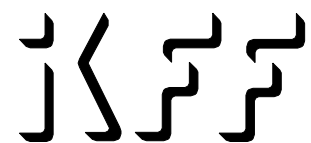


Universität Stuttgart

Jahresbericht IKFF 2001

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 2002

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 Exkursion
- 2.6 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. Rainer Pröger-Mühleck

Dipl.-Ing. Andreas Weber

Dipl.-Ing. Christian Welk

Technischer Angestellter:

Dipl.-Ing. (FH) Peter Bauer

Modellbau und Versuchswerkstatt:

Ralf Berwanger

Stefan Schneider

Praktikant

cand. Ing. Philippe Coursiere

Wissenschaftliche Hilfskräfte:

Abel, Jörg	Müller, Alexander
Aßfalg, Jochen	Müller, Cornelia
Beier, Michael	Makend, Willy Claude
Beyer, Martin	Nägele, Lars
Heckmann, Martin	Nowak, Peter
Kienle, Ulrich	Petkov, Hristo
Kostadinow, Metodi	Schmidt, Martin
Kraus, Martin	Schützle, Thomas
Kummer, Stephan	Weiß, Karsten
Lilchev, Dimitar	

1.2 Jahresrückblick**Personalia**

Zum 1. Januar des Jahres 2001 wurde Herr Grotz als wissenschaftlicher Mitarbeiter auf dem Gebiet der Lineardirektantriebe mit dem Schwerpunkt Ansteuerelektronik auf eine industriefinanzierte Drittmittelstelle eingestellt. Herr Pröger-Mühleck wechselte per 31. Dezember 2001 planmäßig in die Industrie. Herr Bauer trat am 1. Januar 2002 in den Ruhestand, Herr Diem am 1. Mai 2001 nach Ende der Freistellungsphase.

Aktivitäten in der Lehre

Die Anfängerzahlen im Maschinenbau im weiteren Sinne zeigen insgesamt weiter eine sehr deutlich steigende Tendenz, insbesondere auch in den neu hinzugekommenen Studiengängen Technologiemanagement und Fahrzeug- und Motorentechnik. Im WS 2001/2002 sind in den Studiengängen des Maschinenbaus — Maschinenwesen, Fahrzeug- und Motorentechnik, Technologiemanagement, Automatisierungstechnik in der Produktion sowie Energie- und Anlagentechnik — insgesamt 630 Studierende eingeschrieben. Dies ist gegenüber dem Vorjahr eine Steigerung um 50 % und eine weit größere Zahl als zu Beginn der 90er Jahre. Im Studiengang Maschinenwesen selbst beträgt der Anstieg gegenüber dem Vorjahr ca. 16 %. Im Hauptdiplom nehmen die Studentenzahlen insgesamt immer noch deutlich ab.

Bei den Lehrveranstaltungen des Institutes ist das Bild geteilt. Die Vordiploms-Lehrveranstaltungen konzentrierten sich nach der Umstrukturierung in der Konstruktionslehre-Ausbildung auf die Fächer Konstruktionslehre Feinwerktechnik III

und IV im dritten und vierten Semester. Erstmals wurde im Jahre 1999 mit dem dritten Semester gestartet, ohne zuvor das erste und zweite Semester zu betreuen. Im Jahre 2001 gingen die Hörerzahl im Vergleich zu 2000 leider weiter zurück, offensichtlich besteht eine gewisse Hemmschwelle, aus der großen Gesamtvorlesung im dritten Semester in die Konstruktionslehre Feinwerktechnik zu wechseln.

Im Hauptfach Feinwerktechnik sind die Studierendenzahlen erfreulicherweise trotz der insgesamt im Hauptdiplom noch sinkenden Zahlen nahezu konstant. Die Lehrveranstaltungen des Hauptdiploms konzentrieren sich auf die beiden Schwerpunkte Gerätekonstruktion als methodisch orientierte Linie und feinwerktechnische Aktorik als konkret forschungs- und entwicklungsorientierte Linie. Vorlesungen, Übungen und zugehörige Praktika wurden angepasst angeboten und entsprechende Skripte als Lehrmaterialien erstellt und jährlich aktualisiert.

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 Fehlerverhalten in Geräten, Schwingungsdämpfung und Lärminderung in der Feinwerktechnik, Beziehungen zwischen Gerät und Umwelt sowie die Kunststofftechnologie und -anwendung in der Feinwerktechnik (Werkstoff, 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 Hauptfachpraktika „Ultraschallantriebe“, „Lineardirektantriebe“, „Koordinatenmesstechnik“, „FEM-Berechnungen mit ANSYS“ und „Spritzgießen“ sind in die Lehrveranstaltungen einbezogen.

Die Lehrinhalte zur Aktorik konnten in zwei Buchbeiträgen für das „Handbuch Elektrische Kleinantriebe“ und für das Lehrbuch „Gerätekonstruktion in Feinwerktechnik und Elektronik“ einer größeren Verbreitung zugeführt werden.

Die Vermittlung von Absolventen verlief auch 2001 trotz der gegenwärtigen konjunkturellen Probleme problemlos.

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 Arbeitsgebietes **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 sowie ein DFG-Projekt und verschiedene Industrieprojekte dazu bearbeitet. Das Prinzip der integrierten Wegsignalerzeugung wird derzeit auch auf Antriebe mit bewegten Spulen ausgedehnt. Eine erste Dissertation zur integrierten Wegmessung wurde veröffentlicht. Die Forschungen zur Realisierung von Direktantrieben nach dem Prinzip des Wanderwellenmotors wurden 2001 weitergeführt.

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. Hier gibt es immer wieder Anfragen aus der Industrie zur Untersuchung spezieller Werkstoffe. Das DFG-Projekt zur variothermen Prozessführung mit Induktionserwärmung beim Mikrospritzgießen wurde im Jahre 2000 erfolgreich abgeschlossen und diese Technologie wird auf größere Bauteile ausgeweitet und übertragen. Im Jahre 2001 bzw. Anfang 2002 wurden nun drei Dissertationen dazu eingereicht.

Im Rahmen der Forschungsprojekte wurde eine Reihe von Drittmittelaufträgen aus der Industrie eingeworben. Im Jahre 2001 wurde auch ein umfangreicher Förderantrag ans Land Baden-Württemberg gestellt. Unter der Abkürzung THYMIS haben sich eine ganze Reihe von Instituten zusammengefunden, um fortschrittliche **Technologien für hybride Miniaturisierte Systeme** zu entwickeln. Leider wurde der Antrag nicht in die Förderung einbezogen.

Auch zahlreiche Veröffentlichungen (siehe Abschnitte 5 und 8) zeugen von den in der Forschung erzielten Ergebnissen. Viele der Veröffentlichungen sind im Volltext auf der Homepage des Institutes zugänglich (www.uni-stuttgart.de/ikff).

Auch im Jahre 2001 fand ein zweitägiger Weiterbildungslehrgang an der TA Esslingen zum Themengebiet „Antriebssysteme der Feinwerktechnik“ unter Leitung von Prof. Schinköthe statt, wobei unter maßgeblicher Beteiligung des Institutes 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 Füllvorganges, 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.

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, vorhandene Sensoren zu verbessern oder bekannte Messprinzipien technisch zu realisieren, wurden bzw. werden folgende Aufgaben bearbeitet:

- Sensoren zur vorausschauenden Messung von Wasserschichtdicken auf der Straße.
- Optische Sensoren zur Abstandsmessung auf der Basis des Triangulationsverfahrens.
- Faseroptische Sensoren für die energetische Abstandsmessung.

- Entwicklung luftgelagerter Miniatur-Linearachsen zur Profil- und Oberflächenanalyse, zur Mikro-Universalhärteprüfung sowie als Stoßantrieb zur Impulspositionierung.
- 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 Formfüllvorganges beim Spritzgießen.
- gekoppelte Feldberechnungen, beispielsweise elektromagnetisch, elektromagnetisch-thermisch, piezoelektrisch-dynamisch.

2 LEHRVERANSTALTUNGEN

2.1 Vorlesungen und Übungen für das Vordiplom

2.1.1 Konstruktionslehre III (Feinwerktechnik)

(Schinköthe/Lindenmüller)

Wintersemester 2000/2001: 29 Studenten

Wintersemester 2001/2002: 17 Studenten

16 Vorlesungen (à 2 SWS)

16 Vorlesungen (à 1 SWS)

16 Übungen (à 3 SWS)

Betreuer: Burkard, Grotz, Gundelsweiler, Haug, Lindenmüller, Pröger-Mühleck,
Weber

2.1.2 Konstruktionslehre IV (Feinwerktechnik)

(Schinköthe/Lindenmüller)

Sommersemester 2001: 28 Studenten

12 Vorlesungen (à 2 SWS)

12 Vorlesungen (à 1 SWS)

12 Übungen (à 2 SWS)

Betreuer: Burkard, Grotz, Gundelsweiler, Haug, Lindenmüller, Pröger-Mühleck,
Weber

2.2 Vorlesungen und Übungen für das Hauptdiplom

2.2.1 Grundlagen der Feinwerktechnik, Konstruktion und Fertigung

(Schinköthe/Lindenmüller)

Wintersemester 2000/2001: 31 Studenten

Wintersemester 2001/2002: 24 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 2000/2001: 15 Studenten

Wintersemester 2001/2002: 14 Studenten

15 Vorlesungen (à 2 SWS)

Sommersemester 2001: 16 Studenten

5 Vorlesungen (à 2 SWS)

8 Übungen (à 2 SWS)

2.3 Prüfungen

Fach	Termin	Kandidaten
KL III + IV (FWT)	F 2001	16
	H 2001	24
Grundlagen der Feinwerktechnik, Konstruktion und Fertigung (Pflichtfach, schriftlich)	F 2001	10
	H 2001	2
Grundlagen der Feinwerktechnik, Konstruktion und Fertigung (Kernfach, mündlich)	F 2001	14
	H 2001	4
Aktorik in der Feinwerktechnik - Berechnung, Konstruktion und Anwendung (Kernfach, mündlich)	F 2001	1
	H 2001	10

2.4 Praktika

2.4.1 Praktikum Feinwerktechnik

(Für Studierende des Hauptfaches Feinwerktechnik)

Wintersemester 2000/2001

Versuch 1: „Koordinatenmesstechnik“
19 Teilnehmer 4 Termine
Betreuer: Lindenmüller

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

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

Sommersemester 2001

Versuch 3: „Piezoantriebe“
16 Teilnehmer 5 Termine
Betreuer: Haug

Versuch 4: „Lineardirektantriebe“
17 Teilnehmer 5 Termine
Betreuer: Gundelsweiler

2.4.2 Allgemeines Praktikum Maschinenbau (APMB)

(Für Studierende im zweiten Studienabschnitt Maschinenbau)

Sommersemester 2001

Versuch 1: „Rasterelektronenmikroskopie“
6 Teilnehmer 1 Termin
Betreuer: Bauer

2.5 Exkursion

Am 4. Juli 2001 besuchte das Institut mit insgesamt 19 Studenten und Mitarbeitern die Firma ARBURG GmbH + Co. in Lossburg.

Auf dem Programm standen eine Reihe von Vorträgen zum Thema Spritzgießen: Entstehung und Entwicklung des Unternehmens ARBURG, das Maschinenprogramm, die Spritzgießverfahren und die Qualitätssicherung bei ARBURG. Ferner fand eine Führung durch das „Technikum“ und eine Besichtigung der Produktionsanlagen statt.

Beeindruckend war die hohe Fertigungstiefe in der Produktion und ein offenbar angenehmes Betriebsklima. In der abschließenden Diskussion wurden auch Einstiegsmöglichkeiten ins Unternehmen nach dem Studium aufgezeigt. Die Exkursion wurde von unserem ehemaligen Mitarbeiter Herr Dipl.-Ing. Thomas Walther angeregt und von Herrn Dr. Lindenmüller organisiert.

2.6 Seminar Feinwerktechnik

Köder, Thilo	Konstruktion eines hochdynamischen linearen Direktantriebes
Beganovic, Arnad	Simulation von Varianten für eine hochgenaue Miniatur-Linearführung
Kummer, Stefan	Entwicklung einer Ansteuerelektronik für lineare Wanderwellenmotoren
Spieth, Axel	Konstruktion einer piezoelektrischen Klemmvorrichtung für eine Linearachse mit elektrodynamischem Lineardirektantrieb
Kuberczyk, Raffael	Konstruktion eines einphasigen, rotationssymmetrischen Lineardirektantriebes mit bewegter Spule
Stein, Tobias	Einfluß von Werkzeugbeschichtungen auf das Entformungsverhalten beim Spritzgießen
Rothenhöfer, Elmar	Aufbau und Erprobung eines Linearantriebes mit Außenläufer
Kraus, Martin	Konstruktion und Aufbau eines linearen Direktantriebes
Mayer, Volker	Optimierung/Aufbau und Inbetriebnahme eines dreisträngigen elektrodynamischen Lineardirektantriebes mit bewegter Spule
Schwenger, Ralf	Literaturrecherche zu Luftlagern
Abel, Jörg	FEM-Simulation eines elektrodynamischen Lineardirektantriebes in rotationssymmetrischer Bauform

3 WISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN, STUDIEN- UND DIPLOMARBEITEN

3.1 Dissertationen

Schaumburg, Carsten	Mikrospritzgießen mit induktiver Werkzeugtemperierung
Hartramph, Ralf	Integrierte Wegmessung in feinwerktechnischen elektrodynamischen Lineardirektantrieben. Ausgezeichnet mit dem Preis der Gustav-Magenwirth-Stiftung.

3.2 Diplomarbeiten am IKFF

06/2001 Arnold, Markus	Vorentwicklung eines neuartigen elektromechanischen Drehtürantriebs mit Brandschutzfunktion, integrierter Behinderungserkennung und Servoansteuerung
09/2001 Rejman, Marcin	Unkonventionelle Vorrichtung und Verfahren zur Aufdeckung von Kunststoffgefügen
09/2001 Köder, Thilo	Konstruktion eines geräuscharmen Regelventils
11/2001 Beganovic, Arnad	Experimentelle Untersuchung der Eigenschaften aerostatischer Führungen

3.3 Studienarbeiten am IKFF

01/2001 Köder, Thilo	Konstruktion eines hochdynamischen linearen Direktantriebes
02/2001 Beganovic, Arnad	Simulation von Varianten für eine hochgenaue Miniatur-Linearführung

06/2001	Kummer, Stephan	Entwicklung einer Ansteuerelektronik für lineare Wanderwellenmotoren
10/2001	Spieth, Axel	Konstruktion einer piezoelektrischen Klemmvorrichtung für eine Linearachse mit elektrodynamischem Linearantrieb
11/2001	Kuberczyk, Raffael	Konstruktion eines einphasigen, rotations-symmetrischen Lineardirektantriebs mit bewegter Spule
11/2001	Rothenhöfer, Elmar	Aufbau und Erprobung eines Linearantriebes
11/2001	Stein, Tobias	Einfluß von Werkzeugbeschichtungen auf das Entformungsverhalten beim Spritzgießen
11/2001	Schwenger, Ralf	Literaturrecherche zu Luftlagern
11/2001	Mayer, Volker	Optimierung/Aufbau und Inbetriebnahme eines dreisträngigen elektrodynamischen Lineardirektantriebes mit bewegter Spule
11/2001	Kraus, Martin	Konstruktion und Aufbau eines linearen Direktantriebes
12/2001	Abel, Jörg	FEM-Simulation eines elektrodynamischen Lineardirektantriebes in rotationssymmetrischer Bauform

4 ARBEITSGEBIETE DER MITARBEITER

4.1 Aktorik

Gundelsweiler, B. Lehre:

Betreuung der Vordiplomsübungen in KL 3/4: Vortrags- und Gruppenübungen

FEM-Praktikum „Elektromagnetische Berechnung eines Lineardirektantriebes“

Durchführung der Hauptfachübungen und des Praktikums „Lineare Direktantriebe“

Erstellung des Übungsmanuskripts „Aktorik in der Feinwerktechnik - Teil 3“ und Aufarbeitung der Übungsmaterialien für die Präsentation im Internet im Rahmen des Projekts „100 Online“.

Betreuung von Studien- und Diplomarbeiten

Elektrodynamische Lineardirektantriebe:

Motorentwicklung: Dimensionierung, Konstruktion, FEM-Simulation, Aufbau, Montage, Justage und Inbetriebnahme von elektrodynamischen Lineardirektantrieben – Ermittlung der Motorparameter und Optimierung der Antriebe – Implementierung und Anpassung von Wegerfassungs- und Führungssystemen – Aufbau von Prototypen und Analyse verschiedener Systeme mit Variationen von Magnet- und Spulensystemen.

Industrieprojekte:

Entwicklung von elektrodynamischen Lineardirektantrieben verschiedener Ausführung nach Lastenheftforderungen.

Dimensionierung von Antrieben, überschlägige Berechnungen, FEM-Analysen, Motoroptimierungen, Motorkonstruktionen und Aufbau der Antriebe.

Projekt 1:

Entwicklung, Dimensionierung, FEM-Analyse und Konstruktion eines hochdynamischen Lineardirektantriebes (Typ 1 mit Kastenspule, Typ 2 mit rotationssymmetrischer Spule). Prototypaufbauten und Aufnahme der Motorparameter (Schubkraft-

kennwerte, thermische Analyse). Zwischenberichte, Abschlußbericht, Erstellung von Präsentation und Zeichnungssatz.

Projekt 2:

Entwicklung, Dimensionierung, FEM-Analyse und Konstruktion eines mehrsträngigen Lineardirektantriebes mit bewegter Spule und Integration in ein Aluminiumstrangpressprofil. Prototypaufbau, Inbetriebnahme und Aufnahme der Motorparameter (Schubkraftkennwerte, dynamische Kennwerte, thermische Analyse), Magnetfeldanalyse. Zwischenberichte, Abschlußbericht, Präsentation und Zeichnungssatz erstellen. Übergabe des Prototyps an den Industriepartner.

Kompletter Aufbau einer optimierten Motorvariante für Forschungszwecke des Instituts.

Projekt 3:

Überschlägige Motordimensionierung und Prototypaufbau eines einsträngigen elektrodynamischen Lineardirektantriebes in Homopolarausführung. Ermittlung der Spulenkenwerte mittels einer Impedanzanalyse und Aufnahme der dynamischen Motorkennwerte. Erstellung eines Berichtes für eine Machbarkeitsstudie.

PC-Administration:

Soft- und Hardwarebeschaffung

Installation und Wartung der PC und Programme

Virusschutz und Sicherheitsrichtlinien der PC

Grotz, A.

Mitbetreuung der Vordiplomsübungen Konstruktionslehre 3/4, Betreuung einer Studienarbeit: Rotatorischer Lineardirektantrieb mit bewegter Spule

Produktanalyse eines Miniaturfestplattenlaufwerkes im Rahmen der Erstellung einer Mikrosystemtechnik-Datenbank

Einarbeitung in PC-Administration

Elektrodynamische Lineardirektantriebe:

Untersuchung des Einflusses von Konstruktionswerkstoffen und Geometrieabmessungen auf die Induktivität von Erregerspulen

Industrieprojekt:

Entwicklung eines rotationssymmetrischen Lineardirektantriebes für sehr hohe Dynamiken.

Analytische und FEM-Berechnung, Optimierung, Aufbau und Erprobung.

Industrieprojekt:

Durchführung einer Machbarkeitsstudie für einen kontinuierlich betriebenen Lineardirektantrieb, Analytische und numerische Berechnung, Aufbau eines Funktionsmusters.

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. Weiterentwicklung der Regelelektronik für einen linearen Wanderwellenmotor.

Industrieprojekt (hochgenaue resonante Führung): Entwicklung einer Ansteuerelektronik, messtechnische Untersuchung und konstruktive Optimierung.

Pröger-Mühleck, R. Mitbetreuung der Übungen Konstruktionslehre III/IV (Übungsvorträge, Sprechstunde, Erstellung von Prüfungs- und Übungsaufgaben, Musterlösungen und Manuskripten).

Entwicklung, Berechnung und Bau elektrodynamischer Lineardirektantriebe sowie von zylindrischen aerostatischen Lagerungen. Erprobung dieser Komponenten in verschiedenen Anwendungen.

Bearbeitung des DFG-Themas „Automatisierte Justage mit aerostatisch gelagertem Impulsantrieb für die Feinwerk- und Mikrotechnik“.

FEM-Praktikum, Bereich „Statik“

Erstellung eines Dokumentationsfilmes zum Konstruktionswettbewerb.

- Welk, C. Bearbeitung des DFG Forschungsprojekts „Lineardirektantriebe mit integriertem Wegmesssystem“.
 Entwicklung von Elektronik – Hard- und Software. Untersuchungen an Prototypen.
 Unterstützung bei Elektronik- und Mikrocontrollerfragen.
 Entwicklung eines für die integrierte Wegmessung optimierten miniaturisierten Lineardirektantriebs.
 Bearbeitung und Abschluss eines Industrieauftrags zur Entwicklung eines neuartigen hochdynamischen Lineardirektantriebssystems.
 Weiterführung der Untersuchungen zur integrierten Wegmessung in Induktions- und Asynchronlinearmotoren.
 Betreuung von Studienarbeiten.
 PC Hard- und Softwarewartung.
 Betreuung von Elektroniklabor und Ätzraum.
 Betreuung von Studentengruppen im Rahmen des Konstruktionswettbewerbs; Betreuung von Testgruppen.

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 Industrieaufträgen zur Entformung von Spritzgussteilen.
 Organisation und Betreuung des Konstruktionslehrewettbewerbs.
 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 im StutCAD; Theorieteil und Abschnitt „Temperaturfelder“
 Hauptfachpraktikum „Spritzgießen“

Weiterentwicklung der induktiven Werkzeugtemperierung, insbesondere Ausweitung des Einsatzspektrums hin zu planen Bauteilen mit größerer Fläche und zu dreidimensionalen Formen.

Bearbeitung von Industrieaufträgen zur Erwärmung durch Induktion.

Administration und Wartung der UNIX-Workstations und der Firewall.

4.3 Sonstige Arbeiten

Bauer, P. Untersuchungen von Proben mit dem Rasterelektronenmikroskop. Arbeiten zur Verbesserung und Erhaltung der Arbeitssicherheit am Institut. Reparatur und Pflegearbeiten an Geräten und Einrichtungen im Institut.

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

Burkard, E.:

Verbessertes Entformungsverhalten durch Werkzeugbeschichtungen. MM (Maschinenmarkt) 2001 Nr.22.

Burkard, E.; Schinköthe, W.:

Einfluss von Werkzeugbeschichtungen auf das Entformungsverhalten beim Spritzgießen. Postervortrag 17. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 14./15.3.01.

Pröger-Mühleck, R.; Gebhardt, A.; Guyenot, V.; Schinköthe, W.:

DFG-Forschungsvorhaben Automatisierte Justage mit aerostatisch gelagertem Impulsantrieb für die Feinwerk- und Mikrotechnik. Abschlussbericht 2001.

Pröger-Mühleck, R.; Gebhardt, A.; Guyenot, V.; Schinköthe, W.; Siebenhaar, C.:

Aerostatisch gelagerter Impulsantrieb zur Präzisionsmontage in der Mikrotechnik. Tagung Innovative Klein- und Mikroantriebe, Mainz 15./16. 05. 2001, GMM-Fachberichte 33, S. 61-69.

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

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

Schinköthe, W.:

in Kallenbach, E.; Stölting, H.- D.: Handbuch Elektrische Kleinantriebe. Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag 2001. Abschnitt 4.2. Elektrodynamische Linear- und Mehrkoordinatenantriebe.

Schinköthe, W.; Welk, C.:

DFG-Forschungsvorhaben Lineardirektantriebe mit integrierter Wegmessung Zwischenbericht 2001, Schi 457/6-2.

Walther, T.; Schinköthe, W.:

Einsatzmöglichkeiten der induktiven Werkzeugtemperierung beim Spritzgießen Vortrag 17. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 14./15.3.01.

Welk, C.; Gundelsweiler, B.; Schinköthe, W.:

Integrierte Wegmessung in Lineardirektantrieben. Tagung Innovative Klein- und Mikroantriebe, Mainz 15./16. 05. 2001, GMM-Fachberichte 33, S. 33-60.

Diverse weitere, unveröffentlichte Forschungsberichte zu industriefinanzierten Themen im Jahre 2001.

5.2 Gremienarbeit

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe:

Prodekan der Fakultät Konstruktions- und Fertigungstechnik

Mitglied der Fachkommission Landesgraduiertenförderung

Mitglied der Auswahlkommission „Preise“

VDI/VDE-Fachausschuß 2.3 „Elektrische Geräte- und Stellantriebe“

VDI/VDE-Arbeitskreis „Universitätsprofessoren der Mikro- und Feinwerktechnik“

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

5.3 Tag der offenen Tür

Mit Speck fängt man Mäuse ... oder doch eher mit Käse?

Beides lockt eine Robotermaus aber nicht, daher mußten sich die Studenten des vierten Semesters Maschinenbau andere Lösungen einfallen lassen.

Die Aufgabe des 9. Konstruktionswettbewerbs des Instituts für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik lautete, eine Maschine zu entwickeln, die als Katze einen kleinen Roboter, die Maus, fängt.

Das klingt zunächst eher einfach, aber es war deutlich schwieriger, als gedacht. Die Maus, eine miniaturisierte mobile Roboterplattform, wurde von dem Studenten Karsten Weiß entwickelt und dient eigentlich als Testplattform für die Entwicklung von Steuerungsprogrammen. Beim Konstruktionswettbewerb konnte sie zeigen, wie gut sie mit ihren Infrarotsensoren Hindernisse erkennt und darauf reagiert. Die jagenden Katzen versuchten auf verschiedenste Art und Weise, diese Sensoren und den Steuerungsrechner der Maus auszutricksen, um sie dennoch zu fangen. Hier zeigte sich, dass Theorie und Praxis nicht unbedingt übereinstimmen. Die erste Teilaufgabe war, die Maus daran zu hindern, in ihr Mauselloch zurückzukehren, diese wurde auch noch von den meisten Maschinen gelöst. Die

zweite Teilaufgabe, die Maus einzufangen, wurde aber nur noch von wenigen Maschinen bewältigt.

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

Arburg GmbH & Co; Carl Hanser Verlag GmbH & Co; Dr.-Ing. P. Christiani GmbH;

Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG; Festo AG & Co.; NEFF-Antriebstechnik-Automation GmbH; Otto Bilz Werkzeugfabrik GmbH & Co.; Qunix Computervertriebs GmbH; TEDATA Gesellschaft für Information und Kommunikation GmbH; Trumpf GmbH & Co.

Ergebnisse:

1. Platz: Andreas Birkhold, Dieter Donis, Peter Nowak, Hannes Willeck
2. Platz: Jörg Niesmak, Frank Drechsler, Jens Anderle, Martin Dengler
3. Platz: Jens-Timo Barthelmeh, Ulrich Weiger, Lars Nägele, Cornelia Müller

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 unmittelbar vor Wettkampfbeginn endgültig fertig. Der Wettkampf selbst fand zum zweiten mal in einem großen Hörsaal statt, der auch wieder vollständig gefüllt werden konnte.

6 TEILNAHME AN KONGRESSEN, TAGUNGEN UND MESSEN

Prof. Schinköthe, W.:

- Innovative Klein- und Mikroantriebe, GMM-IMM Fachtagung, Mainz 2001
- VDI/VDE Arbeitskreis „Stellantriebe“ Frankfurt, 23.11.2001
- Lehrgang an der TAE Esslingen: Antriebssysteme der Feinwerktechnik. TA Esslingen, 12.-13.03.2001

Burkard, E.:

- Hausmesse der Firma ARBURG, Loßburg, 30.03.2001

Gundelsweiler, B.:

- Messe Motek in Sinsheim
- Messe SPS, IPC, DRIVES in Nürnberg
- Innovative Klein- und Mikroantriebe, GMM-IMM Fachtagung, Mainz 2001
- Seminar 100-Online - Einführung in die Mediendidaktik
- Seminar 100-Online - Internettool - AIDA
- Infrarotthermographie - Firma Infratec, Dresden

Weber, A.

- Hausmesse der Firma ARBURG, Loßburg, 30.03.2001
- Kundenseminar der Firma Infratec „Einführung in Theorie und Praxis der Infrarot-Thermografie“, Dresden, 18.-19.09.2001

Welk, Ch.

- GMM-Fachtagung Innovative Klein- und Mikroantriebe, Mainz, 15.-16.05.2001
- Messe Motek, Sinsheim, 27.09.2001
- Messe SPS/IPC/DRIVES 2001, Nürnberg, 27.11.2001

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, besteht Bedarf an einer zweiten Drehmaschine.

8 ANHANG - wesentliche Veröffentlichungen

In diesem Jahr exemplarisch einige Veröffentlichungen aus dem Bereich Aktorik:

Aerostatisch gelagerter Impulsantrieb zur Präzisionsmontage in der Mikrotechnik

Vortrag zur Tagung Innovative Klein- und Mikroantriebe, Mainz 15./16. 5. 2001.

Integrierte Wegmessung in Lineardirektantrieben

Vortrag zur Tagung Innovative Klein- und Mikroantriebe, Mainz 15./16. 5. 2001.

Aerostatisch gelagerter Impulsantrieb zur Präzisionsjustage in der Mikrotechnik

Dipl.-Ing. Rainer Pröger-Mühleck; Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe;
(Institut für Feinwerktechnik an der Universität Stuttgart, Deutschland);

Dr.-Ing. habil. Dipl.-Phys. Volker Guyenot; Dipl.-Ing. Andreas Gebhardt; Dipl.-Ing. Christian Siebenhaar;
(Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, Jena, Deutschland).

Kurzfassung

Beim Aufbau hybrider Baugruppen ist eine exakte Justage der Komponenten mit Genauigkeiten im Submikrometerbereich erforderlich. Eine Alternative zur Verwendung direkt angekoppelter Stellantriebe stellt die Stoßjustierung dar, bei der durch gezielte Stöße bereits vormontierte Teile in die gewünschte Position gebracht werden. Nach der Vorstellung des Justageverfahrens wird die Entwicklung des Antriebes zur Generierung der dazu erforderlichen Stoßimpulse betrachtet. Zur Minimierung der Reibung wurde der verwendete Lineardirektantrieb mit einer aerostatischen Führung kombiniert.

1 Justierung

1.1 Definition

Was bedeutet Justieren? Dies soll zunächst an einem einfachen Beispiel erläutert werden. **Bild 1** zeigt die beiden Lineale einer Zeichenmaschine.

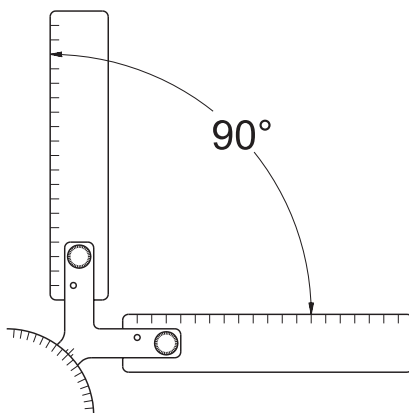


Bild 1 Zeichenkopf mit Linealen

Die Zeichenkanten dieser Lineale sollen einen rechten Winkel bilden. Um dies zu erreichen, muss mindestens eines der Lineale eine einstellbare Aufnahme erhalten; so kann der Benutzer z. B. nach einem Austausch die Orthogonalität wieder herstellen. **Definition des Justierens** lässt sich für mechanische Probleme folgende ableiten [1]:

Justieren heißt, Bauelemente während oder nach der Montage so zu bewegen, dass sie die für die gewünschte Funktion des gesamten technischen Gebildes notwendige Lage bekommen.

1.2 Anwendungen

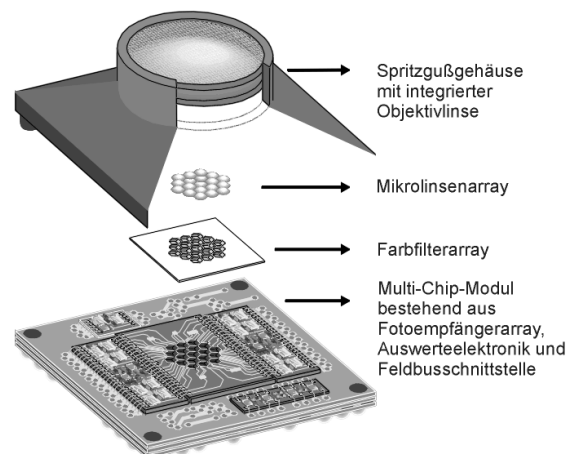


Bild 2 Farb-/Formsensorarray [2]

Das hier vorgestellte Verfahren ist besonders geeignet für Präzisionsjustagen aus dem Bereich der Feinwerk- und Mikrotechnik. So ist beim Aufbau von Mikrosystemen die hybride Integration von Komponenten, die aus verschiedenen Materialien und mit verschiedenen Prozessen hergestellt wurden, weit verbreitet.

Als Beispiel sei hier die Montage von Sensoren für CCD-Kameras zur Farbstruktur- und Positionsanalyse genannt ([2]; siehe **Bild 2**). Die dazu benötigten Mikrolinsen und Farbfilter (Bildmitte) werden jeweils als Array im Waferverbund gefertigt. Bei der Montage des Gesamtsystems müssen die beiden Wafer mit den Mikrolinsen und den Farbfiltern mit einer Genauigkeit von unter 1 μm zueinander positioniert

werden. Dazu tragen diese Wafer Justagemarken, so dass die Waferposition über ein Bilderfassungssystem ausgewertet werden kann.

1.3 Grundlegende Positionierverfahren

1.3.1 Direkte Kopplung

Die exakte Justierung eines Bauteils kann über eine direkte Kopplung mit einem Stellantrieb erfolgen.

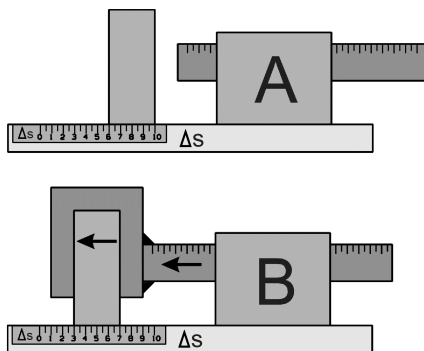


Bild 3 Direkte Kopplung (1)

Bild 3 zeigt schematisch den Ablauf der Justage. Links ist als Quader das zu positionierende Objekt dargestellt; seine Position weicht von der Zielposition um $\Delta s = 6$ Skalenteile ab (Situation A). Es soll mit dem rechts dargestellten Präzisionsantrieb justiert werden. Dazu muss dieser zunächst mit dem Objekt verbunden werden. Diese Verbindung wird durch die topfförmige Struktur, die den Quader umklammert, angedeutet. Aufgrund dieser festen Kopplung führt das Objekt dann dieselbe Bewegung wie der Antrieb aus (B).

Die Kopplung muss spielfrei in beide Bewegungsrichtungen wirken, um ein eventuelles Überfahren der Zielposition korrigieren zu können (**Bild 4, C**).

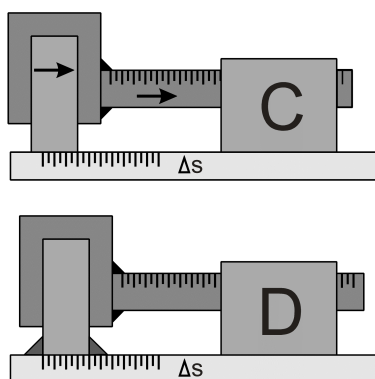


Bild 4 Direkte Kopplung (2)

Hat das Objekt seine Zielposition erreicht, muss seine Lage gesichert werden; in Bild 4/D ist dazu eine Klebefuge angedeutet. Bis zur Aushärtung des Klebstoffes muss der im Eingriff befindliche Antrieb positionsgenau stehen bleiben. Schließlich ist die Kopplung zu öffnen, wobei die Gefahr besteht, die Objektposition wieder zu verändern. Dieses Vorgehen stellt sehr hohe Genauigkeitsforderungen an die verwendeten Antriebe, Führungen und Lageregelungen. Weiterhin ist der Zeitaufwand für die Justage sehr hoch. Als Beispiel für eine mehrachsige Justierung nach diesem Verfahren zeigt **Bild 5** ein kommerziell angebotenes Faser-Positioniersystem für Lichtwellenleiter [3]. Dabei sind DC-Getriebemotoren mit Piezotranslatoren zur Feinjustage kombiniert. Die Wiederholgenauigkeit wird mit 100 nm angegeben.

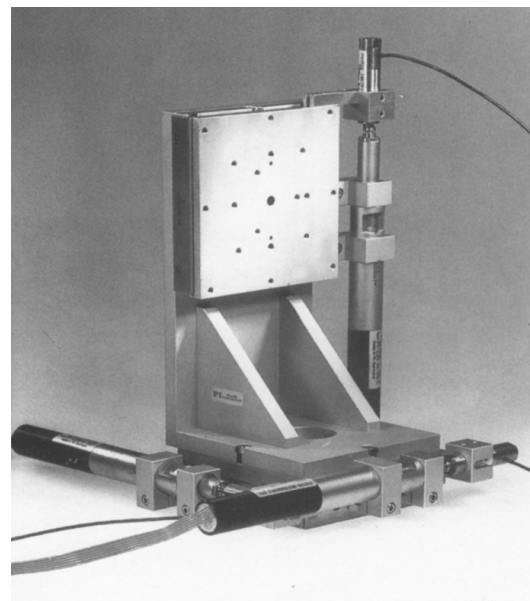


Bild 5 Faser-Positioniersystem [3]

1.3.2 Stoßjustierung

Bei der Stoßjustierung ist das Objekt schon montiert oder vorgespannt (Anpresskraft F in **Bild 6**), verändert also seine Lage ohne äußeres Zutun nicht mehr. Zur Korrektur der Positionsabweichung des Objektes wird hier ein Mikrohammer eingesetzt. Der Läufer dieses Antriebes wird auf eine definierte Geschwindigkeit beschleunigt und prallt dann auf das Objekt. In Abhängigkeit von seiner kinetischen Energie wird dabei die Position des Objekts um eine kleine Wegstrecke verändert. Durch eine Vielzahl von Stößen wird so die Fehlposition des Objektes korrigiert (**Bild 6/C**). Auf nachfolgende zusätzliche Montageschritte zur Sicherung der Position kann verzichtet werden, da das Objekt bereits vor der Justierung montiert war.

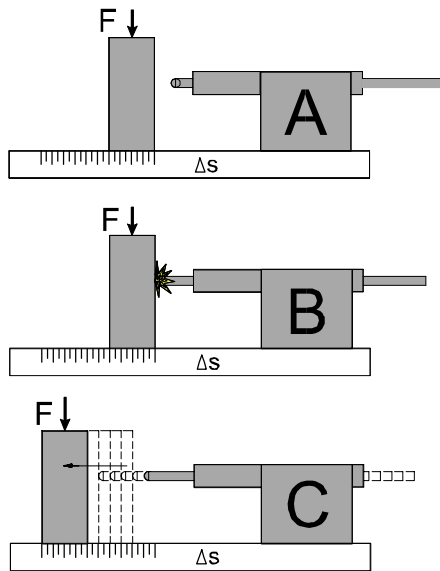


Bild 6 Stoßjustierung

Besonders bei Anwendungen aus der Feinwerk- und Mikrotechnik kann dieses Verfahren vorteilhaft eingesetzt werden. Durch kurzzeitiges Überwinden der Haftreibung werden kleine Schrittweiten ermöglicht, die eine präzise Justage mit Auflösungen bis in den Bereich von 50 bis 100 nm erlauben.

Wird durch zu viele Stöße bzw. durch Ausreißer bei der Schrittweite der letzten Stöße die Zielposition überfahren, muss mit einem zweiten Hammer von der Gegenseite wieder korrigiert werden. Dazu ist es erforderlich, die aktuelle Position des Objektes zu erfassen, da sonst ein Vergleich mit der Sollposition nicht durchgeführt werden kann. Für einen Serienprozess gut geeignet ist eine optische Positionserfassung mit rechnergestützter Bildverarbeitung, die keine Ankopplung von Messeinrichtungen an das Objekt erforderlich macht.

Bild 7 zeigt einen derartigen Aufbau zur Justierung flacher Scheiben. Es sind 4 Schlagantriebe zur Justierung in zwei Achsen angeordnet (A-D); Die Position wird optisch erfasst (E, F) und in Verbindung mit einer Bildverarbeitungssoftware auf dem PC ausge-

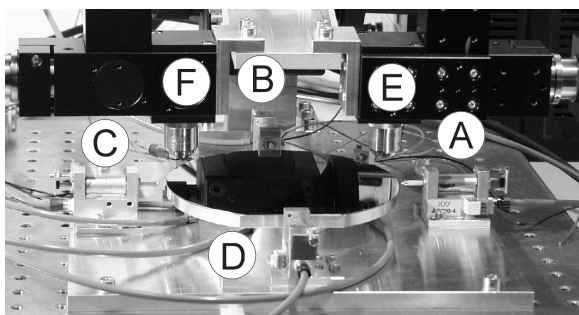


Bild 7 Stoßjustieranordnung [4]

wertet. Mit dieser Anordnung wird innerhalb der kurzen Zeit von 10-30 s eine translatorische Positionsabweichung von 30–50 μm auf Werte unter 0,4 μm korrigiert. Bei größeren Dejustierungen der Scheibe sind mehrere Justierdurchgänge erforderlich, die zu einer entsprechenden Verlängerung der Justierdauer führen.

Bei günstiger Auslegung des Hubes der Stoßantriebe, evtl. in Verbindung mit einer schnellen, groben Vorpositionierung, erlaubt dieses Verfahren eine schnelle Justierung in einem Fließprozess. Es ist nicht notwendig, eine Kopplung mit dem zu positionierenden Objekt aufzubauen bzw. später wieder aufzulösen.

2 Justierantrieb

2.1 Form der Bewegung

Die Stoßjustierung beruht auf der Einleitung kinetischer Energie in das Objekt. Dazu können verschiedene Bewegungen genutzt werden.

2.1.1 Rotierende Bewegung

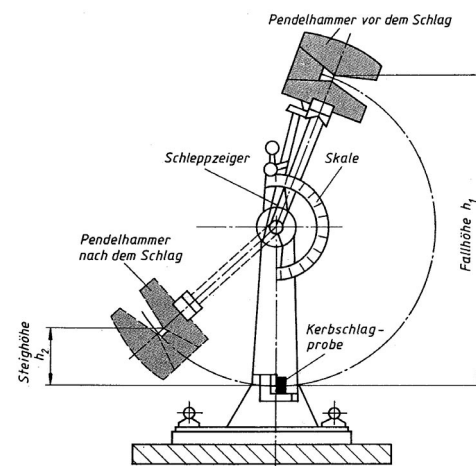


Bild 8 Pendelhammer [5]

Beim Kerbschlagbiegeversuch wird eine Probe durch einen Pendelhammer stoßartig belastet (**Bild 8**). In der Werkstoffprüfung wird mit dieser Anordnung die Kerbschlagzähigkeit bestimmt.

Die Energie wird dabei über die Fallhöhe des Hammers eingestellt. Kann dieses Verfahren auch für die Stoßjustierung genutzt werden?

Vorteilhaft ist die einfache Gestaltung der Lagerung in Form eines Drehlagers. Für die angestrebte automatisierte Justierung ist die Drehbewegung jedoch ungünstig: Der Hammer muss zunächst auf die erforderliche Höhe angehoben werden; für einen automatisierten Betrieb ist dazu die Erfassung der

tisierten Betrieb ist dazu die Erfassung der Lage des Hammers erforderlich. In der richtigen Höhe muss der Hammer dann festgehalten werden, wobei die Arretierung bei der Auslösung des Stoßes aufzuheben ist und den Hammer im Fallen nicht mehr beeinträchtigen darf.

Beim Kerbschlagbiegeversuch wird die Energie des Hammers vorwiegend in die Deformation der Probe umgesetzt. Bei der Impulsjustierung darf der Stößel dagegen nur einmal auftreffen und muss dann sofort wieder vom Objekt wegbewegt werden; hier tritt das Trägheitsmoment der rotierenden Masse störend in Erscheinung. Auch die Realisierung einer hohen Schlagfrequenz ist damit in Frage gestellt.

Versuche mit einem Drehstoßhammer haben diese Nachteile bestätigt [12]. Zur Durchführung der Stoßbewegung wird deutlich mehr Zeit benötigt als bei Systemen mit geradliniger Bewegung; dadurch beträgt die maximale Stoßfrequenz beim Drehstoßhammer mit 1 bis 2 Hz auch nur etwa ein Zehntel des Wertes dieser Systeme. Vorteilhaft ist hingegen die Möglichkeit, mit einem Stoßhammer das Objekt aus zwei Richtungen anschlagen zu können. Dies geht jedoch einher mit einem entsprechend hohen Platzbedarf für die gesamte Anordnung.

2.1.2 Translatorische Bewegung

Demgegenüber erfolgt in vielen Bereichen der Technik die Übertragung kinetischer Energie durch geradlinige Bewegungen. Beispielhaft sind Werkzeuge zur Bearbeitung harter Materialien wie Bohr- oder Presslufthammer zu nennen. Diese Beispiele zeigen, dass bei Großserien-Anwendungen, die eine schnelle bis sehr schnelle Richtungsumkehr erfordern, geradlinige Bewegungen mit großem Erfolg eingesetzt werden.

Die kinetische Energie kann bei der Konstruktion des Antriebes grob durch die Masse des Stößels festgelegt werden; bei einem vorhandenen Antrieb erfolgt die Feineinstellung über die Geschwindigkeit. Als Hauptnachteil ist die Erfordernis einer Führung für die Längsbewegung anzusehen, deren Gestaltung deutlich aufwendiger als die eines Lagers für eine rotierende Bewegung ist.

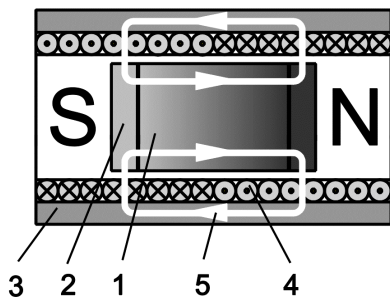


Bild 9 Elektrodynamisches Antriebsprinzip

2.2 Antriebsprinzip

Zur Generierung der Stoßimpulse wird ein elektrodynamischer Lineardirektantrieb eingesetzt. **Bild 9** zeigt den rotationssymmetrisch aufgebauten Antrieb im Längsschnitt.

Der axial polarisierte Permanentmagnet 1 bildet zusammen mit den Polschuhen 2 und dem Rückschluss 3 den magnetischen Kreis. Im Luftspalt befindet sich die Antriebspule 4. Fließt durch diese vom magnetischen Fluss 5 in radialer Richtung durchsetzte Spule ein Strom in Umfangsrichtung, wirkt zwischen Spule und Magnetsystem eine Kraft in axialer Richtung. Damit sich die Kraftwirkungen über den Polschuhen nicht aufheben, ist es erforderlich, die Antriebspule in zwei Teilwicklungen mit gegenläufigem Umlaufsinn des Stromes aufzuteilen.

2.3 Dimensionierung

Zur Berechnung der Antriebe werden neben analytischen Berechnungen vor allem Simulationen nach der Methode der finiten Elemente durchgeführt. Aus der Vielzahl der Motorparameter seien drei wichtige Optimierungskriterien herausgegriffen.

2.3.1 Kinetische Energie

Die kinetische Energie, die der Stößel beim Aufprall auf das Objekt besitzt, muss mindestens so groß sein, dass die auftretende Stoßkraft die Haftreibung zwischen Objekt und der Oberfläche, auf der es montiert ist, übersteigt. Kommt das Objekt ins Gleiten, ist die Schrittweite des Objekts von der Energie des Stößels abhängig.

Die Haftreibung wird unter anderem von der Vorspannkraft und der Werkstoffpaarung beeinflusst, so dass die erforderliche kinetische Energie jeweils an die Justieraufgabe anzupassen ist. Der Antrieb ist dabei so zu dimensionieren, dass er in kurzer Zeit und innerhalb des zur Verfügung stehenden Hubes diese Energie erreicht.

Steht eine ausreichende Beschleunigungsstrecke zur Verfügung, kann eine hohe Energie über eine entsprechend hohe Geschwindigkeit des Läufers eingestellt werden. Zur Abdeckung einer großen Breite von Justieraufgaben mit einer breiten Streuung der erforderlichen Stoßenergie ist jedoch eine Antriebsbaureihe erforderlich. Dadurch können die Masse des Läufers sowie die Kraftentfaltung bzw. das Beschleunigungsvermögen des Antriebes für die jeweilige Justieraufgabe optimiert werden.

Werden niedrige Impulsenergien benötigt, kann ein sehr kompakter Aufbau realisiert werden, wenn Teile des Magnetkreises in einen hohlen Läufer eingebaut

werden (siehe **Bild 11**). Bei größeren Energien erhalten Magnet und Polschuhe Bohrungen, so dass sie außen auf dem Läufer angebracht werden können (**Bild 10**).

2.3.2 Anordnung der Führung

Wie in Kapitel 3 näher ausgeführt wird, ist eine aerostatische Führung des Stößels erforderlich. Dabei können Lager und Antrieb unterschiedlich angeordnet werden.

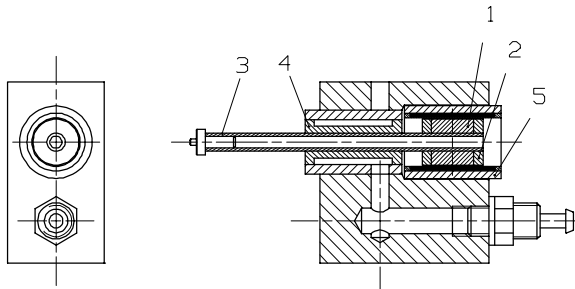


Bild 10 Antrieb mit separater Führung

Bild 10 zeigt eine Variante, bei der Führung und Antrieb räumlich getrennt sind. Rechts ist der Antrieb dargestellt, dessen Magnetkreis aus Magnet (1), Polschuhen (2) und Rückschluss (5) gebildet wird. Die auf eine Messinghülse gewickelte Spule ist zwischen Magnet und Rückschluss angeordnet; sie ist sehr dünn ausgeführt und als schmaler schwarzer Streifen zu erkennen.

Die Luftführung ist links vom Antrieb angeordnet; die Buchse (4) wird über Kanäle im Gehäuse mit Druckluft versorgt. Als Kontaktfläche zum Objekt und zum Schutz des Keramikläufers ist eine Stoßspitze aus Messing (3) angebracht.

Dagegen befinden sich bei dem in Bild 11 gezeigten Antrieb Magnete (1) und Polschuhe (2) in einem hohlen Läufer. Die Antriebswicklung ist auf die Buchse (4) der Luftführung aufgebracht und tritt im Bild wieder nur als schmaler schwarzer Streifen in Erscheinung. Führungsbuchse und Spule sind vom Rückschluss (5) umgeben. Bedingt durch die konstruktiven Abhängigkeiten ist bei dieser Lösung ein funktionsfähiger Kompromiss zwischen der Optimierung des Antriebes und des Lagers zu finden.

2.3.3 Kennlinie

Bild 12 zeigt die gemessenen Kraft-Weg-Kennlinien der im letzten Abschnitt gezeigten Linearantriebe. Dargestellt ist jeweils die (normierte) Kraft des Läufers in Abhängigkeit der Position im Gehäuse, wobei der Strom konstant gehalten wird. Während bei der langgestreckten Anordnung (siehe Bild 11) ein breiter Bereich konstanter Kraft vorhanden ist, zeigt die Kennlinie der kurzen Anordnung (Bild 10) kein

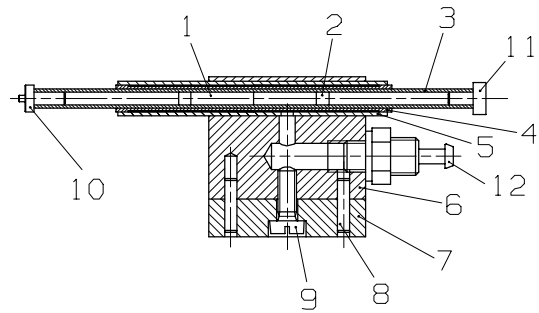


Bild 11 Antrieb mit integrierter Führung

ausgeprägtes Plateau. Wird die Geschwindigkeit des Antriebes geregelt, kann eine derart ungünstige Kennlinie ausgeglichen werden, da die Geschwindigkeit ständig gemessen und an den Sollwert angeglichen wird.

Für einen vereinfachten, gesteuerten Betrieb ohne Erfassung und Regelung der Geschwindigkeit ist dagegen ein Kennlinienabschnitt mit konstanter Kraftentfaltung notwendig. Damit wird es möglich, ohne Kenntnis der Läuferposition allein über den Strom und die Dauer der Beschleunigung die gewünschte Geschwindigkeit zu erzielen.

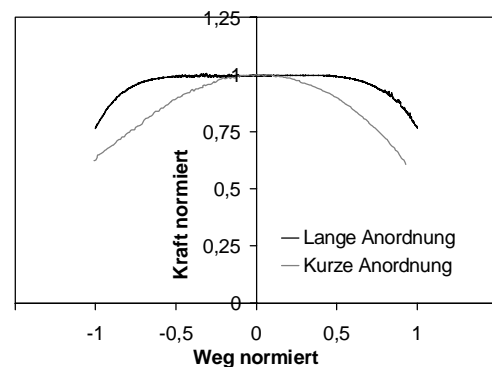


Bild 12 Kraft-Weg-Kennlinien

3 Führung

3.1 Anforderungen

Um die Stoßjustierung schnell und exakt durchführen zu können, ist eine hohe Reproduzierbarkeit der bei den Stößen erreichten Schrittweiten anzustreben. Dazu ist es notwendig, die Schwankungsbreite der kinetischen Energie und der Stoßkraft zu minimieren.

Für Justierungen aus dem Bereich der Mikrotechnik muss der Antrieb auch niedrigste Energien präzise bereitstellen können.

Beide Zielsetzungen erfordern eine möglichst reibungsarme Führung des Stößels, bei der keine Stick-Slip-Effekte auftreten. Die Führung muss dabei die

Radialkräfte aus dem magnetischen Kreis sowie aus dem Stoß aufnehmen.

3.2 Bauart

Gleitführungen scheiden wegen der auftretenden Losbrecheffekte sowie der insgesamt zu hohen Reibwerte aus. Bei Wälzführungen treten zusätzliche mitzubewegende Massen (z. B. bei Kugelbüchsen oder Kugelumlaufführungen) ebenfalls störend in Erscheinung und setzen die Dynamik des Antriebes herab. Eine Aufhängung durch Blattfedern ist wegen der Hübe von mehreren mm nicht in kleinem Bauraum zu realisieren.

Für die beschriebene Zielsetzung ist also eine Führung anzustreben, bei der keine Festkörperreibung auftritt und die insgesamt sehr niedrige Reibungswerte aufweist. Hierfür kommen Magnet- sowie Gasführungen in Betracht.

Für die Lagerung rotierender Wellen werden permanentmagnetische oder, mit erheblich höherem Aufwand, geregelte elektromagnetische Lager eingesetzt [6], [7]. Für die vorliegende Linearbewegung sind diese jedoch ungeeignet.

Statt dessen bietet sich die Verwendung einer Luftführung an. Bei aerodynamischen Lagerungen für Rotationsbewegungen wird mit Hilfe geometrischer Strukturen (z. B. Rillen) durch eine schnelle Relativbewegung zwischen Welle und Lagerhülse Luft in den Lagerspalt gepumpt. Bei dem hier zu lagernden Stoßantrieb treten nur geringe Relativgeschwindigkeiten auf; die höchste Lagerbelastung tritt außerdem im Moment des Stoßes auf, wobei die Geschwindigkeit auf Null absinkt und somit aerodynamisch keine Luft in den Lagerspalt gedrückt werden kann. Eine aerodynamische Führung kommt also nicht in Betracht.

Demgegenüber wird bei einer aerostatischen Führung die aufbereitete Druckluft von außen in den Lagerspalt gepresst, so dass der tragende Luftfilm auch bei Stillstand des Stößels vorhanden ist. Obwohl keine Rotation auftritt, bietet sich aus fertigungstechni-

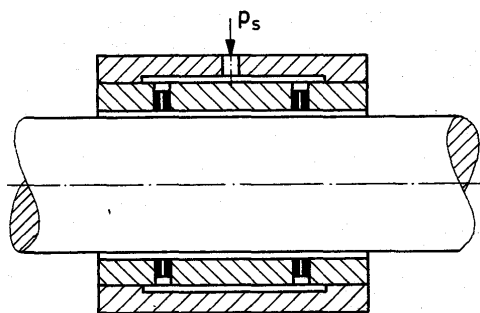


Bild 13 Düsenlager [8]

schen Gründen dennoch eine rotationssymmetrische Gestaltung der Linearführung an.

3.3 Gestaltung der Führung

Aerostatische Lager und Führungen können durch einzelne Düsen in der Lagerhülse realisiert werden (Bild 13).

Wegen der hohen Anforderungen an die Geometrie (es handelt sich bei den Düsen nicht um einfache Bohrungen) ist die Herstellung jedoch sehr aufwendig. Statt dessen können die Lagerbuchsen auch aus porösem Material hergestellt werden (Bild 14).

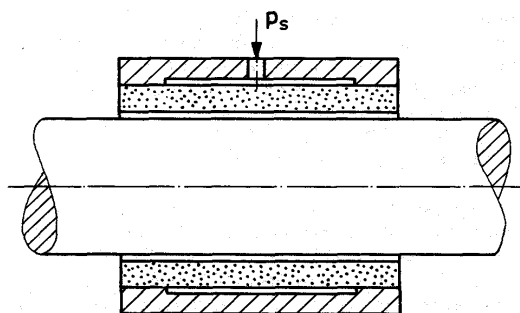


Bild 14 Lager aus porösem Material [8]

Geeignet zur Herstellung der Buchsen sind offenporöse Materialien wie Kunstkohle oder Sintermetalle. Neben der Bearbeitbarkeit ist bei der Materialauswahl auch dem Einsatzzweck Beachtung zu schenken.

Viele Justieraufgaben aus der Mikrotechnik werden in Reinräumen durchgeführt; alle beteiligten Komponenten, also auch der Justierantrieb, haben dabei Einfluss auf die Partikelkonzentration.

Um die Eignung verschiedener Lagerwerkstoffe für den Einsatz im Reinraum zu prüfen, wurden die Partikelemissionen der Luftlager im Reinraum ermittelt. In Bild 15 sind die Ergebnisse für Kohle- und Metalllager gegenübergestellt. Dazu wurde ein Antrieb mit einer Sinterkohle-Führung sowie einer mit einer Führung aus CrNi-Sintermetall aufgebaut. Während der Stößel zwischen zwei Anschlägen hin- und herlief, wurden die Partikelemissionen an der vorderen und hinteren Stirnseite der Führung erfasst. Beim Kohlelager sind über die gesamte Messzeit kontinuierlich Emissionen festzustellen. Dagegen werden beim metallischen Lager nahezu keine Partikel freigesetzt (einzelne Partikel nach ca. 15, 70, 74 und 93 min., durch Kreise hervorgehoben).

Bei Anwendungen, die besonders kritisch hinsichtlich der Emission von Partikeln sind, sollten also metallische Lager zum Einsatz kommen.

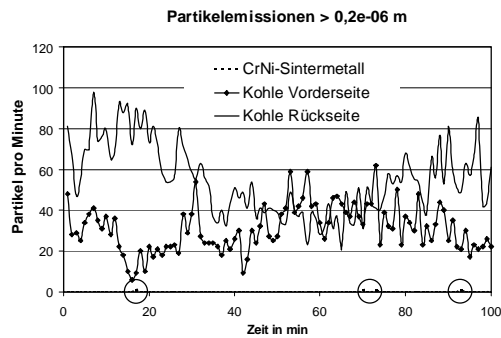


Bild 15 Partikelmessungen an Luftlagern [9]; kontinuierliche Emission bei Kohlebuchse, lediglich einzelne Partikel bei CrNi-Sintermetall-

Allerdings ist die Bearbeitung der porösen Metalle aufwendig. Bei der Lagerbohrung sind niedrige Maßtoleranzen und eine hohe Oberflächengüte erforderlich; dazu sind entweder spanende Bearbeitungsverfahren wie Bohren, Reiben und Honen oder aber abtragende Verfahren wie Funkenerosion anzuwenden. In jedem Fall werden dabei jedoch die Durchflusseigenschaften des Materials verschlechtert, meist in nicht vorhersagbarer Weise. Grosses Augenmerk war deshalb auf die Entwicklung geeigneter Verfahren zur Bearbeitung zu legen.

Als Läufermaterial wurden geschliffene bzw. polierte Keramikstäbe ausgewählt. Die niedrige Dichte hat eine geringe Masse zur Folge; durch den im Vergleich zur Buchse niedrigeren Temperaturexpansionskoeffizient wird ein Verkleben der Führung durch zu starke Ausdehnung des Läufers gegenüber der Buchse vermieden.

4 Regelung

Es wurde bereits angesprochen, dass der Stoßantrieb geregelt oder, bei geeigneter Kennlinienform, gesteuert betrieben werden kann. Hier soll der geregelte Betrieb dargestellt werden.

Bild 16 zeigt den Bewegungsablauf des Stößels:

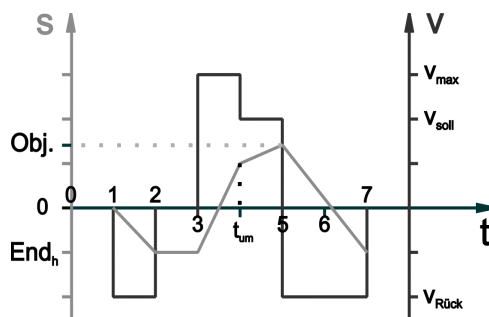


Bild 16 Prinzipieller Bewegungsablauf

Zunächst ist dessen Position unbekannt. Um eine definierte Ausgangsposition für den Stoß zu schaffen, wird der Stößel deshalb vor dem Beginn der Justage (Zeitpunkt 1) in die hintere Endlage End_h bewegt, die zum Zeitpunkt 2 erreicht ist. Dort verbleibt er bis zur Anforderung des Impulses (3).

Wird ein Stoß angefordert (3), bewegt sich der Antrieb mit maximaler Geschwindigkeit v_{max} zum Objekt hin. Ausreichend weit vor dem Aufprall (Umschaltzeitpunkt t_{um}) wird der Läufer auf die erforderliche Geschwindigkeit v_{soll} abgebremst, die der gewünschten kinetischen Energie beim Auftreffen (Zeitpunkt 5) entspricht. Zur Vermeidung von Prellwirkungen, die das Justierergebnis verfälschen würden, muss der Läufer unmittelbar nach dem Stoß in die Ausgangslage bewegt werden (Rückholgeschwindigkeit $v_{Rück}$). Zum Zeitpunkt 7 befindet sich der Stößel wieder in der hinteren Endlage und ist bereit für einen weiteren Impuls.

Im Folgenden wird die Realisierung zweier Teilaufgaben der Regelung dargestellt.

4.1 Einstellen der Geschwindigkeit

Das Justageprinzip basiert auf der Einleitung von Impulsen mit definierter kinetischer Energie; wegen des quadratischen Einflusses auf die Energie ist die Geschwindigkeit des Stoßkörpers beim Auftreffen sehr exakt einzustellen. Der zugehörige Geschwindigkeitsregelkreis benötigt eine Information über die Ist-Geschwindigkeit.

Um Aufwand und Kosten niedrig zu halten, sollte diese Geschwindigkeit ohne die Verwendung zusätzlicher, externer Meßsysteme erfasst werden. Es bietet sich an, die bei der Bewegung des permanentmagnetischen Läufers im Spulensystem des Stators induzierte Spannung heranzuziehen:

$$u_{ind} = B \cdot l \cdot v$$

Die Induktionsspannung u_{ind} ist proportional zur senkrechten Komponente der magnetischen Flussdichte B , zur Leiterlänge l sowie zur Geschwindigkeit v des Läufers. Die Optimierung der Flussdichte sowie der Leiterlänge führt sowohl zu einem hohen Betrag der Induktionsspannung, als auch zu einer hohen Kraftentfaltung des Antriebes:

$$F = B \cdot l \cdot I$$

(Mit F : Kraft, I : Strom). Allerdings sind relevante Parameter wie die Größe des Wicklungsfensters oder die Anzahl der Windungen nicht beliebig zu wählen. Eine zu große Leiterlänge hat einen entsprechenden ohmschen Widerstand zur Folge, der eine hohe Versorgungsspannung bedingt; außerdem ist wegen des

Zusammenhangs mit der Stromanstiegszeit die Induktivität der Spule zu beachten.

Bei einer in diesem Sinne sinnvollen Auslegung des Motors bewegt sich die Induktionsspannung im Bereich einiger Millivolt, während die Betriebsspannung des Antriebes um etwa den Faktor 400 höher liegt. Deshalb müssen einige Anstrengungen unternommen werden, um dieses Spannungssignal nutzen zu können.

So wird das Signal nach einer Verstärkerstufe geglättet; nach Anhebung der Mittelspannung erfolgt die Analog-Digital-Wandlung, so dass die weitere Verarbeitung in einem Mikroprozessor durchgeführt werden kann. Dort erfolgt der Vergleich zwischen Soll- und Istgeschwindigkeit. Das vom Prozessor erzeugte Signal für die Endstufe wird über einen nachgeschalteten Digital-Analog-Wandler in eine Analogspannung umgesetzt. Schließlich liefert ein Leistungs-Operationsverstärker die zum Betrieb des Motors erforderliche Leistung.

Zur Überprüfung und Kalibrierung der Geschwindigkeitsregelung wurde die Position des Läufers zusätzlich extern mit einem Triangulationslaser erfasst; durch Differenziation kann aus dem Wegsignal die Geschwindigkeit ermittelt werden.

Bild 17 zeigt neben der Induktionsspannung (punktiert) das differenzierte Wegsignal des Lasers. Auf der Abszisse ist dabei der digitale Geschwindigkeits-Sollwert des Prozessors aufgetragen; der dargestellte Bereich gibt die Bandbreite zwischen Minimal- und Maximalgeschwindigkeit des verwendeten Antriebes wieder. Die gute Übereinstimmung des Kurvenverlaufes zeigt die Eignung der internen Geschwindigkeitsmessung. Erst im Bereich hoher Geschwindigkeiten (rechts) ist eine immer deutlicher werdende Abweichung festzustellen, deren Ursache jedoch im Laser zu suchen ist. Tiefpässe in der Laserbeschaltung haben zur Folge, dass der Laser eine zu niedrige Geschwindigkeit suggeriert.

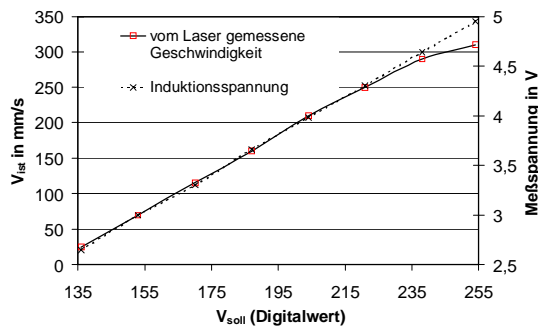


Bild 17 Geschwindigkeitsmessungen

Neben der Istwert-Bestimmung für die Regelung kann die Geschwindigkeitsmessung auch zur Kontrolle der Schrittweite des Objekts herangezogen werden. Dazu wird die Geschwindigkeit des Stößels

vor und nach dem Stoß erfasst. Aus dem Verhältnis dieser beiden Werte kann auf die Schrittweite geschlossen werden [12].

4.2 Erkennen des Auftreffens

Nach erfolgtem Stoß muss der Stößel sofort vom Objekt wegbewegt werden, um ein erneutes Anschlagen während des Gleitens des Objekts (Prellen) zu verhindern. Dazu muss jedoch zunächst das Auftreffen auf dem Objekt erkannt werden.

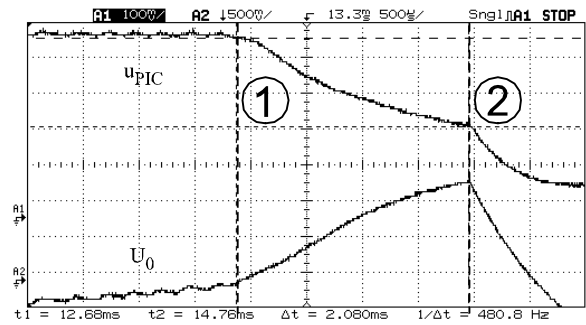


Bild 18 Verzögerte Objekterkennung [10]

Es liegt nahe, hierzu die Vorzeichenumkehr der Induktionsspannung zu nutzen. **Bild 18** zeigt oben die aufbereitete Induktionsspannung (u_{PIC}). Am Punkt 1 trifft der Stößel auf dem Objekt auf. Die analoge Signalaufbereitung führt jedoch dazu, dass die Flankensteilheit des Spannungssignales deutlich herabgesetzt wird, so dass die Induktionsspannung zunächst nur langsam abfällt. Bis sie ihren Nulldurchgang erreicht (Punkt 2) vergehen 2 ms. Bis zu diesem Zeitpunkt erkennt die Regelung eine Unterschreitung der Sollgeschwindigkeit und versucht deshalb weiterhin, den Antrieb in Richtung Objekt zu beschleunigen (untere Kurve: Ausgangsspannung U_0). Wie bereits ausgeführt ist dies jedoch unbedingt zu vermeiden.

Zur Verbesserung der Stoßerkennung wurde deshalb als zusätzliches Kriterium der Betrag der Istge-

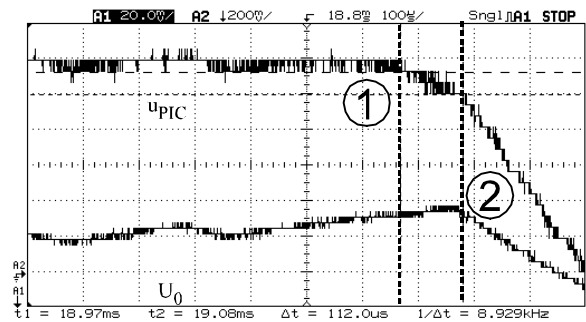


Bild 19 Verbesserte Objekterkennung [10]

schwindigkeit des Stößels herangezogen. Im Regelbetrieb schwankt die Geschwindigkeit nur geringfügig; eine Unterschreitung der Sollgeschwindigkeit um 2 % tritt dabei nicht auf. Die Regelung wurde deshalb dahingehend ergänzt, dass eine Geschwindigkeitsabweichung in diesem Masse als Aufprall interpretiert wird und zum Start der Rückholbewegung führt.

Bild 19 zeigt das Verhalten der Regelung bei Berücksichtigung des Geschwindigkeitskriteriums. Bereits nach einer Zeit von nur 0,1 ms wird das Auftreffen erkannt und der Läufer vom Objekt weg beschleunigt.

5 Ergebnisse und Ausblick

Die beschriebenen Arbeiten wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert [11]. Das Forschungsthema wurde als Gemeinschaftsprojekt vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik in Jena (Justierprinzip [12]) sowie vom Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik an der Universität Stuttgart (Stoßantrieb mit aerostatischer Führung [13]) bearbeitet. Es konnte der Nachweis erbracht werden, dass mit der Stoßjustierung ein geeignetes Verfahren zur Präzisionsjustage in der Feinwerk- und Mikrotechnik zur Verfügung steht.

Durch entsprechende Dimensionierung der Stoßantriebe kann ein breiter Anwendungsbereich abgedeckt werden. Die Verwendung einer aerostatischen Führung eliminiert störende Stick-Slip-Effekte in der Lagerung. Damit ist die Erzeugung reproduzierbarer Stoßimpulse auch niedriger Intensität sichergestellt. Für den Einsatz im Reinraum wurden geeignete Lagerwerkstoffe ermittelt, die sich durch niedrige Partikelemissionen im Betrieb auszeichnen.

Bei Anwendungen, die eine sehr exakte Dosierung der Energie erfordern, kann die Geschwindigkeit geregelt werden, wobei ein Messverfahren ohne äußere Hilfsmittel zur Verfügung steht.

Die Stoßjustierung kann damit zur kostengünstigeren Durchführung von bisher auf andere Art und Weise realisierten Justageaufgaben herangezogen werden. Zusätzlich können jedoch auch neue Anwendungen abgedeckt werden, für die bisher kein adäquates Verfahren zur Verfügung stand.

6 Literatur

- [1] Friedrich Hansen: Justierung. Berlin: VEB Verlag Technik, 1967.
- [2] Ramona Eberhardt, Ulrich Gengenbach: Montagelösungen für hybride Mikrosysteme. F&M 3-2000, S. 40ff.
- [3] Katalog: CAT 110-D-07/93.13, S. 6.13. Waldbronn: Physik Instrumente, 1993.
- [4] Thaut, M.: Untersuchungen zur automatisierten Justage mittels Impulsantrieben für die Feinwerk- und Mikrotechnik; Studienarbeit Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, Jena: 2001.
- [5] Seidel, Wolfgang: Werkstofftechnik. München: Hanser 1990.
- [6] Fremerey, J. K.: Berührungslose permanentmagnetische Lager; in: Bartz, J. et al: Luftlagerungen. 2. Auflage, Ehningen: Expert-Verlag, 1993; ISBN 3-8169-0992-2.
- [7] Traxler, A.: Aktive Magnetlager und ihre Anwendung; Lehrgang Luftlagerungen – Grundlagen und Anwendungen. Ostfildern, Technische Akademie Esslingen: 16.-18. Februar 2000.
- [8] Schmidt, J.: Grundlagen und Stand der Technik der Luftlagerungen; in: Bartz, J. et al: Luftlagerungen. 2. Auflage, Ehningen: Expert-Verlag, 1993; ISBN 3-8169-0992-2.
- [9] Gommel, U.: Untersuchung der Reinraumtauglichkeit an Luftlagerkomponenten; Messbericht Fraunhofer-Institut Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart: 2000.
- [10] Bührlé, R.: Geschwindigkeitsmessung und –regelung eines Lineardirektantriebs; Studienarbeit Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik, Stuttgart: 1999.
- [11] Abschlußbericht zur Sachbeihilfe „Automatisierte Justage mit aerostatisch gelagertem Impulsantrieb für die Feinwerk- und Mikrotechnik“; Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn, Jena und Stuttgart: 1998-2001.
- [12] Siebenhaar, C.: Präzisionsjustierungen durch Einleitung von mechanischen Impulsen; Dissertation TU Ilmenau: 2000; für 2001 Veröffentlichung in den Fortschritt-Berichten des VDI vorgesehen.
- [13] Pröger-Mühleck, R.: Entwicklung eines geschwindigkeitsgeregelten luftgelagerten Lineardirektantriebs zum Einsatz als Impulsantrieb bei der Stoßjustierung; geplante Dissertation, Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik, Stuttgart: voraussichtlicher Abschluss 2001.

Integrierte Wegmessung in Lineardirektantrieben

Dipl.-Ing. C. Welk, Dipl.-Ing. B. Gundelsweiler, Prof. Dr.-Ing. W. Schinköthe
Universität Stuttgart, Institut für Feinwerktechnik, Pfaffenwaldring 9, 70569 Stuttgart, Deutschland

Kurzfassung

Positioniersysteme mit elektrodynamischen Lineardirektantrieben erfordern zur Realisierung eines geschlossenen Regelkreises ein Wegmesssystem, wobei Kostenaufwand und Bauraum meist erheblich sind. In den Antrieb integrierte Messsysteme, die ohne zusätzliche Bauelemente auskommen, erschließen deshalb insbesondere in der Feinwerktechnik neue Anwendungsfelder. Aufgezeigt werden das Funktionsprinzip, zur Zeit erreichbare Systemeigenschaften sowie konstruktive Voraussetzungen, um diese Messmethodik in Linearantrieben verschiedener Bauart einzusetzen.

1 Einleitung

Für die Ausführung einer linearen Bewegung werden in Fein- und Mikrotechnik zunehmend elektrodynamische Lineardirektantriebe statt rotatorischer Antriebe mit Rotations-/Translationsumformern eingesetzt. Die Gründe hierfür sind unter anderem höhere Dynamik, einfacherer und damit kostengünstiger Aufbau, höheres Miniaturisierungspotenzial und bedingt durch den Wegfall des Getriebes, eine Steigerung der Stellgenauigkeit.

Diese Anforderungen und die Berücksichtigung von Umgebungsbedingungen führen zu Antriebseinheiten, deren Parameter genau aufeinander abgestimmt werden müssen, um die im jeweiligen Anwendungsfall gewünschten Eigenschaften zu erreichen. **Bild 1** zeigt beispielhaft einen solchen, für seinen Einsatz als Fokussierantrieb einer Endoskopoptik optimierten Aktor.

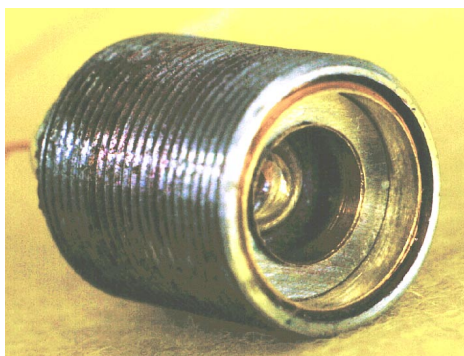


Bild 1: Fokussierantrieb für Endoskopoptik, Durchmesser 7 mm

Da solche Motoren keine interne Maßverkörperung besitzen, erfordern komplette Positioniersysteme ein zusätzliches externes Wegmesssystem, um einen geschlossenen Regelkreis zu realisieren. Durch entspre-

chend angepasste Motorkonstruktionen können aber die dem Motor inhärenten sensorischen Eigenschaften zur integrierten Wegmessung ausgenutzt werden.

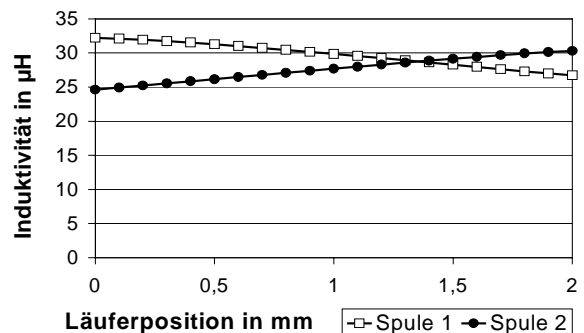


Bild 2: Wegabhängigkeit der beiden Motorteilspulinduktivitäten des Fokussierantriebs

Am Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik (IKFF) der Universität Stuttgart wurde deshalb begonnen, durch duale Nutzung der Motorspulen sowohl als Antriebs-, als auch als Messwicklung ein wegproportionales Signal für die Läuferstellung in feinwerktechnischen Gleichstromlinearmotoren direkt abzuleiten und damit ein zusätzliches Wegmesssystem zu umgehen. Kerngedanke ist dabei, die Induktivitätsänderung in den Teilspulen des Motors bei Verschiebung des magnetbehafteten Läufers als wegproportionales Signal zu erfassen. Hervorzuheben ist dabei, dass dieses Messsystem motorseitig keine zusätzlichen Bauteile erfordert. Die Signalauswertung kann in die ohnehin vorhandene Ansteuerlektronik verlagert werden. **Bild 2** zeigt die Abhängigkeit der Motorteilspulinduktivitäten von der Läuferposition des Fokussierantriebs.

Es existieren zwei verschiedene Konzepte zur Erzeugung eines Wegsignals aus den Spannungsabfällen über den Teilspulen eines entsprechenden Motors, die

Nutzung eines analogen Stellgliedes mit überlagerter Messwechselspannung sowie die Nutzung eines pulsweitenmodulierten, getakteten Stellgliedes ohne zusätzliche Messwechselspannung.

Analoge Stellglieder werden vorzugsweise für kurzhubige, homopolare Motoren kleiner Leistung eingesetzt. Getaktete Stellglieder kommen in der Regel in aufwändigeren, heteropolaren und elektronisch kommutierten Antrieben zur Anwendung und eignen sich auch für höhere Leistungen.

2 Motor- und Messprinzip

Die vorgestellten Motorprinzipien stellen elektrodynamische Lineardirektantriebe mit bewegten Permanentmagnetläufern und feststehenden Spulensystemen dar. Diese Motorbauarten eignen sich insbesondere durch die entfallende Anschlusskabelmitführung des Spulensystems und den damit bedingten Standzeitproblemen für feinwerktechnische Antriebe im Kraftbereich bis 100 N.

2.1 Anforderungen an den Motoraufbau (Läufer- und Spulensystem)

Das zur Positionsauswertung eingesetzte Prinzip basiert auf der Funktion eines Differentialdrosselwegaufnehmers. Die Induktivität einer Teilspule sollte sich möglichst stark erhöhen, bzw. im gleichen Maß die Induktivität der anderen Teilspule vermindern. Eine Induktivitätsänderung kann dabei durch das Einschleiben bzw. Ausfahren eines hochpermeablen Materials in das Spulensystem erfolgen. Bei der Verwendung von Permanentmagnetläufern besitzen diese jedoch nur eine geringe Permeabilität des Magnetmaterials und eine dadurch bedingte geringe Induktivitätsänderung.

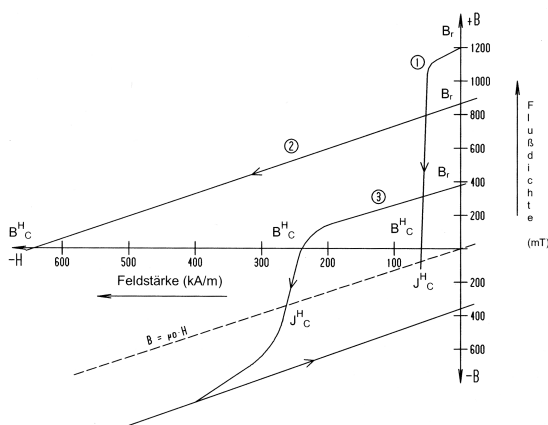


Bild 3: Entmagnetisierungskennlinie [1], 1 AlNiCo, 2 Seltene-Erden, 3 Ferrite

Die typischen Entmagnetisierungskennlinien der Magnetwerkstoffe sind in **Bild 3** dargestellt. Die Permeabilität $\mu = \mu_0 \mu_p$ ist dabei das Verhältnis der magnetischen Induktion B zum magnetischen Feld H . Die typischen permanenten Permeabilitäten der Magnetwerkstoffe betragen allerdings nur $\mu_p = 1,05 \dots 1,1$ für die Ferrite, $\mu_p = 5 \dots 7,5$ für AlNiCo und $\mu_p = 1,02 \dots 1,1$ für die Seltene-Erden. Zusätzliche hochpermeable magnetische Flussführungen, welche in die Läuferkonstruktion integriert sind, können hier Abhilfe schaffen.

Bei axial magnetisierten Permanentmagneten können dann zusätzliche Polschuhe zur Flussführung und Formung eingesetzt werden. Eine andere Bauform mit radial bzw. diametral magnetisierten Magnetschalen kann durch einen massiven Kern, welcher den magnetischen Fluss leitet, aufgewertet werden. Die möglichen auftretenden Sättigungserscheinungen sind in der Dimensionierungsphase zu überprüfen und durch entsprechende Materialquerschnitte und Materialauswahl zu minimieren, um den magnetischen Kreis nicht zu schwächen. Die beiden genutzten unterschiedlichen Magnetisierungsarten sind in **Bild 4** dargestellt.

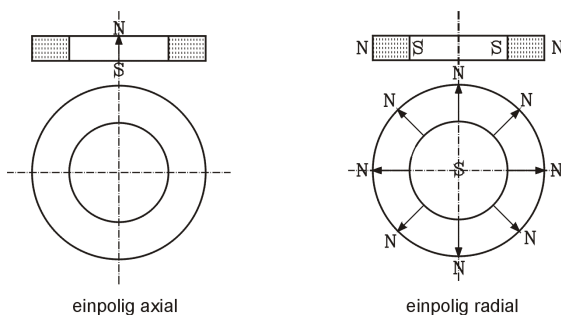


Bild 4: Magnetisierungsarten

Bei Motoren nach **Bild 1** kommt eine axiale Magnetisierung zum Einsatz, bei Motoren mit innenliegendem massiven Kern eine radiale Magnetisierung, wobei jedoch einzelne Magnetsegmente genutzt werden. Die im feststehenden Stator befindlichen Spulensysteme können ein- oder mehrphasig ausgeführt werden. Das Aufbauprinzip eines einsträngigen Antriebes zeigt **Bild 5**.

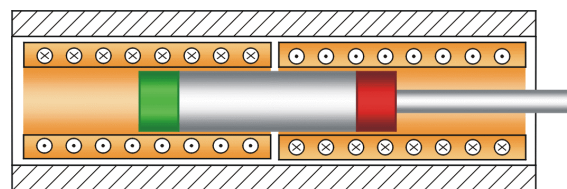


Bild 5: Einsträngiges Antriebsprinzip

Diese Motorbauform ist durch einen einfachen Aufbau gekennzeichnet, mit dem kurzhubige, schnelle Antriebe realisiert werden können.

Bei den mehrsträngigen Antriebssystemen, die durch eine elektronische Kommutierung über große Wege verfahren können, gestaltet sich das Funktionsprinzip nach **Bild 6**. Die Darstellung zeigt eine Hälfte des rotationssymmetrischen Aufbaus.

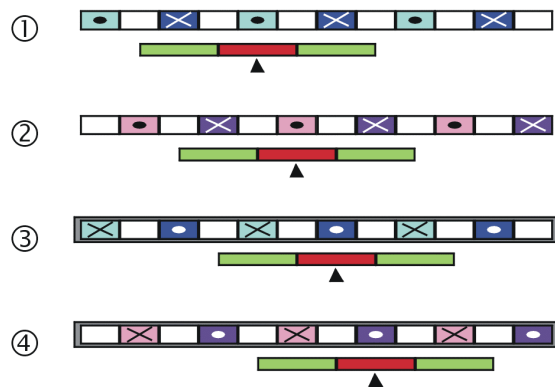


Bild 6: Zweisträngiges Antriebsprinzip

Am Beispiel eines zweisträngigen Spulensystems zeigen die Schritte 1 ... 4 schematisch das Zuschalten und Umpolen der einzelnen Spulenstränge und die Bewegung des Läufers. Die Kraftanteile der beiden Einzelstränge überlagern sich und es ergibt sich ein resultierender Gesamtkraftverlauf, der mit einer Restwelligkeit behaftet ist.

Die Anforderungen der integrierten Wegmessung an diesen Motoraufbau beziehen sich auf die Länge des Läufers und die Ausführung bzw. Verschaltung des Spulensystems.

Ein Läuferausschnitt mit wechsellagig diametral magnetisierten Schalenmagneten und hochpermeablem Flussführungskern ist in **Bild 7** dargestellt. Die Länge des Läufers muss so abgestimmt werden, dass beim Durchfahren des Spulensystems immer aus einer Teilspule herausgefahren und in die andere Teilspule hineingefahren wird.

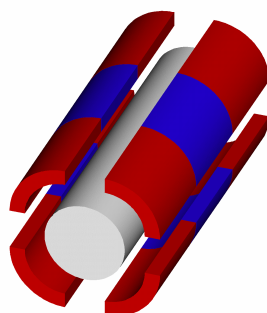


Bild 7: Darstellung des Magnetsystems

Diese beiden Teilspulen müssen in getrennten Halbsträngen des gleichen Stranges liegen. Dies wird durch eine ungeradzahlige Magnetanzahl und eine geradzahlige Spulenanzahl jedes Teilstranges im Gesamtstrang erreicht. Die Teilstränge sind mit einer Mittelanzapfung zu Verschalten, wodurch sich eine gleiche Wickelrichtung der Einzelspulen ergibt. Die Verschaltung des zweisträngigen Spulensystems mit Mittelanzapfung zeigt **Bild 8**.

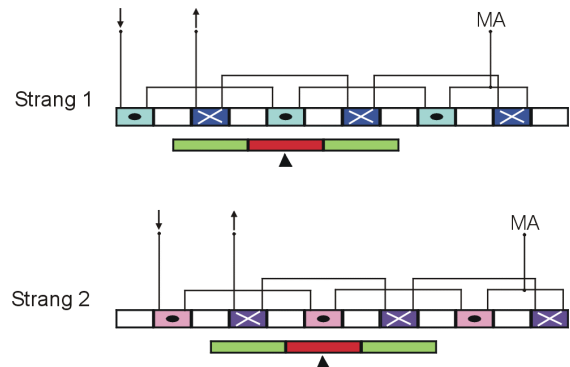


Bild 8: Spulensystem mit Mittenanzapfung

2.2 Motoransteuerung

Üblich und allgemein bekannt sind zwei Methoden, um Motoren der obigen Bauart mit Strom zu beaufschlagen: Es sind dies zum einen das Einspeisen eines reinen Gleichstroms, dessen Betrag und Vorzeichen mit guter Näherung in einer linearen Beziehung zur erzielbaren Läuferkraft steht.

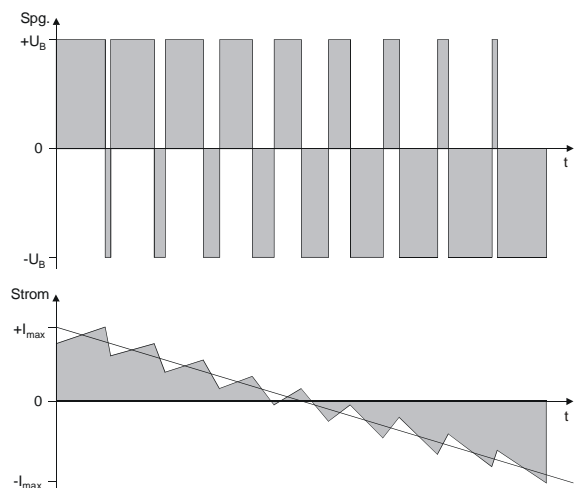


Bild 9: Pulsweitenmodulation

Zum anderen kann ein im zeitlichen Mittel konstanter, einstellbarer Stromfluss durch eine sogenannte Pulsweitenmodulation erzielt werden, **Bild 9**.

In schneller Folge wird der Motor dabei wechselweise an positive bzw. negative Versorgungsspannung gelegt. Über die Steuerung dieser Schaltzeiten kann bei ausreichend hoher Ansteuerfrequenz ein quasikontinuierlicher Motorstrom eingestellt werden.

Die analoge Ansteuerung lässt sich sehr einfach realisieren, hat aber den Nachteil, dass in der Leistungselektronik recht hohe Verlustleistungen anfallen. Die getaktete Variante vermeidet dieses Problem weitgehend und kommt deshalb vorzugsweise bei leistungsstärkeren Antrieben zum Einsatz.

2.3 Integrierte Wegmessung bei analoger Ansteuerung

Das Prinzip der integrierten Wegmessung beruht beim analogen Stellglied auf einer Wechselspannung, die der eigentlichen, zur Krafterzeugung notwendigen, Motorspannung überlagert ist. Wie von der Differentialdrossel her bekannt, lässt sich mit Hilfe dieses Wechselanteils eine Änderung des Induktivitätsverhältnisses beider Motorteilspulen messen.

Die Frequenz der Messwechselspannung wird so hoch gewählt, dass der Motor ihr mechanisch nicht folgen kann und keine akustischen Auswirkungen auftreten, üblicherweise 20kHz.

Zur Wegmessung werden die mit dem Läuferweg veränderlichen Induktivitäten der beiden Antriebsteilspulen L1 und L2 ausgewertet. Es entsteht ein komplexer Spannungsteiler, dessen beide komplexen Widerstände sich mit dem Läuferweg ändern.

Betrachtet man den Wechselspannungsanteil am Mittenabgriff der Motorspulen, so zeigt sich eine Abhängigkeit der Signalamplitude von der Läuferstellung, **Bild 10**.

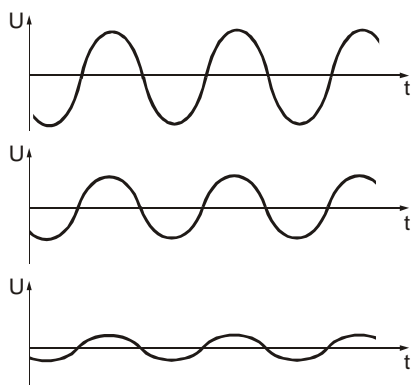


Bild 10: Wechselspannungssignale am Mittenabgriff bei 3 verschiedenen Läuferpositionen

Mit der in **Bild 11** gezeigten Elektronik kann diese ausgewertet und einem Mikrocontroller zugeführt werden, der dann mit geeigneten Algorithmen die Re-

gelung übernimmt und die Leistungsendstufe in geeigneter Weise ansteuert.

Es muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass der Einsatz eines Controllers optional ist. Für Einfachsysteme kann die Elektronik auch ohne Digitalteil rein analog aufgebaut werden, wie dies bereits bei einigen Projekten, siehe etwa Bild 1, gezeigt wurde.

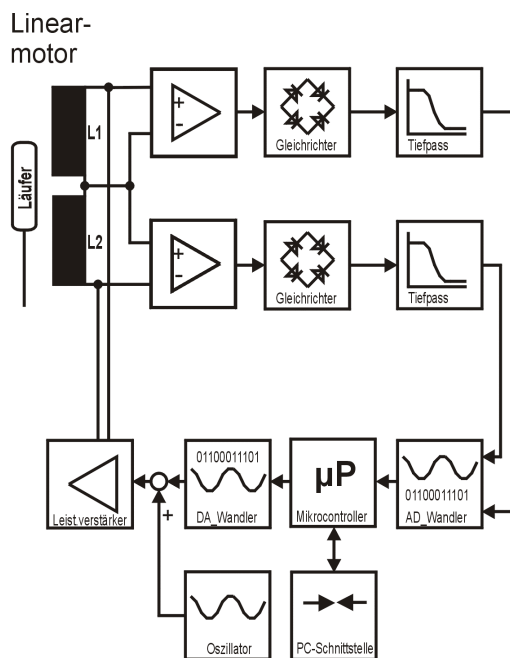


Bild 11: Blockschaltbild

2.4 Integrierte Wegmessung bei getakteter Ansteuerung

Wird der Antrieb mittels einer pulswidenmodulierten Spannung betrieben, so ist kein zusätzliches Messsignal erforderlich, um eine Läuferpositionsbestimmung durchzuführen. Der prinzipielle Motoraufbau ist mit dem analoger Ansteuerung identisch und somit ergeben sich auch gleiche elektrische Ersatzschaltbilder. Damit steht wieder ein komplexer Spannungsteiler zur Verfügung, der von den beiden Antriebsspulen gebildet wird. Nur bei Läufermittelstellung sind die beiden Teilinduktivitäten gleich groß und es ergibt sich am Mittenabgriff ein Wechselspannungsanteil von Null. Bei jeder anderen Läuferstellung ergibt sich ein Wechselsignal, aus dessen Verlauf sich die aktuelle Position ableiten lässt, **Bild 12**. Dazu wird der Spannungsverlauf zwischen den Flankenwechseln analysiert, in dem zu zwei verschiedenen Zeitpunkten Sample&Hold-Glieder die am Mittenabgriff anliegende Spannung abtasten, siehe **Bild 13**. Über einen Analog-Digital-Wandler können diese Werte dann in

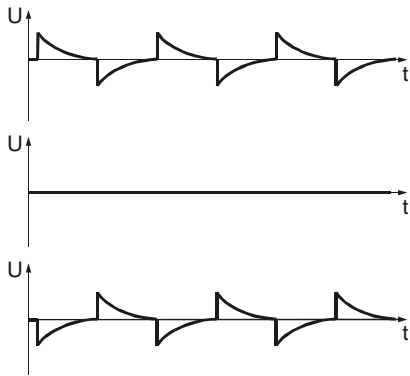


Bild 12: Wechselspannungssignale am Mittenabgriff bei 3 verschiedenen Läuferpositionen

einen Mikrocontroller eingelesen werden, der daraus die Steigung der abgetasteten Funktion errechnet.

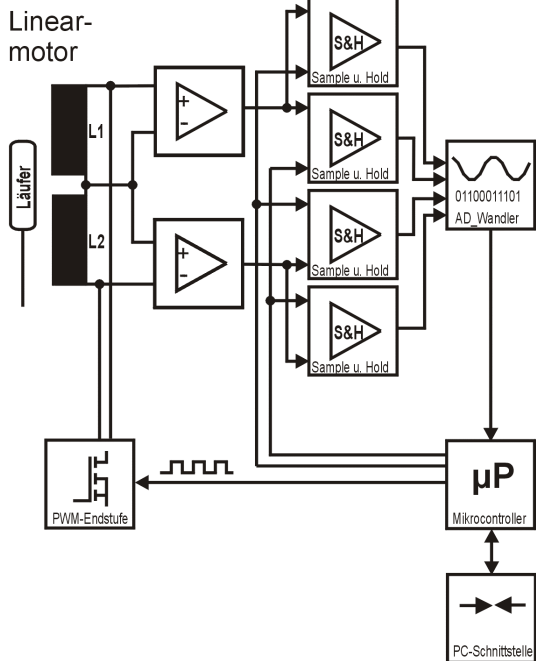


Bild 13: Blockschaltbild

Mittles weiterer Algorithmen kann dann die aktuelle Läuferposition errechnet werden. Durch geeignete Programmierung lassen sich noch verschiedene Fehlereinflüsse eliminieren, Motorkennlinien linearisieren oder Regelvorschriften realisieren. Ebenso ist eine Rechner- oder Feldbusanbindung möglich.

2.5 Integrierte Wegmessung in mehrsträngigen Antrieben

Grundsätzlich lassen sich auch in kommutierten mehrsträngigen Antrieben Läuferpositionsmessungen mit beiden Stellgliedkonzepten verwirklichen, wenngleich hier sicherlich Pulssteller zu bevorzugen sind. Die erforderliche Kommutierung wirft zwar zusätzliche Probleme bei der Signalauswertung auf, diese lassen sich aber beherrschen.

Ein mehrsträngiges System kann man sich gedanklich aus mehreren, hintereinander angeordneten, einsträngigen Systemen zusammengesetzt vorstellen. Damit wird auch klar, dass sich für jeden Teilabschnitt ein Wegsignal ergibt, sich diese Wegsignale jedoch entsprechend der Anzahl der hintereinander angeordneten Systeme wiederholen. Damit steht eine analoginkrementale Positionsinformation zur Verfügung. Aus diesem Grund muss vom Motor bei Betriebsbeginn einmal eine bekannte Referenzposition angefahren werden, wie dies auch bei anderen inkremental arbeitenden Messsystemen üblich ist.

Die Darstellung eines zweisträngigen Lineardirektantriebes zeigt **Bild 15**. Der Motor besteht aus dem Läufersystem, Spulensystem, Führungssystem, Stator und Abschlussdeckeln. Die Hauptabmessungen betragen für den Motordurchmesser 22 mm und die Motorlänge 201 mm. Der Hub des Antriebes beträgt 46,5 mm.

Das Läufersystem ist in **Bild 14** dargestellt. Es baut sich aus fünf wechsellagig diametral magnetisierten Magnetringen auf, die jeweils aus acht Segmentmagneten bestehen. Als Magnetwerkstoff ist NdFeB eingesetzt worden. Als innere Flussführung dient ein hochpermeabler Kern aus Vacoflux 50.

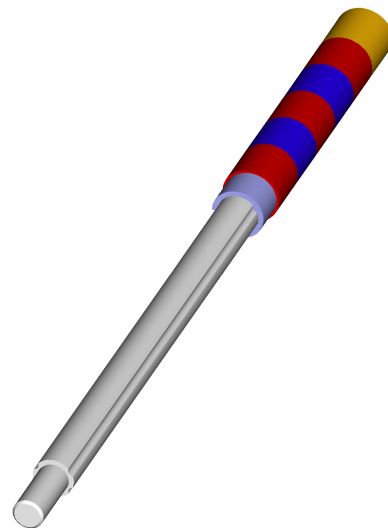


Bild 14: Läuferaufbau

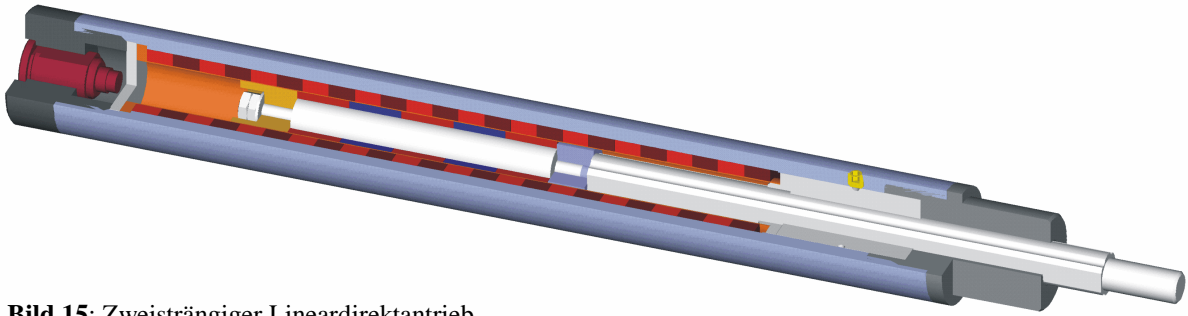


Bild 15: Zweisträngiger Lineardirektantrieb

Die Führung des Läufers erfolgt durch eine Nutwelle mit Kugelumlauführung, wodurch eine zusätzliche Verdrehsicherung entsteht. Zur Abstützung des Magnetsystems im Motorinneren dient eine Gleitführung. Das zweisträngige Spulensystem ist auf einen Wickelkörper in Form einer Hülse mit Kammern gewickelt, **Bild 16**. Durch die exakte geometrische Lage der einzelnen Kammern sind die Kommutierungspunkte genau definiert.

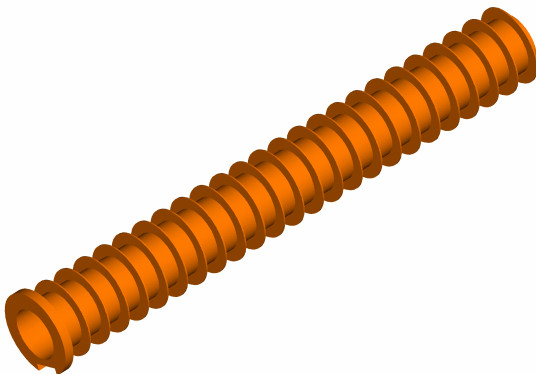


Bild 16: Wickelkörper in Kammerbauform

Die bei dieser Motorbauform möglichen auftretenden Sättigungserscheinungen sind mittels einer FEM-Analyse optimiert worden.

In **Bild 17** sind dazu die Verläufe der magnetischen Flussdichte und überlagerten Feldlinien dargestellt.

Der Einsatz von Hochenergiemagnetwerkstoffen verursacht im Läuferkern sehr hohe magnetische Flussdichten. Diese Sättigungserscheinungen sind durch entsprechende Wahl der Magnetlänge mit Werkstoff- bzw. Materialquerschnittsauswahl zu minimieren, um keine hohen magnetischen Potentialverluste zu erhalten.

Als Flussführungswerkstoff im Kern ist deshalb der hochpermeable Sonderwerkstoff Vacoflux 50 eingesetzt worden, der eine Sättigungsinduktion von bis zu 2,3 Tesla erreicht.

Die erzielbare Dauervorschubkraft des Antriebes beträgt 7 N. Durch den fertigungstechnisch günstig ge-

stalteten Aufbau, der sich nur auf wenige Einzelteile beschränkt, entstehen kompakte Antriebseinheiten, die leicht montiert werden können.

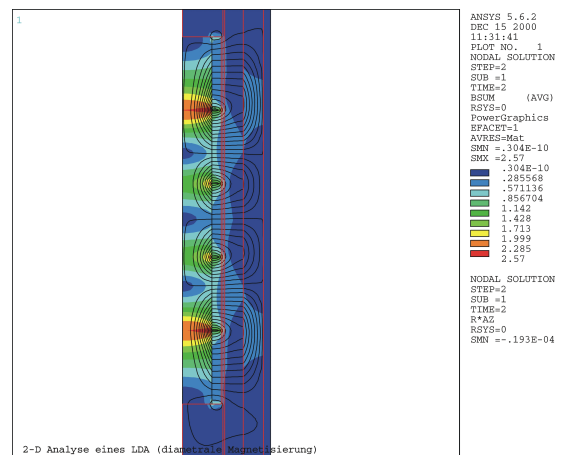


Bild 17: FEM-Analyse (Stromdichte 15 A/mm²)

Ferner sind durch den modularen Aufbau Systeme in verschiedenen Durchmesser- und Verfahrensbereichen möglich. Antriebsvarianten für den Kraftbereich bis 100 N wurden ebenso realisiert.

3 Integrierte Wegmessung in anderen Motorkonzepten

Für Sonderlösungen bietet es sich an, integrierte Wegmessung auch in anderen Antriebskonzepten einzusetzen:

Asynchronlineardirektantriebe ermöglichen zum Beispiel extrem lange Verfährwege bei minimalen Motor-kosten, da hier keine Magnete benötigt werden und der einfachst aufgebaute Läufer beliebig lang gestaltet werden kann. Am IKFF ist ein Konzept entwickelt worden, um auch hier eine integrierte Wegmessung zu ermöglichen. Bei geringerem Kraftbedarf oder kurzer Einschalt-dauer können somit preisgünstige Antriebs-

systeme realisiert werden, die zum Beispiel in Handling- und Transportsystemen oder der Textil- und Verpackungsindustrie zum Einsatz kommen. **Bild 18** zeigt das Labormuster eines solchen, rotationsymmetrischen, dreiphasigen Asynchronmotors. Die Einführung einer integrierten Wegerfassung ist hier zur Zeit Gegenstand der Forschung.

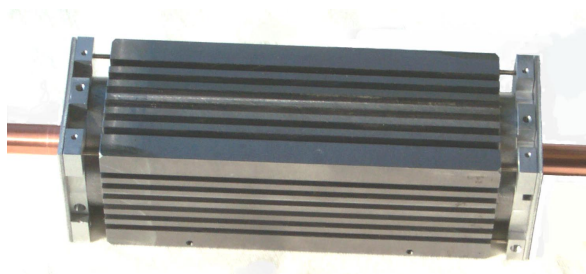


Bild 18: Asynchronlineardirektantrieb

Spezielle Induktionsmotoren lassen sich für Sonderanwendungen einsetzen, wenn geringe Massen an festgelegten Punkten mit extremen Beschleunigungen beaufschlagt werden sollen. Hier sind allerdings Sonderkonstruktionen für den jeweiligen Einsatzfall notwendig, diese können dann aber durch den ebenfalls magnetlosen und einfachen Aufbau inklusive integrierter Wegmessung wirtschaftlich sehr interessant sein. Ein derartiges System befindet sich zur Zeit im Aufbau, um den Funktionsnachweis zu erbringen.

Drehschubmotoren vereinen das Prinzip von mehrsträngigem Lineardirektantrieb mit einem elektronisch kommutierten rotatorischen Elektromotor, so dass der Läufer sowohl eine Dreh- als auch eine lineare Bewegung, auch gleichzeitig, ausführen kann. Die Baumaße sind dabei erheblich kleiner als bei einer getrennten Realisierung beider Freiheitsgrade mittels je eines eigenen Aktors. Zudem kann durch die integrierte Wegmessung der Linearbewegung wieder ein Messsystem entfallen, was zusätzlich Raum und Kosten spart. Wenn auch die Motorkräfte im Vergleich zu einem reinen Linear- oder rotatorischen Antrieb bei gleicher Baugröße deutlich geringer ausfallen, könnten damit zahlreiche Anwendungsgebiete erschlossen werden, zum Beispiel Pick&Place-Aufgaben, Roboter-, Handling- oder Montagetechnik.

4 Ergebnisse und Ausblick

Wie dargelegt wurde, existiert für elektrodynamische Lineardirektantriebe mit bewegten Magneten bei Beachtung einiger Randbedingungen ein kostengünstiges, einfaches und bauraumsparendes Konzept zur Positionsmessung. **Bild 19** zeigt am Beispiel eines ho-

mopolaren Motors mit 50 mm Hub das Auflösungsvermögen beider Messsysteme. Für eine Vielzahl von Anwendungen sind die erreichten Werte bereits ausreichend. Werden an die Messgenauigkeit besondere Anforderungen gestellt, so lassen sich die Antriebe auch noch weiter optimieren. Dies kann dann

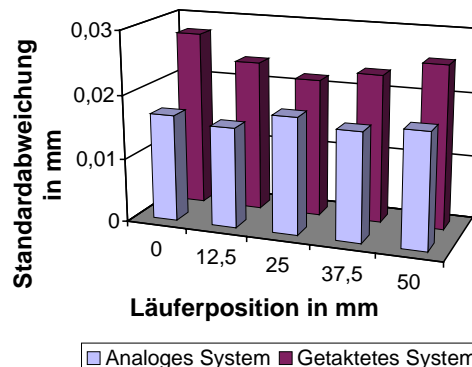


Bild 19: Messsystemauflösung; homopolarer Antrieb

allerdings bei anderen Motoreigenschaften zu Einbußen führen, so zum Beispiel bei der Linearität der Kraft-Weg-Kennlinie. **Bild 20** zeigt einen so optimierten einsträngigen Miniaturmotor mit den Maßen 40 mm × 8,5 mm × 11 mm und 5 mm Hub. Die Wegerfassung wird durch hochpermeables Kernmaterial, die Anordnung der Magnete sowie Spulen großer Induktivität erleichtert.

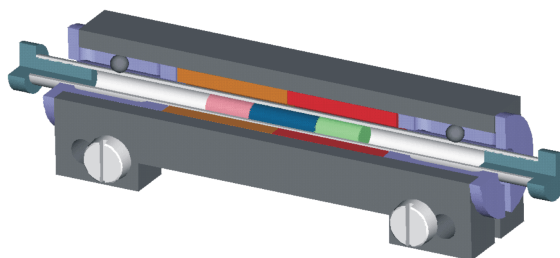


Bild 20: Für die integrierte Wegmessung optimierter Miniaturmotor, Baulänge 40mm

Die Praxistauglichkeit wurde inzwischen durch mehrere Applikationen und Prototypen bewiesen. Gegenstand aktueller Entwicklungsarbeit ist die Ausweitung der Messmethode auf möglichst kostengünstige Lineardirektantriebe, andere elektrodynamische Lineardirektantriebe wie zum Beispiel Asynchronmotoren sowie eine Steigerung der Messgenauigkeit.

5 Literatur

- [1] Dr. E. Steingroever, Dr. G. Roos: Magnetisieren, Entmagnetisieren und Kalibrieren von Permanent - Magnetsystemen, Magnet-Physik GmbH Köln, 1997.
- [2] Hartrampf, R.; Schinköthe, W.; Welk, Ch.: Elektrodynamische Lineardirektantriebe mit integriertem Wegmeßsystem. 41. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TU Ilmenau 1999, Ilmenau 20. – 23.09.1999, Reihe 6 Mechatronik, Tagungsband S 63-68.
- [3] Hartrampf, R.: Integrierte Wegmessung in feinerwerktechnischen elektrodynamischen Lineardirektantrieben. Eingereichte Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, 2001.
- [4] Schinköthe, W.; Voss, M.; Irion, K.: Endoskop. Patentanmeldung, OS DE 196 18 355.
- [5] Schinköthe, W.; Voss, M.; Hartrampf, R.: Gleichstromlinearmotor mit integriertem Wegmeßsystem. Gebrauchsmuster DE 297 05 315.9, 25.
- [6] Hartrampf, R.; Schinköthe, W.: Elektromagnetisches Antriebssystem mit integrierter Wegsignalerzeugung. Patentanmeldung, OS 197 48 647 A1.
- [7] Hartrampf, R.; Schinköthe, W.: Electromagnetic drive system with integrated path signal generation. US-Patent US 6 037 739, 14.03.2000.
- [8] Schinköthe, W.; Welk, C.: Verfahren zur integrierten Wegsignalerzeugung in Asynchronlinearmotoren. Patentanmeldung, Aktenzeichen 100 25 885.9, 25.05.00.
- [9] Schinköthe, W.; Welk, C.: Verfahren zur integrierten Wegsignalerzeugung in Induktionsmotoren nach Elihu Thomson. Patentanmeldung, Aktenzeichen 100 36260.5, 26.07.00.

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