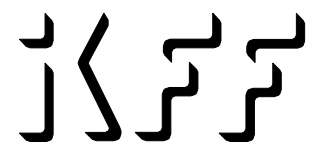


Universität Stuttgart

Jahresbericht IKFF 2002

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 64 02

Fax: 0711 / 685 63 56

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe

Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik, Februar 2003

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, Konstruktion 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

4 ARBEITSGEBIETE DER MITARBEITER

- 4.1 Aktorik
- 4.2 Spritzgießen
- 4.3 Sonstige Arbeiten

5 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

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

6 TEILNAHME AN KONGRESSEN, TAGUNGEN UND MESSEN

7 WERKSTATTBERICHT

8 ANHANG - wesentliche Veröffentlichungen

1 DAS INSTITUT

1.1 Mitarbeiter

Institutsleitung:

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe

Emeritus:

Prof. Dipl.-Ing. Artur Jung

Sekretariat:

Margit Reinhardt

Herma Stängle

Unbefristeter wissenschaftlicher Mitarbeiter:

Akademischer Oberrat: Dr.-Ing. Peter Lindenmüller

Befristete wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dipl.-Ing. Eberhard Burkard

Dipl.-Ing. Andreas Grotz

Dipl.-Ing. Bernd Gundelsweiler

Dipl.-Ing. Jens Haug

Dipl.-Ing. Andreas Weber

Dipl.-Ing. Christian Welk

Modellbau und Versuchswerkstatt:

Ralf Berwanger

Stefan Schneider

Austauschstudenten/Projektarbeiten Sokrates-Erasmus-Programm

Victor Mester (Rumänien)

Radu Balan (Rumänien)

Wissenschaftliche Hilfskräfte:

Abel, Jörg	Lilchev, Dimitar
Aßfalg, Jochen	Makend, Willy C.
Barthelmeh, Jens-Timo	Mayer, Volker
Beier, Michael	Müller, Cornelia
Beyer, Martin	Nägele, Lars
Bhattacharya, Arya	Pfeilschnidt, Georg F.
Clauß, Christin	Schmidt, Martin
Echedly, Bilel S.	Weiß, Karsten
Kienle, Ulrich	Xu, Xiaocong
Kostadinow, Metodi	

1.2 Jahresrückblick**Personalia**

Zum 1. Januar des Jahres 2002 wechselte Herr Pröger-Mühleck planmäßig in die Industrie. Herr Bauer trat am 1. Januar 2002 in den Ruhestand. Neu eingestellt zum 1. Januar 2003 wurden die Herren Dannemann und Köder als wissenschaftliche Mitarbeiter (Drittmittel bzw. DFG).

Institutskolloquium „35 Jahre IKFF“

Anlässlich unseres Institutsjubiläums „**35 Jahre IKFF**“ fand am 16. Mai 2002 ein festliches Kolloquium am Institut statt. Ziel dieser Veranstaltung war es, die Mitarbeiter des Instituts gegenseitig über laufende aktuelle Arbeiten zu informieren und so einen Erfahrungs- und Informationsaustausch sowie eine interne Bestandsaufnahme über die unterschiedlichen fachlichen Ebenen des Instituts hinweg zu ermöglichen. Da eine Reihe der Themen am Institut aus industriefinanzierter Forschung stammen, wählten wir diesen internen Rahmen, um ohne Einschränkungen detailliert in die Fachthemen eindringen zu können.

Nach einer Begrüßung stellte Professor Schinköthe die Arbeiten des Instituts zu Temperierkonzepten beim Mikrospritzgießen als Ergebnis dreier Dissertationen vor. Herr Welk berichtete über neue Konzepte linearer Asynchronmotoren. Herr Gundelsweiler gab eine Übersicht zu seinen bisherigen Entwicklungen von elektrodynamischen Lineardirektantrieben. Herr Haug vermittelte Erkenntnisse zur Simulation, dem Aufbau und der Erprobung einer Scannerführung und Herr Grotz zu Miniaturantrieben und deren Anwendungen in Miniaturfestplattenlaufwerken. Herr Pröger-Mühleck fasste schließlich die Ergebnisse des DFG-Projektes „Automatisierte

Impulsjstuge" zusammen. Nach Abschluss der Vorträge klang der Tag für die Mitarbeiter und deren Angehörige mit einem Imbiss und einem Glas Wein oder Bier gemütlich aus.

Dieses Kolloquium bildete den Höhepunkt des wissenschaftlichen Lebens am Institut im Jahre 2002. Anlässlich des 35. Jubiläums wurde auch ein Institutsprospekt (farbiger mehrseitiger Prospekt mit inhaltlicher Darstellung zu den Institutsaktivitäten) erarbeitet und die bisherige Bibliothek als neues Besprechungszimmer mit zwei Ausstellungsvitrinen umgestaltet.

Aktivitäten in der Lehre

Die Anfängerzahlen im Maschinenbau im weiteren Sinn steigen immer noch deutlich, insgesamt liegen die Anfängerzahlen aller maschinenbaulichen Studiengänge der Universität Stuttgart (ohne Luft- und Raumfahrttechnik) derzeit bei ca. 750 Studierenden. Dazu gehören die Studiengänge Maschinenwesen, Fahrzeug- und Motorentchnik, Technologiemanagement, Automatisierungstechnik in der Produktion, Verfahrenstechnik und Technische Kybernetik. Dies ist mehr als zu den Spitzenzeiten zu Beginn der 90er Jahre. Im Studiengang Maschinenwesen selbst pendeln die Anfängerzahlen um 250 Studierende. Im Hauptdiplom nehmen die Studentenzahlen insgesamt jedoch immer noch deutlich ab, da die schwachen Jahrgänge nun im Hauptdiplom angekommen sind.

Bei den Lehrveranstaltungen des Instituts ist das Bild auch dementsprechend 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 und ab dem Jahr 2002 erstmals auch zusätzlich als Wahlmöglichkeit für den Studiengang Technologiemanagement. Für die Studierenden des Technologiemanagements wird dabei ein modifiziertes Programm für KL IV mit nur 2 Stunden Vorlesung angeboten. Insgesamt sind derzeit im Wintersemester 2002/2003 in KL III 75 Studierende eingeschrieben.

Das Hauptfach Feinwerktechnik kann sich demgegenüber den sinkenden Studierendenzahlen im Hauptdiplom nicht mehr entziehen. Derzeit wird es von ca. 15 Studierenden in den beiden Semestern belegt. Die Lehrveranstaltungen des Hauptdiploms konzentrieren sich auf die beiden Schwerpunkte Gerätekonstruktion als methodisch orientierte Linie und feinwerktechnische Aktorik als konkret forschungs- und entwicklungsorientierte Linie.

Die Vorlesung „Grundlagen der Feinwerktechnik - Konstruktion und Fertigung“ behandelt Grundlagen der Entwicklung und Konstruktion feinwerktechnischer Systeme bzw. Geräte 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 und Fehlverhalten in Geräten, Schwingungsdämpfung und Lärminderung in der Feinwerktechnik, Beziehungen zwischen Gerät und Umwelt sowie die Kunststofftechnologie und -anwendung in der Feinwerktechnik (Werkstoffe, Verfahren, Konstruktion, Werkzeugkonstruktion).

Die Vorlesung „Aktorik in der Feinwerktechnik - Berechnung, Konstruktion und Anwendung“ beleuchtet dagegen feinwerktechnische Antriebssysteme (Aktorik) unterschiedlichster Wirkprinzipien. Den Schwerpunkt bilden elektromagnetische und elektrodynamische Stelltechnik, piezoelektrische und magnetostruktive Stelltechnik, Magnettechnik und -technologie sowie Beispiele zur Realisierung feinwerktechnischer Antriebssysteme. 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“ und „Spritzgießen“ sind in die Lehrveranstaltungen einbezogen.

Die Vermittlung von Absolventen verlief auch 2002 trotz der gegenwärtigen konjunkturellen Probleme problemlos.

100online

Im Rahmen der Aktion 100online der Universität Stuttgart hat unser Institut die Lehrveranstaltungen zur Aktorik II (Sommersemester) im Jahr 2002 neu gestaltet und mediengerecht aufbereitet. Vorlesungen und Übungen liegen nun in Form von Skripten, Präsentationen bzw. Foliensätzen einschließlich animierter Darstellungen neu aufbereitet im Internet und sind für die Studierenden damit ständig verfügbar. In den ersten Monaten wurden diese Internetseiten durch interne Zugriffe von Studierenden, aber auch durch sehr viele externe Zugriffe stark frequentiert. In den nächsten Jahren sollen weitere Vorlesungen und Übungen in dieser Art aufbereitet werden.

Aktivitäten in der Forschung

Die Entwicklung alternativer Antriebssysteme für die Feinwerktechnik auf der Basis elektrodynamischer Kraftwirkung (Elektrodynamische Linearmotoren) bzw. von Festkörpereffekten (Wanderwellenmotoren) steht im Mittelpunkt des Arbeitsgebiets **Aktorik**. Als Schwerpunkt in der Nutzung elektrodynamischer Antriebsprinzipien werden derzeit die am Institut entwickelten verschiedenen Motoren auf der Basis bewegter Magnete als Läufer mit zusätzlich integrierter Wegsignalerfassung hinsichtlich der Genauigkeit und der Wechselwirkungen mit dem Motorstrom tiefergehend analysiert (DFG-Projekt). In verschiedenen Industrieprojekten wurden darüber hinaus anwendungsspezifische elektrodynamische Linearmotoren und zugehörige Ansteuerelektronik sowie Software dafür entwickelt und realisiert. Eine erste Dissertation zur Antriebsdimensionierung wurde eingereicht. Die Forschungen zur Realisierung von Direktantrieben nach dem Prinzip des Wanderwellenmotors wurden 2002 weitergeführt.

Das Thema **Spritzgießtechnologie** in der Feinwerktechnik bildet einen weiteren Stützpfiler 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. Hier gibt es immer wieder Anfragen aus der Industrie zur Untersuchung spezieller Werkstoffe.

Im Jahre 2002 wurden die Arbeiten zum Mikrospritzgießen mit variothermer Prozessführung durch Induktionserwärmung mit zwei Dissertationen zunächst abgeschlossen. Die variotherme Prozessführung mit Induktionserwärmung wird derzeit aber auf größere Bauteile und integrierte Induktoren ausgeweitet und übertragen.

Im Rahmen der Forschungsprojekte wurde eine Reihe von Drittmittelaufträgen aus der Industrie eingeworben. Veröffentlichungen (siehe Abschnitte 5 und 8) zeugen von den in der Forschung erzielten Ergebnissen. Viele der Veröffentlichungen sind im Volltext auf der Homepage des Instituts zugänglich (www.uni-stuttgart.de/ikff).

Neuaufbau des Arbeitsgebiets Zuverlässigkeit feinwerktechnischer Antriebe

Zum Jahresende 2002 und insbesondere mit der Einstellung von Herrn Köder zum 1. Januar 2003 begann der Aufbau des Arbeitsgebiets „Zuverlässigkeit feinwerktechnischer Antriebe“ am Institut. Das IKFF ist mit einem Teilprojekt in der DFG-Forschergruppe „System-Zuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen“ integriert. Das angestrebte Ziel der Forschergruppe ist die Entwicklung von Methoden zur Bestimmung der Zuverlässigkeit mechatronischer Systeme in frühen Entwicklungs-

phasen. 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 (System-Zuverlässigkeit) an aktuellen mechatronischen Systemen erreicht werden.

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

Weitere Aktivitäten

Auch im Jahre 2002 fand ein zweitägiger Weiterbildungslehrgang an der TA Esslingen zum Themengebiet „Antriebssysteme der Feinwerktechnik“ unter Leitung von Professor Schinköthe statt, wobei unter maßgeblicher Beteiligung des Instituts die ganze Antriebspalette vom rotatorischen Standardantrieb bis zu Lineardirektantrieben und unkonventioneller Aktorik einschließlich folgemechanischen Baugruppen angeboten wurde.

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 mit integrierter Wegsignalerfassung. Neben den elektrodynamischen Systemen bilden piezoelektrische 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** werden ausgewählte Sensoren, beispielsweise zur Abstandsmessung und zur Oberflächenerfassung untersucht. Gegenwärtig stehen jedoch insbesondere die Verfahren zur integrierten Wegsignalerfassung in elektrodynamischen Linearmotoren mit bewegten Magneten oder auch bewegten Spulen sowie in Asynchron- und Induktionslinearmotoren 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.

In diesen Problemkreis lässt sich auch der Neuaufbau des Arbeitsgebiets **Zuverlässigkeit feinwerktechnischer Antriebe** einordnen. Im Rahmen der DFG-Forscherguppe „System-Zuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen“ bearbeitet das Institut das Thema „Zuverlässigkeit von elektromechanischen/mechatronischen Systemen am Beispiel feinwerktechnischer Antriebe/Aktorik“. Dadurch soll Kompetenz in der Zuverlässigkeitstechnik, speziell zur Zuverlässigkeit feinwerktechnischer Antriebe und Aktorik aufgebaut werden.

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

Messtechnik und Sensorik

Mit dem Ziel, zusätzliche Sensoren bzw. Wegmesssysteme entbehrlich zu machen, werden folgende Aufgaben bearbeitet:

- Entwicklung von integrierten Messsystemen zur Läuferpositionsbestimmung in ein- und mehrsträngigen elektrodynamischen Lineardirektantrieben sowie in Induktions- und Asynchronlinearmotoren.

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,
- 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/Lindenmüller)

Wintersemester 2001/2002:	17 Studenten
Wintersemester 2002/2003:	75 Studenten (mach+tema)

- 16 Vorlesungen (à 2 SWS)
- 15 Vorlesungen (à 1 SWS)
- 15 Übungen (à 3 SWS)

Betreuer: Burkard, Grotz, Gundelsweiler, Haug, Lindenmüller, Weber

2.1.2 Konstruktionslehre IV (Feinwerktechnik)

(Schinköthe/Lindenmüller)

Sommersemester 2002:	17 Studenten
----------------------	--------------

- 14 Vorlesungen (à 2 SWS)
- 13 Vorlesungen (à 1 SWS)
- 13 Übungen (à 2 SWS)

Betreuer: Burkard, Grotz, Gundelsweiler, Haug, Lindenmüller, Weber

2.2 Vorlesungen und Übungen für das Hauptdiplom

2.2.1 Grundlagen der Feinwerktechnik, Konstruktion und Fertigung

(Schinköthe/Lindenmüller)

Wintersemester 2001/2002:	24 Studenten
Wintersemester 2002/2003:	10 Studenten

- 17 Vorlesungen (à 2 SWS)
- 13 Übungen (à 2 SWS)

2.2.2 Aktorik in der Feinwerktechnik - Berechnung, Konstruktion und Anwendung

(Schinköthe/Beisse/Gundelsweiler/Haug)

gemeinsam mit: Konstruktion elektrischer Maschinen und Geräte

(Institut für elektrische Maschinen und Antriebe, Dr. Beisse)

Wintersemester 2001/2002: 14 Studenten

Wintersemester 2002/2003: 10 Studenten

15 Vorlesungen (à 2 SWS)

Sommersemester 2002: 14 Studenten

5 Vorlesungen (à 2 SWS)

8 Übungen (à 2 SWS)

2.3 Prüfungen

Fach	Termin	Kandidaten
KL III + IV (FWT)	F 2002	5
	H 2002	15
Grundlagen der Feinwerktechnik, Konstruktion und Fertigung (Pflichtfach, schriftlich)	F 2002	19
	H 2002	4
Grundlagen der Feinwerktechnik, Konstruktion und Fertigung (Kernfach, mündlich)	F 2002	3
	H 2002	1
Aktorik in der Feinwerktechnik - Berechnung, Konstruktion und Anwendung (Kernfach, mündlich)	F 2002	7
	H 2002	8

2.4 Praktika

2.4.1 Praktikum Feinwerktechnik

(Für Studierende des Hauptfaches Feinwerktechnik)

Wintersemester 2001/2002

Versuch 1:	„Koordinatenmesstechnik“
10 Teilnehmer	3 Termine
Betreuer: Lindenmüller	

Versuch 2:	„FEM-Kurs ANSYS“
11 Teilnehmer	5 Termine
Betreuer: Gundelsweiler, Haug, Weber	

Versuch 3:	„Spritzgießen“
10 Teilnehmer	3 Termine
Betreuer: Weber	

Sommersemester 2002

Versuch 3:	„Piezoantriebe“
10 Teilnehmer	3 Termine
Betreuer: Haug	

Versuch 4:	„Lineardirektantriebe“
10 Teilnehmer	3 Termine
Betreuer: Gundelsweiler	

2.4.2 Allgemeines Praktikum Maschinenbau (APMB)

(Für Studierende im zweiten Studienabschnitt Maschinenbau)

Sommersemester 2001

Versuch 1:	„Rasterelektronenmikroskopie“
9 Teilnehmer	3 Termine
Betreuer: Burkard	

2.5 Seminar Feinwerktechnik

Bayer, Uwe	Konstruktion und Aufbau eines hochdynamischen linearen Direktantriebs
Keßler, Ulrich	Experimentelle Untersuchungen an Induktionsmotoren nach Elihu Thomson
Clauß, Christin	Entwicklung und Aufbau einer controllergestützten Regelung zum Betrieb von Induktionsmotoren nach Elihu Thomson
Brennenstuhl, Jens	Entwicklung und Aufbau eines elektrodynamischen Asynchron-Lineardirektantrieb-systems
Peić, Michael	Verbindung eines CAE-Werkzeugs mit Verfahrens-algorithmen zur Optimierung des Spritzgießprozesses
Weiß, Karsten	Analyse des Miniaturisierungspotentials rotatorischer Antriebe der Feinwerktechnik
Beyer, Martin	Entwicklung eines Antriebs für eine hochgenaue reso-nante Miniatur-Linearführung
Bekavac, Miro	Verbesserung der Simulationsmethoden und Optimie-rung der Geometrie eines linearen Wanderwellen-motors
Ulutas, Hatun	Simulation des Einflusses von Fertigungsfehlern und Möglichkeiten der Optimierung eines linearen Wander-wellenmotors
Hippel, Holger	Konstruktion eines Prüfstands zur Messung der Entfor-mungsreibung
Aßfalß, Jochen	Entwicklung und Aufbau eines elektrodynamischen Lineardirektantriebs in Kastenspulausführung

Klein, Felix	Konstruktion, Aufbau und Inbetriebnahme eines zwei-strängigen elektrodynamischen Lineardirektantriebs mit bewegter Spule
Negele, Tilmann	Thermische FEM-Analyse an elektrodynamischen Lineardirektantrieben
Küppers, Simon	Lineare Direktantriebe mit Kastenspule (Konstruktion und Aufbau)
Bretschneider, Kai	Konstruktiver Entwurf eines Versuchsstands zur Induktionserwärmung mit integriertem Induktor

3 WISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN, STUDIEN- UND DIPLOMARBEITEN

3.1 Dissertationen

Kemman, Oliver	Untersuchungen zum Füllverhalten von mikrostrukturierten Formteilen beim Mikrospritzgießen von Polymerschmelzen
Walther, Thomas	Geräte- und Verfahrenstechnik zur induktiven Werkzeugtemperierung beim Mikrospritzgießen
Hess, Achim G.	Piezo-hydraulischer Aktor für die Mikrobearbeitung von Metallen

Mitberichte

Hofbauer, Ulrich	Zweiwellenlängen-Interferometrie mit Laserdioden
Luo, Benjin	Überprüfung und Weiterentwicklung der Zuverlässigkeitsmodelle im Maschinenbau mittels Mono-Bauteil-Systemen

3.2 Diplomarbeiten am IKFF

04/2002 Thoma, Claus	Konstruktionsrichtlinien für E-PAC-Anwendungen am Beispiel von Meßgeräten Standort: 15.1.306
08/2002 Kummer, Stephan	Entwicklung eines Greifers mit Lineardirektantrieb Standort: 15.1.307

3.3 Studienarbeiten am IKFF

01/2002	Brennenstuhl, Jens	Entwicklung und Aufbau eines elektrodynamischen Asynchron-Lineardirektantriebsystems Standort: 15.2.920
01/2002	Clauß, Christin	Entwicklung und Aufbau einer controllergestützten Regelung zum Betrieb von Induktionsmotoren nach Elihu Thomson Standort: 15.2.921
01/2002	Keßler, Ulrich	Experimentelle Untersuchungen an Induktionsmotoren nach Elihu Thomson Standort: 15.2.922
01/2002	Bayer, Uwe	Konstruktion und Aufbau eines hochdynamischen linearen Direktantriebs Standort: 15.2.923
01/2002	Peić, Michael	Coupling a computer-aided engineering tool with optimization algorithms for injection molding Standort: 15.2.924
01/2002	Weiß, Karsten	Analyse des Miniaturisierungspotentials rotatorischer Antriebe der Feinwerktechnik Standort: 15.2.925
02/2002	Beyer, Martin	Entwicklung eines Antriebs für eine hochgenaue resonante Miniatur-Linearführung Standort: 15.2.926
07/2002	Bekavac, Miro	Verbesserung der Simulationsmethoden und Optimierung der Geometrie eines linearen Wanderwellenmotors Standort: 15.2.927

09/2002	Ulutas, Hatun	Simulation des Einflusses von Fertigungsfehlern und Möglichkeiten eines linearen Wanderwellenmotors Standort: 15.2.928
10/2002	Hippel, Holger	Konstruktion eines Prüfstandes zur Messung der Entformungsreibung Standort: 15.2.929
10/2002	Aßfalg, Jochen	Entwicklung und Aufbau eines elektrodynamischen Lineardirektantriebs in Kastenspulausführung Standort: 15.2.930
10/2002	Klein, Felix	Konstruktion, Aufbau und Inbetriebnahme eines zweisträngigen elektrodynamischen Lineardirektantriebes mit bewegter Spule Standort: 15.2.931
10/2002	Negele, Tilmann	Thermische FEM-Analyse an elektrodynamischen Lineardirektantrieben Standort: 15.2.932
10/2002	Küppers, Simon	Lineare Direktantriebe mit Kastenspule (Konstruktion und Aufbau) Standort: 15.2.933

Projektarbeiten Sokrates-Erasmus-Programm (Rumänien)

05/2002	Mester, Victor	Simulation von Bewegungsabläufen und Nichtlinearitäten an Gleichstromlinearmotoren mit bewegten Magneten
05/2002	Balan, Radu	Entwurf und Dimensionierung einer Baureihe von Lineardirektantrieben mit bewegten Magneten

4 ARBEITSGEBIETE DER MITARBEITER

4.1 Aktorik

Gundelsweiler, B. Betreuung der Vordiplomsübungen in KL 3/4, FEM-Praktikum, Hauptfachübungen und Praktikums „Lineare Direktantriebe“, Präsentation der Übung im Internet - 100 Online, Betreuung von Studien- und Diplomarbeiten.

Elektrodynamische Lineardirektantriebe: Motorentwicklung, Dimensionierung, Konstruktion, FEM-Simulation, Aufbau / Montage / Justage und Inbetriebnahme von elektrodynamischen Lineardirektantrieben.

Industrieprojekte: Entwicklung von elektrodynamischen Lineardirektantrieben verschiedener Ausführung nach Lastenheftforderungen. Dimensionierung von Antrieben, überschlägige Berechnungen, FEM-Analysen, Motoroptimierungen, Motor Konstruktionen und Aufbau der Antriebe.

PC-Administration.

Grotz, A. Entwicklung eines Antriebssystems für ein optischen Messsystem mit speziellen Genauigkeitsanforderungen. An eine Machbarkeitsstudie schloß sich die Prototypenauslegung an. Für die Regelung des Systems wurden für die Signalverarbeitung eine Zahlerkarte sowie für die Leistungsansteuerung des Antriebs eine störungsarme Analogendstufe entwickelt. Für den Prototyp wurden die Fahrmodi sowie die Regelalgorithmen mit einer Mikroprozessorregelung realisiert und eine Anbindung an PC-Peripherie realisiert.

Mitbetreuung der Vordiplomsübungen Konstruktionslehre 3/4
PC-Administration

Haug, J. Betreuung der Vordiplomsübungen KL 3/4, Vortrags- und Gruppenübungen,
Ausarbeitung von Aufgabenstellungen und Musterlösungen für Übungsaufgaben, Korrektur von Übungsaufgaben.

Betreuung der Hauptdiplomsvorlesung Aktorik, Vortragsübungen, Hauptfachpraktikum Ultraschallantriebe.

Hard- und Softwarewartung UNIX-Netzwerk und Firewall. Umstellung der Firewall auf Stateful Packet Filtering mit Neustrukturierung der Firewall-Regeln.

Weiterentwicklung der Leistungselektronik, Inbetriebnahme und meßtechnische Untersuchung eines Labormusters für einen verbesserten Wanderwellenmotor.

Entwicklung eines anwendungsnahen Prototypen.

Welk, C.

Bearbeitung des DFG Forschungsprojekts „Lineardirektantriebe mit integriertem Wegmesssystem“.

Entwicklung von Elektronik Hard- und Software. Untersuchungen an Prototypen.

Bearbeitung eines Industrieprojekts zu Linearantrieben mit hochgenauer Geschwindigkeitskonstanz.

Entwicklung eines Servoreglers für dreisträngige Linearantriebe.

Untersuchungen zu Induktionslinearmotoren, ihrer Ansteuerung und sensorischen Eigenschaften.

Unterstützung bei Hard- und Softwarewartung PC-Netzwerk. Betreuung von Elektroniklabor und Ätzraum.

4.2 Spritzgießen

Burkard, E.

Betreuung der Vordiplomsvorlesung Konstruktionslehre (Feinwerktechnik) III/IV.

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

Bearbeitung von Industriaufträgen zur Entformung von Spritzgussteilen.

Organisation und Betreuung des Konstruktionslehrewettbewerbs.

Betreuung des Rasterelektronenmikroskops und Untersuchung von Proben.

APMB-Versuch Rasterelektronenmikroskop

Administration und Wartung der UNIX-Workstations.

Weber, A. Betreuung der Vordiplomsübungen KL 3/4, Vortrags- und Gruppenübungen, Ausarbeitung von Aufgabenstellungen und Musterlösungen für Übungsaufgaben, Korrektur von Übungsaufgaben.
FEM-Praktikum ANSYS; Theorieteil und Abschnitte „Elastomechanik“ und „Temperaturfelder“
Hauptfachpraktikum „Spritzgießen“
Weiterentwicklung der induktiven Werkzeugtemperierung, insbesondere Ausweitung des Einsatzspektrums hin zu planen Bauteilen mit größerer Fläche und zu dreidimensionalen Formen.
Administration und Wartung der UNIX-Workstations und der Firewall.

4.3 Sonstige Arbeiten

Berwanger, R.; Schneider, S.

Fertigung von Spritzguss-Formen und Formeinsätzen sowie Bauteile und Baugruppen für Versuche, wie Luftlager, Fasersensoren und Linearmotorprüfstände.

5 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

5.1 Veröffentlichungen

Gundelsweiler, B.; Schinköthe, W.

Verfahren zur integrierten Wegmessung in Gleichstromlinearmotoren mit alternierender Anordnung von Permanentmagneten und Flussführungsteilen. Patentanmeldung, Aktenzeichen 102 29 689.8, 27.06.2002.

Gundelsweiler, B.; Schinköthe, W.

Verfahren zur integrierten Wegmessung in Gleichstromlinearmotoren unter Ausnutzung von Flussdichteänderungen im magnetbehafteten Teilsystem. Patentanmeldung, Aktenzeichen 102 29 687.1, 27.06.2002.

Gundelsweiler, B.; Schinköthe, W.

Hochdynamischer Linearmotor. Patentanmeldung, Aktenzeichen 102 59 601.8, 19.12.2002.

Hartrampf, R.; Schinköthe, W.

Elektromagnetisches Antriebssystem mit integrierter Wegsignalerzeugung. Patenterteilung, Patentschrift DE 197 48 647 C2, 27.09.2001.

Haug, J.; Schinköthe, W.

Linearer Wanderwellenmotor - Optimierung und Eigenschaften. 47. Internationales wissenschaftliches Kolloquium, 23.-26.09.2002, Ilmenau

Rejman, W.; Walther, T.; Schinköthe, W.

Verfahren zur Kontrastierung von organischen Polymeren für mikroskopische Strukturuntersuchungen. Patentanmeldung, Aktenzeichen 102 03 913.5, 28.01.2002.

Schinköthe, W.

in Kallenbach, E.; Stölting, H.- D.: Handbuch Elektrische Kleinantriebe, 2. überarbeitete Auflage. Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag 2002. (Abschnitt 4.2. Elektrodynamische Linear- und Mehrkoordinatenantriebe)

Schinköthe, W.; Gundelsweiler, B.; Haug, J.

Online-Lehrmaterial zur Vorlesung Aktorik in der Feinwerktechnik II. Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik, Stuttgart 2002, <http://www.uni-stuttgart.de/ikff/>.

Teil 1 Vorlesungsmaterial,

Teil 2 Material zur Übung Piezosysteme/Ultraschallantriebe,

Teil 3 Material zur Übung Lineare Direktantriebe.

Vorträge zum Institutskolloquium anlässlich des 35jährigen Institutsjubiläums am 16. Mai 2002:

Schinköthe, W.: Temperierkonzepte beim Mikrospritzgießen - eine Zusammenfassung der Arbeiten am IKFF

Welk, C.: Lineare Asynchronmotoren - neue Konzepte am IKFF

Gundelsweiler, B.: Elektrodynamische Lineardirektantriebe - eine Übersicht über bisherige Entwicklungen

Haug, J.: Scannerführung - Simulation, Aufbau und Erprobung

Grotz, A.: Miniaturantriebe und deren Anwendung in einem Miniaturfestplattenlaufwerk

Pröger-Mühleck, R.: Automatisierte Impulsjustage - ein Ergebnisbericht

Weitere, unveröffentlichte Forschungsberichte zu industriefinanzierten Themen

5.2 Gremienarbeit

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe:

Prodekan der Fakultät Konstruktions- und Fertigungstechnik

Mitglied des Senatsausschusses Struktur

Mitglied der Fachkommission Landesgraduiertenförderung

Mitglied der Auswahlkommission „Preise“

Mitarbeit in den Berufungskommissionen zu den Nachfolgen Schiehlen, Hügel, Seeger, Pritschow und Gutt.

Leitung der Berufungskommissionen zur Nachfolge Höfflinger

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

- Fachbereichsleiter Fachbereich 3 Feinwerktechnik und Mechatronik

- Mitglied des Fachausschuss 2.3 „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

Tischtennis

~~Fußball~~fieber

Bei der Fußballweltmeisterschaft 2002 kämpften 22 Spieler mit einem Ball – beim 10. Konstruktionswettbewerb des IKFF war das Verhältnis deutlich anders: Jeweils zwei Maschinen kämpften mit je 49 Bällen.

Die Aufgabenstellung war eigentlich wieder ganz einfach: Sieger ist diejenige Maschine, die nach zwei Minuten weniger Bälle in ihrem Spielfeld hat.

Aber wie in den letzten Jahren zeigte sich wieder, daß Theorie und Praxis nicht so einfach übereinstimmen, wie von den Teilnehmern gewünscht.

Die Kombination von Verteidigung und Sturm ist meist entscheidend und auch die Wettbewerbsmaschinen hatten Mühe, hier ein ausgewogenes Verhältnis zu schaffen. So war die Abwehr der Bälle des Gegners oft sehr gut gelöst, aber auch Bälle aus dem eigenen Spielfeld zu entfernen, erwies sich für einige Maschinen als sehr schwierig.

Die Bälle wurden per Gabelstapler auf die andere Seite gebracht, mit großen Luftkissen angehoben oder mit Hebewerk und Schlagmechanismus weit im Raum verteilt. Da es Tischtennisbälle waren, war eine Gefährdung ausgeschlossen und keiner Maschine mußte die rote Karte gezeigt werden.

Ein besonderer Dank gilt den folgenden Firmen, die den Wettbewerb teilweise schon seit mehreren Jahren unterstützen: Arburg GmbH & Co, ArtStor AG, Bertrandt Fahrzeugtechnik GmbH, Carl Hanser Verlag GmbH & Co, JOOLA Tischtennis GmbH & Co. KG, NEFF-Antriebstechnik-Automation GmbH, Otto Bilz Werkzeugfabrik GmbH & Co., Robert Bosch GmbH, Trumpf GmbH & Co und Verlag Heinz Heise GmbH & Co KG.

Ergebnisse:

1. Platz: Eva Torcka, René Pürzel, Kurt Kliche
2. Platz: David Hopp, Christian Weber, Adrian Schwenk
3. Platz: Samuel Wiehe, Peter Sekler, Ahmet Uzun

Der Wettbewerb zeigte auch dieses Jahr wieder, daß eine attraktive Aufgabe die StudentInnen trotz zeitnah anstehender Klausuren motivieren kann. So wurden einige der Maschinen erst während des Wettkampfs endgültig fertig. Der Wettkampf selbst fand zum dritten mal in einem großen Hörsaal statt, der auch wieder vollständig gefüllt werden konnte.

6 TEILNAHME AN KONGRESSSEN, TAGUNGEN UND MESSEN

Prof. Schinköthe, W.:

- Lehrgangsbleitung: Antriebssysteme der Feinwerktechnik. TA Esslingen, 11.-12.03.2002
- 47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TU Ilmenau 2002, Ilmenau 23. - 26.09.2002
- Motek, Sinsheim, 26.9.2002
- VDI/VDE Arbeitskreis „Stellantriebe“ Hanau, 25.04.2002 und Suhl, 24./25.10.02
- VDI/VDE Arbeitskreis „Universitätsprofessoren der Mikro- und Feinwerktechnik“ Frankfurt, 08.03.2002
- VDI/VDE Arbeitskreis „Mikro- und Feinwerkelemente“ Berlin, 11.11.2002

Berwanger, R.:

- AMB, Stuttgart, 11.9.2002

Burkard, E.:

- Seminar „Verschleisshemmende Schichten“, Technische Akademie Esslingen, Ostfildern, 25.-26.2.2002
- ARBURG Technologietage 2002, Loßburg, 21.3.2002
- Seminar „Digitale Bilder von Makro bis Mikro“, Technische Akademie Esslingen, Ostfildern, 18.-19.4.2002
- Seminar „Hochgefüllte Kunststoffe“, Universität Erlangen-Nürnberg, 4.9.2002
- AMB, Stuttgart, 11.9.2002
- FAKUMA, Friedrichshafen, 18.10.2002

Gundelsweiler, B.:

- Messe Motek in Sinsheim
- Internationale Ausstellung für Metallbearbeitung AMB in Stuttgart
- Technische Magnetwerkstoffe (hart- / weichmagnetisch), VAC Hanau
- Industrielle Direktantriebe, Firma Linmot

Haug, J.:

- 47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TU Ilmenau 2002, Ilmenau 23. - 26.09.2002
- Lehrgang „Sicherheit in Windows NT/2000/XP Netzen“, Technische Akademie Esslingen, Ostfildern, 16.-17.4.2002
- Motek, Sinsheim, 26.9.2002

Schneider, S.:

- AMB, Stuttgart, 11.9.2002
- ARBURG Technologietage 2002, Loßburg, 21.3.2002

Weber, A.

- ARBURG Technologietage 2002, Loßburg, 21.3.2002
- FAKUMA, Friedrichshafen, 18.10.2002
- Seminar „Rechtliche Fragen rund um's WWW“, Rechenzentrum Universität Stuttgart, 21.11.2002

7 WERKSTATTBERICHT

Durch die Fertigung von Modellen und Vorrichtungen im Rahmen von praktischen Studienarbeiten, Diplomarbeiten und Dissertationen war die Institutswerkstatt im Berichtsjahr vollständig ausgelastet.

Da die Anfertigung von Drehteilen stark zugenommen hat, speziell für den Tätigkeitsbereich Aktorik, wurde im Juli 2002 eine zweite Drehmaschine angeschafft.

8 ANHANG - wesentliche Veröffentlichungen

In diesem Jahr exemplarisch eine Veröffentlichung aus dem Bereich Aktorik, speziell zu linearen Wanderwellenmotoren:

Linearer Wanderwellenmotor - Optimierung und Eigenschaften

Vortrag zum 47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TU Ilmenau 2002, Ilmenau 23. - 26.09.2002

J. Haug / W. Schinköthe

Linearer Wanderwellenmotor - Optimierung und Eigenschaften

Einleitung

In der Feinwerktechnik finden neben konventionellen Antrieben auch andere Wirkprinzipie Einsatz. Zur Realisierung sehr hoher Auflösungen bis in den Submikrometerbereich bieten sich piezoelektrische Stallelemente an. Ohne Schrittaddition sind deren Bewegungen jedoch stark eingegrenzt, linear beispielsweise trotz Hebelübersetzung auf wenige Millimeter. Eine Schrittaddition ist unter Nutzung des Inchworm-Prinzips oder auch unter Ausnutzung der Trägheit des Abtriebes realisierbar.

Andere Wege zur Realisierung kontinuierlicher Antriebe unter Nutzung des inversen piezoelektrischen Effektes geht man dagegen mit Wanderwellenmotoren. In deren Statoren werden resonante Schwingungen erregt und durch Reibschluss diese Schwingbewegungen auf den Abtrieb übertragen [1].

Neben den verschiedenen Bauformen rotatorischer Wanderwellenmotoren interessieren hier die Möglichkeiten der Umsetzung dieses innovativen, alternativen Antriebsprinzips auf lineare Bewegungen. Im Rahmen einer Entwicklung eines linearen Wanderwellenmotors wurde dieses Prinzip für einen Lineardirektantrieb modifiziert [2]. Neben der für Direktantriebe typischen hohen Dynamik weisen derartige Antriebe Selbsthemmung auf und können somit ihre Position im stromlosen Zustand halten.

Aufbau und Wirkungsweise des Motors

Mit Hilfe von Piezoelementen wird der Statorring eines Wanderwellenmotors in resonante Schwingungen versetzt, wobei zwei orthogonale Eigenformen gleichen Typs und gleicher Ordnung, die bei der selben Frequenz auftreten (degenerieren), zu einer fortlaufenden Wanderwelle überlagert werden. Dabei bewegen sich die Oberflächenpunkte des Stators, die mit dem Abtrieb reibschlüssig verbunden sind, auf elliptischen Trajektorien. Durch den Reibschluss entsteht am Läufer eine Abtriebsbewegung. Man verwendet meist Frequenzen im Bereich zwischen 20 und 100 kHz, weshalb Wanderwellenmotoren auch als Ultraschallmotoren bezeichnet werden.

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die wichtigsten Elemente des linearen Wanderwellenmotors. Die Ansteuerelektronik des linearen Wanderwellenmotors besteht aus einem Logikteil, in dem die benötigten Signale erzeugt werden, und einem Leistungsteil, der die von den Piezoelementen benötigten hohen Spannungen und Ströme treibt. Um keine unerwünschten

Oberwellen anzuregen, werden die Signale gefiltert an die Piezoelemente angelegt, die am unteren geraden Abschnitt des Statorrings aufgeklebt sind. Durch den Quereffekt wird die Anregung auf den Stator übertragen, der mit den verwendeten orthogonalen Moden in Resonanz kommt. Am oberen geraden Abschnitt ist eine Zahnstruktur angebracht, die die Auslenkung der Oberflächenpunkte in Vorschubrichtung vergrößert, ohne die Steifigkeit zu stark zu beeinflussen. Auf diese Weise wird die Abtriebsgeschwindigkeit des dort angespressten Läufers, der reibschlüssig eine Vorschubkraft erfährt, vergrößert. Die Bewegung des Läufers wird schließlich spielfrei über Membranen auf den Schlitten einer Linearführung mit Kugelumlauf übertragen. Das mechanische Teilsystem befindet sich in einem steifen Rahmen, an dem Endschalter, Befestigungsmöglichkeiten, ein Wegmesssystem usw. vorgesehen sind.

Signalerzeugung

Die Ansteuerung von Wanderwellenmotoren in Resonanz erfordert im Allgemeinen eine Regelung auf die Resonanzfrequenz, da diese vor allem mit der Temperatur etwas driften kann. Bei einem nicht idealen Motor, dessen Moden nicht vollständig degenerieren, liegt jedoch die optimale Betriebsfrequenz zwischen den beiden Resonanzfrequenzen der verwendeten Moden.

Bei bisherigen Prototypen des IKFF wurde ein Phase Locked Loop (PLL) verwendet, wie er aus der Nachrichtentechnik bekannt ist. Hierzu wurde ein Teil der Piezokeramik am Statorring nicht als Aktor sondern als Sensor beschaltet. Dieser liefert ein Signal für die Auslenkung der mechanischen Schwingung. Ein herkömmlicher PLL-Baustein wertet nun die Phasenlage zwischen dieser Auslenkung und der von ihm erzeugten Anregung aus und regelt auf diese Art auf die Resonanzfrequenz eines Anregungsbereiches. Das Signal für den zweiten Anregungsbereich folgt diesem mit konstanter Phasenverschiebung. Diese Schaltung lässt sich sehr kostengünstig und einfach mit Standard-Bauteilen aufbauen. Nachteilig ist hierbei, dass bei leicht voneinander abweichenden Resonanzfrequenzen der verwendeten Moden nicht unbedingt ein optimaler Betriebspunkt gefunden wird und die Regelparameter

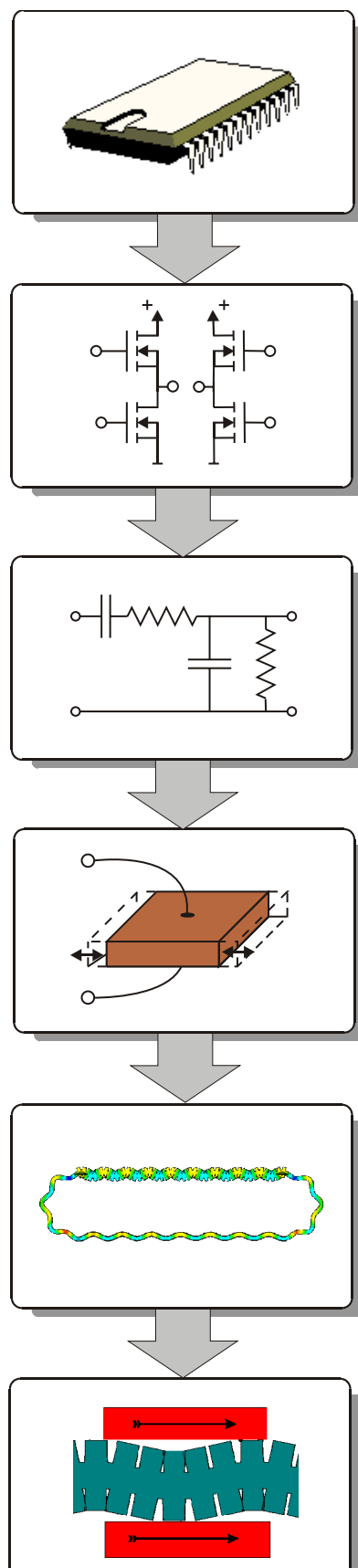


Abbildung 4: Überblick über den Aufbau des Gesamtsystems

vom Entwickler nur schlecht zu beeinflussen sind. Durch die Verwendung eines Microcontrollers ist der Entwickler frei in der Gestaltung des Reglers und hat vollen Einfluss auf die verwendeten Parameter. Es können ebenso Sensor-Signale von entsprechenden Piezo-Segmenten verwendet werden, um auf eine maximale Amplitude oder eine entsprechende Phasenlage zu regeln. Eine interessante Alternative hierzu stellt die Betrachtung der am Aktor anliegenden Spannung und der von ihm aufgenommenen Ströme durch eine Messung in der Leistungsendstufe dar. Da sich die Admittanz eines elektromechanischen Wandlers in der Nähe der Resonanz in Betrag und Phasenlage drastisch ändert, kann auf diese Weise auf die Resonanz geschlossen werden.

Für den optimierten Prototypen kommt daher ein Microcontroller zum Einsatz, der von beiden Anregungsbereichen den aufgenommenen Strom und die anliegende Spannung bzw. deren Produkt, die Leistung, und deren Quotienten, die Admittanz, messen kann. Nach dem Einschalten bzw. je nach Anwendungsfall auch zu anderen Zeitpunkten kann der Microcontroller durch Messung eines Frequenzganges den optimalen Betriebspunkt bestimmen.

Über integrierte PWM-Module gibt der Controller dann in dieser Betriebsfrequenz Signale aus, die in den Leistungs-Endstufen zu den in Abbildung 2 dargestellten Spannungsverläufen an den Ausgängen A und B führen. Das Tastverhältnis kann dabei entsprechend der gewünschten Geschwindigkeit des Motors vom Controller variiert werden.

Wird das Tastverhältnis klein gewählt, so sind die resultierenden Anrege-Spannungen an der Piezokeramik und damit die Schwingungsamplituden klein und der Motor wird langsamer. Dies ist jedoch nur so lange möglich wie am Läufer keine Haftreibung einsetzt. Um sehr langsame Bewegungen zu erzielen wird daher bei bleibendem Tastverhältnis die Phasenlage zwischen den Anregungsbereichen verändert. Die resultierende Schwingung ist eine Überlagerung einer stehenden mit einer wandernden Welle. Die stehende Welle unterbindet dabei die Haftreibung, während die sehr kleine Wanderwelle für einen langsamen Vorschub sorgt.

An den Microcontroller sind eine numerische Tastatur und eine 7-Segment-LED-Anzeige angeschlossen, um Benutzer-Interaktion im manuellen Betrieb zu ermöglichen. Außerdem ist eine serielle RS-232-Schnittstelle für die Ansteuerung durch einen übergeordneten Rechner vorgesehen.

Leistungs-Endstufe

Die Signale für die beiden Anregungsbereiche werden je zwei Halbbrücken-Endstufen zugeführt, die eine Spannung von bis zu 60 V schalten. Da die Piezokeramik mit wesentlich höheren Spannungen arbeiten kann, kommen Übertrager zum Einsatz, an deren Sekundärseite bis zu 200 V entstehen. Da die im Rechtecksignal

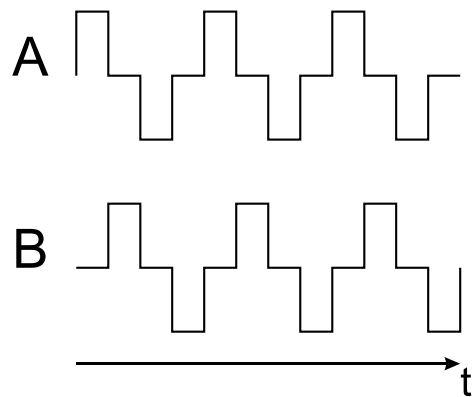


Abbildung 5: Elektrische Signale nach der Endstufe

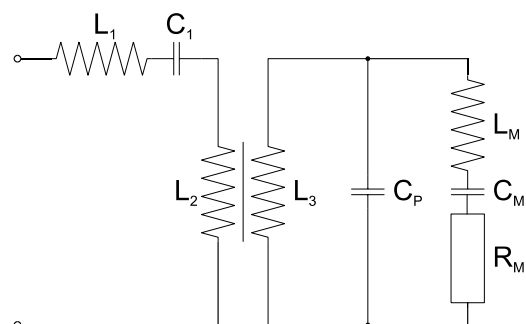


Abbildung 6: Ersatzschaltbild (1)

der schaltenden Endstufen enthaltenen Oberschwingungen keinen Beitrag zur Anregung der Betriebsfrequenz leisten können, werden sie durch eine geeignete Filterung unterdrückt. Das mechanische System tritt in der Umgebung seiner Resonanzfrequenz im elektrischen Ersatzschaltbild (Abbildung 3) als Serienschwingkreis in Erscheinung, allerdings sollte bei der Betriebsfrequenz hiervon nur der ohmsche (reelle) Anteil der Impedanz verbleiben. Die Induktivität der Primärseite des Übertragers ist mit der Kapazität des Piezos, einer weiteren Spule und einem zusätzlichen Kondensator so abgestimmt, dass sich der in Abbildung 4 gezeigte Bandpass ergibt, der in der Betriebsfrequenz optimal filtert. Hierbei muss in der Praxis ein Kompromiss gewählt werden zwischen Unempfindlichkeit gegenüber Frequenzänderungen, Unterdrückung von Oberwellen und erreichter Spannungsamplitude.

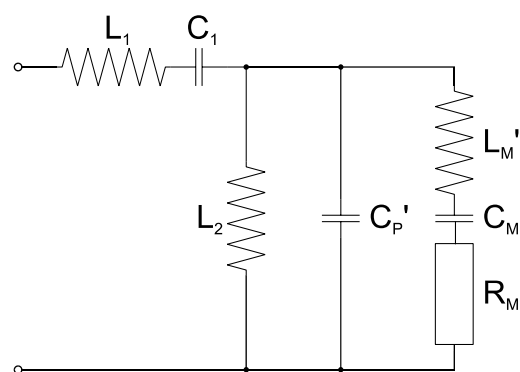


Abbildung 7: Ersatzschaltbild (2)

Anbringung der Piezokeramik

Bei den meisten Wanderwellenmotoren werden die beiden verwendeten Moden durch zwei räumlich getrennte Piezobereiche mit einer viertel Wellenlänge Verschiebung zueinander angeregt.

Häufig sind dabei die jeweiligen Piezobereiche im Abstand einer halben Wellenlänge alternierend polarisiert [3], so dass eine einzelne Kontaktierung eines Piezos genügt, um eine wellenförmige Deformation zu erreichen (Abbildung 5).

Eine deutlich stärkere Anregung lässt sich erreichen, wenn die Piezokeramik in viertel Wellenlängen aufgeteilt wird, wobei die Segmente abwechselnd beiden Anregungsbereichen zugeordnet werden (Abbildung 6).

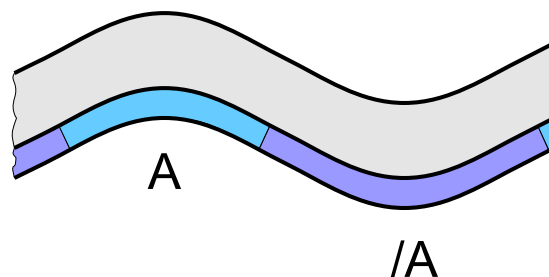


Abbildung 8: Konventionelle Anbringung der Piezokeramik

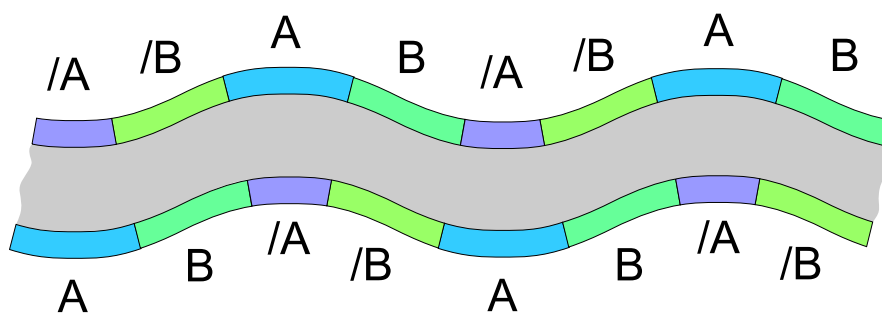


Abbildung 9: Neue Anbringung der Piezokeramik

Da bei linearen Wanderwellenmotoren außerdem die geraden Strecken für die Anregung und für den Bewegungsabgriff getrennt sind, können Piezos auf beiden Seiten des Stators

angebracht werden, das aktive Material wird also nochmals verdoppelt. Bei dieser neuen Anordnung der Piezoelemente mit $\lambda/4$ -Teilung ergibt sich die Notwendigkeit, für jedes Segment eine eigene Kontaktierung vorzusehen. Thermische Schädigung der Piezokeramik beim Lötten wird durch die Verwendung von niedrig schmelzendem und gut fließendem Silberlot vermieden. Die Lötunkte sollten jeweils nur sehr klein sein und minimale Masse einbringen, da die Resonanzfrequenzen schon durch wenige Milligramm deutlich verschoben werden.

Auf die Qualität der Klebeschicht zwischen Piezos und Statorring muss besonderen Wert gelegt werden. Sie muss möglichst steif sein, um eine gute Ankopplung zu ermöglichen und sollte daher sehr dünn ausgeführt werden und voll aushärten.

Insgesamt hat sich der Übertragungsfaktor von rund $0,02 \mu\text{m}/\text{V}$ [4] auf ca. $0,05 \mu\text{m}/\text{V}$ mehr als verdoppelt, d.h. bei einer anregenden Spannung von beispielsweise 100 V erreicht der Stator jetzt eine Schwingungsamplitude von $5 \mu\text{m}$ anstatt zuvor $2 \mu\text{m}$.

Statorring

Bei rotationssymmetrischen Strukturen wie dem Statorring des Shinsei-Motors existieren stets orthogonale Moden mit gleicher Resonanzfrequenz. Bei anderen Strukturen ist die Existenz von degenerierten Moden jedoch ein Sonderfall, der nur für bestimmte geometrische Verhältnisse auftritt. Um eine geeignete Geometrie zu finden, werden einzelne Geometrieparameter schrittweise verändert und in FEM-Analysen die Eigenformen und -frequenzen bestimmt. Der Qualität des FEM-Modells kommt dabei entscheidende Bedeutung zu.

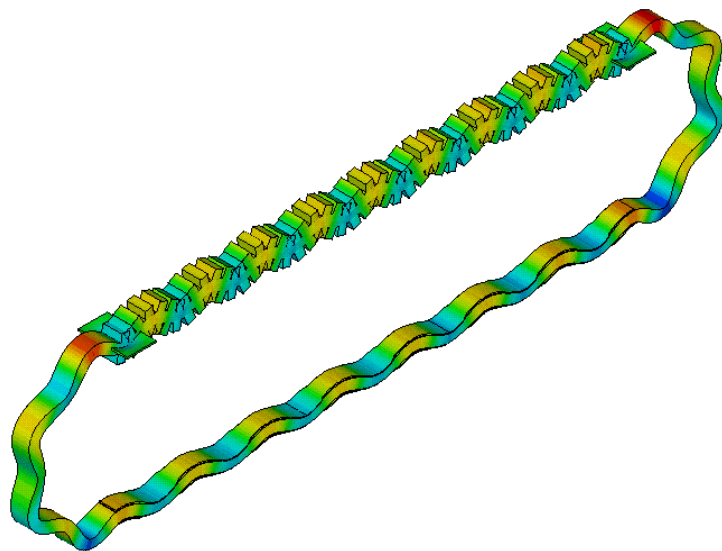


Abbildung 10: Momentaufnahme der Wanderwelle

Problemstellen sind insbesondere die Klebeschichten zwischen Piezokeramik und Metall und die Anordnung der Piezosegmente. In weiteren Analysen wurde außerdem untersucht, inwieweit die durch Lötunkte aufgebrauchten zusätzlichen Massen die Resonanzfrequenzen verschieben. Dabei wurde festgestellt, dass der Einfluss dieser Zusatzmassen im Bereich bis 1 mg völlig unproblematisch ist, bis etwa 5 mg ist er noch akzeptabel. Bei über 5 mg besteht die Gefahr, dass die beiden Resonanzfrequenzen nicht im selben Maße verschoben werden und die verwendeten Moden nicht mehr degenerieren.

Abbildung 7 zeigt in stark überhöhter Darstellung die Momentaufnahme der Wanderwelle in der FEM-Simulation. Der Statorring wird mit zwei kurzen Membranen an den Enden des oberen geraden Abschnitts am Rahmen befestigt, so dass die Anordnung gegenüber den entstehenden Vorschubkräften sehr steif, gegenüber der umlaufenden Biegewelle jedoch weich ist.

Reibbelag und Läufer

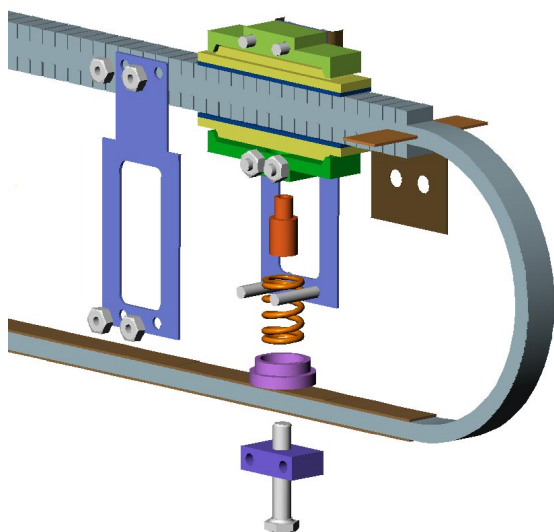


Abbildung 11: Läufer am Statorring

Nach Optimierung konnte eine Geometrie gefunden werden, die für verschiedene realistische Dicken und Steifigkeiten von Reibbelägen relativ gleichmäßige Flächenpressungen ermöglicht, wobei an den beiden Enden des Läufers die Pressung jeweils minimal wird, so dass beim Verschieben des Läufers ein sanftes Eingreifen stattfinden kann. Gleichzeitig ist es gelungen, die bewegte Masse deutlich zu reduzieren. Abbildung 9 zeigt das Ergebnis in der FEM-Simulation. Die roten Bereiche an den Kanten werden sich von der Kontaktfläche abheben, im gelben Bereich ist die Pressung sehr gering. Die Maxima sind blau dargestellt. Experimentelle Untersuchungen des Abtriebsverhaltens mit verschiedensten Reibbelägen sind Gegenstand laufender Arbeiten.

Der Abtrieb eines Wanderwellenmotors erfolgt reibschlüssig (Abbildung 8). Deshalb muss besonderer Wert auf die Gestaltung des Läufers und die Auswahl des Reibbelages gelegt werden. Im Idealfall ist die Flächenpressung zwischen Läufer und Stator völlig gleichmäßig. Dies wird in der Praxis bei Läufers mit vertretbarer Masse jedoch nicht gelingen, weil die Steifigkeit dieser Läufer endlich ist. Daher wurde in statischen FEM-Analysen betrachtet, wie sich der Druck unter Aluminium-Plättchen verschiedener Geometrie mit Kunststoff-Belägen verschiedener Dicke und Steifigkeit verteilt.



Abbildung 12: Druckverteilung unter dem Läufer (Beispiel)

Abtrieb

Damit vom Abtrieb her keine störenden Kräfte oder Momente auf den Läufer zurück wirken, wird er über Membranen spielfrei an eine reibungsarme Kugelumlaufführung gekoppelt. Am Schlitten dieser Führung kann dann die Vorschubkraft abgegriffen werden. Außerdem ist an diesem Schlitten der Lesekopf für ein optisches inkrementales Wegmesssystem angebracht, das den geregelten Positionierbetrieb ermöglicht. Durch konsequenten Leichtbau aller bewegten Teile konnte die bewegte Masse von früher 45 g (ohne Wegmesssystem) auf jetzt 39 g (mit Wegmesssystem) gesenkt werden.

In der Gesamtkonstruktion ergibt sich eine hochdynamische, spielfreie Positionierachse mit Lineardirektantrieb, die den besonderen Vorteil hat, in stromlosem Zustand ihre Position zu halten.

Ausblick

Die gegenwärtigen Anstrengungen konzentrieren sich darauf, die Parameter des linearen Wanderwellenmotors experimentell genauer zu erfassen und zu verbessern. Die Verwendung eines Microcontrollers ermöglicht es, eine Vielzahl von Regelkonzepten für den optimalen Betriebspunkt des Motors zu testen, um auf vor allem fertigungstechnisch bedingte Abweichungen vom Idealfall mit degenerierenden Moden bestmöglich zu reagieren. Daneben versprechen experimentelle Untersuchungen des reibschlüssigen Abtriebs ein großes Potenzial, um sowohl Vorschubkraft als auch Geschwindigkeit des Motors zu steigern. Erste Ergebnisse dieser Arbeiten werden im Vortrag präsentiert werden.

Literaturhinweise:

- [1] Schinköthe, W.: Wanderwellenmotoren - Bauformen und Eigenschaften. 44. International Scientific Colloquium, 20. - 23. September 1999, Ilmenau.
- [2] Hermann, Martin: Entwicklung und Untersuchung piezoelektrisch erregter Wanderwellenmotoren für lineare Bewegungen. IKFF Universität Stuttgart, Institutsbericht Nr. 14, Dissertation 1998.
- [3] Fröschle, Axel: Analyse eines Piezo-Wanderwellenmotors. IKFF Universität Stuttgart, Institutsbericht Nr. 10, Dissertation 1992.
- [4] Hermann, M.; Schinköthe, W.; Haug, J.: Properties of a Piezoelectric Travelling Wave Motor Generating Direct Linear Motion. Actuator 98, 17. - 19. Juni 1998, Bremen.

Autoren:

Dipl.-Ing. Jens Haug
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe
Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 9
70550 Stuttgart
Tel.: 0711 / 685-6402
Fax: 0711 / 685-6356
E-Mail: ikff@ikff.uni-stuttgart.de
www.uni-stuttgart.de/ikff/

Neue Telefon- und Telefaxnummer:

Telefon: +49 (0)711 685 – 6 6402

Telefax: +49 (0)711 685 – 6 6356

Neue E-Mail-Adressen:

ikff@ikff.uni-stuttgart.de

linearantriebe@ikff.uni-stuttgart.de

piezoantriebe@ikff.uni-stuttgart.de

spritzguss@ikff.uni-stuttgart.de

zuverlaessigkeit@ikff.uni-stuttgart.de