren betrachtet. Dabei wurden nur die reinen Katalogdaten berücksichtigt und nach den Kriterien der Lebensdauerangaben ausgewertet (Abb. 2).

Das Ergebnis der Untersuchung zeigt deutlich, dass noch eine sehr große Unsicherheit im Umgang mit der Zuverlässigkeitsanalyse solcher Systeme herrscht. In vielen Fällen wird nicht weiter auf die Problematik eingegangen, sondern abgewartet bis eine Nachfrage von Seiten des Kunden erfolgt. Unter der Erwähnung der Problematik sind Angaben zu verstehen, die nur besagen, dass ein Produkt eine lange Lebensdauer hat, ohne Angabe von weiteren Werten oder Gründen. Bei den Zahlenwerten handelt es sich zumeist um Zeiträume, die einen sehr großen Bereich und damit auch mehrere Typen und Anwendungsgebiete abdecken sollen. Angaben zum Bezug der Werte werden bei DC-Motoren gar nicht getätigt, so dass unklar bleibt, ob

es sich z.B. um eine ausfallfreie Zeit oder eine B_{10} -Wert handelt. Alles in allem sind die Angaben damit nur begrenzt aussagekräftig und in vielen Fällen nur als grober Richtwert für mehrere Motortypen zu sehen.

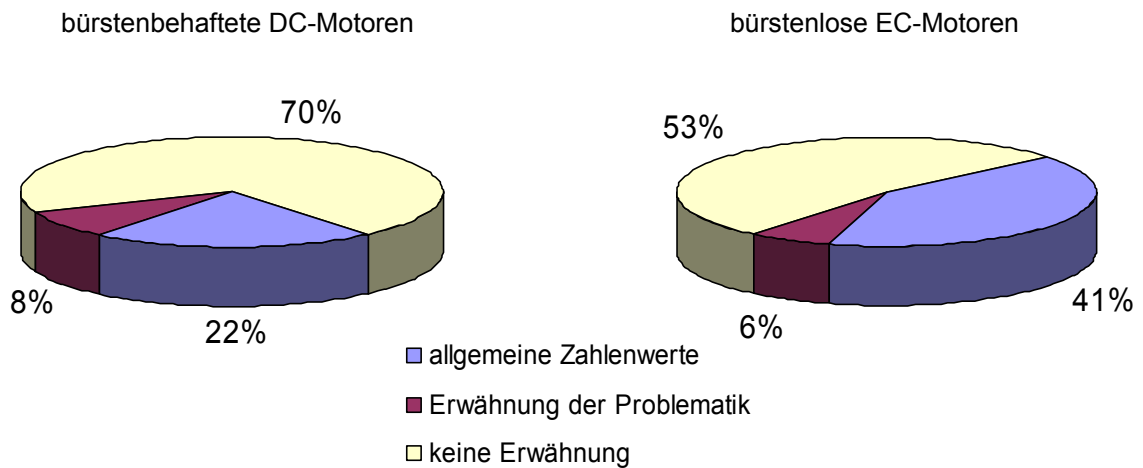


Abb. 2: Angaben zur Produktlebensdauer in Herstellerkatalogen

Bei EC-Motoren hängt die erreichbare Lebensdauer überwiegend von der Lagerbauart ab. Einige Anbieter beziehen sich auf die verbauten Kugellager und geben daher 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 Zeit interpretiert werden können.

Um aufbauend auf der Katalogrecherche detailliertere Daten zu erhalten wurden 14 der 68 Herstellerfirmen telefonisch kontaktiert. Hierbei lag der Schwerpunkt auf Herstellern von Kleinmotoren im unteren Leistungsbereich.

Ziel hierbei war herauszufinden, welchen Bezug die aufgeführten Kenndaten in den Katalogen haben (Abb. 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 reichen. Daher ist teilweise die Aussagekraft der Antworten schwer einzuschätzen.

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 für die Aussagen bei EC-Motoren verwundert es sehr, dass nicht grundsätzlich die B_{10} -Lebensdauern 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.

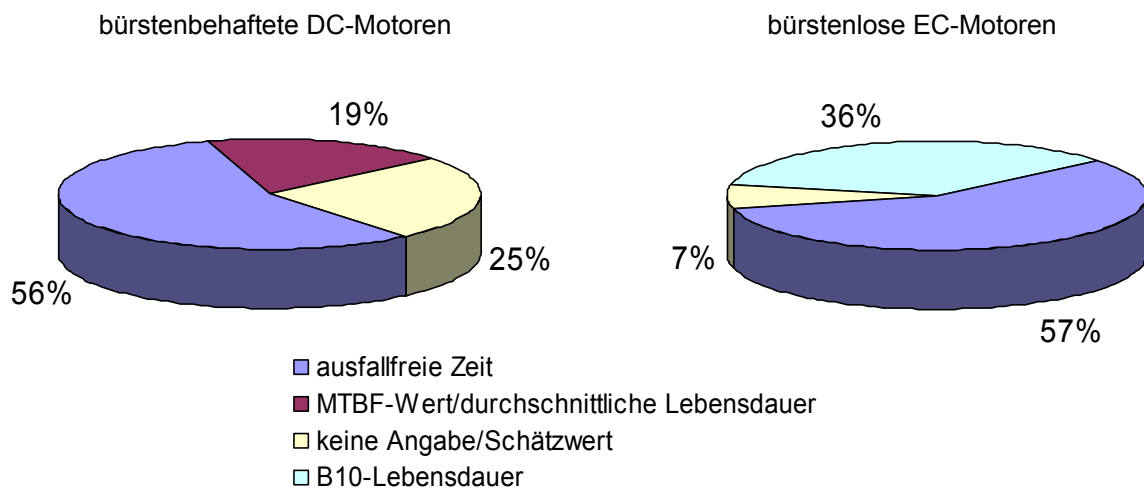


Abb. 3: Bezug der Lebensdauerangaben

Des Weiteren hat die Umfrage ergeben, dass momentan keiner der Befragten quantitative Zuverlässigkeitsmethoden in der Konzeptionsphase hinsichtlich der elektromechanischen Teilsysteme nutzt. Allenfalls kommen Festigkeits- bzw. Lagerberechnungen in frühen Phasen zum Einsatz. Ansonsten stützt sich die Entwicklung derzeit auf qualitative 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 ein reges Interesse 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 einzelner 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 ein akuter Handlungsbedarf zur Verbesserung der analytischen Lebensdauerbestimmung für Gesamtsysteme.

me, um die Produktentwicklung zu beschleunigen. Einzelne Firmen sind bereits auf diesem Gebiet tätig geworden und widmen sich dieser Problematik. Allerdings sind diese Daten meist sehr unvollständig auf Grund der hohen Produktvielfalt der einzelnen Hersteller. Da es sich um sehr sensible Daten handelt ist nahezu keine Literatur bzw. Veröffentlichung von Ergebnissen erhältlich. Ausnahmen sind /5/,/8/ und /9/.

Die komplette Recherche hat gezeigt, dass bisher durchgeführte Untersuchungen im Bereich von Elektromotoren sich 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 und es werden auch teilweise eigene Untersuchungen in den Betrieben durchgeführt, wobei die Daten nicht zugänglich sind.

Dies bestätigt die Zielstellung des Projektes, entsprechende Modelle aufzustellen und zur Ermittlung der nötigen Datenbasis eigene Prüfanlagen aufzubauen.

4 Dauerlaufprüfstände

Zur Durchführung eigener Lebensdauertests wurden institutseigene Prüfstände konzipiert und aufgebaut. Dadurch ist es momentan möglich, 80 Prüflinge parallel zu betreiben. Der Grundaufbau der Versuchstände ist zweigeteilt. Der Hauptteil beschränkt sich auf reine Elektromotoren und besitzt einen Umfang von 64 Prüfplätzen. Zur Komplettierung der Versuchsergebnisse stehen im weiteren Teil 16 Plätze für Systemuntersuchungen bestehend aus Motor, Getriebe, Encoder und Ansteuerelektronik zur Verfügung (Abb. 4).

Es ist möglich, die Prüflinge kontinuierlich, reversierend, mit einer Fahrkurve oder im Start-Stopp-Betrieb zu betreiben. Die Belastung eines jeden Motors kann individuell durch Bremssysteme eingestellt werden. Dabei werden die Motoren mit hohen Drehzahlen und kleinen Momenten über Wirbelstrombremsen belastet, da diese keine direkte Ankoppelung an die Motorwelle benötigen und somit keine unerwünschten Querkräfte auftreten. Das Bremsmoment ist über den Luftspalt zwischen Bremse und Motor frei einstellbar. Die Motor-Getriebe-Kombinationen benötigen auf Grund der hohen Momente und der geringen Drehzahlen ein alternatives Bremssystem. Die Auswahl fiel auf Hysteresebremsen. Diese arbeiten verschleißfrei und besitzen eine sehr hohe Drehmomentkonstanz über ihren gesamten Verstellbereich. Der Aufbau ist

somit in der Lage, einen Drehmomentbereich der Motoren von 0mNm - 1000mNm abzudecken.



Abb. 4: Dauerlaufprüfstand am IKFF

Während der Versuchsdurchführung werden von jedem Motor der Kommutierungsstrom, die Drehzahl, die Temperatur und die Laufzeit überwacht und die Daten permanent gespeichert. Die gesamte Prüfstandssteuerung und Datenauswertung erfolgt mit Hilfe einer selbstprogrammierten Oberfläche in LabView. Die dazu notwendige Hardware wurde ebenfalls selbst aufgebaut und in ein 19"-Rack integriert. Um möglichst konstante Randbedingungen zu erhalten, finden die Versuche in einem separaten Raum mit Klimaanlage statt. Der Betrieb rund um die Uhr stellt die optimale Ausnutzung der Einrichtung sicher. Insgesamt gewährleistet somit der Prüfstand eine sehr schnelle Anpassung an unterschiedliche Prüflinge und kann langfristig zur Ermittlung von Daten eingesetzt werden.

5 Versuchsdurchführung

Zur Beginn der Versuchsplanung wurde nach geeigneten Teststrategien gesucht, um den Versuchsaufwand zu reduzieren bzw. die Testzeit zu verkürzen. Auf Grund der geringen Vorkenntnisse bzgl. des Ausfallverhaltens von edelmetallkommutierten Motoren und der begrenzten Prüfstandskapazität macht es zu Beginn der Versuche noch keinen Sinn, zensierte Versuche durchzuführen. Nach Ablauf der ersten Versuchsreihen und dem Gewinn erster Erkenntnisse ist es jedoch durchaus denkbar, erkennbare Zusammenhänge zu nutzen, um die Dauerläufe zu optimieren.

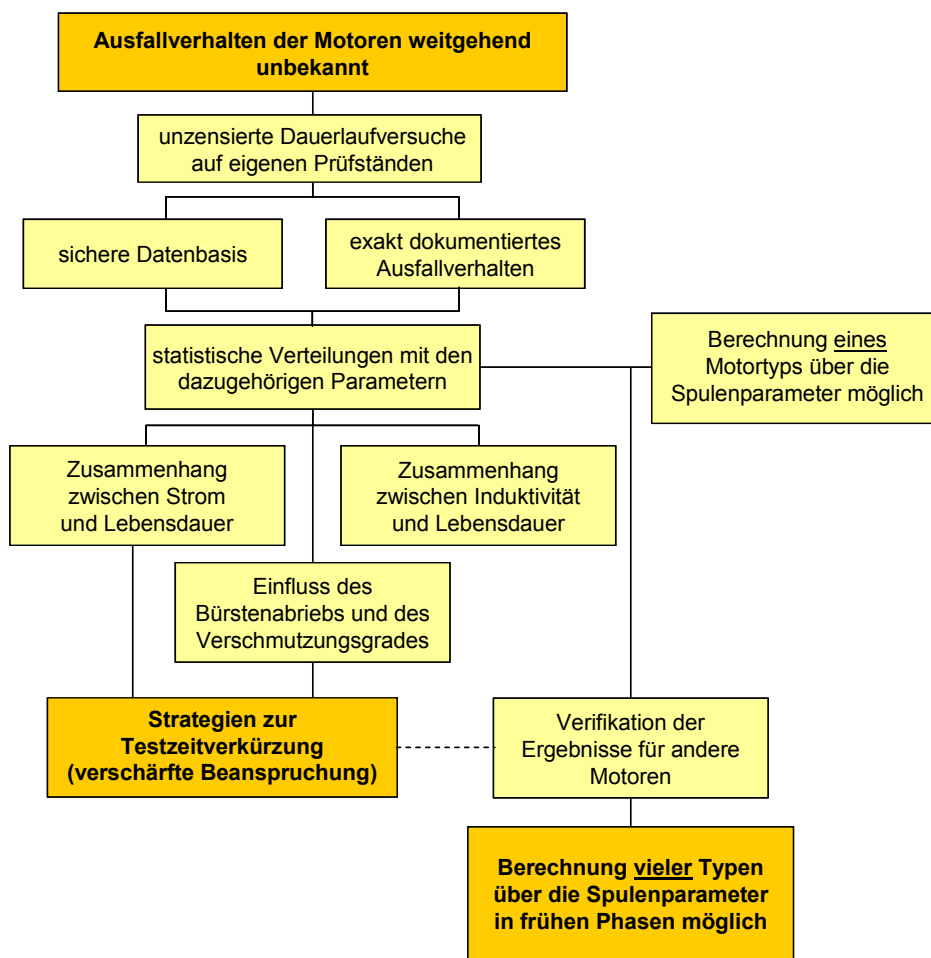


Abb. 5: Zielsetzung der Dauerversuch mit Motoren

In der ersten Projektphase werden ausschließlich Versuche mit edelmetallkommutierten Antrieben durchgeführt. Das Verhalten graphitkommutierten Motoren ist bereits besser erforscht, so dass auf vorhandene Ergebnisse zurückgegriffen werden kann. Bei EC-Motoren hat sich nach ausgiebiger Recherche gezeigt, dass lediglich die Lager lebensdauerbestimmend sind und somit die Problematik theoretisch abgehandelt

werden kann /8/. Parallel zur den Versuchen mit Schwerpunkt auf dem elektromechanischen Teilsystem werden Gesamtsystemversuche durchgeführt.

Die Zielsetzung besteht darin, die Zusammenhänge zwischen den bestimmenden Motorparametern zu ermitteln, diese in Strategien zur Testzeitverkürzung einfließen zu lassen und letztendlich schon in sehr frühen Phasen beispielsweise nur über Festlegung der Spulenparameter, eine Aussage über die Zuverlässigkeit verschiedener Konzepte treffen zu können (Abb. 5).

Belastung	150%	125%	100%	75%	50%
Motortyp 1					
12V-Ausführung (Kon.)	16 Stk.	16 Stk.	16 Stk.	16 Stk.	16 Stk.
12V-Ausführung (Rev.)			16 Stk.		
18V-Ausführung (Kon.)	16 Stk.	16 Stk.	16 Stk.	16 Stk.	16 Stk.
24V-Ausführung (Kon.)	16 Stk.	16 Stk.	16 Stk.	16 Stk.	16 Stk.
Motortyp 2					
24V-Ausführung (Kon.)	8 Stk.		8 Stk.		
System 1					
Übersetzung 1 (Rev.)			8 Stk.		
Übersetzung 2 (Rev.)			8 Stk.		
Übersetzung 3 (Rev.)			8 Stk.		
Übersetzung 4 (Rev.)			8 Stk.		
Übersetzung 5 (Rev.)			8 Stk.		

Abb. 6: Versuchsplan

In Abbildung 6 sind alle geplanten Versuche im ersten Projektabschnitt aufgeführt. Dabei werden jeweils 16 Motoren einer Spannungsklasse bei 5 verschiedenen Belastungshöhen im kontinuierlichen Dauerbetrieb getestet. Die Ergebnisse sollen dabei den Zusammenhang zwischen Kommutierungsstrom und Verschleiß liefern und den Einfluss der Auslegung auf die Lebensdauer aufzeigen, wobei stellvertretend dafür der Parameter Induktivität kennzeichnend gewertet wird. Bei den Systemversuchen werden identische Systeme, allerdings mit 5 verschiedenen Getriebeübersetzungen getestet. Der Gesamtversuchsumfang erstreckt sich damit über 312 Motoren und 40 Systeme.

6 Versuchsergebnisse

Die ersten Dauerläufe dienten zur Untersuchung des Einflusses der gewählten Betriebsart. Es wurden sowohl Motoren mit konstanter Drehrichtung als auch im Reversierbetrieb unter jeweils gleicher Last betrieben. Dabei hat sich gezeigt, dass die Belastung für das Kommutierungssystem im Dauerbetrieb deutlich höher ist. Dies ist im Wesentlichen auf das schlechtere Schmierverhalten und die konstante Bürstenpolarität zurückzuführen (Abb. 7). Zudem hat sich gezeigt, dass der Drehzahleinfluss und damit der rein mechanische Verschleiß eine untergeordnete Rolle spielt (vgl. /9/). Das dominierende Kriterium für das Lebensdauerende der Motoren ist der elektrische Verschleiß.

	Dauerbetrieb	Reversierbetrieb
Betriebsparameter	kontinuierlicher Betrieb (Rechtslauf)	Betrieb mit ständiger Richtungsumkehr (300s/3s)
Bürstenverschleiß	+Bürste verschleißt sehr stark - Bürste ohne gravierende Verschleißspuren	+ und – Bürste werden gleichmäßig stark durch den Umpolvorgang abgenutzt
Kollektorverschleiß	Verschleiß unter 5%, teilweise sehr starke Rillenbildung erkennbar	Verschleiß unter 5%, vereinzelt etwas stärker glatt geschliffen, als beim Dauerbetrieb
Fettschmierung	Schmierung wird sehr schnell verbraucht und teilweise „weggeschleudert“	Schmierung bleibt länger erhalten, Position des Fettpropfes nahezu konstant
Lebensdauer	die Lebensdauer des Motors im Reversierbetrieb liegt deutlich über der erreichbaren beim Dauerbetrieb	
Erkenntnisse	<ul style="list-style-type: none"> • der Dauerbetrieb stellt die kritischere Belastung für den Motor dar • die Anodenbürste ist auf Grund des Energieflusses einer höheren Belastung ausgesetzt • der Kollektorverschleiß unterscheidet sich nur sehr geringfügig • das Verhalten des Fettpropfes ist im Dauerbetrieb ungünstiger • die Drehzahl spielt eine untergeordnete Rolle. Der elektrische Verschleiß ist dominant. 	<ul style="list-style-type: none"> • die ständigen Anfahr- und Abbremsvorgänge scheinen keinen entscheidenden Einfluss auf die Lebensdauer zu haben • die Gefahr des Lamellenschlusses scheint auch vom Entstehungsort des Abriebs abhängig zu sein bzw. • die Lage des Fettpropfes bleibt länger stabil und kann daher mehr Schmutz binden

Abb. 7: Vergleich von kontinuierlichem mit reversierendem Betrieb

Bei Zerlegung der Prüflinge haben sich zwei Hauptursachen für das Lebensdauerende herauskristallisiert, der Lamellenschluss und der Bürstenverschleiß. Der Lamellenschluss ist dadurch gekennzeichnet, dass sich zwischen den Kollektorlamellen Abrieb anlagert, der zu Kriechströmen zwischen den einzelnen Lamellen führen kann und im schlimmsten Fall einen Kurzschluss verursacht, der damit zum Ausfall des Motors führt (Abb. 8). Durch die lokale Überhitzung, bedingt durch den Kurzschlussstrom, kann es zu einer starken Deformation des Kollektors kommen. Der Bürstenab-

rieb hingegen beschreibt den Verschleiß der einzelnen Bürstenfinger. Ist die gesamte Lauffläche der Bürste verschliffen, so dass die Lamellen auf dem Trägermaterial laufen, spricht man von Bürstenverschleiß. Bei den bisher untersuchten Motoren wurden die Ausfälle überwiegend durch Lamellenschluss hervorgerufen.

Bei Auswertung der ausgefallenen Motoren wird der Kommutator sehr gründlich untersucht, so dass der Verschleiß jedes Bürstenfingers separat ermittelt wird, um das genaue Verschleißverhalten zu ermitteln. In einem ersten Ansatz konnten die gewonnenen Erkenntnisse in ein mathematisches Modell umgesetzt werden. Dieses Modell ist jedoch noch nicht verifiziert, da der Abschluss weiterer Versuche zu diesem Zeitpunkt noch aussteht.

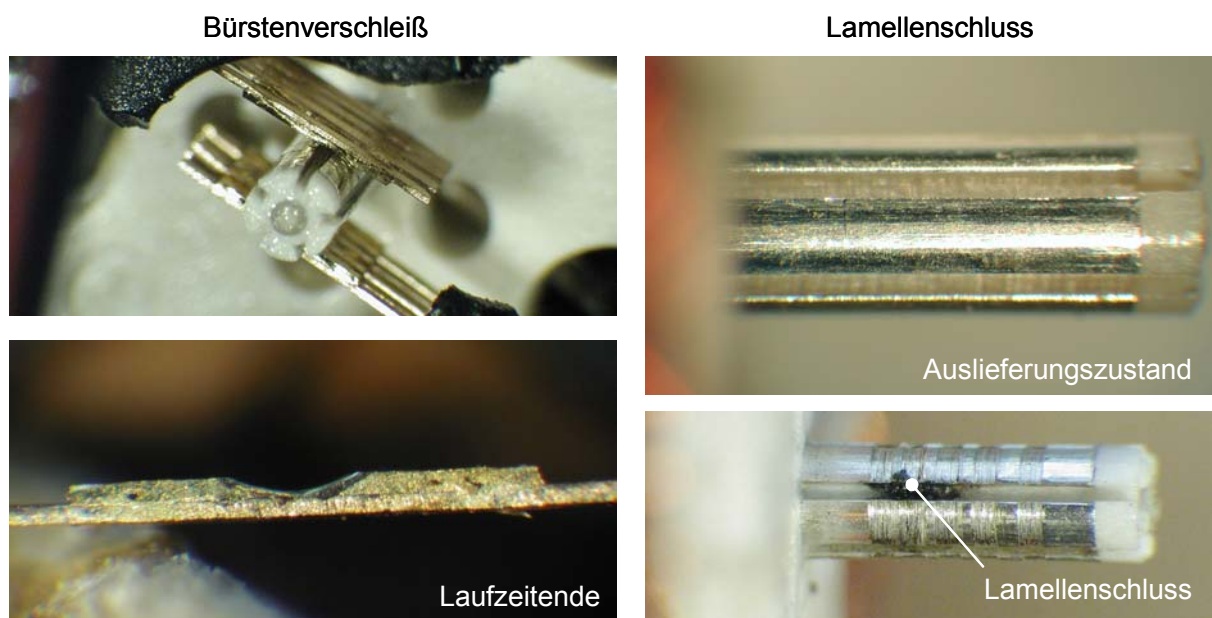


Abb. 8: Ausfallursachen des elektromechanischen Teilsystems

Die Untersuchungsergebnisse der Gesamtsysteme haben gezeigt, dass die Getriebe mit Kunststoffzahnradern die höchstbelastete Baugruppe darstellen und somit das Ausfallverhalten des Systems bestimmen. Auf Grund der bisher noch geringen Anzahl an Prüflingen wird an dieser Stelle noch nicht näher auf weitere Ausfallursachen und die exakten Ausfallmechanismen eingegangen.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Literaturrecherche am Anfang des Projekts hat gezeigt, dass keine Berechnungsmodelle für die Zuverlässigkeitsvorhersage in frühen Phasen vorhanden sind. Die durchgeführten Versuche können durch vorhandene Methoden momentan nicht

analytisch abgebildet werden. In der Praxis kommen zur Ermittlung der Produktzuverlässigkeit ausschließlich Lebensdauerests in späten Phasen zum Einsatz.

Um eine zuverlässige Datenbasis zur Ableitung mathematischer Zusammenhänge zu erhalten, wurden institutseigene Dauerlaufeinrichtungen aufgebaut, so dass nun die notwendigen Untersuchungen durchgeführt werden können. Zudem wurden bereits die Hauptausfallursachen und Einflussparameter identifiziert. Erste Versuchsergebnisse und Erkenntnisse liegen vor.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen, wird das restliche Versuchsprogramm durchgeführt. Durch die neu dazu gewonnenen Informationen soll das mathematische Modell verfeinert und verifiziert werden. Mit Hilfe der ermittelten Zusammenhänge wird dann am Beispiel der Motorentwicklung der Einsatz in frühen Phasen dargestellt und ein entsprechender Vergleich zwischen Versuch und Berechnung vorgenommen. Im Optimalfall sollte es nach Beendigung dieser ersten Versuchsserie möglich sein, anhand von groben Randbedingungen am Anfang des Entwicklungsprozesses quantitative Aussagen zur Produktzuverlässigkeit machen zu können.

8 Literaturverzeichnis

- /1/ Kallenbach, E.; Stölting, H.-D.: Handbuch Elektrische Kleinantriebe, 2. Auflage. Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag 2002.
- /2/ Schinköthe, W.: Skript Aktorik in der Feinwerktechnik. Universität Stuttgart, IKFF, Stuttgart 2004.
- /3/ Bertsche, B.; Lechner, G.: Zuverlässigkeit im Fahrzeug- und Maschinenbau. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 2004.
- /4/ Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA): Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie: Zuverlässigkeitssicherung bei Automobilherstellern und Lieferanten. Teil 2, 3. überarbeitete und erweiterte Auflage, Frankfurt: VDA-QMC, 2000.
- /5/ Meyna, A.: Experimentelle und theoretische Untersuchung der technischen Zuverlässigkeit von Elektronikmotoren. Dissertation, TU Berlin 1976.
- /6/ Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co.KG: Antriebssysteme. Firmenkatalog, Schön-aich, 2004.
- /7/ Maxon Motor GmbH: maxon 2004. Firmenkatalog, München, 2004.
- /8/ Volkmann, W.: Kohlebürsten, Untersuchungsergebnisse, Erfahrungen, Empfehlungen. Schunk & Ede GmbH. Gießen, 1980.

- /9/ Halmai, A.; Huba, A.: Die Vorteile der Axial-Magnetfeld Gleichstrom-Kleinstmotoren. IWK 43, TU Ilmenau, 1998. Band IV. Vortragsreihen S. 511-516.

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