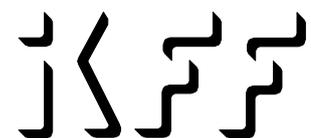


Universität Stuttgart

Jahresbericht IKFF 2005

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 685-6402

Fax: 0711 685-6356

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe

Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik, März 2006

1 DAS INSTITUT

- 1.1 Mitarbeiter
- 1.2 Jahresrückblick
- 1.3 Wissenschaftliche Arbeitsgebiete

2 LEHRVERANSTALTUNGEN

- 2.1 Vorlesungen und Übungen für das Vordiplom
 - 2.1.1 Konstruktionslehre III (Feinwerktechnik)
 - 2.1.2 Konstruktionslehre IV (Feinwerktechnik)
- 2.2 Vorlesungen und Übungen für das Hauptdiplom
 - 2.2.1 Grundlagen der Feinwerktechnik, Gerätekonstruktion und -fertigung
 - 2.2.2 Aktorik in der Feinwerktechnik - Berechnung, Konstruktion und Anwendung
- 2.3 Prüfungen
- 2.4 Praktika
 - 2.4.1 Praktikum Feinwerktechnik
 - 2.4.2 Allgemeines Praktikum Maschinenbau (APMB)
- 2.5 Seminar Feinwerktechnik

3 WISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN, STUDIEN- UND DIPLOMARBEITEN

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

4 ARBEITSGEBIETE DER WISSENSCHAFTLICHEN MITARBEITER

- 4.1 Aktorik
- 4.2 Spritzgießen
- 4.3 Zuverlässigkeitstechnik

5 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

- 5.1 Veröffentlichungen
- 5.2 Gremienarbeit
- 5.3 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

Margit Reinhardt

Kornelia Wanner

Unbefristeter wissenschaftlicher Mitarbeiter:

Akademischer Rat: Dipl.-Ing. Eberhard Burkard

Befristete wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dipl.-Ing. Michael Beier

Dipl.-Ing. Christin Clauß

Dipl.-Ing. Matthias Dannemann

Dipl.-Ing. Andreas Grotz

Dipl.-Ing. Thilo Köder

Dipl.-Ing. Frank Mochel

Dipl.-Ing. Elmar Rothenhöfer

Dipl.-Ing. Andreas Weber

Modellbau und Versuchswerkstatt:

Ralf Berwanger

Stefan Schneider

Wissenschaftliche Hilfskräfte:

Noemi Arias	Metodi Kostadinov
Christian Baijet	Christoph Prüll
Ingmar Brandt	Christian Scheu
Axel Ege	Ignasi Selga
Manfred Giljum	Daniel Sieber
Nora Hägele	Marcus Weber
Jens Kaps	Till Zimmermann

1.2 Jahresrückblick

Personalia

Im Jahre 2005 wurden drei neue Mitarbeiterinnen bzw. Mitarbeiter eingestellt. Im Sekretariat ging Frau Reinhardt nach fast 15-jähriger Tätigkeit als Institutssekretärin in die Freistellungsphase der Altersteilzeit. Frau Wanner löste sie im Sekretariat ab. Herr Köder wechselte nach Abschluss seines DFG-Projektes im Rahmen der DFG-Forschergruppe zur Systemzuverlässigkeit in frühen Phasen zum Jahresende in die Industrie, für die zweite Phase des Projektes wurde Herr Beier eingestellt. Herr Mochel arbeitet seit November 2005 auf einer Drittmittelstelle am Institut.

Zum Jahresende schied zudem Herr Weber nach Abschluss seiner befristeten Tätigkeit planmäßig aus. Herr Joerges wurde zum Januar 2006 auf einer Haushaltsstelle im Bereich Aktorik eingestellt.

Jubiläen

Am IKFF wurden im Jahre 2005 einige runde Jubiläen würdig begangen, der 75. Geburtstag von Prof. Jung, der 60. Geburtstag von Frau Reinhardt und ihre Verabschiedung in den Vorruhestand sowie der 50. Geburtstag von Prof. Schinköthe.

Aktivitäten in der Lehre

Die Anfängerzahlen im Maschinenbau im weiteren Sinn stabilisieren sich auf hohem Niveau. Insgesamt liegen die regulären Anfängerzahlen aller maschinenbaulichen Studiengänge der Universität Stuttgart (ohne Luft- und Raumfahrttechnik) derzeit bei ca. 900 Studierenden. Im Studiengang Maschinenwesen selbst bewegen sich die Anfängerzahlen nach Einführung eines Eignungsfeststellungsverfahrens um 270 Studierende. Im Hauptdiplom kommt die starke Zunahme der Studierendenzahlen der letzten beiden Jahre nun auch an, die Zahlen steigen.

Bei den Lehrveranstaltungen des Instituts ist das Bild geteilt. Die Vordiploms-Lehrveranstaltungen konzentrierten sich auf die Fächer Konstruktionslehre Feinwerktechnik III und IV im dritten und vierten Semester als Wahlmöglichkeit für den Studiengang Maschinenwesen. Die erst seit 2002 bestehende Wahlmöglichkeit für den Studiengang Technologiemanagement für die gleiche Lehrveranstaltung wurde mit Beginn des Wintersemesters 2005/2006 wieder zurückgenommen, da für diese Studierenden nun innerhalb der Fakultät eine eigenständige Vordiploms-Lehrveranstaltung angeboten wird.

In der Konstruktionslehre IV waren einschließlich Technologiemanagement im Sommersemester 156 Studierende zu betreuen. Ein Höhepunkt des Sommersemesters war dabei wieder der jährlich stattfindende Konstruktionswettbewerb. Bei 156 Studierenden war dies aber auch eine Herausforderung für das Institut (siehe Abschnitt 5.3). Im Wintersemester 2005/2006 haben in der Konstruktionslehre III nun ohne Technologiemanagement 55 Studierende begonnen.

Das Hauptfach Feinwerktechnik ist ebenfalls wieder gut besucht. Derzeit belegen 20 Studierende sowohl das Kernfach Aktorik als auch das Pflichtfach Grundlagen der Feinwerktechnik Gerätekonstruktion und -fertigung. Die Lehrveranstaltungen des Hauptdiploms konzentrieren sich auf die beiden Schwerpunkte Gerätekonstruktion als methodisch orientierte und feinwerktechnische Aktorik als konkret forschungs- und entwicklungsorientierte Linie. Die Absolventen fanden auch 2005 relativ schnell einen Einstieg in die Industrie.

Die Vorlesung „Grundlagen der Feinwerktechnik - Gerätekonstruktion und -fertigung“, deren Titel leicht modifiziert wurde, behandelt Grundlagen der Entwicklung und Konstruktion feinwerktechnischer Geräte bzw. Systeme und betont dabei insbesondere den engen Zusammenhang zwischen konstruktiver Gestaltung und zugehöriger Fertigungstechnologie. Den Schwerpunkt bilden Themenkreise wie methodische Ansätze zur kreativen Lösungsfindung, zuverlässigkeits- und sicherheitsgerechte Konstruktion, Genauigkeit, Fehlerverhalten und Toleranzrechnung in der Präzisionsgerätetechnik, Schwingungsdämpfung und Lärminderung in der Gerätetechnik, Beziehungen zwischen Gerät und Umwelt sowie die Kunststofftechnologie und -anwendung in der Gerätetechnik (Werkstoffe, Verfahren, Konstruktion, Werkzeugkonstruktion).

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 Antriebs-

systeme 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. Die Lehrinhalte zur Aktorik sind in zwei Buchbeiträgen für das „Handbuch Elektrische Kleinantriebe“ und für das Lehrbuch „Gerätekonstruktion in Feinwerktechnik und Elektronik“ enthalten.

Die Hauptfachpraktika „Ultraschallantriebe“, „Lineardirektantriebe“, „Schrittmotoren“, „Koordinatenmesstechnik“, „FEM-Berechnungen mit ANSYS sowie Maxwell“, „Spritzgießen“ und „Raster-Elektronen-Mikroskopie“ sind in die Lehrveranstaltungen einbezogen.

Aktivitäten in der Forschung

Die Entwicklung alternativer Antriebssysteme für die Feinwerktechnik auf der Basis elektrodynamischer Kraftwirkung (elektrodynamische Linearmotoren) bzw. von Festkörpereffekten (Wanderwellenmotoren) steht nach wie vor im Mittelpunkt des Arbeitsgebiets **Aktorik**. Als Schwerpunkt in der Nutzung elektrodynamischer Antriebsprinzipien wird derzeit die am Institut entwickelte integrierte Wegsignalerfassung im Rahmen eines DFG-Projekts auf Motoren mit Kurzspulen und Motoren mit bewegten eisenlosen Wicklungen erweitert. Das DFG-Projekt dazu wurde nach erfolgreichem Zwischenbericht für das dritte Jahr genehmigt und läuft bis März 2006. Erste Ergebnisse dazu wurden auf zwei Tagungen, der Mechatronik-Tagung in Wiesloch sowie dem IWK in Ilmenau vorgestellt.

In Industrieprojekten werden darüber hinaus diverse anwendungsspezifische elektrodynamische Linearmotoren entwickelt und realisiert. Auch Forschungen zur Realisierung von Direktantrieben mit piezoelektrischen Antrieben wurden 2005 als Industrieprojekt ausgeführt. Aus diesem Umfeld wurde auch wieder ein Patent angemeldet und ein weiteres steht kurz davor.

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.

Im Jahre 2005 wurden darüber hinaus die Arbeiten zur variothermen Prozessführung mit integrierten Induktoren und Impulskühlung zu einem ersten Abschluss gebracht. Die Ergebnisse dazu sowie auch weitere Ergebnisse zur Induktionserwärmung beim

Spritzgießen wurden auf dem 19. Stuttgarter Kunststoff-Kolloquium in drei Beiträgen veröffentlicht. Das IKFF war Mitveranstalter des Kunststoff-Kolloquiums.

Das Arbeitsgebiet **Zuverlässigkeit feinwerktechnischer Antriebe** wurde inzwischen am IKFF gut etabliert. Das IKFF ist mit einem Teilprojekt in der DFG-Forschergruppe „Systemzuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen“ integriert. Das angestrebte Ziel der Forschergruppe ist die Entwicklung von Methoden zur Bestimmung der Zuverlässigkeit mechatronischer Systeme in frühen Entwicklungsphasen. Durch die Einbeziehung der Zuverlässigkeitsuntersuchungen bereits in den frühen Entwicklungsphasen sollen neben zuverlässigeren Produkten mit geringeren Ausfallquoten auch ein schnellerer Entwicklungsprozess und die Integration aller am Produkt beteiligten Fachgebiete (Systemzuverlässigkeit) bei mechatronischen Systemen erreicht werden.

Die Forschergruppe vereint Kollegen aus den Fachgebieten Konstruktion, Mathematik, Elektrotechnik, Informatik, Softwaretechnik sowie Feinwerktechnik. Durch die interdisziplinäre Zusammensetzung soll ein hoher Informationsaustausch über Fachbereichsgrenzen hinweg erreicht werden. Das IKFF bearbeitet darin das Thema „Zuverlässigkeit von elektromechanischen /mechatronischen Systemen am Beispiel feinwerktechnischer Antriebe/Aktorik“.

2005 konnte die erste, dreijährige Projektphase der Forschergruppe erfolgreich abgeschlossen werden. Am IKFF stand in dieser Phase die Untersuchung der Zuverlässigkeit elektromechanischer Komponenten feinwerktechnischer Antriebe im Vordergrund. Die Ergebnisse dazu werden in einer Dissertation erscheinen. Vorab wurde jedoch bereits in einer Fachzeitschrift, auf einer Tagung und in mehreren Workshops dazu berichtet.

Der Folgeantrag für die zweite, ebenfalls dreijährige Phase wurde im Anschluss an eine eintägige Begutachtung genehmigt. Inhaltlich wird diese Projektphase der Zuverlässigkeit mechanischer Komponenten feinwerktechnischer Antriebssysteme gewidmet sein. Die Dauerversuchsstände zur Ermittlung der Ausfalldaten werden gegenwärtig für die Untersuchung von Getrieben umgerüstet.

Weitere Aktivitäten

Im Rahmen der Forschungsarbeiten wurden umfangreiche Drittmittelaufträge aus der Industrie eingeworben und realisiert. Veröffentlichungen (siehe Abschnitte 5 und 8) zeugen von den in der Forschung erzielten Ergebnissen. Viele der Veröffentlichungen sind im Volltext auch auf der Homepage des Instituts zugänglich (www.uni-stuttgart.de/ikff).

1.3 Wissenschaftliche Arbeitsgebiete

Am 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 die integrierte Wegsignalerfassung. Neben den elektrodynamischen Systemen bilden piezoelektrische Antriebe, insbesondere Wanderwellenmotoren, 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.

Im Arbeitsgebiet **optische und mechanische Sensorik** stehen gegenwärtig 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 für Linearantriebe.

Auch das Arbeitsgebiet **Zuverlässigkeit feinwerktechnischer Antriebe** lässt sich in diesen Problemkreis einordnen. Im Rahmen der DFG-Forschergruppe „Systemzuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen“ bearbeitet das Institut das Thema „Zuverlässigkeit von elektromechanischen/mechatronischen Systemen am Beispiel feinwerktechnischer Antriebe/Aktorik“. Dadurch wird Kompetenz in der Zuverlässigkeitstechnik, speziell zur Zuverlässigkeit feinwerktechnischer Antriebe und Aktorik aufgebaut werden. 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, Piezowanderwellenmotoren).
- Berechnung derartiger Antriebe und Simulation ihres dynamischen Verhaltens.
- Erarbeitung geeigneter Unterstützungsmittel und Methoden zur Entwicklung alternativer Antriebssysteme.
- Entwicklung ein- und mehrsträngiger elektrodynamischer Lineardirektantriebe mit integrierten Wegmesssystemen.
- Entwicklung geeigneter elektronischer Ansteuerungen unter Ausnutzung der integrierten Messsysteme.
- Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten poröser Materialien für aerostatische Lagerungen von Linearantrieben. Ermittlung von Bearbeitungsparametern zur Luftlagerherstellung und Dimensionierung der Luftlager.

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 zur Verbesserung des Formfüllverhaltens, insbesondere im Hinblick auf die Abformung mikrotechnischer Strukturen.

Messtechnik und Sensorik

- Entwicklung von integrierten Messsystemen zur Läuferpositionsbestimmung in ein- und mehrsträngigen elektrodynamischen Lineardirektantrieben mit dem Ziel, zusätzliche Sensoren bzw. Wegmesssysteme entbehrlich zu machen.

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, insbesondere Antriebe und Aktorik.
- Datensammlung.
- Experimentelle Untersuchungen, Aufbau von Dauerlauf-Versuchsständen für Kleinstmotoren und Getriebe (elektromechanische und mechanische Komponenten).
- Vorausberechnung der Zuverlässigkeit von Systemen aus verschiedenartigsten Bestandteilen und Fachgebieten in der Entwurfsphase.
- Erarbeitung von Ansätzen für die Ermittlung der Systemzuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen (Konzeptphase).

2 LEHRVERANSTALTUNGEN

2.1 Vorlesungen und Übungen für das Vordiplom

2.1.1 Konstruktionslehre III (Feinwerktechnik)

(Schinköthe, Burkard)

Wintersemester 2004/2005: 157 Studenten (mach + tema)

Wintersemester 2005/2006: 55 Studenten (mach)

16 Vorlesungen à 2 SWS

15 Vorlesungen à 1 SWS

15 Übungen à 3 SWS

Betreuer: Burkard, Clauß, Dannemann, Grotz, Köder, Rothenhöfer, Weber

2.1.2 Konstruktionslehre IV (Feinwerktechnik)

(Schinköthe, Burkard)

Sommersemester 2005: 156 Studenten (mach + tema)

14 Vorlesungen à 2 SWS

13 Vorlesungen à 1 SWS

13 Übungen à 2 SWS

Betreuer: Burkard, Clauß, Dannemann, Grotz, Köder, Rothenhöfer, Weber

2.2 Vorlesungen und Übungen für das Hauptdiplom

2.2.1 Grundlagen der Feinwerktechnik, Gerätekonstruktion und -fertigung

(Schinköthe, Burkard, Beier)

Wintersemester 2004/2005: 11 Studenten

Wintersemester 2005/2006: 24 Studenten

19 Vorlesungen à 2 SWS

10 Übungen à 2 SWS

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

Wintersemester 2004/2005: 3 Studenten

Wintersemester 2005/2006: 21 Studenten

15 Vorlesungen à 2 SWS

Sommersemester 2005: 3 Studenten

6 Vorlesungen à 2 SWS

8 Übungen à 2 SWS

2.3 Prüfungen

Fach	Termin	Kandidaten
KL III + IV (FWT)	F 2005 H 2005	148
Grundlagen der Feinwerktechnik; Gerätekonstruktion und -fertigung (Pflichtfach, schriftlich)	F 2005	9
Grundlagen der Feinwerktechnik; Gerätekonstruktion und -fertigung (Kernfach, mündlich)	F 2005	3
Aktorik in der Feinwerktechnik - Berechnung, Konstruktion und Anwendung mechatronischer Komponenten (Kernfach, mündlich)	F 2005	4

2.4 Praktika

2.4.1 Praktikum Feinwerktechnik

(Für Studierende des Hauptfachs Feinwerktechnik)

Wintersemester 2004/2005

Versuch 1:	„Koordinatenmesstechnik“
6 Teilnehmer	2 Termine
Betreuer: Burkard	

Versuch 2:	„FEM-Praktikum ANSYS“
5 Teilnehmer	5 Termine
Betreuer: Dannemann, Rothenhöfer, Weber	

Versuch 3:	„Spritzgießen“
3 Teilnehmer	1 Termin
Betreuer: Weber	

Versuch 4:	„Lineardirektantriebe“
12 Teilnehmer	3 Termine
Betreuer: Dannemann	

Sommersemester 2005

Versuch 1:	„Piezoantriebe“
5 Teilnehmer	1 Termin
Betreuer: Rothenhöfer	

2.4.2 Allgemeines Praktikum Maschinenbau (APMB)

(Für Studierende im zweiten Studienabschnitt Maschinenbau)

Sommersemester 2005

Versuch 1:	„Schrittmotoren“
8 Teilnehmer	2 Termine
Betreuer: Dannemann	

2.5 Seminar Feinwerktechnik

27.01.2005	Kliche, Kurt	Mikrocontrollergesteuerter Motorenprüfstand zur Analyse feinwerktechnischer Lineardirektantriebe
14.04.2005	Sekler, Peter	Umsetzung der integrierten Wegmessung mit digitalen Signalprozessoren am Beispiel eines homopolaren Lineardirektantriebs
21.04.2005	Schneider, Marc	Entwicklung eines Temperaturmessverfahrens für ein Spritzgusswerkzeug mit Beheizung durch einen externen Induktor
19.05.2005	Hägele, Nora	Aufbau eines Prüfstands zur vollautomatisierten Kennlinienermittlung von Kleinmotoren
19.05.2005	Kienle, Ulrich	Analyse eines in eine Linearführung integrierten Lineardirektantriebs mittels FEM und Optimierung der Kraft-Weg-Kennlinie
30.06.2005	Thoma, Stefanie	Analyse und messtechnische Untersuchung von Tauchspulantrieben für die integrierte Wegmessung
24.11.2005	Wieczorek, Gregor	FEM-Untersuchung eines quaderförmigen Resonators am Beispiel eines Ultraschallmotors der Firma Physik Instrumente

3 WISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN, STUDIEN- UND DIPLOMARBEITEN

3.1 Dissertationen

Im Jahre 2005 wurden zwei Dissertationen eingereicht, eine Dissertation zur Zuverlässigkeit von Kleinantrieben und eine Dissertation zu linearen Wanderwellenmotoren. Die Prüfungen dazu finden erst Anfang 2006 statt. Diese Arbeiten erscheinen im Jahresbericht 2006.

Mitberichte zu folgenden Dissertationen wurden erstellt:

Buhl, Steffen	Wechselbeziehungen im Dichtsystem von Radial-Wellendichtring, Gegenlaufläche und Fluid
Franz, Stefan	Optische Vermessung von Bohrungen
Li, Huiping	Untersuchungen zum realen Bewegungsverhalten von Losteilen in Fahrzeuggetrieben
Warkentin, Daniel	Untersuchungen von kapazitiven Beschleunigungssensoren aus metallbeschichtetem Kunststoff
Wadehn, Wolf	Gestaltung von Antriebssystemen für formadaptive Strukturen

3.2 Diplomarbeiten am IKFF

04/2005	Zeiß, Christoph	Linearer Wanderwellenmotor - Verbesserung von Komponenten und Aufbau eines Gesamtsystems Standort: 15.1.320
06/2005	Rothenhöfer, Gerald	Minimizing the Pitch Error of an Open Face Linear Motor Standort: 15.1.321

07/2005	Kienle, Ulrich	Sicherheitskupplung für handgeführte Elektrowerkzeuge Standort: 15.1.322
12/2005	Baijet, Cristian	Finite Element Analysis of a Twist-Connector Type Ultrasonic Motor Standort: 15.1.323

3.3 Studienarbeiten am IKFF

01/2005	Kliche, Kurt	Mikrocontrollergesteuerter Motorenprüfstand zur Analyse feinwerktechnischer Lineardirektantriebe. Standort: 15.2.952
02/2005	Hägele, Nora	Aufbau eines Prüfstands zur vollautomatisierten Kennlinienermittlung von Kleinmotoren. Standort: 15.2.955
03/2005	Schneider, Marc	Entwicklung eines Temperaturmessverfahrens für ein Spritzgusswerkzeug mit Beheizung durch einen externen Induktor. Standort: 15.2.953
04/2005	Kienle, Ulrich	Analyse eines in eine Linearführung integrierten Lineardirektantriebs mittels FEM und Optimierung der Kraft-Weg-Kennlinie. Standort: 15.2.956
04/2005	Sekler, Peter	Umsetzung der integrierten Wegmessung mit digitalen Signalprozessoren am Beispiel eines homopolaren Lineardirektantriebs. Standort: 15.2.954
08/2005	Thoma, Stefanie	Analyse und messtechnische Untersuchung von Tauchspulantrieben für die integrierte Wegmessung. Standort: 15.2.957

11/2005 Wieczorek, Gregor FEM-Untersuchung eines quaderförmigen
Resonators am Beispiel eines Ultraschallmotors
der Firma Physik Instrumente.
Standort: 15.2.958

3.4 Preise

Dr.-Ing. Christian Welk Preis der Gustav-Magenwirth-Stiftung für seine
Dissertation am IKFF

4 ARBEITSGEBIETE DER WISSENSCHAFTLICHEN MITARBEITER

4.1 Aktorik

Clauß, C.

Bearbeitung des DFG-Forschungsprojekts „Integrierte Wegmessung in feinwerktechnischen Lineardirektantrieben durch Detektion der Flussdichte im flussführenden Eisen“.

Entwicklung und Aufbau elektronischer Schaltungen, Programmierung von Mikrocontrollern und DSPs.

Mitarbeit an mehreren Industrieprojekten mit den Schwerpunkten FEM-Simulation, Einsetzbarkeit von Verfahren der integrierten Wegmessung, Ansteuerung mehrachsiger Antriebe.

Betreuung von Gruppenübungen im Vordiplom; Mitarbeit an der Vortragsübung „Lineardirektantriebe“ (Schwerpunkt Regelung) im Hauptdiplom und bei der Umsetzung der Übung als e-learning Angebot (self-study-online).

Betreuung von Elektroniklabor und Ätzraum.

Unterstützung bei der Softwarewartung PC-Netzwerk.

Dannemann, M.

Lehre:

Betreuung der Vordiplomsübungen in KL 3/4 in Form von Vortrags- und Gruppenübungen; Ausarbeitung von Aufgabenstellungen und Musterlösungen für Übungsaufgaben, Korrektur von Übungsaufgaben, FEM-Praktikum. Durchführung der Hauptfachübungen und des zugehörigen Hauptfachpraktikums „Lineare Direktantriebe“. Durchführung und Weiterentwicklung des APMB-Praktikums „Schrittmotoren“.

Integration der Übungen zur Vorlesung "Aktorik in der Feinwerktechnik" in die Lernplattform ILIAS.

Industrieprojekte:

Entwicklung verschiedener Lineardirektantriebe zur Anwendung in Führungssystemen.

Machbarkeitsstudie zu Mehrkoordinatenantriebssystemen.

Betreuung des UNIX-Netzwerkes.

Grotz, A.

Lehre:

Betreuung der Vordiplomsübungen Konstruktionslehre 3/4.

Betreuung des Übungskomplexes „Lagerungen und Wellen“ innerhalb der Vordiplomsübungen Konstruktionslehre 3/4.

Betreuung einer Studienarbeit „Numerische Optimierung von rotationssymmetrischen Lineardirektantrieben mit bewegtem Magnetsystem und Linearkugellagerung“.

Betreuung einer Studienarbeit „Konstruktion einer Lineardirektantrieb-Baureihe mit asymmetrischem Magnetsystem“.

Industrieprojekte:

Machbarkeitsstudie zu einem Direktantriebssystem zur Handkraftunterstützung für Linearverstellungen.

Konstruktion, Fertigung und Montage dieses Systems.

Sonstiges:

PC-Administration.

Rothenhöfer, E.

Lehre:

Betreuung von Vordiplomsübungen in KL 3/4 sowie Gruppenübungen.

Erstellung von Prüfungsaufgaben.

Betreuung des FEM-Praktikums.

Betreuung der Studienarbeit „Finite Element Analysis of a „Twist-Connector“-Type Ultrasonic Motor“.

Betreuung der Studienarbeit: „FEM-Untersuchung eines quaderförmigen Resonators am Beispiel eines Ultraschallmotors der Firma Physik Instrumente“.

Forschung:

Prüfstandsentwicklung für die Vermessung piezoelektrischer Ultraschallmotoren unter Großsignal.

Industrieprojekte:

Dimensionierung einer Feinverstellung mit piezoelektrischer Aktorik. Optimierung von Ultraschallmotoren.

Sonstiges:

PC-Administration.

4.2 Spritzgießen

Burkard, E.

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

Bearbeitung von Industriaufträgen 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 Rasterelektronenmikroskop.

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

Administration und Wartung der UNIX-Rechner und des Institutsnetzes.

Weber, A. Weiterentwicklung der vollständig integrierten induktiven Werkzeugtemperierung mit Impulskühlung.
 Betreuung von Vordiplomsübungen KL 3/4, Vortrags- und Gruppenübungen, Ausarbeitung von Aufgabenstellungen und Musterlösungen für Übungsaufgaben und Klausuren, Korrektur von Übungs- und Klausuraufgaben.
 Betreuung von Studienarbeiten.
 FEM-Praktikum ANSYS; Organisation, Theorieteil und Abschnitte „Elastomechanik“ und „Temperaturfelder“.
 Hauptfachpraktikum „Spritzgießen“.
 Administration und Wartung der UNIX-Workstations, der Linux-PCs und der Firewall.

4.3 Zuverlässigkeitstechnik

Köder, T.; Beier, M. (seit 10/05)

Mitarbeit in der DFG-Forschergruppe zum Thema „Systemzuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen“ mit dem Arbeitsschwerpunkt auf dem Teilprojekt „Zuverlässigkeit von elektromechanischen/mechatronischen Systemen am Beispiel feinwerktechnischer Antriebe/Aktorik“.

Begleitender Aufbau des neuen Arbeitsgebiets der Zuverlässigkeit von Antriebssystemen am Institut. Diese Aufgabe umfasst neben der reinen Forschungstätigkeit auch den Aufbau und die Betreuung von Dauerlaufprüfständen für rotatorische Kleinantriebe.

Ansprechpartner für Literaturrecherchen.

Durchführung und Erstellung der Zuverlässigkeitsübungen im Hauptdiplom.

Mitbetreuung der Gruppenübungen KL 3/4, Korrektur von Übungsaufgaben.

5 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

5.1 Veröffentlichungen

Burkard, E.; Weber, A.; Schinköthe, W.

Induktive Formtemperierung mit integriertem Induktor - Verfahren, Eigenschaften, Einsatzgebiete. Postervortrag, 19. Stuttgarter Kunststoff-Kolloquium, Stuttgart, 9.-10.3.2005.

Burkard, E.; Weber, A.; Schinköthe, W.

Induktive Formtemperierung mit externem Induktor - Verfahren, Eigenschaften, Einsatzgebiete. Postervortrag, 19. Stuttgarter Kunststoff-Kolloquium, Stuttgart, 9.-10.3.2005.

Clauß, C.; Schinköthe, W.

Integrierte Wegmessung in Lineardirektantrieben - Erschließung neuer Anwendungsfelder durch Flussdichtedetektion. VDI-Tagung Mechatronik 2005 „Innovative Produktentwicklung“, Wiesloch 1./2.6.2005, VDI-Bericht 1892, S 557-574.

Clauß, C.; Schinköthe, W.

Integrierte Wegmessung in Lineardirektantrieben - Stand und Ausblick. 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TU Ilmenau, 19.-22.9.2005.

Gandy, A.; Jensen, U.; Köder, T.; Schinköthe, W.

Ausfallverhalten bürstenbehalteter Kleinantriebe. F&M Mechatronik 113 (2005)11-12, S. 14-17.

Grotz, A.

Motorführung - Linearführung mit integriertem Lineardirektantrieb, <http://www.uni-stuttgart.de/ikff/>, Januar 2005.

Grotz, A.; Schinköthe, W.

Linearmotor mit Selbsthemmung. Patentanmeldung, Aktenzeichen 10 2005 039 267.9, 19.8.2005.

Jung, A.

Die technische Gestalt, ein Werkzeug zur Analyse und Kreation beim Konstruieren. Beitrag zur Festschrift zum Ehrenkolloquium für Prof. Höhne und Prof. Schorcht, 27.5.2005, Ilmenau.

Köder, T.; Schinköthe, W.

Untersuchungen zur Zuverlässigkeit und Lebensdauer von DC-Kleinstmotoren und Positioniersystemen. 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TU Ilmenau, 19.-23.9.2005.

Köder, T.; Schinköthe, W.

Lebensdauerangaben bei Kleinantrieben. Beitrag zur Festschrift zum Ehrenkolloquium für Prof. Höhne und Prof. Schorcht, 27.5.2005, Ilmenau.

Köder, T.; Schinköthe, W.

Zuverlässigkeit von elektromechanischen/mechatronischen Systemen am Beispiel feinwerktechnischer Antriebe/Aktorik. Zwischenbericht 2005 der Forschergruppe DFG 460 Systemzuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen, SCHI 457/7.

Köder, T.; Schinköthe, W.

Zuverlässigkeit von elektromechanischen/mechatronischen Systemen am Beispiel feinwerktechnischer Antriebe/Aktorik. Vortrag zum Industrieworkshop der Forschergruppe DFG 460 Systemzuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen, Stuttgart, 1.12.2005.

Schinköthe, W.

Zuverlässigkeit von elektromechanischen/mechatronischen Systemen am Beispiel feinwerktechnischer Antriebe/Aktorik. Vortrag zum SFB-Kolloquium SFB 614, Paderborn, 19.12.2005.

Weber, A.; Schinköthe, W.

Vollständig integrierte induktive Beheizung und Impulskühlung von Spritzgießwerkzeugen. Vortrag, 19. Stuttgarter Kunststoff-Kolloquium, Stuttgart, 9.-10.3.2005.

Zusätzlich diverse Forschungsberichte für industriefinanzierte Drittmittelprojekte.

5.2 Gremienarbeit

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe:

Mitglied des Universitätsrats der Universität Stuttgart

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 im Arbeitskreis „Universitätsprofessoren der Mikro- und Feinwerktechnik“

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

5.3 Tag der offenen Tür

„Runter kommen sie immer, aber wieder rauf?“

Dass es einfacher ist, einen Hang hinunterzukommen als ihn wieder hochzukommen, hat wohl jeder schon selbst erfahren. Aber genau das Hochkommen war die eigentliche Aufgabe beim diesjährigen Konstruktionswettbewerb.

Wie immer klang die Aufgabe ganz einfach. Es sollte eine Maschine entwickelt werden, die ohne Antriebsmotor eine vier Meter lange schiefe Ebene hinabfährt, am unteren Ende Tischtennisbälle aufnimmt und dann möglichst weit wieder hinaufrollt. Aber wie kann man die Energie, die beim Herabrollen frei wird, möglichst verlustarm speichern?

Mit dieser Frage mussten sich die 15 studentischen Teams beim 13. Konstruktionswettbewerb des Instituts für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik auseinander setzen und es kamen dabei ganz unterschiedliche Lösungen heraus. Als Energiespeicher wurden Zugfedern, Gummibänder und Schwungräder eingesetzt, und eine Maschine wurde einfach mit einem gut federnden Stoßfänger ausgerüstet, damit sie sich an der am unteren Bahndecke befindlichen Mauer wieder abstoßen kann.

Auch die Tischtennisbälle wurden auf unterschiedliche Weisen mitgenommen. Teilweise wurden sie an aufgespannten Klebebändern mitgezogen, durch leichte Papierschaulen aufgeladen, oder sie wurden in Klemmvorrichtungen eingekeilt. Trotz der ganz unterschiedlichen Ansätze gab es am Ende doch ein sehr knappes Kopf-an-Kopf-Rennen, und die Maschine der Siegergruppe gewann mit einem Vorsprung von nur 4 cm.

Das wieder einmal begeisterte Publikum und der Einsatz der studentischen Teams, die teilweise bis zur letzten Minute an ihren Maschinen optimierten, zeigen, dass ein Studium an der Universität Stuttgart, nicht nur - zwangsläufig auch trockenes - Wissen vermittelt, sondern auch sehr viel Spaß machen kann.

Ein besonderer Dank gilt den folgenden Firmen, die den Konstruktionswettbewerb teilweise schon seit mehreren Jahren unterstützen:

Arburg GmbH & Co., Audi AG, Carl Hanser Verlag GmbH & Co., Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG, NEFF-Antriebstechnik-Automation GmbH, Heise Zeitschriften Verlag GmbH & Co. KG, Springer Verlag GmbH, Otto Bilz Werkzeugfabrik GmbH & Co., Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG, Robert Bosch GmbH und Trumpf GmbH & Co.

Ergebnisse:

1. Platz: Lisa-Katrin Frentz, Josia Frenzel, Christian Stäbler, Christoph Prüll, Johannes Götz
2. Platz: Tobias Bayer, Till Kunze, Karel Brahmanto, Peter Gaugler, Christian Lechler
3. Platz: Vladimir Matic, Franz Vaas, Benjamin Durst, Marcus Weber, Clemens Jöchle

.

6 KONGRESSE, TAGUNGEN UND MESSEN

Prof. Schinköthe, W.:

- VDI-Tagung Mechatronik 2005 „Innovative Produktentwicklung“, Wiesloch, 1./2.6.2005
- 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Ilmenau, 19.-23.9.2005 (mit eigenem Vortrag)
- VDI/VDE Arbeitskreis „Stellantriebe“, Bühl, 27.4.2005 und St. Georgen, 15.11.2005
- Workshop „Entwicklung von Konzepten und Methoden zur Ermittlung der Zuverlässigkeit mechatronischer Systeme in frühen Entwicklungsphasen“, Stuttgart, 1.12.2005 (mit eigenem Vortrag)
- SFB-Kolloquium SFB 614, Paderborn, 19.12.2005 (mit eigenem Vortrag)

Burkard, E.:

- FAKUMA, Friedrichshafen, 19.10.2005

Clauß, C.:

- VDI-Tagung Mechatronik 2005 „Innovative Produktentwicklung“, Wiesloch, 1./2.6.2005, (mit eigenem Vortrag)
- 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Ilmenau, 19.-23.9.2005

Köder, T.:

- Workshop „Systemzuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen“, Freudenstadt, 17./18.2.2005 (mit eigenem Vortrag)
- 13. Kleinmaschinenkolloquium, Ilmenau, 10./11.3.2005
- 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium - IWK, Ilmenau, 19.-23.9.2005 (mit eigenem Vortrag)
- Workshop „Entwicklung von Konzepten und Methoden zur Ermittlung der Zuverlässigkeit mechatronischer Systeme in frühen Entwicklungsphasen“, Stuttgart, 1.12.2005 (mit eigenem Vortrag)

Weber, A.:

- FAKUMA, Friedrichshafen, 19.10.2005

7 WERKSTATTBERICHT

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

8 ANHANG - Ausgewählte Veröffentlichungen

In diesem Jahr stellen wir exemplarisch zwei Veröffentlichungen aus dem Bereich Lineardirektantriebe vor:

Clauß, C.; Schinköthe, W.:

Integrierte Wegmessung in Lineardirektantrieben - Stand und Ausblick.
Vortrag zum 50. Internationalen Wissenschaftlichen Kolloquium der TU Ilmenau,
19.-23.9.2005

Grotz, A.

Motorführung - Linearführung mit integriertem Lineardirektantrieb
Interner Forschungsbericht, <http://www.uni-stuttgart.de/ikff/>, Januar 2005

C. Clauß/ W. Schinköthe

Integrierte Wegmessung in Lineardirektantrieben - Stand und Ausblick

ABSTRAKT

Elektrodynamische Linearmotoren besitzen im Allgemeinen zunächst keine unmittelbaren internen Maßverkörperungen und benötigen deshalb externe Wegmesssysteme zum Betrieb im geschlossenen Regelkreis oder auch zusätzlich zur Kommutierung bei mehrsträngigen Motoren. Dadurch erhöhen sich Kosten, Bauraum und Systemkomplexität bei Anwendungen in Positioniersystemen. Es stellt sich deshalb die Frage, ob ausgewählte Motorparameter nicht als inhärente sensorische Eigenschaften genutzt oder auch zuvor gezielt eingebracht werden können. Dies ist durch punktuelle Veränderung und angepasste Gestaltung der Motorgeometrie oft ohne größere Aufwände möglich. Gelingt es nun, diese eingebrachten sensorischen Eigenschaften mit ausreichender Genauigkeit auch auszuwerten, kann man von einem Motor mit integrierter Wegmessung sprechen. Der gegenwärtige Stand dazu soll vorgestellt werden.

EINLEITUNG

Von den rotatorischen Motoren sind schon seit längerer Zeit Verfahren zur sogenannten sensorlosen Positionsbestimmung bekannt. Dabei geht es insbesondere darum, Kommutierungspunkte zu detektieren. Vereinzelt werden derartige Verfahren jedoch auch so weit getrieben, dass prinzipiell eine Messung des Drehwinkels möglich wird. Industriell umgesetzte Lösungen dienen jedoch im Allgemeinen einer sensorlosen Kommutierung. Ebenfalls seit Jahren bekannt sind Verfahren zur Geschwindigkeits- oder Drehzahlmessung unter Nutzung der gegeninduzierten Spannung in Antrieben. Beide Verfahren nutzen Eigenschaften im konstruktiven Aufbau oder im Funktionsprinzip der Motoren, um sensorlos Informationen zu Betriebsparametern zu erzeugen. Am Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik der Universität Stuttgart (IKFF) werden unter anderem Lineardirektantriebe im kleinen Leistungsbereich untersucht und anwendungsspezifisch entwickelt. In diesem Zusammenhang entstand bei stark miniaturisierten Antrieben ebenfalls die Idee, integrierte sensorische Eigenschaften derartiger Antriebe zur Wegmessung heranzuziehen beziehungsweise solche sensorischen Eigenschaften zunächst in die Antriebe zu implementieren.

Anwendungsgegenstand waren dabei elektrodynamische Linearmotoren, also Gleichstromlinearmotoren, die i. Allg. keine interne Maßverkörperung besitzen, zum Betrieb in einem Positioniersystem aber ein Messsystem zum Aufbau eines geschlossenen Regelkreises benötigen. Bei

mehrsträngigen Antrieben kommt zusätzlich die Problematik der Kommutierung hinzu. Bei der Entwicklung von miniaturisierten Antrieben fehlt oft der notwendige Bauraum für derartige Messsysteme oder die Kosten für ein solches Messsystem übersteigen die Antriebskosten.

In den zurückliegenden Jahren wurden deshalb am IKFF verschiedenartige Ansätze zur integrierten Wegmessung untersucht. Begonnen wurde mit einfachen, stark miniaturisierten homopolaren Motoren und linearen Stellgliedern dafür. Zur Auswertung der Weginformation wurde eine zusätzliche Messwechselspannung auf das Stellsignal moduliert. Danach stellte sich die Frage der Einbeziehung mehrsträngiger Motoren und somit auch der Kommutierung. Schließlich sollten auch leistungsstärkere Motoren und damit Systeme mit getakteter, pulsweitenmodulierter Ansteuerung mit einbezogen werden. Hier waren dann mikrorechnergestützte Auswerteverfahren erforderlich, die aus Spannungsanstiegen pulsweitenmodulierter Signale entsprechende Informationen erzeugten. Bei all diesen Verfahren wurden Induktivitätsänderungen bei Bewegung eines vorzugsweise eisenbehafteten Läufers in Teilspulen des Motors detektiert. Der Läufer und die Teilspulen mussten dabei konstruktiv aufeinander abgestimmt sein, was aber nicht bei allen Bauformen umzusetzen ist.

Zur Ausweitung des Messverfahrens auf andere Motorbauformen musste deshalb ein weiteres Verfahren und die erforderliche Auswerteelektronik inklusive Auswertesoftware erarbeitet werden. Als sensorische Eigenschaft wird dabei die Flussdichteverteilung im magnetischen Kreis und die sich ergebenden Permeabilitäten im Motor genutzt.

Der Beitrag soll eine Übersicht über die Vielfalt der bisher am Institut entwickelten Verfahren zur integrierten Wegmessung in elektrodynamischen Linearmotoren geben, deren Vor- und Nachteile gegenüber anderen Messsystemen und auch die notwendigen konstruktiven Maßnahmen am Motor beleuchten und damit auch die einsetzbaren Motorbauformen eingrenzen. Der derzeit erreichte Stand bei der Ausnutzung interner sensorischer Eigenschaften von Gleichstromlinearmotoren wird diskutiert.

DETEKTION VON INDUKTIVITÄTSÄNDERUNGEN IN ELEKTRODYNAMISCHEN LINEARMOTOREN

Verfahren zur sensorlosen Läuferpositionserkennung sind abhängig von der Bauform des Linearmotors. Gut untersucht sind Verfahren für Motoren mit relativ zu Wicklungen bewegten flussführenden Komponenten. Bild 1 zeigt beispielhaft einen für die integrierte Wegmessung modifizierten Motor. Zur Wegmessung eignet sich hier die bei Relativbewegung zwischen Läufer und Stator auftretende Änderung der Induktivität von Teilwicklungen. Ob der magnetbehafete Kern

den Stator oder den Läufer bildet, ist dabei gleichgültig, wichtig ist die Relativbewegung zwischen den beiden Komponenten.

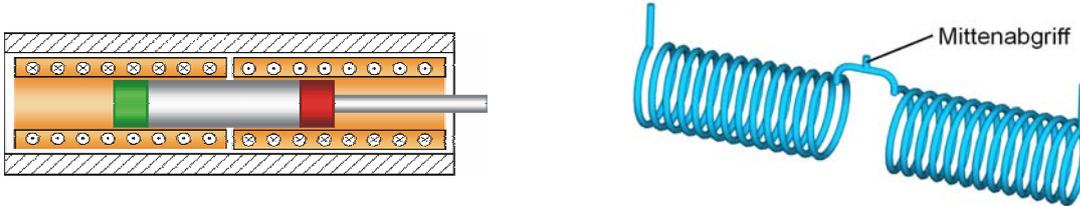


Bild 1: Einsträngiger homopolarer Linearmotor mit bewegtem Magnetsystem und Vorbereitung zur integrierten Wegmessung (rechts spezielle Wicklungsgestaltung mit Mittenabgriff)

Voraussetzungen für eine Induktivitätsänderung in den Teilspulen und damit eine integrierte Wegmessung sind dabei:

1. Ein Weicheisenkern oder ein Kern mit einem Dauermagneten hoher Permeabilität.
2. Eine Verschiebung des Kerns innerhalb der Teilspulen bewirkt eine Veränderung des von einer Teilspule umfassten Eisens und damit der Induktivität.
3. Die Wicklung ist als Langspule ausgeführt.

Werden diese Voraussetzungen konstruktiv realisiert und die Wicklung durch eine Mittelanzapfung in zwei Teilspulen geteilt, ergibt sich ein elektrisches Ersatzschaltbild nach Bild 2, das die Funktionsweise verdeutlicht.

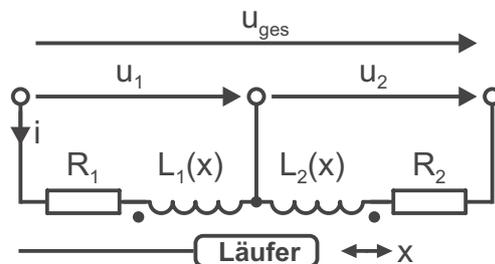


Bild 2: Elektrisches Ersatzschaltbild des homopolaren Antriebs mit integrierter Wegmessung

Bei dem hier vorgestellten Antrieb ist vorzugsweise das Magnetsystem beweglich als Läufer ausgeführt. Zum Einsatz kommen entweder Magnete aus AlNiCo als axial magnetisierte Zylindermagnete oder Seltenerd magnete als radial bzw. diametral magnetisierte, auf einen weichmagnetischen Kern aufgeklebte Segmente oder als axial magnetisierte Zylindermagneten, wobei letztere wegen ihrer geringen Permeabilität ebenfalls mit Flussführungsteilen aus Weicheisen kombiniert werden müssen, Bild 3.

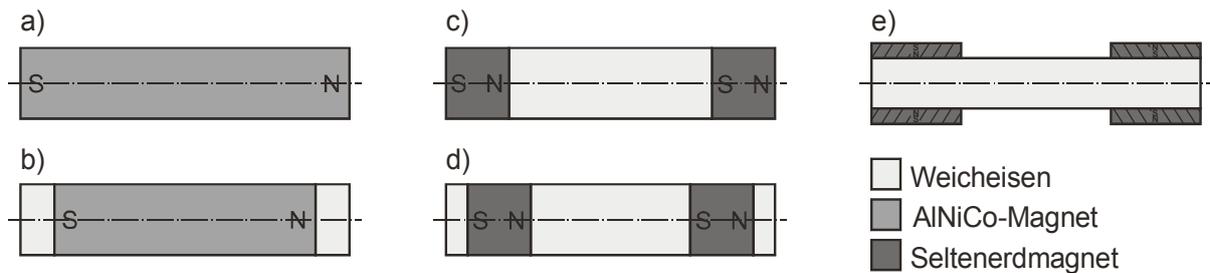


Bild 3: Mögliche Läuferbauformen für eine integrierte Wegmessung

a) bis d) Läufer mit axial magnetisierten Zylindermagneten

e) Läufer mit radial bzw. diametral magnetisierten Segmentmagneten

Optimale Verhältnisse für eine integrierte Wegmessung ergeben sich, wenn die Länge des detektierbaren Eisens bzw. der AlNiCo-Magneten genau der Hälfte der gesamten Spulenlänge entspricht. Bei Verschiebung des Läufers kommt es dann zu symmetrischen Induktivitäts- bzw. Impedanzänderungen in den Teilspulen des Antriebes. Diese können als interne sensorische Eigenschaft genutzt werden. Bild 4 zeigt den theoretischen (berechneten) Verlauf der Impedanz für einen konkreten Antrieb analog Bild 1.

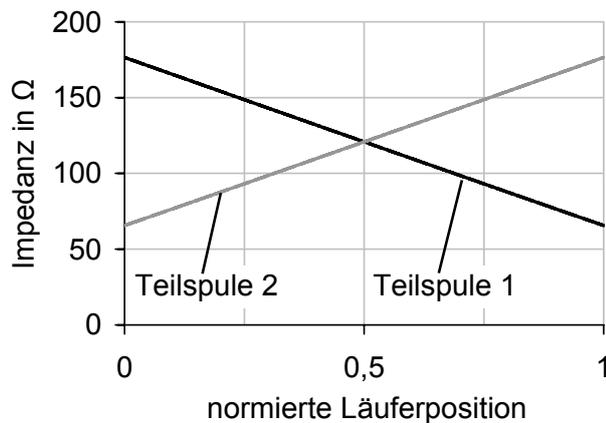


Bild 4: Theoretischer Verlauf der Teilspulimpedanzen über dem Läuferweg

Ein ähnliches Verhalten der Spuleninduktivität bzw. Impedanz kann auch bei mehrsträngigen Antrieben erreicht werden. Wiederum ist eine Unterteilung jedes Antriebsstranges in Teilstränge, hier durch eine Mittelanzapfung je Strang in zwei Teilstränge, erforderlich. Bild 5 zeigt dies für einen zweisträngigen Antrieb. Der Aufbau des Magnetsystems erfolgt beispielsweise mit Hilfe von diametral magnetisierten Schalensegmenten, die auf einen weichmagnetischen Kern aufgeklebt werden und den Läufer des Systems bilden. Spulen- und Magnetsystem müssen in ihrer axialen Ausdehnung wieder so aufeinander abgestimmt werden, dass der Läufer bei Bewegung immer aus dem einen Teilstrang ausfährt und in gleichem Maße in den anderen Teilstrang des gleichen Antriebsstranges einfährt, Bild 6.

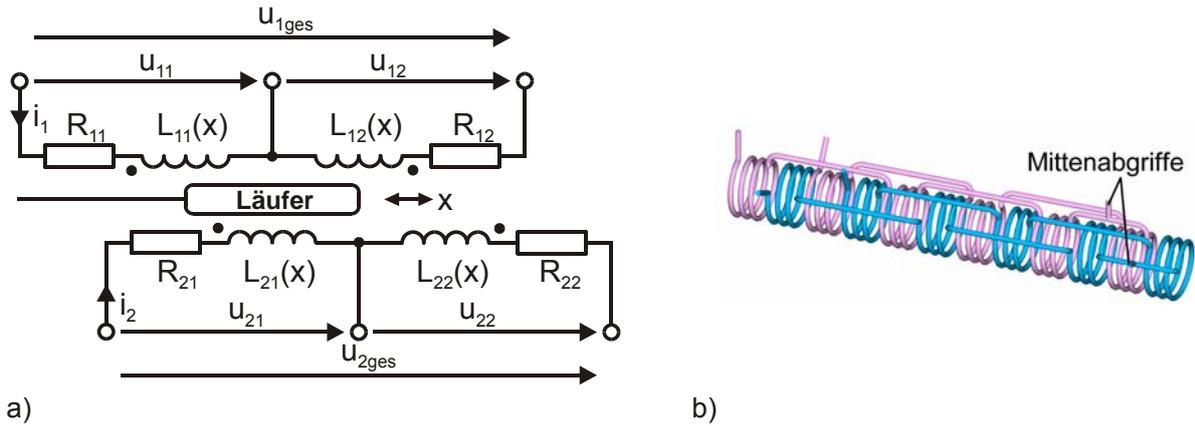


Bild 5: Spulensystemaufbau bei zweisträngigen Antrieben mit integrierter Wegmessung
a) elektrisches Ersatzschaltbild, b) praktische Umsetzung (vgl. auch Bild 6)

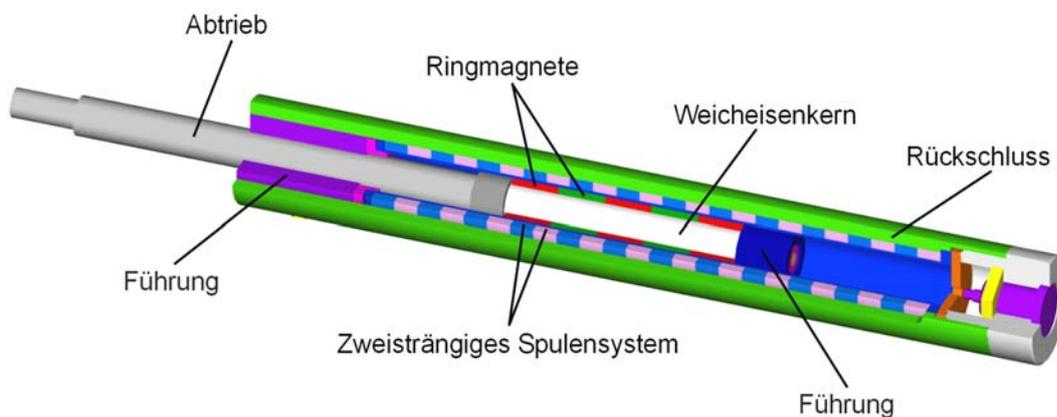


Bild 6: Mehrsträngiger Motor mit integrierter Wegmessung

Weitere prinzipielle Möglichkeiten zum Läuferaufbau zeigt Bild 7. Die diesbezüglichen Ausführungen für die homopolaren Motoren gelten hier sinngemäß, entweder haben die Magnetwerkstoffe bereits eine entsprechend hohe Permeabilität oder ein innerer Weicheisenkern wird nötig.

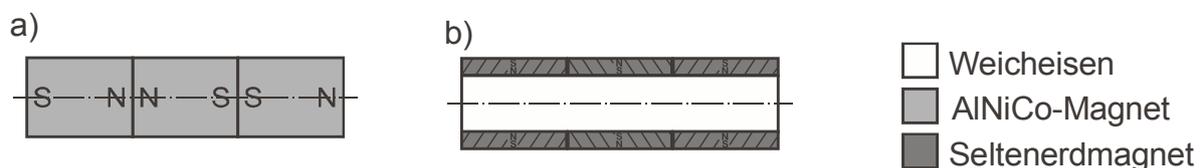


Bild 7: Läuferbauformen zur integrierten Wegmessung bei mehrsträngigen Motoren

- a) Läufer mit axial magnetisierten Zylindermagneten
b) Läufer mit radial bzw. diametral magnetisierten Segmentmagneten

Der zur Wicklung abgestimmte Läuferaufbau führt zu einer Induktivitätsdifferenz zwischen den beiden Teilsträngen, die als interne sensorische Eigenschaft genutzt werden kann, Bild 8.

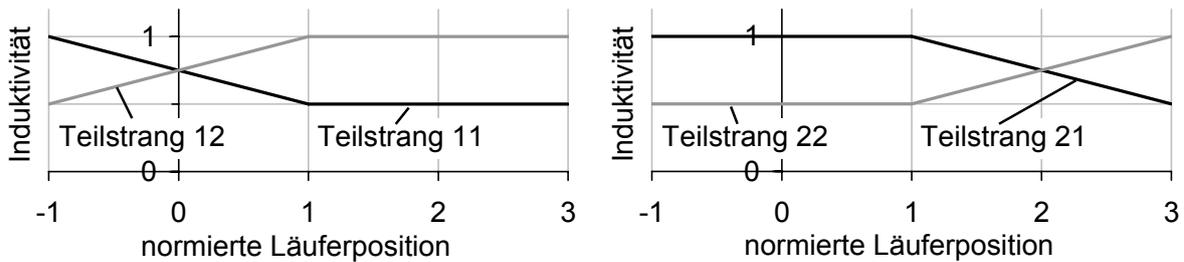


Bild 8: Theoretischer Verlauf der Induktivität in zweisträngigen Antrieben mit Mittenabgriff

Bei der Auswertelektronik für die integrierte Wegmessung in derartigen ein- oder mehrsträngigen Linearmotoren ist schließlich zu unterscheiden zwischen angepassten Verfahren für die:

1. Integrierte Wegmessung bei analoger Ansteuerung,
2. Integrierte Wegmessung bei getakteter Ansteuerung.

Integrierte Wegmessung bei analoger Ansteuerung. Als Beispiel dient hier weiterhin der in Bild 1 dargestellte Miniaturmotor. Um die Impedanzänderungen in den Teilspulen detektieren zu können, kann dem von der Endstufe erzeugten Gleichsignal (Gleichspannung oder –strom) ein Wechselsignal überlagert und über dieses die Impedanz- bzw. letztlich die Weginformation ausgewertet werden. Bild 9 zeigt dies für den Fall einer spannungsgeregelten Endstufe. Periode und Amplitude des Wechselsignals sind dem jeweiligen Antrieb anzupassen. Als Messsignal dient die Spannung am Mittenabgriff, deren Amplitude von der Läuferposition abhängt, Bild 10.

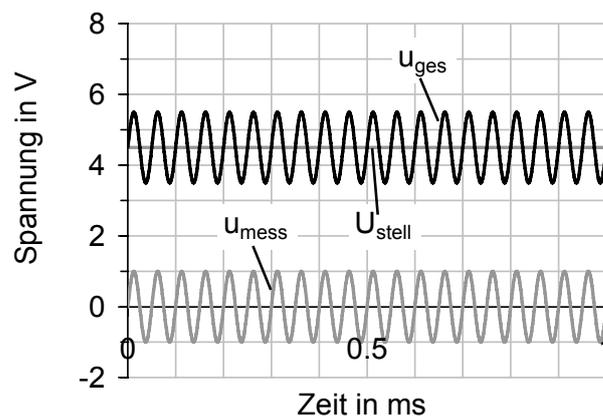


Bild 9: Motorspannung mit Stellspannung und überlagerter Messwechselfspannung

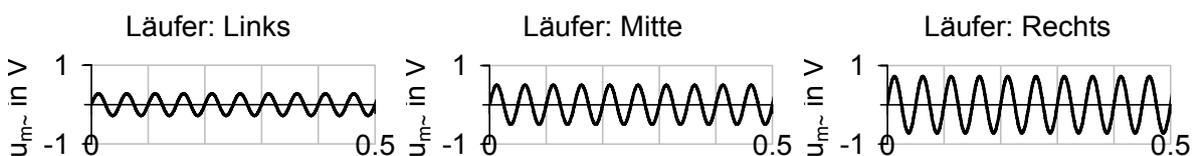


Bild 10: Amplitude des Messwechselsignals am Mittenabgriff für drei Läuferpositionen

Zur Auswertung wird dieses Signal zunächst gleichspannungsmäßig entkoppelt, anschließend kann die Amplitude des reinen Wechselsignals auf verschiedene Arten messtechnisch ermittelt werden. Die Signalauswertung kann rein analog erfolgen, es ist aber auch eine digitale Weiterverarbeitung mittels Mikrocontroller möglich. Allerdings treten beim Betrieb des Motors verschiedene Störgrößen auf, die schaltungstechnisch oder softwaremäßig kompensiert werden müssen. Im Wesentlichen sind dies thermische Einflüsse durch den Stromfluss in den Antriebspulen, bewegungsinduzierte Gegenspannungen, transformatorische Kopplungen zwischen Antriebspulen, Läufer und Rückschluss sowie Motorstromabhängigkeit, im Wesentlichen durch die Ankerrückwirkung.

Vorrangiges Einsatzgebiet analoger Stellglieder sind homopolare Antriebe mit vergleichsweise geringem Hub von 2 mm bis ca. 50 mm. In diesem Bereich kann dieses Verfahren zur integrierten Wegmessung dann sinnvoll zum Einsatz kommen. **Die erzielbaren Messgenauigkeiten liegen dabei zwischen 0,02 mm bis 0,1 mm.** Vorteile ergeben sich insbesondere beim Einsatz in stark miniaturisierten Antrieben, bei denen kein Bauraum für zusätzliche externe Messsysteme vorhanden ist.

Integrierte Wegmessung bei getakteter Ansteuerung. Die Ansteuerung mehrsträngiger, heteropolärer Antriebe bzw. generell von Antrieben höherer Leistung erfolgt im Allgemeinen über getaktete Leistungssteller. Zur Umsetzung einer integrierten Wegmessung eignet sich eine zusätzliche Messwechselfspannung hier nicht, statt dessen können die Flanken der getakteten Motorbetriebsspannung direkt genutzt werden. Bild 11 zeigt beispielhaft den Verlauf von pulsweitenmodulierter Betriebsspannung und daraus resultierendem Spulenstrom.

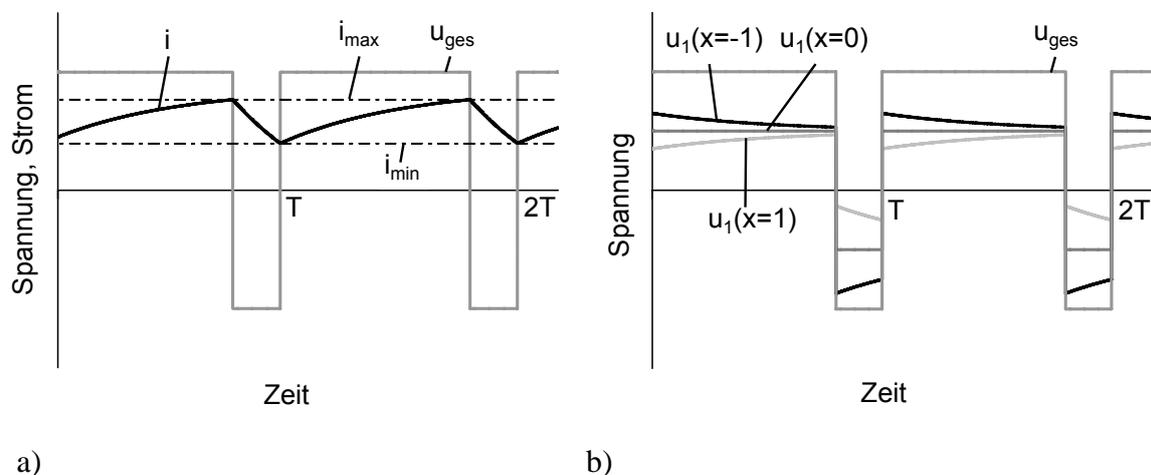


Bild 11: Verlauf von Motorspannung, Spulenstrom (a) und Mittenabgriffspannung (b) bei pulsweitenmodulierter Ansteuerung

Bild 11 b zeigt den Verlauf der Spannung am Mittenabgriff. Diese Spannung dient als läuferpositionsabhängiges Signal und wird zu zwei Zeitpunkten nach dem Flankenwechsel abgetastet. Zur Minimierung von Fehlereinflüssen findet die Abtastung nicht während des normalen PWM-Betriebes sondern in periodisch auftretenden Messzyklen statt. Gleichzeitig mit der Mittenspannung wird auch der Strangstrom gemessen. Dadurch können Temperatureinflüsse rechnerisch weitgehend eliminiert werden. Die gemessenen Ströme und Spannungen werden verstärkt, gefiltert, in Digitalwerte gewandelt und anschließend in einem Mikrocontroller weiterverarbeitet. Für den in Bild 6 dargestellten zweisträngigen Antrieb ergeben sich die in Bild 12 dargestellten Positionssignale.

Der Signalverlauf macht deutlich, dass ein inkrementell arbeitendes Messsystem realisiert wird. Aufgrund des inkrementellen Aufbaus des Systems ist die Genauigkeit unabhängig vom Hub des Antriebs. Allerdings treten auch bei mehrsträngigen Systemen Fehlereinflüsse auf, die durch zusätzliche Maßnahmen korrigiert werden müssen. Dies sind wiederum transformatorische Kopplungen zwischen den Antriebssträngen, verlangsamer Feldabbau durch Wirbelströme und bewegungsinduzierte Gegenspannungen. Eine Kompensation dieser Einflüsse ist oftmals nur mit Hilfe von Korrekturtabellen möglich.

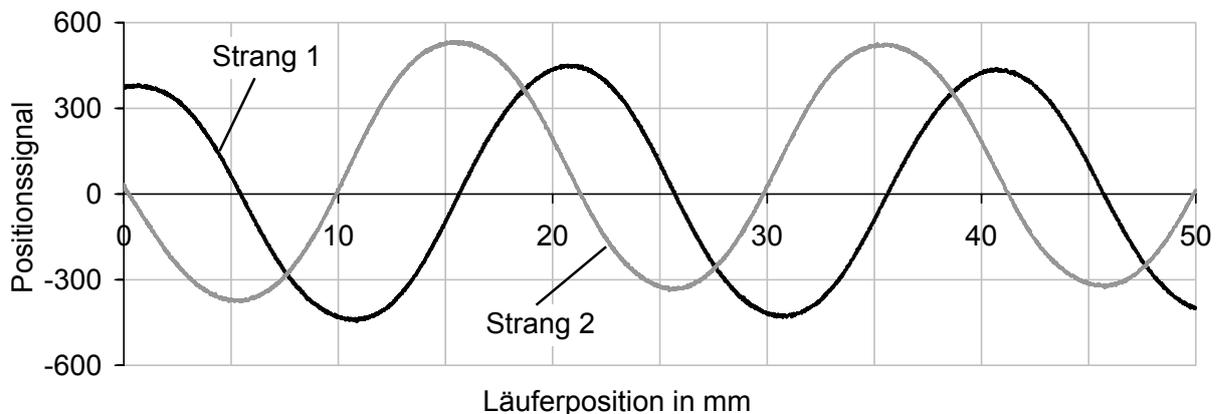


Bild 12: Positionssignale der beiden Stränge des Linearantriebs nach Bild 6

Vorrangiges Einsatzgebiet dieses Verfahrens zur integrierten Wegmessung werden mehrsträngige, kommutierte Systeme mit vergleichsweise großem Hub sein. Diese Antriebe benötigen zur Kommutierung in jedem Fall ein Messsystem. Dieses kann mit einem vergleichsweise geringen schaltungstechnischen Aufwand integriert ausgeführt werden, ohne zusätzlichen Bauraum zu benötigen. **Die Genauigkeit der Wegmessung liegt hier im Bereich von 0,1 mm bis 0,2 mm.** Soll eine Genauigkeit bis 0,05 mm erreicht werden, sind umfangreiche Fehlerkorrektur- und Kompensationsmaßnahmen erforderlich.

DETEKTION VON FLUSSDICHTÄNDERUNGEN IN ELEKTRODYNAMISCHEN LINEARMOTOREN

Zur integrierten Wegmessung eignet sich prinzipiell auch die Flussdichte im Magnetkreis bzw. die sich dadurch im Weicheisen einstellende Permeabilität, die gegebenenfalls wiederum aus der Impedanz oder Induktivität einer Wicklung ermittelt werden kann. Zur Erläuterung sei zunächst ein einfacher Tauchspulmotor betrachtet, Bild 13.

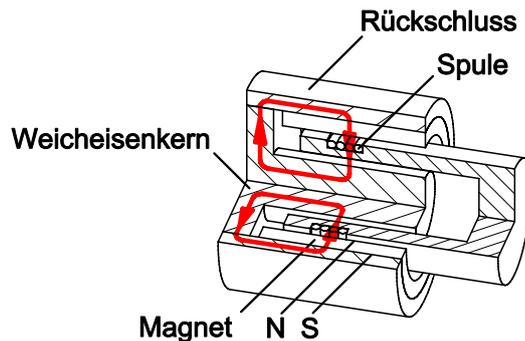


Bild 13: Tauchspulantrieb

Die einsträngige Wicklung ist hier als Kurzspulsystem ohne zusätzlichen Mittenabgriff ausgeführt, das Feld wird beispielsweise durch einen radial magnetisierten Magnetring erzeugt. Bedingt durch diesen Aufbau weist der weichmagnetische Kern des Antriebs keine konstante Flussdichte auf, wie Bild 14 verdeutlicht.

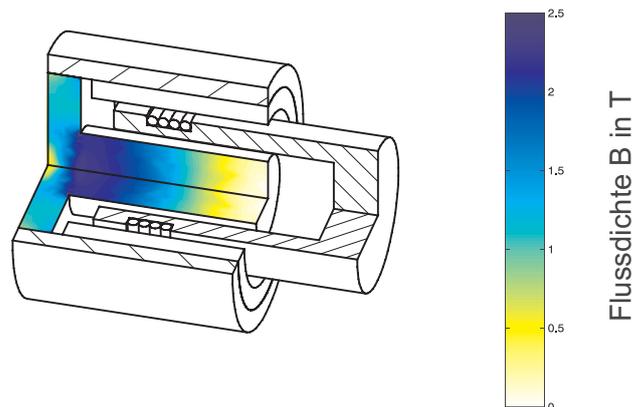


Bild 14: Flussdichte im Kern des Tauchspulmotors (Simulation)

Hier ist also keine Relativbewegung zwischen Eisenteilen des Magnetkreises nötig, vielmehr erfasst die Wicklung positionsabhängige Flussdichten im festen Magnetkreis. Voraussetzungen für eine Wegmessung über die Flussdichte sind dabei:

1. Eine monoton verlaufende Permeabilität im Weicheisenkern.
2. Eine den Fluss umfassende Spule zum Messen dieser Permeabilität.

Wird insbesondere die erste Voraussetzung gezielt bei der Magnetkreisauslegung beachtet, ergibt sich auch hier eine Möglichkeit zur integrierten Wegerfassung. Die Messung der Flussdichte zur Läuferpositionsbestimmung ist zwar bereits Stand der Technik. Allerdings kommen bisher zusätzliche Bauelemente wie Hall-Sensoren oder magnetoresistive Sensoren zum Einsatz. Dies soll durch die integrierte Wegmessung vermieden werden.

Allein mit Hilfe der Antriebsspule besteht aber keine Möglichkeit zur direkten Flussdichtemessung. Daher muss auf abgeleitete Größen ausgewichen werden. Obwohl sie von der Feldstärke und der Vorgeschichte des Materials abhängig ist, bietet sich die Permeabilität $\mu = \mu_0 \mu_r$ hier besonders an. Um sie als positionsabhängige Messgröße nutzen zu können, muss sie allerdings über dem gesamten Läuferweg einen monotonen Verlauf aufweisen. Da die Permeabilität weichmagnetischer Werkstoffe ein ausgeprägtes Maximum bei einer Flussdichte von 0,5 T bis 0,75 T aufweist, ist es nicht ausreichend, die Feldverteilung im magnetischen Kreis des Motors dahingehend zu optimieren, dass sich ein monotoner Flussdichteverlauf ohne nennenswerte Sättigung über dem Läuferweg ergibt. Es ist vielmehr auch notwendig, Zonen geringer Flussdichte zu vermeiden, da hier die maximale Permeabilität wieder unterschritten wird und kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Permeabilität und Flussdichte mehr gegeben ist. Abhilfe ist hier durch zusätzliche Maßnahmen, wie z.B. kegelförmige Senkungen im Kern, möglich.

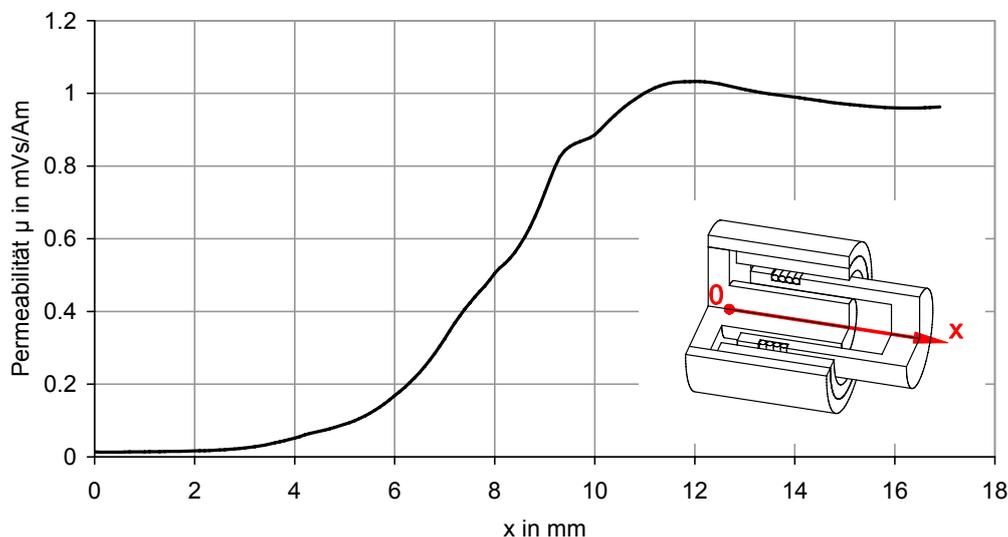


Bild 15: Permeabilität im Kern (Simulation; Kernlänge 17 mm)

Für den oben dargestellten Tauchspulantrieb ergibt sich über der Kernlänge die in Bild 15 dargestellte Permeabilität. Eine eindeutige Zuordnung von Läuferposition x und Permeabilität ist nur bis 12 mm gegeben, der Kern reicht allerdings bis 17 mm. Ab einer Läuferposition von 12 mm sinkt die Flussdichte im Kern unter 0,5 T (siehe Bild 14).

In der Praxis wirkt sich die veränderte Permeabilität auf den Verlauf des Stromes nach einem Flankenwechsel im pulsweitenmodulierten Ansteuersignal, wie oben bereits genutzt, aus. Bestimmt wird dieser Verlauf durch den komplexen Widerstand Z der Spule bzw. die Induktivität, für die allgemein gilt:

$$L = n^2 \mu_0 \mu_r \frac{A}{l} \quad (1)$$

Sie ist also direkt von der Permeabilität des umfassten Kernmaterials abhängig. Aber auch der Gesamtwiderstand, der sich aus dem Gleichstromwiderstand der Wicklung und dem Ersatzwiderstand der Kernverluste zusammensetzt, zeigt läuferpositionsabhängige Änderungen. Die Ursache hierfür liegt in den Hystereseverlusten, die zusammen mit Wirbelstrom- und Nachwirkungsverlusten die Kernverluste bilden. Auch die Wirbelstrom- und Nachwirkungsverluste haben einen Einfluss auf die Größe des Verlustwiderstandes, allerdings zeigen sie keine Abhängigkeit von der Flussdichte.

Zur praktischen Umsetzung der integrierten Wegmessung wird der Motor beispielsweise wieder mit einer pulsweitenmodulierten Spannung angesteuert, zu zwei Zeitpunkten nach dem Flankenwechsel abgetastet und Induktivität sowie ohmscher Widerstand berechnet. Ausführlich und auch beispielhaft wurde das Verfahren in [2] und [3] vorgestellt.

Auch in mehrsträngigen, heteropolaren Systemen kann eine integrierte Wegmessung nach dem Verfahren der Flussdichtedetektion realisiert werden. Dazu wurde am IKFF ein dreisträngiger Antrieb in rotationssymmetrischer Bauweise konstruiert und untersucht, Bild 16.

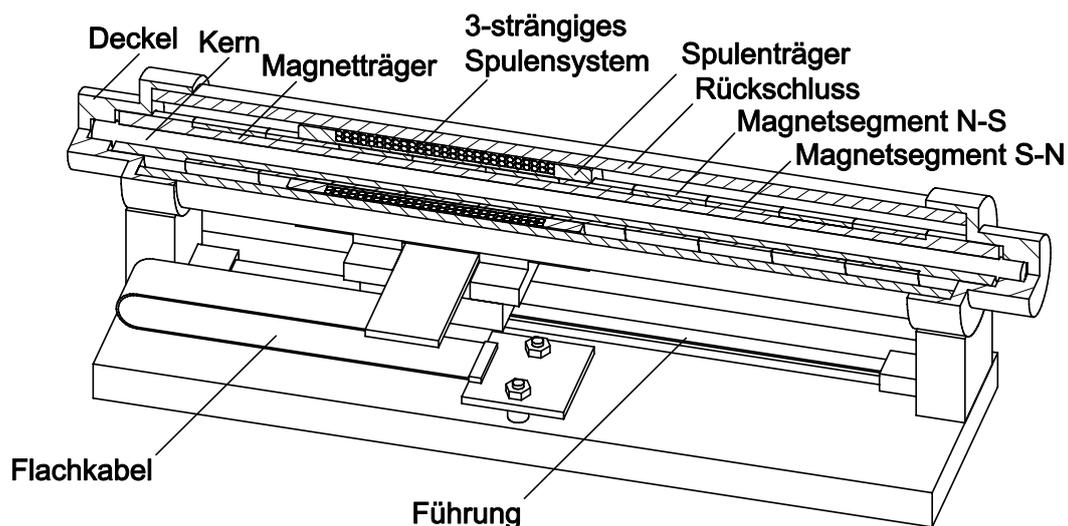


Bild 16: Dreisträngiger, rotationssymmetrischer Antrieb mit integrierter Wegmessung

Kern und Magnetträger bestehen aus Automatenstahl (9SMn28k), auf den Magnetträger sind die Magnete in Form von diametral magnetisierten Viertelsegmenten aufgeklebt. In diesem Kern

ergibt sich ein periodischer Flussdichteverlauf mit lokalen Maxima an den Fügstellen der Magnete. Eine Messung der Spuleneigenschaften mit einem Impedanzanalysator ergab die in Bild 17 dargestellten Ergebnisse.

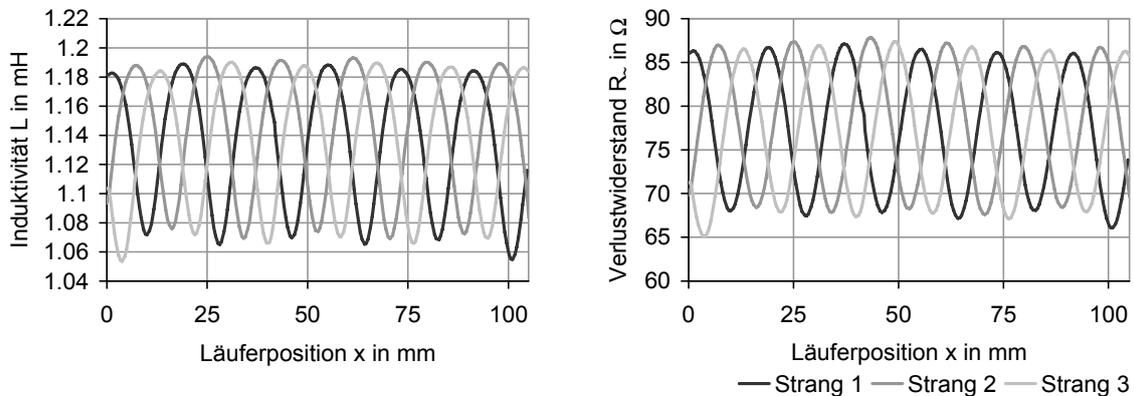


Bild 17: Induktivität und Verlustwiderstand über dem Läuferweg bei dem Motor nach Bild 16

Jeder Antriebsstrang zeigt einen periodischen Verlauf sowohl der Induktivität als auch des Verlustwiderstandes. Dabei ist die Phasenverschiebung zwischen den einzelnen Strängen so groß, dass ein inkrementelles Messsystem aufgebaut werden kann. Allerdings ist auch bei der integrierten Wegmessung durch Detektion der Flussdichte mit erheblichen Fehlereinflüssen durch Temperaturänderungen, Wirbelströme, Strangverkopplung und bewegungsinduzierte Gegenspannungen zu rechnen. Diese Fragen werden derzeit vertieft untersucht, um schließlich auch hierfür Aussagen über die zu erwartende Genauigkeiten treffen zu können.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Zunächst waren nur Antriebe mit relativ zur Wicklung bewegten Weicheisen- oder Magnetkomponenten über deren Induktivitätsänderungen beim Ein- bzw. Ausfahren aus Teilspulen des Motors für eine integrierte Wegmessung zugänglich. Aufgrund ihres Aufbaus sind derartige Antriebe meist als Motoren mit bewegten Magneten und in ihren Wicklungen als Langspulsystem ausgeführt. Durch Detektion der Flussdichte können zusätzlich auch Linearmotoren ohne bewegte Eisenkomponenten mit Kurzspulsystemen mit einer sensorlosen Läuferpositionserkennung ausgerüstet werden. Damit erweitert sich das Anwendungsspektrum zum einen auf Tauchspulantriebe und zum anderen auch auf hochdynamische Antriebe mit bewegten, Eisen umfassenden Spulen (Solenoid, Kastenspulen) und überdeckt nun nahezu die gesamte Vielfalt möglicher Bauformen mit Ausnahme von Flachspulanordnungen.

Eine entsprechende konstruktive Anpassung bei Motoren mit bewegten Eisenteilen oder eine entsprechende Magnetkreisauslegung ist i. Allg. unumgänglich, um zur Messung geeignete sensorische Eigenschaften zunächst zu implementieren. In machen Fällen, wie z.B. bei Tauchspulmotoren oder bei ausgewählten dreisträngigen Antrieben könnten aber auch bereits Standardbauformen ohne zusätzliche Maßnahmen mit einer integrierten Wegmessung ausgerüstet werden. Typischerweise muss man hier aber von einer klassischen mechatronischen Aufgabenstellung sprechen. Motor und Messtechnik bilden eine Einheit. Sensorische Eigenschaften müssen im Rahmen der Motorentwicklung eingepreßt werden, um sie durch elektronische beziehungsweise softwaretechnische Komponenten als Weginformation nutzen zu können. Der Aufwand zur Positionserfassung geht von dem Sensor in die Auswerteelektronik und Software über. Je breiter Mikrorechnerlösungen zur Ansteuerung dabei zum Einsatz kommen und je größer deren Leistungsfähigkeit ist, umso weniger Aufwand in Relation zur Gesamtlösung erfordert dabei die integrierte Wegmessung.

Allerdings sind der integrierten Wegmessung durch die Nutzung interner sensorischer Eigenschaften einer mechanischen beziehungsweise elektromechanischen Komponente auch deutliche Grenzen gesetzt. Gegenseitige Beeinflussungen, Rückwirkungen und auch Unzulänglichkeiten in der Fertigung erfordern letztlich zur Erzielung hoher Genauigkeiten auch hohe Aufwände in Form von Korrekturkurven oder Kalibrierungen. Damit steigt der notwendige Inbetriebnahmeaufwand an, beispielsweise durch Kalibriermessungen mit einem Referenzsystem. Typische Anwendungsgebiete sind also eher mittlere Genauigkeiten bei ohnehin vorhandenen Mikrorenergesteuerten Antrieben. Dann bildet die integrierte Wegmessung eine interessante Alternative gegenüber der Implementierung zusätzlicher Messsysteme.

Die Einsatzgebiete der integrierten Wegmessung sind dabei mit den bisher dargestellten elektrodynamischen Antrieben nach dem Gleichstrommotorprinzip bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Am IKFF wurden beispielsweise auch Konzepte entwickelt, um in Asynchronlinearmotoren eine integrierte Wegmessung zu realisieren. Eine Ausdehnung auf weitere Motoren ist denkbar.

Literatur- bzw. Quellenhinweise:

- [1] Welk, C.: Detektion interner sensorischer Eigenschaften von elektrodynamischen Lineardirektantrieben. Dissertation. Universität Stuttgart 2004
- [2] Clauß, C., Schinköthe, W.: Integrierte Wegmessung in feinwerktechnischen Lineardirektantrieben durch Detektion der Flussdichte im flussführenden Eisen. Zwischenbericht zum DFG-Projekt SCHI457/8-1. Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik 2004
- [3] Clauß, C., Schinköthe, W.: Integrierte Wegmessung in Lineardirektantrieben – Erschließung neuer Anwendungsfelder durch Flussdichtedetektion. Tagung "Mechatronik 2005 - Innovative Produktentwicklung", Wiesloch 01.-02. Juni 2005.
- [4] Stöcker, H.: Taschenbuch der Physik. Frankfurt am Main: Verlag Harri Deutsch 2000
- [5] Boll, R.: Weichmagnetische Werkstoffe. Berlin, München: Siemens AG 1990
- [6] Gundelsweiler, B.: Dimensionierung und Konstruktion von feinwerktechnischen elektrodynamischen Lineardirektantrieben. Dissertation. Universität Stuttgart 2003

A. Grotz

Motorführung – Linearführung mit integriertem Lineardirektantrieb

Einleitung

Feinwerktechnische Lineardirektantriebe sind bisher am Markt selten als Standardkomponenten erhältlich. Den Vorteilen, wie beispielsweise Wartungsfreiheit, freie Positionierbarkeit, geringste Geräuschemission und kleiner Bauraum steht der Nachteil der geringen Motorkraft entgegen. Besonders die fehlende Standardisierung der Antriebe macht bisher eine einfache Katalogauswahl nicht möglich. Ebenso



sind integrierte Regelungen **Abbildung 1** Linearführung mit integriertem Lineardirektantrieb nur für rotatorische Kleinmotoren erhältlich, welche sich nur bedingt für feinwerktechnische Lineardirektantriebe eignen. Der nachfolgend vorgestellte Motor bietet eine Lösung für diese Problematik an.

Aufbau

Feinwerktechnische Lineardirektantriebe bestehen allgemein aus einem krafterzeugenden elektrodynamischen System, der Linearführung, einem Wegmesssystem sowie einer Ansteuerung zur Positionierung. Zur Führung der linearen Bewegung des Primärteils auf dem Sekundärteil wird eine Linearführung benötigt. Neben dieser primären Aufgabe sind die von den Dauermagneten hervorgerufenen Reluktanzkräfte abzufangen. Bei Lineardirektantrieben werden verschiedene Führungssysteme eingesetzt. Für lange Verfahrbewegungen werden Kugel- oder Rollenumlaufführungen, für kurze Verfahrbewegungen solche ohne Umlauf verwendet. Im vorgestellten Beispiel wurde der innere, freie Bauraum einer käuflichen IKO Miniaturführung BSP 25 50 SL zum Einbau des elektrodynamischen Systems genutzt und so ein Linearmotor realisiert.

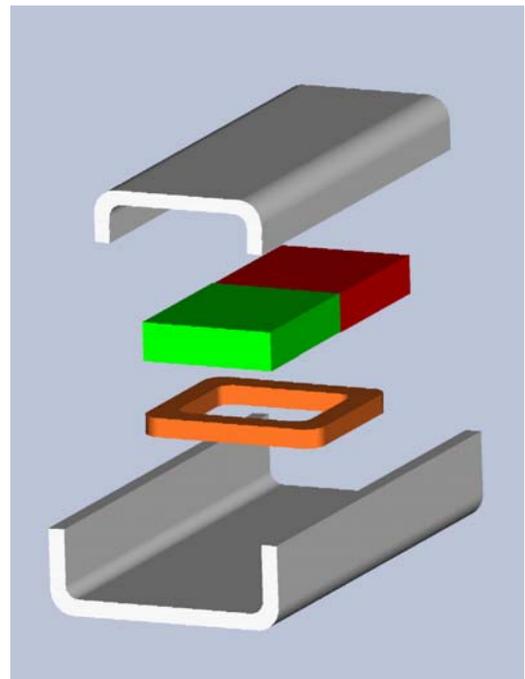


Abbildung 2 Darstellung des innen liegenden Lineardirektantriebes

Der Permanentmagnetkreis wird aus zwei axial hintereinander, in Gegenrichtung gepolten, quaderförmigen NdFeB-Dauermagneten gebildet. Diese sind in die obere Führungshälfte eingeklebt und bilden das Primärteil. Das Dauermagnetfeld wird durch den unteren Rückschluss geführt, der von der unteren Führungshälfte gebildet wird. Somit ergibt sich im Inneren der Führung ein zur Bewegungsrichtung senkrechtes Magnetfeld.

Das Spulensystem besteht aus einer, aus Backlackdraht gefertigten, freitragenden Flachspule mit einem Drahtdurchmesser von 0,18 mm. Diese wird in das Sekundärteil eingeklebt und die Anschlüsse über den Führungsboden axial aus dem Motor her-

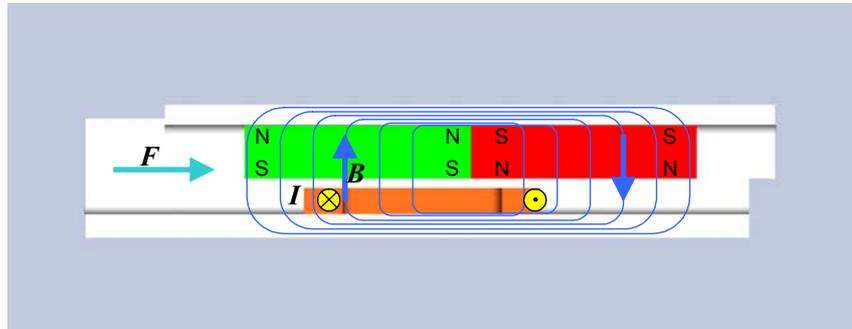


Abbildung 3 Querschnitt durch den Motor mit Feldlinienverlauf

ausgeführt. Wie bei allen Flachspulen tragen nur die senkrecht zur Bewegungsrichtung unter dem Magneten verlaufenden Windungsanteile zur Krafterzeugung bei.

Um den Arbeitsluftspalt möglichst optimal auszunutzen wurde die verbleibende Bauhöhe unter den Magneten voll für die Spule genutzt. Die Spulenbreite wurde zu 3 mm gewählt, um die Verfahrlänge des Motors groß zu halten. Eine Verbreiterung der Spule bewirkt eine Motorkraftsteigerung auf Kosten des Verfahrweges.

Zur Bewegungs- und Krafterzeugung führen Magnetsystem und Spulensystem eine Relativbewegung gegeneinander aus. Es handelt sich dabei um das Prinzip des bewegten Magnetsystems. Hierbei steht das Spulensystem fest, so dass keine bewegten Kabel benötigt werden. Allerdings treten bei der Bewegung der Magneten Ummagnetisierungsverluste auf, die eine dynamische Dämpfung des Systems bewirken. Der größte Vorteil dieser Anordnung ist, dass die Lebensdauer des Systems nur von der Lebensdauer der Linearführung abhängig ist.

Das umgekehrte Prinzip der bewegten Spule ist mit diesem Motorkonzept ebenfalls realisierbar. Es bringt allerdings keine entscheidenden Vorteile gegenüber dem Prinzip der bewegten Magnete, da die bewegte Masse des Führungsteils ohnehin bewegt werden muss und dadurch auch wieder Ummagnetisierung auftritt. Ein weiterer Nachteil ist die zu realisierende Kabelzuführung mit der Kabel-Standzeitproblematik.

Wegmesssystem

Um eine wahlfreie Positionierung des Antriebes über seinen Verfahrweg realisieren zu können, ist ein lineares Wegmesssystem nötig. Zur Auswahl stehen externe, induktive Wegmesssysteme, welche wegen des starken Dauermagnetfeldes und der Spulenbestromung des Motors jedoch als nur bedingt geeignet angesehen werden müssen. Optische, inkrementale Wegmesssysteme bieten ein sehr genaues, störungsfreies Messsignal. Allerdings sind diese Systeme sehr teuer und im Verhältnis zum Motor recht groß. Systeme, basierend auf dem Halleffekt werden in anderen kompakten Lineardirektantrieben bereits eingesetzt. Allerdings handelt es sich hierbei um speziell angepasste Systeme mit nur befriedigender Genauigkeit. Bisher wurde im hier betrachteten Motor noch kein Wegmesssystem integriert.

Kennwerte

Durch die beiden, gleich langen Führungsteile der käuflichen Miniaturführung ergibt sich bei Auslenkung der Führung ein jeweils nicht von beiden Führungsteilen überdeckter Bereich. Im nicht ausgelenkten Zustand befindet sich der Dauermagnetläufer (oberes Führungsteil) ganz im Bereich des unteren Rückschlusses (unteres Führungsteil). Wird der Motor verfahren und somit ausgelenkt verschieben sich die Führungsteile gegeneinander. Dadurch verändern sich Feldlinienanteile so, dass längere Weganteile in Luft entstehen. Dies führt zu rücktreibenden Kräften von den ausgelenkten Zuständen hin zur Mittelstellung des Antriebes.

In folgender Abbildung ist die nichtlineare Kraft-Weg-Kennlinie dargestellt. Der nutzbare Bewegungshub des Antriebes liegt zwischen -5 mm und +5 mm. Mit einer leistungsfähigen Regelungs- und Endstufenkombination sind die in diesem Bereich verbleibenden Nichtlinearitäten jedoch zu kompensieren, so dass über den gesamten Bewegungsbe- reich eine konstante Verfahrbewegung realisiert werden kann.

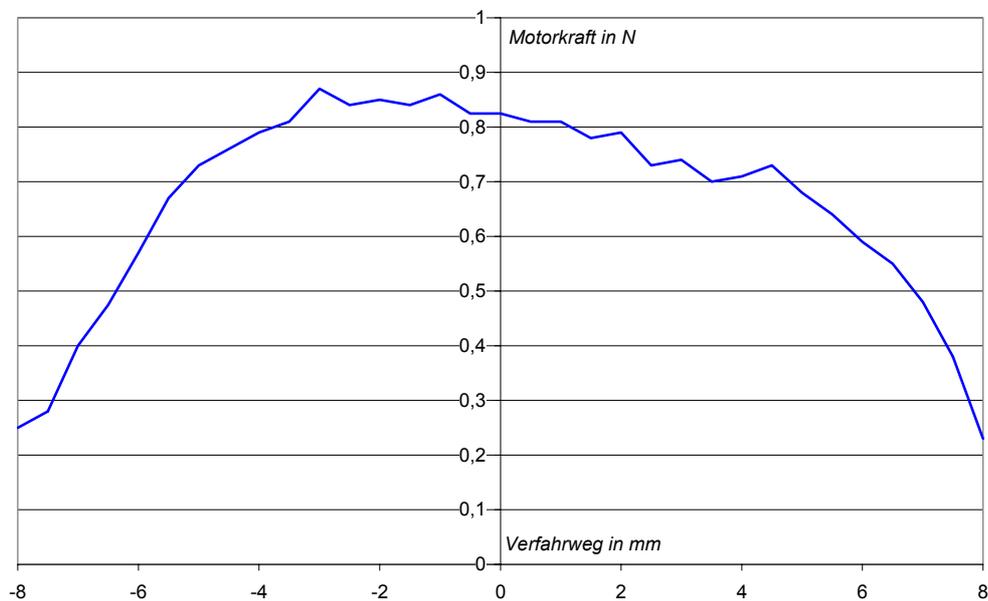


Abbildung 4 Kraft-Weg-Kennlinie der Motorführung

Einsatzgebiete

Dem Nachteil der geringen Vorschubkräfte stehen zahlreiche Vorteile wie die Spielfreiheit bzw. fehlende mechanische Hysterese, Reibungsarmut, freie Positionierbarkeit, geringe Geräuschentwicklung, hohe Lebensdauer entgegen. Aus diesem Grund sind geregelte Verfahr- und Positionierbewegungen sehr gut mit diesem System realisierbar, was diesen Motor für den Einsatz in der Medizintechnik oder optischen Messtechnik prädestiniert.

Kontakt: Andreas Grotz
 Telefon: +49 (0)711 / 685-6402
 Telefax: +49 (0)711 / 685-6356
linearantriebe@ikff.uni-stuttgart.de

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