

Universität Stuttgart

Jahresbericht IKFF 2011

Institut für Konstruktion und
Fertigung in der Feinwerktechnik



Herausgeber und Verlag:

Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik
Pfaffenwaldring 9
70550 Stuttgart

Tel.: 0711 685-66402

Fax: 0711 685-56402

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe

Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik, Februar 2012

1 DAS INSTITUT

- 1.1 Mitarbeiter
- 1.2 Jahresrückblick
- 1.3 Wissenschaftliche Arbeitsgebiete

2 LEHRVERANSTALTUNGEN

- 2.1 Vorlesungen und Übungen für Vordiplom und Bachelor
- 2.2 Vorlesungen und Übungen für Hauptdiplom und Master
- 2.3 Prüfungen
- 2.4 Praktika
- 2.5 Projektarbeiten
- 2.6 Seminar Feinwerktechnik

3 WISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN, STUDIEN- UND DIPLOMARBEITEN

- 3.1 Dissertationen
- 3.2 Diplomarbeiten am IKFF
- 3.3 Bachelorarbeiten am IKFF
- 3.4 Studienarbeiten am IKFF

4 ARBEITSGEBIETE DER WISSENSCHAFTLICHEN MITARBEITER

- 4.1 Aktorik
- 4.2 Spritzgießen
- 4.3 Zuverlässigkeitstechnik

5 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

- 5.1 Veröffentlichungen
- 5.2 Doktorandenkolloquien
- 5.3 Gremienarbeit
- 5.4 Tag der offenen Tür

6 KONGRESSE, TAGUNGEN UND MESSEN

7 WERKSTATTBERICHT

8 ANHANG - Ausgewählte Veröffentlichungen

1 DAS INSTITUT

1.1 Mitarbeiter

Institutsleitung:

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe

Emeritus:

Prof. Dipl.-Ing. Artur Jung

Sekretariat:

Ulrike Ortner

Kornelia Wanner

Unbefristeter wissenschaftlicher Mitarbeiter:

Akademischer Oberrat: Dipl.-Ing. Eberhard Burkard

Befristete wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dipl.-Ing. Sebastian Bobrowski

Dipl.-Ing. Matthias Engel (Graduate Student der GSaME)

Dipl.-Ing. Bastian Keller

Dipl.-Ing. Matthias Maier

Dipl.-Ing. Frank Mochel

Dipl.-Ing. Minh Nguyen (Graduate Student der GSaME)

Dipl.-Ing. Benjamin Reutzsch

Dipl.-Ing. Gregor Schattka

Dipl.-Ing. Matthias Ulmer

Dipl.-Ing. Till Zimmermann

Modellbau und Versuchswerkstatt:

Ralf Berwanger

Stefan Schneider

Wissenschaftliche Hilfskräfte:

Daniel Horneff

Thien Pham

Benjamin Janny

Zohaib Riaz

Thomas Litwin

Thomas Szasz

Andreas Maucher

1.2 Jahresrückblick

Personalia

Im Jahr 2011 wechselten Herr Dipl.-Ing. Mochel und Herr Dipl.-Ing. Zimmermann planmäßig in die Industrie. Als Nachfolger auf dem Gebiet Spritzgießen wurde Herr Dipl.-Ing. Schattka eingestellt. Eine Haushaltsstelle ist noch nicht wiederbesetzt (Stellenbesetzungssperre).

Aktivitäten in der Lehre

Ab Oktober 2011 begannen im Maschinenbau die Masterstudiengänge, unter anderem auch der Masterstudiengang Maschinenbau/ Mikrotechnik, Gerätetechnik und Technische Optik (Studiendekan Prof. Schinköthe, Studiengangsmanager Herr Burkard). Allerdings sind bisher nur vergleichsweise wenige Bachelor planmäßig nach 6 Semestern in einen Master übergetreten. Der Zuspruch ist noch sehr bescheiden. Generell haben alle spezialisierten Master leider noch Probleme. Aus unserer Sicht ist ein weiterführender Masterstudiengang für die Studierenden allerdings zwingend nötig, denn nach drei Jahren ist ein Gymnasiast noch kein Diplomingenieur.

Die Anfängerzahlen aller maschinenbaulichen Studiengänge der Universität Stuttgart (ohne Luft- und Raumfahrttechnik) sind nach ca. 850 Studierenden in 2009 und 1100 im Jahr 2010 nun auf ca. 1200 Studierende gestiegen. Im Studiengang Maschinenwesen selbst bewegen sich die Anfängerzahlen bei 370 (mit 1350 Bewerbern bei rund 880 ausgesprochenen Zulassungen). Hinzu kommen noch insgesamt ca. 290 Masterstudierende in allen Mastern der Fakultät.

Insgesamt liegen die regulären Anfängerzahlen aller maschinenbaulichen und verwandten Studiengänge der Universität Stuttgart (ohne Luft- und Raumfahrttechnik) derzeit aber schon bei ca. 1100 Studierenden gegenüber 850 im letzten Jahr, da immer mehr Bachelorstudiengänge hinzukommen (Erneuerbare Energien, Medizintechnik). Die Bachelorstudiengänge sind weitgehend ausgelastet, inklusive freiwilliger Überlast der Fakultät.

In der Konstruktionslehre Feinwerktechnik hatten wir bis zum Sommer 83 Studierende zu betreuen, im Wintersemester sind es 76. Die Bachelor-Lehrveranstaltungen konzentrierten sich nach wie vor auf die Fächer Konstruktionslehre Feinwerktechnik III und IV im dritten und vierten Semester als Wahlmöglichkeit für die beiden Bachelorstudiengänge Maschinenbau sowie Fahrzeug- und Motorentechnik. Ein Highlight ist dabei immer wieder der Konstruktionswettbewerb, auf den weiter hinten noch eingegangen wird.

Im Hauptfach laufen die Diplomstudiengänge langsam aus und die Master beginnen zu greifen. Derzeit belegen 22 Studierende das Fach "Gerätekonstruktion und -fertigung in der Feinwerktechnik -" als Pflicht- oder Kernfach. 9 Studierende belegen das Kernfach „Aktorik“. Im vergangenen Jahr hatten wir zudem mit ca. 20 Studien- und Diplomarbeiten wieder einen enormen Zuspruch in diesem Bereich.

Die Lehrveranstaltungen des Hauptdiploms konzentrieren sich auf die beiden Schwerpunkte Gerätekonstruktion als methodisch orientierte Linie und feinwerktechnische Aktorik als konkret forschungs- und entwicklungsorientierte Linie, ergänzt durch die Lehrveranstaltungen Praxis des Spritzgießens und Praktische FEM-Simulation mit ANSYS und MAXWELL.

Die Vorlesung „Gerätekonstruktion und -fertigung in der Feinwerktechnik“ behandelt Grundlagen der Entwicklung und Konstruktion feinwerktechnischer Geräte bzw. Systeme. Den Schwerpunkt bilden Themenkreise wie zuverlässigkeits- und sicherheitsgerechte Konstruktion, Genauigkeit, Fehlverhalten und Toleranzrechnung in der Präzisionsgerätetechnik, Lärminderung in der Gerätetechnik sowie Beziehungen zwischen Gerät und Umwelt. Eingeschlossen in die Lehrveranstaltung sind neuerdings drei praktische Bestandteile, zur Einführung in die Koordinatenmesstechnik, zur Zuverlässigkeit und zur Geräuschmessung und Lärminderung.

Die Vorlesung „Aktorik in der Feinwerktechnik - Konstruktion, Berechnung und Anwendung mechatronischer Komponenten“ beleuchtet dagegen ausgewählte Aspekte der Entwicklung und Konstruktion mechatronischer Komponenten und Systeme der Feinwerktechnik. Behandelt werden feinwerktechnische Antriebssysteme unterschiedlichster Wirkprinzipien. Den Schwerpunkt bilden elektromagnetische und elektrodynamische Stelltechnik, piezoelektrische und magnetostruktive Stelltechnik, Magnettechnik und -technologie sowie Beispiele zur Realisierung mechatronischer Lösungen in der Feinwerktechnik.

Unsere Lehrveranstaltung „Praktische FEM-Simulation mit ANSYS und MAXWELL“ wurde wieder sehr gut angenommen und ist gut ausgelastet. Auch unsere

Lehrveranstaltung „Praxis des Spritzgießens in der Gerätetechnik; Verfahren, Prozesskette, Simulation“ fand 2011, wenn auch mit kleiner Teilnehmerzahl, wieder erfolgreich statt. Diese Vorlesung wird ab SS 2012 auf den doppelten Umfang (4 SWS) ausgeweitet und den gesamten Komplex Spritzgießen beinhalten.

Die Hauptfachpraktika Ultraschallantriebe, Lineardirektantriebe, Schrittmotoren, Gleichstrommotoren, Koordinatenmesstechnik, FEM-Berechnung mit ANSYS sowie MAXWELL, Spritzgießen inklusive Spritzgieß-Simulation mit Moldflow und Rasterelektronenmikroskopie sind in die Lehrveranstaltungen einbezogen. Mit diesen insgesamt 8 Praktika wurde das Angebot zum praktischen Arbeiten für die Studierenden erheblich erweitert. Die Ausstattung einiger Praktikumsversuche haben deutlich von den Studiengebühren profitiert.

Die Absolventen fanden auch 2011 problemlos ihren Einstieg in die Industrie.

Aktivitäten in der Forschung

Die Entwicklung alternativer Antriebssysteme für die Feinwerktechnik auf der Basis elektrodynamischer Kraftwirkung (elektrodynamische Linearmotoren) bzw. von Festkörpereffekten steht nach wie vor im Mittelpunkt des Arbeitsgebiets **Aktorik**.

Als Schwerpunkt in der Nutzung elektrodynamischer Antriebsprinzipien wurden 2011 Untersuchungen zum thermischen Verhalten derartiger Antriebe vertieft und Arbeiten zu magnetischen Führungen begonnen und dazu auch erste patentwürdige Ergebnisse erzielt. Das Antriebslabor Linearantriebe wurde neu ausgestattet und attraktiv gestaltet.

Die Forschungen zur Entwicklung von neuartigen Direktantrieben mit piezoelektrischen Antrieben wurden 2011 ebenfalls fortgeführt und mündeten in einer Patentanmeldung dazu. Hier bildet neben der Motorentwicklung und durchgängigen Motorberechnung bzw. -simulation die Realisierung von Ansteuerung und Regelung über eine dSPACE-Entwicklungsumgebung einen Schwerpunkt. Beide Antriebslinien ergänzen und befruchten sich dadurch.

Das Thema **Spritzgießtechnologie** in der Feinwerktechnik bildet einen weiteren Stützpfeiler des Instituts. Nach wie vor werden am IKFF die Entformungskräfte beim Spritzgießen in Abhängigkeit von Oberflächenrauheit und Beschichtung sowie vom eingesetzten Kunststoff untersucht und spezielle Werkstoffe und Beschichtungen für Firmen getestet. Dazu wurde ein ZIM-Projekt gestartet und zwei Patente angemeldet.

Im Jahre 2011 wurden darüber hinaus die Arbeiten zur variothermen Prozessführung mit integrierten Induktoren und Impulskühlung weiterbetrieben. Ergebnisse dazu sind mehrfach veröffentlicht. Auch hierzu wurden drei ZIM-Projekte gestartet, die der breiten Überführung dieser Erkenntnisse dienen.

Im Arbeitsgebiet **Zuverlässigkeit feinwerktechnischer Antriebe** stehen derzeit Dauerversuche zur Ermittlung der Ausfalldaten vorzugsweise an Kleingetrieben im Mittelpunkt. Dazu wurde ein gemeinsames DFG-Projekt im Normalverfahren zusammen mit der Universität Hohenheim beantragt, die Genehmigung lässt immer noch auf sich warten.

Generell werden dabei am Institut neben oder innerhalb dieser Forschungsarbeiten auch eine Vielzahl von Industrieprojekten realisiert.

1.3 Wissenschaftliche Arbeitsgebiete

Im Institut werden vier Forschungsschwerpunkte bearbeitet:

Im Arbeitsgebiet **Aktorik** stehen feinwerktechnische Direktantriebe, vorzugsweise für lineare Antriebsbewegungen, im Mittelpunkt. Einen Schwerpunkt bilden elektrodynamische Linearantriebe, deren Berechnung und Simulation. Zusätzlich wurden die Aktivitäten auch auf die Entwicklung von Luftführungen und magnetische Schwebeführungen für Linearantriebe erweitert. Neben den elektrodynamischen Systemen bilden piezoelektrische Antriebe einen zweiten Arbeitsschwerpunkt.

Im Arbeitsgebiet **Präzisionsspritzguss** steht die Abformung von Präzisionsbauteilen mit sehr feinen, genauen Strukturen durch Spritzgießen im Vordergrund. Dabei wird neben der Bauteilkonstruktion und dem Formenbau insbesondere der Formfüllvorgang sowohl theoretisch simuliert als auch praktisch an zwei Spritzgießautomaten untersucht. Maßnahmen zur Verbesserung des Füllvorgangs, wie die variotherme Prozessführung durch induktive Formtemperierung, sowie die Erfassung von Entformungskräften bilden gegenwärtig die Arbeitsschwerpunkte. Neuerdings kamen auch Aktivitäten zum Magnetspritzgießen hinzu.

Im Arbeitsgebiet **optische und mechanische Sensorik** standen bisher insbesondere die Verfahren zur integrierten Wegsignalerfassung in elektrodynamischen Linearmotoren mit bewegten Magneten oder auch bewegten Spulen im Mittelpunkt der Arbeiten.

Übergreifend bildet produktbezogene **Konstruktionsmethodik** in der Feinwerktechnik ein viertes Arbeitsgebiet. Schwerpunkte sind hier die konstruktive Gestaltung, die Berechnung von Systemen und die Simulation mit FEM. Dazu zählen auch Magnetfeldberechnungen sowie thermische Berechnungen für Linearantriebe oder die FEM-Analyse von piezoelektrischen Antrieben.

Auch das Arbeitsgebiet **Zuverlässigkeit feinwerktechnischer Antriebe** lässt sich in diesen Problemkreis einordnen. Hier arbeitet das Institut auf dem Gebiet der Zuverlässigkeit von elektromechanischen/mechatronischen Systemen am Beispiel feinwerktechnischer Antriebe/Aktorik. Dadurch wurde Kompetenz in der Zuverlässigkeitstechnik, speziell zur Zuverlässigkeit feinwerktechnischer Antriebe aufgebaut. Dies betrifft sowohl die elektromechanischen als auch die mechanischen Komponenten derartiger Antriebe.

Im Detail werden folgende Inhalte bearbeitet:

Feinwerktechnische Aktorik

- Entwicklung alternativer Antriebssysteme für die Feinwerktechnik auf der Basis elektrodynamischer Kraftwirkung bzw. von Festkörpereffekten (elektrodynamische Linearmotoren, Piezomotoren).
- Berechnung derartiger Antriebe und Simulation ihres dynamischen Verhaltens.
- Erarbeitung geeigneter Unterstützungsmittel und Methoden zur Entwicklung derartiger Antriebssysteme.
- Entwicklung von Luftführungen und magnetischen Schwebeführungen für Linearantriebe.

Präzisions-Spritzgießtechnologie

- Herstellung von Präzisionsbauteilen und feinen Strukturen bis hin zur Verbindung mit mikromechanischen Bauelementen.
- Ermittlung von Entformungskräften beim Spritzgießen in Abhängigkeit von Oberflächenrauheit und Beschichtung sowie vom eingesetzten Kunststoff.
- Untersuchung spezieller Werkstoffe und Beschichtungen im Werkzeugbau.
- Dynamische Formtemperierung durch induktive Beheizung mit externem oder internem Induktor zur Verbesserung des Formfüllverhaltens, insbesondere im Hinblick auf die Abformung mikrotechnischer Strukturen.
- Magnetspritzgießen.

Theorie des Konstruktionsprozesses

- Produktbezogene Konstruktionsmethoden in der Feinwerktechnik.
- Konstruktive Gestaltung unter Nutzung von 2D- und 3D-CAD.

- Simulation mit FEM, beispielsweise des Formfüllvorgangs beim Spritzgießen.
- Gekoppelte Feldberechnungen, beispielsweise elektromagnetisch, elektromagnetisch-thermisch, piezoelektrisch-dynamisch.

Zuverlässigkeit feinwerktechnischer Antriebe

- Übertragung und Verifizierung bekannter Zuverlässigkeitstechniken auf feinwerktechnische mechatronische Baugruppen, Antriebe und Aktorik.
- Datensammlung.
- Experimentelle Untersuchungen, Aufbau von Dauerlauf-Versuchsständen für Kleinstmotoren und Getriebe.
- Erarbeitung von Ansätzen für die Ermittlung der Systemzuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen (Konzeptphase).

2 LEHRVERANSTALTUNGEN

2.1 Vorlesungen und Übungen für Vordiplom und Bachelor

Konstruktionslehre III (Feinwerktechnik) (Schinköthe, Burkard)

Wintersemester 2010/2011: 83 Studenten (mach + famo)

Wintersemester 2011/2012: 76 Studenten (mach + famo)

14 Vorlesungen à 2 SWS

15 Vorlesungen à 1 SWS

15 Übungen à 2 SWS

Betreuer: Bobrowski, Burkard, Keller, Reutzsch, Ulmer

Konstruktionslehre IV (Feinwerktechnik) (Schinköthe, Burkard)

Sommersemester 2011: 83 Studenten (mach + famo)

13 Vorlesungen à 2 SWS

12 Vorlesungen à 1 SWS

12 Übungen à 2 SWS

Betreuer: Bobrowski, Burkard, Keller, Mochel, Reutzsch, Ulmer

2.2 Vorlesungen und Übungen für Hauptdiplom und Master

Gerätekonstruktion und -fertigung in der Feinwerktechnik, ehemals Grundlagen der Feinwerktechnik, Gerätekonstruktion und -fertigung (Schinköthe, Burkard, Bobrowski)

Wintersemester 2010/2011: 14 Studenten

Wintersemester 2011/2012: 22 Studenten

19 Vorlesungen à 2 SWS

8 Übungen à 2 SWS

Betreuer: Burkard, Bobrowski, Engel, Reutzsch

Aktorik in der Feinwerktechnik - Berechnung, Konstruktion und Anwendung mechatronischer Komponenten (Schinköthe)

Wintersemester 2010/2011: 8 Studenten
 Wintersemester 2011/2012: 9 Studenten
 14 Vorlesungen à 2 SWS

Sommersemester 2011: 4 Studenten
 5 Vorlesungen à 2 SWS
 8 Übungen à 2 SWS
 Betreuer: Ulmer, Keller, Reutzsch

Praktische FEM-Simulation mit ANSYS und MAXWELL (Ulmer, Nguyen, Reutzsch)

Sommersemester 2011: 10 Studenten
 10 Vorlesungen à 2 SWS
 10 Übungen à 2 SWS
 Betreuer: Ulmer, Nguyen, Reutzsch

Praxis des Spritzgießens in der Gerätetechnik; Verfahren, Prozesskette, Simulation

(Schinköthe/Burkard)

Sommersemester 2011: 4 Studenten
 6 Vorlesungen à 2 SWS
 5 Übungen à 2 SWS
 Betreuer: Burkard, Zimmermann

Projektarbeiten für alle Studierenden der Maschinenbau fakultäten

Wintersemester 2010/2011: 24 Studenten
 6 Gruppen mit jeweils 4 Studierenden
 Wintersemester 2011/2012: 20 Studenten
 5 Gruppen mit jeweils 3-5 Studierenden

2.3 Prüfungen

Fach	Termin	Kandidaten
KL III + IV (Feinwerktechnik)	F 2011	12
	H 2011	77
Gerätekonstruktion und -fertigung in der Feinwerktechnik (Pflichtfach, schriftlich)	F 2011	6
	H 2011	2
Gerätekonstruktion und -fertigung in der Feinwerktechnik (Kernfach, mündlich)	F 2011	7
	H 2011	5
Aktorik in der Feinwerktechnik - Berechnung, Konstruktion und Anwendung mechatronischer Komponenten (Kernfach, mündlich)	F 2011	3
	H 2011	3
Praxis des Spritzgießens in der Gerätetechnik; Verfahren, Prozesskette, Simulation	H 2011	2
Praktische FEM Simulation mit ANSYS und MAXWELL	H 2011	4
Hauptfach Feinwerktechnik	2011	10
Studienarbeit Feinwerktechnik	2011	10
Diplomarbeiten/Bachelorarbeiten	2011	11

2.4 Praktika

Hauptfachpraktikum Feinwerktechnik

(Für Studierende des Hauptfachs Feinwerktechnik)

Sommersemester 2011

Versuch 1: „Gleichstrommotoren“

5 Teilnehmer 2 Termine

Betreuer: Engel, Bobrowski

Versuch 2: „Spritzgießen“

4 Teilnehmer 1 Termin

Betreuer: Maier, Zimmermann

Versuch 3: „FEM-Simulation mit ANSYS/MAXWELL“

10 Teilnehmer 5 Termine

Betreuer: Ulmer, Nguyen, Reutzsch

Versuch 4: „Lineardirektantriebe“

4 Teilnehmer 1 Termin

Betreuer: Ulmer, Reutzsch

Versuch 5: „Ultraschallantriebe“

3 Teilnehmer 1 Termin

Betreuer: Keller

Wintersemester 2011/2012

Versuch 1: „Koordinatenmesstechnik“

17 Teilnehmer 4 Termine

Betreuer: Burkard

Versuch 2:	„Koordinatenmesstechnik“ (vorlesungsbegleitendes Praktikum)
11 Teilnehmer	2 Termine
Betreuer: Burkard	

Allgemeines Praktikum Maschinenbau (APMB)
(Für Studierende im zweiten Studienabschnitt Maschinenbau)

Wintersemester 2011/2012

Versuch 1:	„Schrittmotoren“
9 Teilnehmer	2 Termine
Betreuer: Reutzsch, Mochel	

Versuch 2:	„Koordinatenmesstechnik“
17 Teilnehmer	4 Termine
Betreuer: Burkard	

**Praktika im Rahmen des Kompetenzfeldes Gerätekonstruktion und -fertigung
in der Feinwerktechnik**

Versuch 1:	„Einführung in die 3D-Messtechnik“
17 Teilnehmer	2 Termine
Betreuer: Burkard	

Versuch 2:	„Zuverlässigkeitsuntersuchung und Lebensdauerests“
17 Teilnehmer	2 Termine
Betreuer: Bobrowski	

Versuch 3:	„Einführung in die Geräuschmesstechnik und Lärminderung“
17 Teilnehmer	1 Termin
Betreuer: Engel, Reutzsch	

2.5 Projektarbeiten

27.01.2011	Entwicklung von Konzepten zur Kühlung von Lineardirektantrieben
27.01.2011	Konstruktion von Koppelgetrieben zur beidseitigen Positionierung von Induktionsspulen in Spritzgusswerkzeugen
27.01.2011	Konstruktion von Spritzgießwerkzeugen für Demonstratorteile für den Tag der Wissenschaft
03.02.2011	Entwicklung/Hardwareaufbauten für eine Vorrichtung zur automatischen Vermessung von feinwerktechnischen Kunststoffzahnradern
03.02.2011	Untersuchungen des Einflusses von Mikroverteilerkanälen und porösen Materialien zur Stabilisierung aerostatischer Führungen
03.02.2011	Funktionsanalyse eines modernen feinwerktechnischen Gerätes aus der Unterhaltungselektronik

2.6 Seminar Feinwerktechnik

20.01.2011	Burkart, Fabian	Thermische Analyse eines eisenlosen Lineardirektantriebs mit MAXWELL und ANSYS
------------	-----------------	--

20.01.2011	Kett, Jannik	Aufbau einer Motorregelung mit dSPACE und MATLAB/Simulink zur Untersuchung von rastkraftbehafteten Lineardirektantrieben
10.02.2011	Kasum, Mathias	Simulative Untersuchung des thermischen Verhaltens in Spulenwicklungen
07.04.2011	Choubani, Hamdi	Entwicklung einer Vorrichtung zur automatischen Vermessung von feinwerktechnischen Kunststoffzahnradern
12.05.2011	Schattka, Gregor	Konstruktion eines Spritzgießwerkzeugs für einen Spulenkörper
22.06.2011	Nägele, Christian	Aufbau eines Prüfstands zur automatisierten Erfassung der statischen und dynamischen Eigenschaften aerostatischer Führungen
22.06.2011	Janny, Benedikt	Aufbau eines aerostatisch geführten Mehrkoordinatenantriebs mit passivem Läufer
20.09.2011	Hertwig, Michael	Umbau/Konstruktion von mechanischen Dauerlaufprüfständen für feinwerktechnische Antriebe
20.09.2011	Landecker, Felix	Optimierung einer Vorrichtung zur automatischen Vermessung von feinwerktechnischen Kunststoffzahnradern
20.09.2011	Hadiani Kapourchali, Arsham	Entwicklung von Routinen zur Prüfstandsdatenauswertung
27.09.2011	Fuhrer Christopher	Analytische und experimentelle Untersuchung von Kühlkonzepten an einem eisenbehafteten Flachspulmotor

27.10.2011	Keilbach, Daniel	Experimentelle Ermittlung von Temperaturverteilungen in Spulen aus Backlackdraht
17.11.2011	Lutz, Christian	Erweiterung der automatischen Datenerfassung von Impedanzanalytoren mit Labview
17.11.2011	Wälder, Jonas	Konstruktion eines Spritzgießwerkzeugs mit externer induktiver Temperierung und wechselbaren Kavitätseinsätzen
01.12.2011	Rähtz, Christian	Aufbau und Implementierung einer Regelungsstruktur für einen magnetisch geführten Schweißantrieb
01.12.2011	Dietz, Nina	Konstruktion eines Prüfkörpers für die Überprüfung von 3D-Messgeräten und Konzeption eines Praktikumsversuchs mit diesem Prüfkörper

3 WISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN, STUDIEN- UND DIPLOMARBEITEN

3.1 Dissertationen

Zülch, Michael	Temperierung von Spritzgusswerkzeugen durch vollständig integrierte induktive Beheizung IKFF, Institutsbericht Nr. 33, 2011
Joerges, Philipp	Rastkräfte und ihre Auswirkungen auf die Positioniergenauigkeit und die Dynamik in Lineardirektantrieben IKFF, Institutsbericht Nr. 34, 2011
Zimmermann, Till	Auslegung und Konstruktion von Spritzgusswerkzeugen mit induktiver Temperierung IKFF, Institutsbericht Nr. 35, 2011

3.2 Diplomarbeiten am IKFF

02/2011	Kasum, Mathias	Simulative Untersuchung des thermischen Verhaltens in Spulenwicklungen
02/2011	Wang, Jing	Montageautomat für Kabelverschraubungen
05/2011	Horneff, Daniel	Aufbau einer frequenzgeregelten Steuerelektronik für mehrphasige Ultraschallmotoren
09/2011	Burkart, Fabian	Konzeptionierung der Kühler/Zellen-Schnittstelle für ein Batteriemodul auf Basis prismatischer Lithiumionenzellen

10/2011	Reiter, Diana	Modellbildung zur thermo-hydraulischen System-simulation für ein NKW-Automatikgetriebe
12/2011	Keck, Alexander	Pulse control for swim training

3.3 Bachelorarbeiten am IKFF

09/2011	Fuhrer, Christopher	Analytische und experimentelle Untersuchung von Kühlkonzepten an einem eisenbehafteten Flachspulmotor
10/2011	Keilbach, Daniel	Experimentelle Ermittlung von Temperaturverteilungen in Spulen aus Backlackdraht
10/2011	Wälder, Jonas	Konstruktion eines Spritzgießwerkzeugs mit externer induktiver Temperierung und wechselbaren Kavitätseinsätzen
11/2011	Dietz, Nina	Konstruktion eines Prüfkörpers für die Überprüfung von 3D-Messgeräten und Konzeption eines Praktikumsversuchs mit diesem Prüfkörper
11/2011	Lutz, Christian	Erweiterung der automatischen Datenerfassung von Impedanzanalyatoren mit Labview

3.4 Studienarbeiten am IKFF

01/2011	Kett, Jannik	Aufbau einer Motorregelung mit dSPACE und MATLAB/Simulink zur Untersuchung von rastkraftbehafteten Lineardirektantrieben
02/2011	Burkart, Fabian	Thermische Analyse eines eisenlosen Lineardirektantriebs mit MAXWELL und ANSYS

05/2011	Schattka, Gregor	Konstruktion eines Spritzgießwerkzeugs für einen Spulenkörper
06/2011	Choubani, Hamdi	Entwicklung einer Vorrichtung zur automatischen Vermessung feinwerktechnischer Kunststoffzahnräder
07/2011	Nägele, Christian	Aufbau eines Prüfstands zur automatisierten Erfassung der statischen und dynamischen Eigenschaften aerostatischer Führungen
07/2011	Janny, Benedikt	Aufbau eines aerostatisch geführten Mehrkoordinatenantriebs mit passivem Läufer
09/2011	Hertwig, Michael	Umbau/Konstruktion von mechanischen Dauerlaufprüfständen für feinwerktechnische Antriebe
10/2011	Landecker, Felix	Optimierung einer Vorrichtung zur automatischen Vermessung von feinwerktechnischen Kunststoffzahnradern
10/2011	Hadiani Kapourchali, Arsham	Entwicklung von Routinen zur Prüfstandsdatenauswertung
10/2011	Rähtz, Christian	Aufbau und Implementierung einer Regelungsstruktur für einen magnetisch geführten Schwebeantrieb

3.5 Preise

Dipl.-Ing. Benjamin Reutzsch Gustav-Magenwirth-Preis

4 ARBEITSGEBIETE DER WISSENSCHAFTLICHEN MITARBEITER

4.1 Aktorik

Engel, M.

Lehre:

Betreuung der Bachelorübungen in KL 3/4 in Form von Gruppenübungen.

Korrektur von Klausuraufgaben in KL 3/4,

Durchführung des Praktikums „Gleichstrommotoren“ in Kooperation mit Herrn Bobrowski.

Aufbau eines Praktikums „Geräuschmessung“.

Betreuung FEM-Praktikumsarbeit.

Betreuung Bachelor-Projektarbeit.

Forschung:

Wirbelstrom- und Hystereseverluste in der Elektrotechnik und im Maschinenbau.

Simulation von Wirbelstromverlusten und Hystereseverlusten in Rückschlussmaterialien.

Konzepte zur Reduzierung der Verlustkomponenten.

Prüfstand zur Verlustmessung in Rückschlussmaterialien.

Sonstiges: Dokumentation des IKFF-Konstruktionslehre-Wettbewerbs.

Keller, B.

Lehre:

Betreuung der Vordiplomsübungen in KL 3/4 in Form von Vortrags- und Gruppenübungen.

Ausarbeitung von Aufgabenstellungen für Übungs- und Klausuraufgaben sowie deren Korrektur.

Vorbereitung und Durchführung der Vortragsübung „Ultraschallantriebe“ im Hauptfach Aktorik. Durchführung des Praktikums „Ultraschallantriebe“.

Betreuung von Bachelor-, Studien- und Diplomarbeiten.

Forschung:

Entwicklung von piezoelektrischen Motoren mit Schwerpunkten in Schwingungsuntersuchungen und in der Entwicklung von geeigneten Ansteuerelektroniken der Motoren in Verbindung mit dSPACE.

Industrieprojekt:

Entwicklung und Fertigung von Prüfständen für Dauerlaufuntersuchungen an bürstenbehafteten DC-Motoren.

Sonstiges: PC-Administration.

Mochel, F.

Lehre:

Betreuung der Vordiplomsübungen in KL 3/4 in Form von Vortrags- und Gruppenübungen, Ausarbeitung von Aufgabenstellungen für Übungs- und Klausuraufgaben sowie deren Korrektur.

Organisation des Konstruktionslehrewettbewerbs.

Durchführung des APMB-Praktikums „Schrittmotoren“.

Betreuung von Studien- und Diplomarbeiten sowie einer Bachelor-Projektarbeitsgruppe.

Forschung:

Entwicklung und Untersuchung aerostatischer Führungen mit statorseitiger Druckluftversorgung für Ein- und Mehrkoordinatenantriebe zur Realisierung freier Läuferbewegungen.

Gestaltung der Mikrodüsen für die Drucklufteinspeisung, insbesondere Untersuchung der Verwendungsmöglichkeiten offenporöser Materialien.

Industrieprojekt:

Optimierung eines Hybridschrittmotors hinsichtlich der Blockkräfte.

Sonstiges: Betreuung der 3D-Koordinatenmessmaschine.

Reuttsch, B.

Lehre:

Vortragsübung und Vorlesung KL 3/4 zum Themenkomplex „Welle-Lager“ und „Kupplungen“.

Vorlesung zum Themenkomplex „Ansteuerung und Regelung von Lineardirektantrieben“ in „Aktorik in der Feinwerktechnik“.

Mitarbeit Vorlesung „Praktische FEM-Simulation mit ANSYS und MAXWELL“.

Durchführung der Praktika „Lineardirektantriebe“ und „Schrittmotoren“.

Betreuung der Vordiplomsübungen in KL 3/4, Testatgruppen.

Betreuung des Übungskomplexes „Welle-Lager“ und „Kupplungen“.

Betreuung von Studien- und Bachelorarbeiten.

Forschung:

Forschungsschwerpunkt: Magnetschwebetechnik für feinwerktechnische Antriebe.

Simulative Auslegung und Konstruktion sowie Regelung und Ansteuerung magnetischer Führungen und linearer Direktantriebe.

Industrieprojekte:

Dauerlaufuntersuchungen im Bereich Zuverlässigkeit zur Untersuchung des Ausfallverhaltens bürstenbehalteter DC-Motoren.

Untersuchungen zur Realisierbarkeit eines Miniatur-Sensorsystems.

Sonstiges: PC-Administration.

Ulmer, M.

Lehre:

Betreuung der Vordiplomsübungen in KL 3/4 in Form von Vortrags- und Gruppenübungen; Korrektur von Übungsaufgaben.

Durchführung des FEM-Praktikums und Betreuung der FEM-Testate.

Vortragsübung „Lineardirektantriebe“ im Hauptfach Aktorik und des zugehörigen Praktikums.

Industrieprojekte:

Optimierung eines feinwerktechnischen Lineardirektantriebs mit MAXWELL und ANSYS. Herstellung von Spulen für die Inbetriebnahme des Antriebs.

Simulative Untersuchungen zu bürstenbehafteten Gleichstrommotoren mit Matlab/Simulink.

Sonstiges: Betreuung des Linux-Netzwerkes und der Netzwerksicherheit am Institut.

4.2 Spritzgießen

Burkard, E. Untersuchung des Einflusses von Werkzeugbeschichtungen auf die Entformungskraft bei Spritzgussbauteilen aus Thermoplastwerkstoffen.

Bearbeitung von Industrieaufträgen zur Entformung von Spritzgussteilen.

Betreuung der Studenten im Vor- und Hauptdiplom.

Betreuung von Vorlesungen und Übungen im Vor- und Hauptdiplom.

Organisation des Konstruktionslehrewettbewerbs.

Betreuung des Rasterelektronenmikroskops und Untersuchung von Proben, APMB-Versuch „Rasterelektronenmikroskopie“.

Betreuung der Koordinatenmessmaschine und Vermessung von Werkstücken, APMB- und Hauptfach-Versuch „Koordinatenmesstechnik“.

Administration und Wartung der UNIX-Rechner und des Institutsnetzes.

Maier, M. Lehre:

Betreuung der Vordiplomsübungen in KL 3/4, Testatgruppen.

Durchführung des Hauptfachpraktikums Spritzgießen.

Betreuung von Bachelorarbeiten.

Forschung:

Weiterentwicklung von FEM-Simulationsmodellen zur quantitativen Beschreibung von Induktionserwärmung.

Einsatz von Hochleistungskeramiken in induktiv beheizten Spritzgusswerkzeugen.

Industrieprojekte:

Induktives Erwärmen metallischer Einlegeteile im Kunststoff-spritzguss.

Einsatz von Induktionserwärmung zur variothermen Prozessführung im Kunststoffspritzguss im Bereich Automotive/Interieur (Technologietransfer).

Nguyen, M.

Lehre:

Betreuung der Vordiplomsübungen in KL 3/4 in Form von Gruppenübungen.

Korrektur von Klausuraufgaben in KL 3/4.

Durchführung der Vorlesung und Übung „Praktische FEM-Simulation mit ANSYS und MAXWELL“.

Betreuung einer Studienarbeit.

Forschung:

Aufbau einer Messvorrichtung zur Auswertung der radialen Flussdichte ringförmiger Dauermagnete.

Untersuchung der Herstellung kunststoffgebundener Dauermagnete ohne Strömungseinflüsse anhand eines Presswerkzeugs.

Entwicklung einer simulativen Vorgehensweise zur Erweiterung des bisherigen Simulationsansatzes um rheologische Einflüsse.

Erweiterung des vorhandenen BH-Prüfstandes und Remanenz-Prüfstandes.

Industrieprojekte:

Messung der BH-Kurve.

Zusammenarbeit bei der Verifikation der simulativen Vorgehensweise für kunststoffgebundene Dauermagnete.

Zimmermann, T.

Lehre:

Betreuung der Vordiplomsübungen in KL 3/4 in Form von Gruppenübungen.

Betreuung der FEM-Testate.

Durchführung Praktikum „Spritzgießsimulation mit Moldflow“ und „Spritzgießen“.

Betreuung von Studien- und Diplomarbeiten.

Industrieprojekt:

Auslegung und Simulation einer induktiv beheizten Spritzgussform für Bipolarplatten (AiF-Projekt).

4.3 Zuverlässigkeitstechnik

Bobrowski, S. Lehre:

Durchführung der Vortragsübungen „Zuverlässigkeit mechatronischer Systeme“ im Rahmen der Vorlesung im Masterstudium Gerätekonstruktion und -fertigung in der Feinwerktechnik.

Durchführung der Vortragsübungen „Koppelgetriebe“ im Rahmen der KL 4-Vorlesung im Bachelorstudium.

Konzeption von Übungsaufgaben und Prüfungsaufgaben zur Zuverlässigkeit und zu Koppelgetrieben.

Durchführung des Praktikums „Gleichstrommotoren/Motorkennlinienermittlung“ (in Kooperation mit Herrn Engel).

Betreuung von Gruppenübungen KL 3/4 (Vordiplom), Korrektur von Übungsaufgaben.

Vorbereitung des Praktikums Zuverlässigkeit für die Vorlesung Gerätekonstruktion und -fertigung in der Feinwerktechnik.

Forschung:

Systemzuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen, Zuverlässigkeit von elektromechanischen/mechatronischen Systemen am Beispiel feinwerktechnischer Antriebe/Aktorik, Zuverlässigkeitsprognose.

Betrieb von Dauerlaufprüfständen für mechatronische Systeme (rotatorische Kleinantriebe), Dokumentation.

Vermessung von Prüflingen.

Entwicklung von Methoden zur Zuverlässigkeitsermittlung und mathematischen Zuverlässigkeitsmodellen (Kooperation mit IAMS,

Institut für Angewandte Mathematik und Statistik der Universität Hohenheim).

Vorbereitungen für neuen DFG-Projektantrag in Kooperation mit dem IAMS.

Industrieprojekte:

Vermessung von DC-Kleinmotoren, Beratung bei der Prüfstandskonzeption, Organisation von Prüfstandskomponenten.

Sonstiges: Ansprechpartner für Literaturrecherchen.

5 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

5.1 Veröffentlichungen

Artikel oder Tagungsbeiträge:

Bobrowski, S.; Döring, M.; Jensen, U.; Schinköthe, W.: Reliability Prediction Using the Cox Proportional Hazards Model. 56th International Scientific Colloquium Ilmenau University of Technology, Ilmenau, 12.-16. September 2011.

Engel, M.: Eddy current and hysteresis losses in high dynamic direct drive linear motors for manufacturing systems. Poster, Jahresveranstaltung GSaME Innovation und Produktion - Zukunftsfähigkeit durch neue Wege, 11. Februar 2011, Stuttgart.

Keller, B.; Rothenhöfer, E.; Schinköthe, W.: Mehrkoordinatenantrieb mit elektroaktiven Gewölbegeometrien. OS DE 10 2011 113 277.9 vom 06.09.2011.

Maier, M.; Schinköthe, W.; Zimmermann, T.: Induktionserwärmung und Kunststoff-spritzguss. Vortrag 22. Stuttgarter Kunststoffkolloquium 2011, 16./17.03.2011. Tagungsband.

Maier, M.; Schinköthe, W.; Zimmermann, T.: Induktiv beheizte Spritzgusswerkzeuge. Transmitter Jahrgang 8(2011)H 2; S. 20-22.

Maier, M.; Zimmermann, T.; Schinköthe, W.: Einfachste Messmittel steuern die vari-
otherme Prozessführung. Plastverarbeiter Jahrgang 62(2011)H 5; S. 44-46.

Maier, M.; Burkard, E.; Zimmermann, T.; Schinköthe, W.: Vorrichtung zur Verbindung zweier elektrischer Leitungen. Patentanmeldung, DE 10 2011 086 212.9, 11.11.2011.

Nguyen, M.: Characterization of injection molding processes for magnets. Poster, Jahresveranstaltung GSaME Innovation und Produktion - Zukunftsfähigkeit durch neue Wege, 11. Februar 2011, Stuttgart.

Reutzsch, B.: Postervortrag „Rückschlussfreier eisenloser Lineardirektantrieb mit statorseitigen Halbch-Arrays“, Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung, 23./24.11.2011.

Schinköthe, W.; Furchert, H.-D.; Schäffel, C.: Abschnitt 4.2. Elektrodynamische Linear- und Mehrkoordinatenantriebe. Stölting, H.-D.; Kallenbach, E.; Amrhein, W.: Handbuch Elektrische Kleinantriebe, 4. neu bearbeitete Auflage. München: Carl Hanser Verlag 2011.

Schinköthe, W.: Piezoelektrische Motoren als alternative Antriebslösungen in der Gerätetechnik. Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung 2011, Stuttgart, 23./24.11.2011.

Schinköthe, W.: Aktorik in der Gerätetechnik - eine Übersicht über Arbeiten des Instituts für Feinwerktechnik der Universität Stuttgart. JENOPTIK Innovationstage, Stuttgart, 16./17.11.2011.

Schinköthe, W.; Zimmermann, T.; Preißner, L.: Variotherme Prozessgestaltung mittels Induktionstemperierung zur spritzgusstechnischen Verarbeitung hochgefüllter Thermoplaste in Brennstoffzellenanwendungen. Abschlussbericht AiF-Vorhaben Nr.: 15955 N, 2011.

Schinköthe, W.; Preißner, L.: Induktive Werkzeugtemperierung zur spritzgusstechnischen Verarbeitung hochgefüllter Thermoplaste. 4. Workshop AiF-Brennstoffzellenallianz, Duisburg, 03./04.05.2011.

Ulmer, M.: Magnetische und thermische Auslegung und Dimensionierung eines Lineardirektantriebs. ANSYS Seminar „Simulationsmethoden in der elektrischen Antriebstechnik“, München, 05.04.2011.

Ulmer, M.: Elektromagnetik für Strukturmechaniker. Vortragspräsentation. ANSYS User Club Workshop 2011, Stuttgart, 07.-09.04.2011.

Ulmer, M.; Schinköthe, W.: Simulationsgestützte Auslegung von Lineardirektantrieben mit MAXWELL, SIMPLORER und ANSYS. ANSYS Conference & 29. CADFEM Users Meeting, Stuttgart, 19.-21.10.2011.

Ulmer, M.: Auslegung und Dimensionierung feinwerktechnischer Lineardirektantriebe. Postervortrag, Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung, 23./24.11.2011.

Wibbing, D.; Binder, J.; Gachot, C.; Mücklich, F.; Pauly, C.; Schinköthe, W.: SensMiLi: Optical Absolute Position-Encoder by Single-Track, q-ary Pseudo-Random-Sequences for Miniature Linear Motors. Sensor+Test Conference 2011, Nürnberg, 07.-09.06.2011.

Wibbing, D.; Binder, J.; Schinköthe, W.: SensMiLi: Optisch absolutes Wegmess-System aus einspurig q-nären Pseudo-Zufalls-Sequenzen für Miniatur-Linearmotoren. 112. Tagung Deutsche Gesellschaft für angewandte Optik, Ilmenau, 14.-16.06.2011.

Wibbing, D.; Hopp, D.; Pruss, C.; Osten, W.; Binder, J.; Schinköthe, W.; Sterns, S.; Seybold, J.; Fritz, K.-P.; Mayer, V.; Kück, H.: A novel diffractive coding principle for absolute optical encoders. Postervortrag, SPIE Optical Metrology 2011.

Wibbing, D.; Binder, J.; Schinköthe, W.; Pauly, C.; Gachot, C.; Mücklich, F.: SensMiLi: Absolutes Wegmess-System aus einer diffraktiven q-nären Pseudo-Zufalls-Sequenz, Zeitschrift Technisches Messen 1/2012, S. 44-51.

Zimmermann, T.; Maier, M.; Schinköthe, W.: Induktiv-variotherme Temperierung von Spritzgusswerkzeugen. Poster, IKFF, März 2011.

Zimmermann, T.; Maier, M.; Schinköthe, W.: Inductive-Variothermal Tempering Of Injection Moulding Tools. Poster, IKFF, März 2011.

Zimmermann, T.; Maier, M.; Schinköthe, W.: Induktionserwärmung und Kunststoff-spritzguss, Tagungsbandbeitrag. 22. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, Stuttgart, 16./17.03.2011.

Zimmermann, T.; Maier, M.; Schinköthe, W.: Variotherm, aber trotzdem schnell - Kurze Zykluszeiten mit konturnaher Kühlung bei induktiv-variothermer Werkzeugtemperierung. Plastverarbeiter Jahrgang 62(2011)H 7; S. 42-45.

Zimmermann, T.; Schinköthe, W.; Burkard, E.; Weber, A.: Vorrichtung zur Temperierung eines Werkzeuges. OS DE 10 2011 075 107.6 vom 03.05.2011.

5.2 Doktorandenkolloquien

10.02.2011	Bobrowski, Sebastian	Zuverlässigkeitsprognose des Ausfallverhaltens von Kleinmotoren
12.05.2011	Wibbing, Daniel	Wegmess-System für Miniatur-Linear-motoren (SensMiLi)

5.3 Gremienarbeit

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe:

Mitglied des Wissenschaftlichen Beirates der Zeitschrift Mechatronik F&M

Mitglied im Kuratorium der Gustav-Magenwirth-Stiftung, Bad Urach

In der VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik (GMM):

Mitglied des Beirats der GMM

Fachbereichsleiter Fachbereich 3 Feinwerktechnik und Mechatronik

Mitglied des Fachausschusses 3.3 Elektrische Geräte- und Stellantriebe

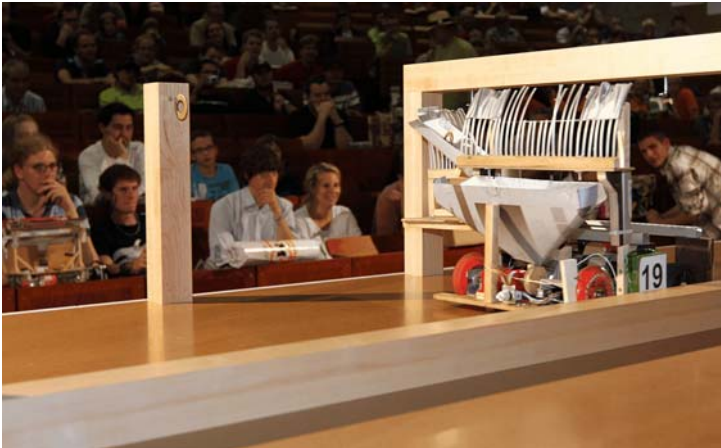
Mitglied des Programmausschusses der 9. ETG/GMM-Fachtagung Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik, Nürnberg.

Ulmer, M.:

Leitung des Arbeitskreises für Elektromechanische Simulation mit ANSYS und MAXWELL.

Mitarbeit im Vorstand des ANSYS User Clubs.

5.4 Tag der offenen Tür



Turnier der automatischen Ritter...

Ein edler Ritter stiehlt seinem Gegner keine Ringe und ist dem diebischen Ritter meistens eine Nasenlänge voraus.

Am diesjährigen Tag der Wissenschaft der Universität Stuttgart fand zum 19. Mal der Konstruktionswettbewerb des Instituts für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik für Studierende des Maschinenbaus und der Fahrzeug- und Motorentechnik statt.

In diesem Jahr mussten die Studierenden kleine Maschinen entwickeln, die wie bei einem Ritterturnier aufgehängte, „goldene“ Ringe einsammeln und auf Lanzen auffädeln. War die Aufgabe in der Vorrunde noch ohne gefährliche Gegner zu lösen, kam in der Endrunde die Erschwernis hinzu, dass auf der benachbarten Turnierbahn eine Maschine entgegenkam, die einem auch Ringe wegnehmen konnte.

Wie in allen Jahren mussten die Maschinen die Aufgabe selbständig lösen und zudem waren die Energieversorgung, die Abmessungen und auch das Gewicht der Maschinen wieder eingeschränkt.

Bei den Vorläufen zeigten sich beim grundsätzlichen Herangehen an die Aufgabe noch wenig Unterschiede. Die Maschinen streiften die Ringe überwiegend von den Aufhängungen ab und versuchten, sie im Inneren der Maschine dann auf eine oder zwei Lanzen aufzureihen. Dabei kam es so manches Mal zu einem Stau vor den Lanzen und insbesondere bei sehr schnellen Maschinen fielen teilweise auch Ringe neben der Maschine auf die Bahn. Diese Problem hatte nur eine Maschine bedacht und eine Kehrvorrichtung vorgesehen, die auch solche Ringe wieder aufnehmen konnte.

Beim Wettkampf gegeneinander zeigten manche Maschinen auf einmal diebische Eigenschaften und sammelten an den drehbaren Galgen auch die Ringe der gegnerischen Maschine ein.

Was aber, wenn dort schon keine Ringe mehr hängen, weil der Gegner ein klein wenig schneller ist und dabei auch noch alle herabgefallenen Ringe eingesammelt

hat? Genau dies brachte im Finale die Entscheidung, da bei gleicher Ringzahl die Zeit ausschlaggebend war.

Alles in allem war es auch dieses Jahr wieder ein spannender Wettbewerb, der den Studierenden die Möglichkeit gab, Theorie und Praxis zu vergleichen, und ein unterhaltsames Erlebnis für das Publikum.

Ein besonderer Dank gilt den folgenden Firmen, die den Wettbewerb teilweise schon seit vielen Jahren unterstützen:

ARBURG GmbH & Co, Audi AG, Balluff GmbH, Bilz Werkzeugfabrik GmbH & Co. KG, Carl Hanser Verlag GmbH & Co, Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG, Dr. Ing. Paul Christiani GmbH & Co KG, G. Ulmer Automation GmbH, H. Stoll GmbH & Co. KG, I.G.T. Informationsgesellschaft Technik mbH, igus GmbH, Kendrion Binder Magnete GmbH, Kendrion Magnettechnik GmbH und Springer-Verlag GmbH.

Ergebnisse:

1. Platz: Udo Bayer, Lukas Pasler, Michael Schmid, André Weiß
2. Platz: André Friedrich, Matthias Pfister, Patrick Schindler, Benjamin Überschluß
3. Platz: Michael Araya, Alexander Hörauf, Uwe Klemm, Mahir Yildirim.

6 KONGRESSE, TAGUNGEN UND MESSEN

Prof. Schinköthe, W.:

- 22. Stuttgarter Kunststoff Kolloquium, 16./17.03.2011
- 4. Workshop AiF-Brennstoffzellenallianz, Duisburg, 03./04.05.2011
- Tagung des Wissenschaftlichen Beirats der JENOPTIK AG, Stuttgart, 17.11.2011
- Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung 2011, 23./24.11.2011

Bobrowski, S.:

- Mitarbeit im vdi Gremium FA825 thermoplastische Zahnräder (Richtlinie vdi 2736), Düsseldorf, 31.03.2011, Limburg, 19.07.2011, Dresden, 07.12.2011
- 56th International Scientific Colloquium Ilmenau University of Technology, Ilmenau, 12.-16.September 2011

Burkard, E.:

- 22. Stuttgarter Kunststoff Kolloquium, 16./17.03.2011
- ARBURG Technologietage, Loßburg, 24.03.2011
- FAKUMA, Friedrichshafen, 18.10.2011

Engel, M.:

- Teilnahme an Lehrveranstaltungen, Vorträgen und Kongressen im Rahmen der GSaME Graduate School of advanced Manufacturing Engineering
- Jahrestagung der GSaME Graduate School of advanced Manufacturing Engineering, Stuttgart, 11.02.2011

Maier, M.:

- 22. Stuttgarter Kunststoff Kolloquium, 16./17.03.2011
- ARBURG Technologietage, Loßburg, 23.-26.03.2011
- Messe Motek, Stuttgart, 10.10.2011
- FAKUMA, Friedrichshafen, 18.10.2011
- University Moldflow Users Meeting 2011, Mannheim, 08.11.2011

Nguyen, M.:

- Teilnahme an Lehrveranstaltungen, Vorträgen und Kongressen im Rahmen der GSaME Graduate School of advanced Manufacturing Engineering

- Jahrestagung der GSaME Graduate School of advanced Manufacturing Engineering, Stuttgart, 11.02.2011
- 21. ANSYS User Club Workshop, Stuttgart, 08.04.2011
- PERMAS 2011 Technologietage, Stuttgart, 05.05.2011
- ANSYS Conference & 29. CADFEM Users Meeting, Stuttgart, 19.-21.10.2011
- University Moldflow Users Meeting 2011, Mannheim, 08.11.2011

Reutzsch, B.:

- Messe Motek, Stuttgart, 10.10.2011
- Messe SPS IPC Drives, Nürnberg, 22.11.2011
- Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung 2011, 23./24.11.2011

Ulmer, M.:

- ANSYS Infotag „Simulationsmethoden in der elektrischen Antriebstechnik“, München, 05.04.2011
- ANSYS User Club Workshop 2011, Stuttgart, 08.-10.04.2011
- CADFEM Symposium „Elektrische Antriebe“, Würzburg, 18.05.2011
- ANSYS Infotag „Designing Better Hybrid Electric Vehicles with Numerical Simulation“, Stuttgart, 26.05.2011
- Sommerschule „Gekoppelte Elektromagnetische Simulation“, Wuppertal, 05.-09.09.2011
- Messe Motek, Stuttgart, 11.10.2011
- ANSYS Conference & 29. CADFEM Users Meeting, Stuttgart, 19.-21.10.2011
- Tagung des Wissenschaftlichen Beirats der JENOPTIK AG, Stuttgart, 17.11.2011
- Messe SPS IPC Drives, Nürnberg, 22.11.2011
- Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung 2011, 23./24.11.2011

7 WERKSTATTBERICHT

Mit der Fertigung von Linearmotoren, Linearmotorprüfständen, Spritzgussformen und Formeinsätzen sowie Bauteilen und Baugruppen für Versuche im Rahmen von studentischen Arbeiten und Dissertationen war die Institutswerkstatt auch in diesem Berichtsjahr wieder vollständig ausgelastet.

8 ANHANG - Ausgewählte Veröffentlichungen

In diesem Jahr hängen wir exemplarisch drei Veröffentlichungen an, eine aus dem Bereich Zuverlässigkeit und zwei Poster unserer GSaME Stipendiaten:

Bobrowski, S.; Döring, M.; Jensen, U.; Schinköthe, W.: Reliability Prediction Using the Cox Proportional Hazards Model. 56th International Scientific Colloquium Ilmenau University of Technology, Ilmenau, 12.-16. September 2011.

Engel, M.: Eddy current and hysteresis losses in high dynamic direct drive linear motors for manufacturing systems. Poster, Jahresveranstaltung GSaME Innovation und Produktion - Zukunftsfähigkeit durch neue Wege, 11. Februar 2011, Stuttgart.

Nguyen, M.: Characterization of injection molding processes for magnets. Poster, Jahresveranstaltung GSaME Innovation und Produktion - Zukunftsfähigkeit durch neue Wege, 11. Februar 2011, Stuttgart.

RELIABILITY PREDICTION USING THE COX PROPORTIONAL HAZARDS MODEL

S. Bobrowski¹⁾, M. Döring²⁾, U. Jensen²⁾, W. Schinköthe¹⁾

- 1) University of Stuttgart, Institute of Design and Production in Precision Engineering
- 2) University of Hohenheim, Institute of Applied Mathematics and Statistics

ABSTRACT

Currently, for a variety of mechatronic systems and components, sufficient failure behaviour data are not available. Endurance tests at customer-specific operating conditions provide manufacturers with specific failure time data. However, they are time-consuming and expensive. Findings gained through experiments are valid only for the applied test conditions and loads. On the other hand, developers require, as early as possible, meaningful key figures characterizing the applied components to determine the overall reliability. Often, modified components using the same technology basis are applied with other load profiles, so that available test data can not be used without further steps. Alternatively, one can try to derive sufficiently precise predictions for newly developed components or new application environments from a variety of existing data sets from endurance tests of similar components and other load cases. To this end, well-known regression models of survival analysis have been developed further. To illustrate the transferability to applications for reliability prediction, test data of DC motors from in-house experiments and simulated data sets are adapted to a Cox proportional hazards model.

Index Terms – Reliability prediction, Cox proportional hazards model, DC motors, mechatronic systems, regression

1. INTRODUCTION

Manufacturers of mechatronic drive systems investigate the reliability of their products performing endurance tests. The aim of these experiments is to gain findings about the failure behaviour and key figures characterizing it. Tests are expensive, which is the reason, why not all possible load profiles and combinations of impact parameters can be investigated. To provide significant statistical information, the sample parts have to be tested with respect to a specific test goal. Using the test results, the failure probability under the tested load and surrounding conditions can be estimated statistically, which is described in [3]. The statistical statement resulting from the experiment is valid only for the investigated load and test conditions, however.

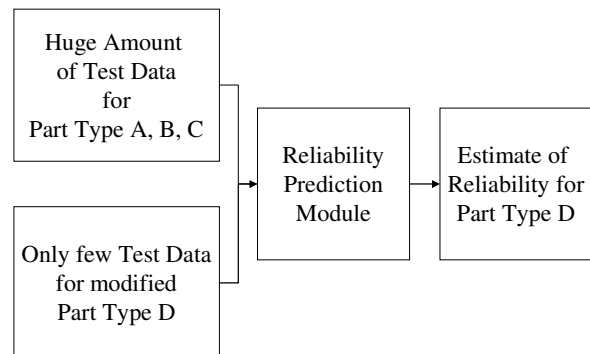


Fig. 1. Vision of a reliability prediction

Suppliers of mechatronic systems are careful when they provide reliability data about their products. If customers want to acquire meaningful information about the reliability of their products, they or the supplier himself need to perform tests for the specific application. In order to be able to estimate the reliability in early product development stages, there exists the alternative to calculate estimates from existing data of similar parts for other load cases and other part sizes. On this basis, a prediction of failure behaviour becomes possible.

For this purpose, stochastic models based on well-known regression models of survival analysis are developed further, adopted and tested for engineering applications. We investigate approaches to be able to analyze test data and apply it for prediction purposes. By a reliability prediction of this manner, it shall become possible to estimate the failure behaviour for untested load cases or new components.

Fig. 1 illustrates the vision presented in this publication. A future aim is to provide a software tool for the prediction of reliability (Reliability Prediction Module) using the Cox model.

2. SURVIVAL ANALYSIS

Lifetimes of mechatronic systems cannot be predicted exactly, they usually depend on many uncontrollable (random) influencing factors. Therefore it is important to set up mathematical models of probability distributions of the lifetime. Suppose that the distribution of the lifetime T of an object is given by the probability distribution function $F(t) = P(T \leq t)$,

the density $f(t) = dF(t)/dt$ and the failure (hazard) rate λ , where the failure rate at time t is defined as

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}.$$

The failure rate, the density and the distribution function provide alternative but equivalent characterizations of the distribution of T . The probability distribution function may be calculated from the failure rate by the well known equation

$$F(t) = 1 - \exp\left\{-\int_0^t \lambda(s) ds\right\}.$$

Comparatively simple lifetime models are given by parametric families of distributions as the Weibull distribution or the lognormal distribution which depend on a finite number of parameters. In many applications the populations of systems are considerably more heterogeneous, such that more complex models should be considered. Models of the so called *Survival Analysis* are particularly useful.

Survival analysis or failure time analysis means the statistical analysis of data, where the response of interest is the time from a well-defined time origin (birth, start of treatment, start of operating a machine) to the occurrence of a given event (death, relapse, failure). In biomedicine lifetimes or survival times are the key examples. In an obvious way these models can be transferred to engineering applications where lifetimes of technical systems are considered.

These more complex models of survival analysis take the following two main features into account:

- Censoring. The most common form of which is right-censoring: Here, the period of observation expires, or an object is removed from the study, before the event of interest (failure) occurs. For example, some of the technical systems under consideration can still be functioning at the end of a lifetime experiment.

- Covariates. The objective may be to incorporate different types of technical systems and different (environmental) conditions during the lifetime experiment like load, temperature or air pressure. This leaves us with a statistical regression problem. Additional variables, so called covariates, are introduced, which characterize the objects under consideration in more detail. The link between these covariates and the lifetime distribution is given in regression models by the intensities of corresponding lifetime models. The intensity is closely related to the failure rate or hazard rate. Roughly, the intensity function is the probability that an object which is at risk now, will fail in the next small unit of time.

3. THE COX PROPORTIONAL-HAZARDS REGRESSION MODEL

One of the most popular regression models is the Cox model (or proportional hazards model). For each object i , $i = 1, \dots, n$, there are, in addition to the

possibly censored lifetime, k covariates $Y_{i,1}, \dots, Y_{i,k}$ observed, which describe the object and the environmental conditions in more detail. The conditional hazard of the lifetime T given the vector of covariates Y at time t is

$$\lambda(t; Y) = \lim_{h \rightarrow 0^+} \frac{P(T \leq t+h | T > t, Y)}{h}.$$

Cox suggested that this so called intensity could be modeled as the product of an arbitrary unknown deterministic baseline hazard λ_0 and an exponential function with an argument linear in the covariates. This leads to the following model of the intensity for item i :

$$\lambda_i(t) = \lambda_0(t) R_i(t) \exp(\beta_1 Y_{i,1} + \dots + \beta_k Y_{i,k}),$$

where R_i is the risk indicator, equal to one as long as object i is observed (at risk). $\beta^T = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$ is the vector of the unknown regression parameters. Based on the lifetime data of an experiment the baseline hazard function λ_0 and the regression parameters have to be estimated statistically. For each item the data consist of

- the possibly censored failure time T ;
- an indicator equal to one if T is a true failure time, zero if it is censored;
- and the vector of explanatory variables Y .

The Cox model itself makes three assumptions: first, that the ratio of the hazards of two objects is the same at all times; secondly, that the explanatory variables act multiplicatively on the hazard; and thirdly, that conditionally on the explanatory variables, the failure times of two individuals are independent. As with all regression models, one also assumes that the explanatory variables have been transformed so that they may be entered without further transformation and that all interactions have been included explicitly.

The regression coefficients β are estimated by maximizing the so-called partial likelihood. Having computed $\hat{\beta}$, the estimated vector of regression coefficients, one can calculate the estimate of the cumulative baseline hazard

$$\Lambda_0(t) = \int_0^t \lambda_0(s) ds$$

explicitly. Estimation of the intensity function itself can be done by taking a smooth derivative of the cumulative hazard. The standard Cox model and the estimation methods are implemented in the most statistic software tools [4, 7].

4. SURVIVAL ANALYSIS APPROACH TO RELIABILITY

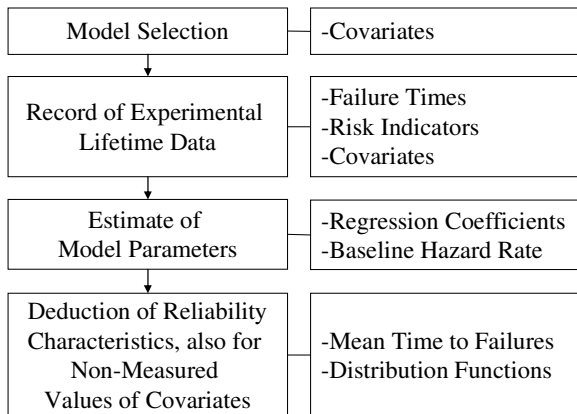


Fig. 2. Steps to predict reliability by means of a Cox model

In mechanical engineering models of survival analysis can be used if in lifetime experiments censoring effects arise. Concurrently, during the tests additional information is available, described by covariates, which characterize the objects under consideration in more detail. Such covariates can, for example, be different loads or a variety of construction forms. [2]

At the beginning of a reliability analysis by means of a Cox model, one has to fix the explanatory variables (the covariates). It is quite challenging to find out a good choice of variables influencing the reliability. Indicator variables also can be used as covariates. They describe for an object of investigation whether a property is present (value = 1) or not (value = 0). During the test phase one observes for each object the failure time, the risk indicator and the covariates. From these data the vector of the regression parameters and the baseline hazard can be estimated. These estimates can be used for the deduction of reliability characteristics like the mean time to failure, quantiles or the whole distribution function. Since a regression model is used, one can predict such characteristics also for values of covariates, which were not actually measured. This means in particular, that one can interpolate (in some sense made precise below) the lifetime distributions between different lines of objects under considerations. To verify the fit of the model to the data, so called Goodness-of-fit tests can be applied.

Fig. 2 summarizes the procedure to generate a failure probability prediction as we performed it. The model approach is chosen, and life time data including the covariates is recorded. Then, algorithms are used to calculate estimates for the model parameters. For arbitrary values of covariates, the result can be illustrated by a plot of the failure probability function. During development, these steps are part of an iteration loop to improve the prediction results. Especially the choice and the implementation of the covariates need to be modified. The fact that

the performance of experiments is time-consuming and expensive must be taken into account at iteration. For the end-user, no iteration should be necessary.

5. MODELING OF DC-MOTORS AS AN EXAMPLE

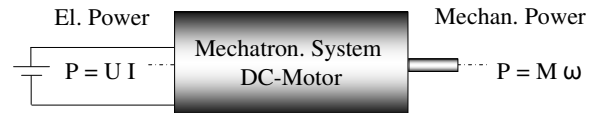


Fig. 3. Abstraction of a DC motor

In the previous chapter, it was shown, how one can proceed to estimate the regression coefficients for a Cox model from a given data set of failure times, risk indicators and explaining covariates. First of all, one must decide which of the possible impact parameters can be used as covariates in the model. Regarding a complex mechatronic system, it might not be obvious, which influence parameters on the system reliability are useful. There are influence parameters which are difficult or impossible to monitor. Besides data gained performing endurance tests, further information might be available using existing data which had been generated for other purposes. If one uses such existing data, the choice of covariates is restricted to the monitored sets of parameters.

In order to obtain reliability information, endurance tests are performed. For the investigations presented in this publication, failure data of 232 parts of three different DC-motor types (12V, 18V, 24V) were available. This data had been recorded until 2006 in a DFG research project [5, 6]. Besides real endurance test data, simulated data were applied to verify the statistical methods.

If one regards DC-Motors with brushes, significant impact parameters on lifetime are operating point, mode of operation and environmental influences. For this publication analysed experiments were run with constant load and rotation speed and at similar surrounding conditions (climate in endurance test room).

The operating point for the considered DC-Motor means the electric current, the associated load torque and the resulting rotation speed [2]. In this example, the operating point is the central covariate that is to be used in the model. Fig. 3 shows a diagram of a DC-motor.

The speed-torque characteristic specifies the mechanical operating point: when a specific torque load is applied, the rotation speed reaches the corresponding speed value and applying the operating voltage, the system responds with the motor current corresponding with the mechanical operating point. If the motor heats up during service, its characteristic changes. The characteristic curve might change from a straight to a curved line.

In order to represent the operating point in the model, one of the parameters motor current, rotation speed or torque can be used as a covariate. Assuming a linear motor characteristic, one can calculate the corresponding parameters respectively. Difficulties occur especially when several motor types with different characteristics and hence different operating points are to be compared. For example, a motor type at a given load torque, experiences an operating point at $M = 300 \text{ mNm}$, $n = 3000 \text{ rpm}$, $I = 200 \text{ mA}$, whereas at another motor type, the same load torque of $M = 300 \text{ mNm}$ might result in a rotation speed of $n = 3000 \text{ rpm}$ and a current of $I = 400 \text{ mA}$.

For our experiments, a motor series was chosen, where different motor types possess a nearly identical speed-torque curve. So, the mechanical operating point of different motor types is nearly the same, when driven with corresponding nominal voltage for the motor type. However, the electrical operating point (voltage and current), as well as the current-torque characteristic differs from motor type to motor type. When comparing different motor types of such a motor series, one can use the torque as a reference. When the three different motor types considered at their nominal voltage are driven with the same load torque, the motor types reach about the same rotation speed according to their speed-torque characteristic. But each motor type will be operated at a different voltage and current. To compare different motor types, the motor current is not suitable to be used as a covariate without further steps. Voltage and current are comparable only within one motor type. The current is usable only when comparing data related to just one motor type.

6. EXPERIMENTAL CALCULATIONS

For the investigations, Monte Carlo simulated data were generated. Assuming that with increasing load, the DC-Motors fail earlier, loads and failure times were assigned to 5 different specimens consisting of 16 parts each. It was set value on the fact that the empirical distribution functions of the 5 different specimens did not intersect and that these failure probabilities did not follow a parametric model like the Weibull or the exponential distribution.

With the simulated failure data of the 80 test samples, the failure probabilities were calculated using the open source Statistics software R. Fig. 4 shows simulated data for a motor type A. The dashed lines form the empirical failure probability of the individual load levels (2.5 mNm, 3.75 mNm, 5 mNm, 6.25 mNm and 7.5 mNm) for the 5 specimen with 16 parts.

The loads and the failure times of all 80 parts build the data base for the calculation using a Cox model, which was set up with one covariate for the load torque. With the help of the Statistics software R, at first the regression parameters and the baseline hazard of the Cox model were determined. Secondly, any

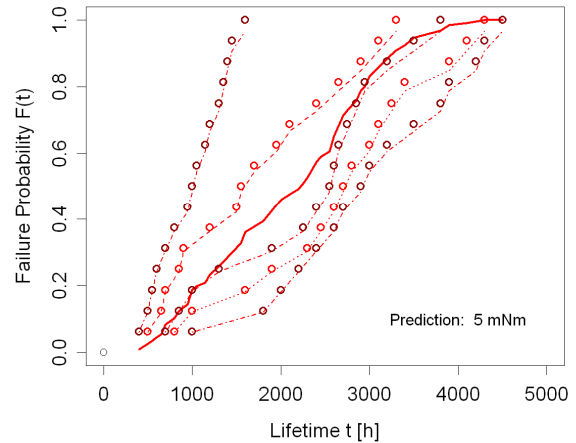


Fig. 4. Example of simulated data sets and prediction curve

desired load case can be calculated specifying the covariate torque. The bold solid line shows the prediction curve of the failure probability distribution function for the 5 mNm load level.

The estimated curve (bold solid line) does not meet the dash-dotted curve (empirical failure probability curve for the 5 mNm load) entirely. This is no contradiction, as the data of all 80 parts were used for the calculation of the bold solid prediction curve by a regression model. In this case, the Cox model has the advantage of the availability of estimated failure probabilities for non-measured values of covariates (here: loads).

Now, let us look at real test data. Through experiments observed failure times of five load levels (2.5 mNm, 3.75 mNm, 5 mNm, 6.25 mNm and 7.5 mNm) of different motor types were available as data base.

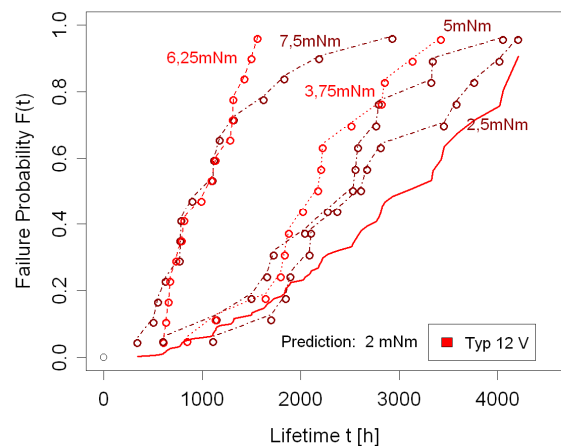


Fig. 5. Real test data for one motor type at different load levels

Fig. 5 shows the failure times of the motor type 12V. For 5 load levels, the empirical failure distribution is displayed (fine dashed lines). Here, a Cox model with the covariate load was applied. The

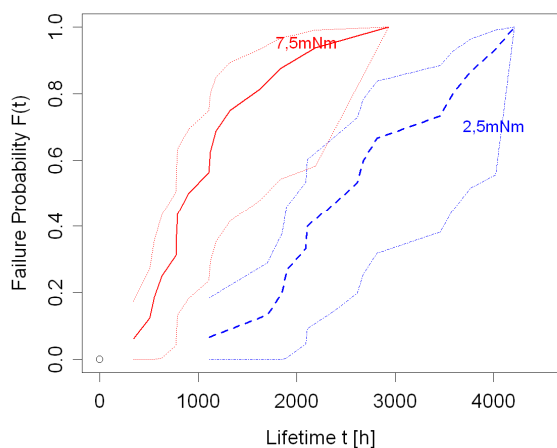


Fig. 6. Two load levels for 12V-motors and associated 95%-confidence intervals

prediction curve for the load case 2 mNm (bold solid line) based on the Cox model is situated approximately in the expected area. At the real test data (Fig. 5) the emerging pattern of failure probability curves becomes complicated because of existing deviations of measurement values and partly unknown influences.

The existing uncertainty can be illustrated by confidence intervals. Fig. 6 shows 95% point-wise confidence intervals of the empirical failure probabilities for the load levels 2.5 mNm and 7.5 mNm. A reason for the wide range of these intervals is the small number of measurements. If one increases the number of parts, we expect that the fluctuations decrease. Hence one achieves better predictions.

In Fig. 7, the failure probabilities of five load levels are displayed as an example for the 24V-motor type using fine dashed lines. These load level lines do not follow a monotonous load order. The bold lines represent two different prediction curves for a load case of 7.5 mNm.

For the bold dash-dotted (blue) line, all five load levels for the 24V-motor were entered as data base (2.5 mNm, 3.75 mNm, 5 mNm, 6.25 mNm and 7.5 mNm). The data base for the bold solid (green) line consists only of four load cases for the 24V-motor (2.5 mNm, 3.75 mNm, 5 mNm and 6.25 mNm). The load level of 7.5 mNm was suppressed. For both bold lines, the solid and also the dash-dotted prediction, a Cox model with the load torque as covariate was used.

As different basis data are used, between the two prediction lines shown in Fig. 7 considerable deviations emerge. In the used Cox model, strict monotony of the hazard rate with respect to the load is assumed. In the real experiment, this was not true for the load case of 7.5 mNm, however. The fine gray dashed line in Fig. 7 for the 7.5 mNm load level lays considerably to the right of the empirical failure

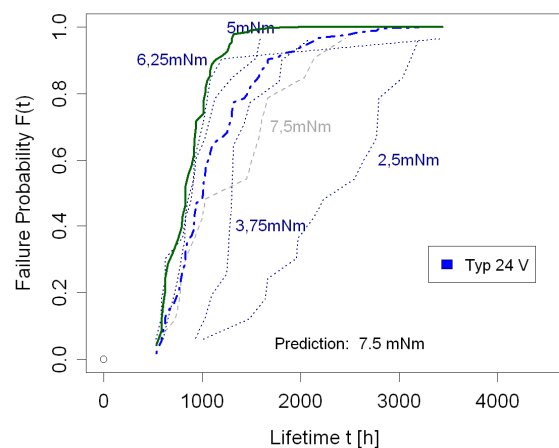


Fig. 7. Different prediction curves for real test data in comparison

probability curve for the 6.25 mNm and also for the 5 mNm load level.

This contradicts the natural imagination that, with increasing load, the parts fail earlier. The solid (green) prediction curve lays to a large extend left of the empirical curve for the load level of 6.25 mNm, as expected because of the monotony assumption in the model. The bold dash-dotted (blue) prediction line on basis of all five load levels of the 24V-motor type is also fitted with respect to the monotony assumption in the model. The dash-dotted (blue) prediction curve predicts the load level of 7.5 mNm too far left, to fit the data with least possible deviations to the real data sets, and still meeting the monotony assumption. When we assume the data to precisely project reality, then the model needs to be modified. In this case, we should admit non-linear influences of the load as argument in an exponential function at modeling the hazard rate, for example quadratic or piecewise linear approaches. The routines need to be investigated and modified in further research.

In another simulation experiment, data of four different motor types was artificially generated (Fig. 8). Type 1 was set up in a similar way as described before. This means that to 80 parts, failure times were assigned, consisting of specimens to 16 parts for each of the five different load levels (2.5 mNm, 3.75 mNm, 5 mNm, 6.25 mNm and 7.5 mNm). The data was adjusted so that the specimen sets for each motor type, show the same failure pattern, but the failure time is shifted 4000 h for each type.

The idea of this approach is that from system type to type, similar failure patterns exist, when the types are of similar technology basis. For example, failure mechanisms should be approximately similar, when geometries are just scaled in different sizes. So, it is assumed at this approach, that there is an interrelation between different types of similar technology (stretching or shifting of patterns in the failure probability functions at different load levels).

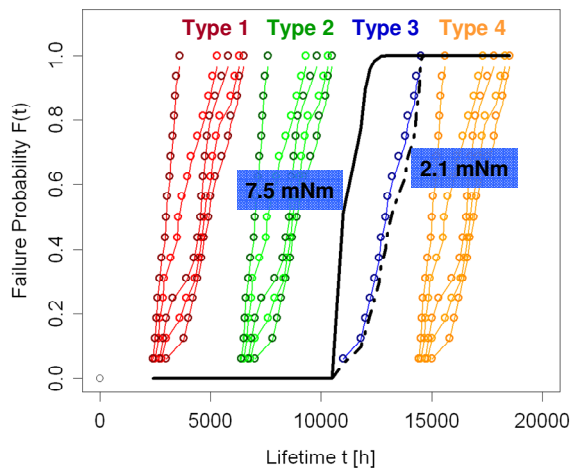


Fig. 8. Predictions for two different load cases on basis of different system types with simulated data as an example

In Fig. 8, failure probability functions for four different system types of similar technology are displayed. The 16 fine solid lines represent the failure times and associated empirical probabilities of the specimens with 16 parts each. The failure times of all 256 data points and associated load levels build the data base for a Cox model with 5 covariates. One covariate is the load torque, the others are indicator variables describing the motor type (1 to 4). For example, we want to indicate a part of type 2. In this case, the value of the covariate for type 2 is 1 and the value of the other types is zero.

The two bold lines are predictions of the failure probabilities for a system of type 3 with load level 2.1 mNm (dash-dotted) and with load level 7.5 mNm (solid).

Although one load level for type 3 is known only, the prediction curves are situated with slight deviations in the expected area, when we assume type 3 to have a shifted failure probability function pattern similar to the other three types. This shows, that the data of the other system types 1, 2 and 4 provide additional input information over the degree of spreading of the curves when the load is increased.

7. RESULTS

The Cox model can be employed as regression model for the reliability prediction. As can be expected from a regression model, it is possible to predict reliability characteristics for loads between and beyond the given boundary areas of the load levels used as data base.

However, one must be careful at modelling. The choice of covariates is of particular importance. Covariates, that are valid only for one type, should not be used without type-specific indicators in order to compare different system types. If data of different

motor types are investigated, the implementation of indicator variables is useful.

Investigations at simulated data show, that, using a Cox model, the regression of existing data can be turned into praxis. Real data sometimes does not follow strict monotony of the hazard rate with respect to some covariates as is assumed in the standard Cox model used in the calculation experiments. Using the Cox model at this kind of data, prediction curves can be derived as well, but modifications might become necessary. To illustrate the prediction results in this publication, the Cox model was compared to the empirical failure probability estimates. The estimated failure probability distributions by a Cox model meet the empirical with certain deviations.

In future, the Cox model shall also be investigated with other test data, for example of mechatronic gears [1], concerning the applicability for reliability prediction.

In this publication, the goal was to illustrate the general procedure along simple examples. The statistical analysis has much potential for the future of reliability prediction.

8. REFERENCES

- [1] Beier, M., Lebensdaueruntersuchungen an feinwerktechnischen Planetenradgetrieben mit Kunststoffverzahnung, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 32, 2010, Dissertation in German.
- [2] Bertsche, B.; P. Göhner, U. Jensen, W. Schinköthe, H.-J. Wunderlich, Zuverlässigkeit mechatronischer Systeme - Grundlagen und Bewertung in frühen Entwicklungsphasen, Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.
- [3] Bertsche, B., Reliability in Automotive and Mechanical Engineering, Springer, Berlin, Heidelberg, 2008.
- [4] D.R. Cox, "Regression Models and Life Tables,". Journal of the Royal Statistical Society, pp. 187–220, Series. B 34 (1972).
- [5] Köder, T., Zuverlässigkeit von mechatronischen Systemen am Beispiel feinwerktechnischer Antriebe. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 25, 2006, Dissertation in German.
- [6] C. Lütkebohmert, U. Jensen, M. Beier, W. Schinköthe, "Wie lange lebt mein Kleinmotor?" F&M Mechatronik, pp. 40-43, 115(2007)9.
- [7] Martinussen, T; T.H. Scheike, Dynamic Regression Models for Survival Data, Springer, New York, 2006.

Eddy current and hysteresis losses in high dynamic direct-drive linear motors for manufacturing systems

Wirbelstrom- und Hystereseverluste bei hochdynamischen Lineardirektantrieben in der Produktionstechnik

ENGEL, MATTHIAS; GSAME, UNIVERSITY OF STUTTGART, INSTITUTE OF DESIGN AND PRODUCTION IN PRECISION ENGINEERING (IKFF)

PROBLEM AND OBJECTIVE

During product development and manufacturing the optimization of technology, quality, time and cost plays a key role in future production systems. Advanced manufacturing engineering requires faster and more precise systems in addition to full controllability and compatibility to existing systems – an ideal part for linear direct drives.

But concerning speed, the losses in the electro-mechanical system act contrary to this requirement (Fig. 1). For future generation direct drives, it is important to verify the losses caused by eddy current and hysteresis losses to estimate the impact on the dynamic performance of the drives, especially the tube motors used in manufacturing systems.

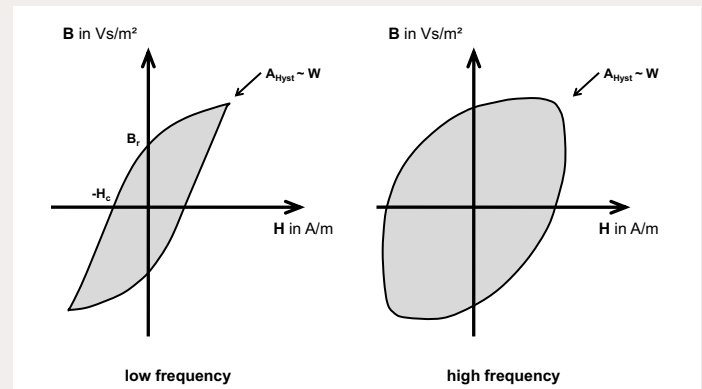


Figure 1: Static and dynamic magnetic hysteresis

APPROACH

Based on profound investigation the properties of the electro-mechanical losses were discussed as well as their influence on many kinds of machines. For example the eddy current and hysteresis losses have an effect on the construction of power transformers or induction heating, whereas being in pursuit of different targets. Simulations led to a first estimation of the forces involved and made it possible to design a test station for different motor yokes.

- > Electro-magnetical fundamentals
- > Analysis of different drive components
- > FEM-simulation of different types of magnetical systems using Ansoft Maxwell (Fig. 2)
- > Design and optimization of a test rig
- > Measurements and comparison of different yokes
- > Recommendation for optimizing direct drives

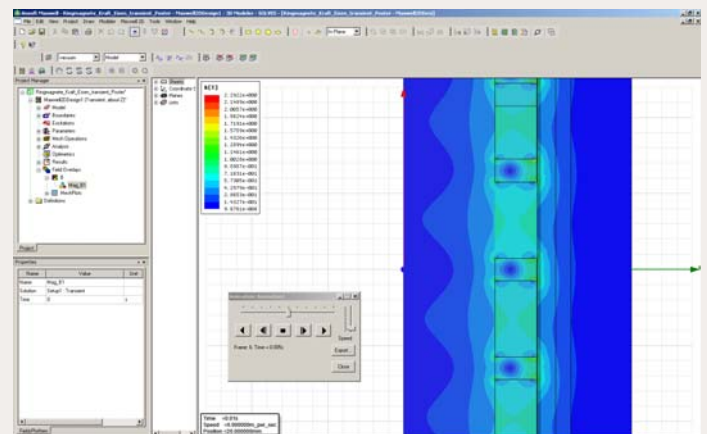


Figure 2: FEM-simulation using Ansoft Maxwell

RESULTS / CONCLUSIONS

Researches on the magnetic behaviour show that the complete separation and elimination of eddy currents and hysteresis losses is not possible, but that it is possible to manage their manifestation. There are opportunities to reduce these effects by changing the structure or the materials of the magnetic system. So far there is no chance to do a complete simulation of both losses because of many influences, but by using verified eddy current simulations and real measurements of the overall losses, it is possible to draw conclusions.

The test rig focuses on the reduction of all mechanical influences to clearly receive the electro-magnetic losses (Fig. 3). Then different kinds of materials and structures are examined to get an optimized yoke for less losses by higher velocity of the system.

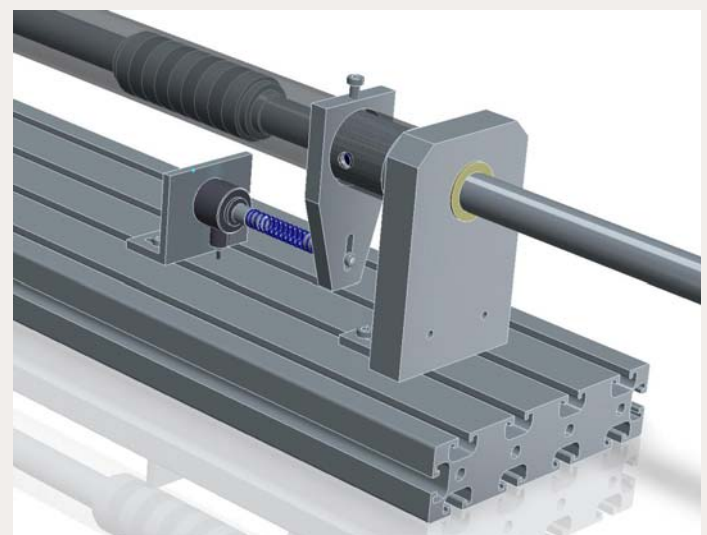


Figure 3: Detail of the test rig (CAD-visualisation)

Characterization of injection molding processes for magnets

Charakterisierung von Magnetspritzgießprozessen

**NGUYEN, MINH; GSAME, UNIVERSITY OF STUTTGART,
INSTITUTE OF DESIGN AND PRODUCTION IN PRECISION ENGINEERING (IKFF)**

PROBLEM AND OBJECTIVE

Injection molded magnets are composed of magnetic fillers embedded into a polymer matrix. They offer significant advantages in cost and shaping when compared to traditional sintered magnets. However the magnetic properties cannot be reliably predicted for complex anisotropic magnetization modes due to rheological effects during the molding process. Although separate solutions for simulating the magnetic properties of isotropic materials (cf. figure 1) as well as the orientation of magnetic fillers inside the polymer matrix already exist, there is no continuous simulation system of the injection molding process from magnetization to finished part.

APPROACH

To quantify the deviation between an isotropic and anisotropic simulation model, several polymer-bonded magnets are produced with and without rheological influences. Furthermore the precision of existing simulation models is determined depending on process and material parameters. The isotropic model is then upgraded with influence coefficients based on the results of the parameter variations.

- > Construction of measuring system for magnetic properties
- > Construction of compression mold for isotropic magnets
- > Verification of existing simulation model
- > Construction of injection mold for anisotropic magnets with rheological influences
- > Investigation of the influences of process and material parameters on magnetic properties
- > Upgrade of existing simulation model
- > Verification of new simulation model

RESULTS / CONCLUSIONS

Simulation of the magnetization inside the injection mold requires the magnetic remanence of the compound material depending on the magnetic field strength inside the mold cavity. Measurements of these properties are done according to IEC 60404-5 (cf. figure 2) using large coils (diameter $d=195$ mm, number of turns $w=1500$) to reach magnetic flux densities of up to 2T inside an adjustable air gap. The flux density and the field strength are measured with a measuring coil surrounding the polymer-bonded magnet and a hall sensor inside the air gap. The electromagnet has to be demagnetized prior to measurements to ensure accurate results. The measurement system is computer-controlled using LabVIEW.

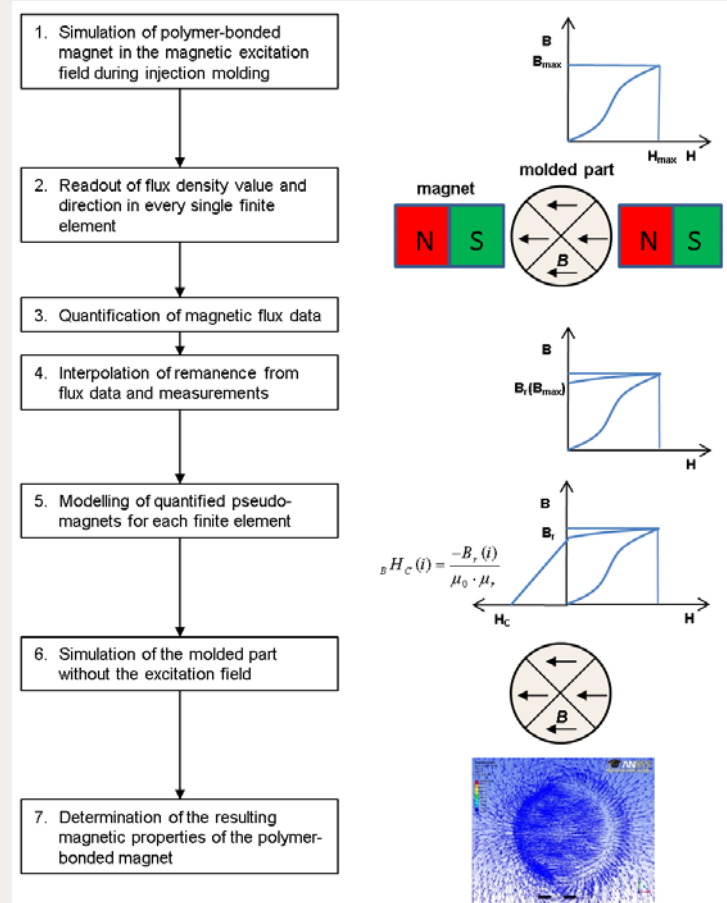


Figure 1: Flow chart of the existing simulation model for polymer-bonded magnets without rheological influence

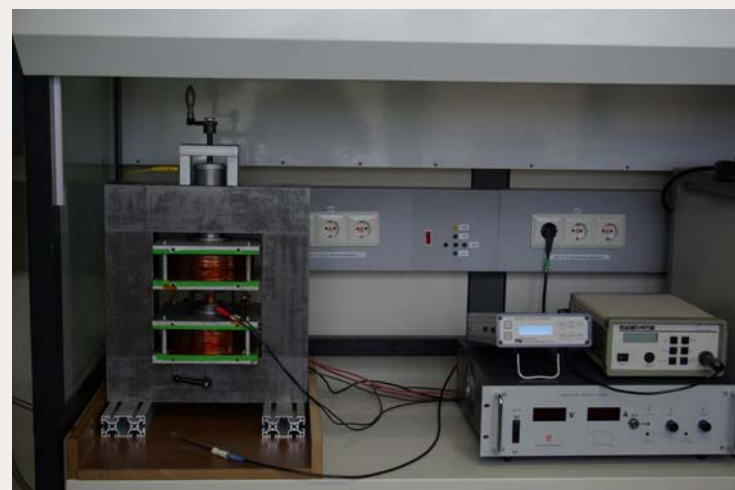


Figure 2: Customized measurement system for remanence and coercivity of polymer-bonded magnets