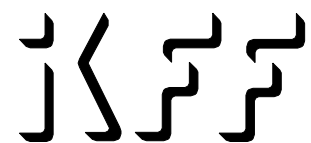


Universität Stuttgart

Jahresbericht IKFF 2003

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, März 2004

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
- 3.4 Preise

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:

Ulrike Ortner

Margit Reinhardt

Herma Stängle

Monika Achmann

Unbefristeter wissenschaftlicher Mitarbeiter:

Akademischer Rat: Dipl.-Ing. Eberhard Burkard

Akademischer Oberrat: Dr.-Ing. Peter Lindenmüller

Befristete wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dipl.-Ing. Christin Clauß

Dipl.-Ing. Matthias Dannemann

Dipl.-Ing. Andreas Grotz

Dipl.-Ing. Jens Haug

Dipl.-Ing. Thilo Köder

Dipl.-Ing. Elmar Rothenhöfer

Dipl.-Ing. Andreas Weber

Dipl.-Ing. Christian Welk

Modellbau und Versuchswerkstatt:

Ralf Berwanger

Stefan Schneider

Wissenschaftliche Hilfskräfte:

Kienle, Ulrich

Beier, Michael

Pfeilschmidt, Georg

Kostadinow, Metodi

Tian, Haiyan

Bayer, Uwe

Zeis, Christoph

Sieber, Daniel

Alber, Tobias

1.2 Jahresrückblick**Personalia**

Herr Dr. Lindenmüller wurde zum 28.2.2003 nach über 35 Jahren Tätigkeit am IKFF in den Ruhestand verabschiedet, Herr Dipl.-Ing. Burkard übernahm zum 1.3.2003 seine Aufgaben und wurde zum Akademischen Rat ernannt. Die Herren Dipl.-Ing. Gundelsweiler, Dipl.-Ing. Haug und Dipl.-Ing. Welk beendeten ihre Promotionsphasen und nahmen planmäßig Tätigkeiten in der Industrie auf. Neu eingestellt als wissenschaftliche Mitarbeiter wurden zum 1. Januar 2003 die Herren Dannemann und Köder (Drittmittel bzw. DFG), zum 1.4.2003 Frau Dipl.-Ing. Clauß (DFG) und zum 1.12.2003 Herr Dipl.-Ing. Rothenhöfer (Haushalt/Drittmittel). Im Bereich der wissenschaftlichen Mitarbeiter wechselten damit zwischen Ende 2002 und Anfang 2004 ca. 70% des Personals. Im Sekretariat wurde Frau Stängle zum 31.3.2003 in die Freistellungsphase der Altersteilzeit verabschiedet, ihr folgten Frau Achmann und ab 1.10.2003 Frau Ortner als Sekretärinnen.

Aktivitäten in der Lehre

Die Anfängerzahlen im Maschinenbau im weiteren Sinn steigen immer noch massiv an. Dazu gehören die Studiengänge Maschinenwesen, Fahrzeug- und Motorentechnik, Technologiemanagement, Automatisierungstechnik in der Produktion, Verfahrenstechnik und Technische Kybernetik. Insgesamt liegen die Anfängerzahlen aller maschinenbaulichen Studiengänge der Universität Stuttgart (ohne Luft- und Raumfahrttechnik) derzeit bei ca. 1100 Studierenden, dies ist das Doppelte gegenüber den Spitzenzeiten zu Beginn der 90er Jahre.

Im Studiengang Maschinenwesen selbst bewegen sich die Anfängerzahlen um 350 Studierende. Im Hauptdiplom ist die starke Zunahme der Studierendenzahlen der letzten beiden Jahre jedoch noch nicht angekommen.

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 auch zusätzlich als Wahlmöglichkeit für den Studiengang Technologiemanagement. Für die Studierenden des Technologiemanagements wird dabei in KL IV ein modifiziertes Programm mit nur 2 Stunden Vorlesung angeboten. Insgesamt sind derzeit im Wintersemester 2003/2004 in KL III 88 Studierende und damit nochmals 13% mehr als im vorangegangenen Jahr eingeschrieben.

Das Hauptfach Feinwerktechnik kann sich demgegenüber den sinkenden Studierendenzahlen im Hauptdiplom nicht 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 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 Absolventen fanden auch 2003 relativ schnell einen Einstieg in die Industrie, allerdings zeigen sich die Auswirkungen der gegenwärtigen konjunkturellen Probleme etwas stärker als in den letzten Jahren. So wurden erstmals auch gute Studierende, die ihre Diplomarbeit in der Industrie anfertigten, nicht mehr alle unmittelbar übernommen, was früher stets der Fall war.

Self-study online

Im Rahmen der Aktion self-study online der Universität Stuttgart erarbeitet unser Institut gegenwärtig ein Selbstlern-Modul für das FEM-Praktikum ANSYS im Wintersemester. Ziel ist eine schnellere Einarbeitung in ANSYS und auch eine Unterstützung für Studierende, die unsere Kurse nicht belegt haben, in Studien- und Diplomarbeiten aber mit ANSYS FEM-Rechnungen vornehmen. Damit treiben wir den Ausbau unseres Online-Auftritts voran.

Aktivitäten in der Forschung

Die Entwicklung alternativer Antriebssysteme für die Feinwerktechnik auf der Basis elektrodynamischer Kraftwirkung (Elektrodynamische Linearmotoren) bzw. von Festkörpereffekten (Wanderwellenmotoren) steht nach wie vor im Mittelpunkt des Arbeitsgebiets **Aktorik**. Als Schwerpunkt in der Nutzung elektrodynamischer Antriebsprinzipien wird derzeit die am Institut entwickelte integrierte Wegsignalerfassung im Rahmen eines DFG-Projekts auf Motoren mit Kurzspulen und Motoren mit bewegten eisenlosen Wicklungen erweitert. Die Arbeiten zur integrierten Wegmessung in Motoren mit bewegten Magneten als Läufer wurden mit dem Abschluss eines zweiten DFG-Projekts zu einem gewissen Abschluss gebracht, insbesondere durch die Untersuchungen hinsichtlich der erzielbaren Genauigkeiten und der Wechselwirkungen mit dem Motorstrom. Eine Dissertation dazu ist eingereicht.

In Industrieprojekten werden darüber hinaus anwendungsspezifische elektrodynamische Linearmotoren und die zugehörige Ansteuerelektronik sowie Software dafür entwickelt und realisiert. Eine erste Dissertation zur Antriebsdimensionierung (Dissertation Gundelsweiler) wurde 2002 abgeschlossen und liegt nun gedruckt vor.

Die Forschungen zur Anwendung von stark miniaturisierten elektrodynamischen Lineardirektantrieben für die Stoßjustierung feinwerk- und mikrotechnischer Baugruppen wurden 2003 mit einer Dissertation zusammengefasst, die Drucklegung erfolgt Anfang 2004. Die Forschungen zur Realisierung von Direktantrieben nach dem Prinzip des am IKFF entwickelten Wanderwellenmotors wurden 2003 zunächst abgeschlossen, eine Dissertation dazu wird demnächst eingereicht.

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.

Im Jahre 2003 wurden die Arbeiten zur variothermer Prozessführung durch Induktionserwärmung auf größere Bauteile und Werkzeuge mit integrierten 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).

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 Entwicklungsphasen. Durch die Einbeziehung der Zuverlässigkeitsuntersuchungen bereits in den frühen Entwicklungsphasen sollen neben zuverlässigeren Produkten mit geringeren Ausfallquoten auch ein schnellerer Entwicklungsprozess und die Integration aller am Produkt beteiligten Fachgebiete (System-Zuverlässigkeit) an aktuellen mechatronischen Systemen erreicht werden.

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

Inzwischen sind Dauerversuchsstände zur Ermittlung der Ausfalldaten von Kleinmotoren einschließlich deren Getriebe realisiert und in Betrieb. Erste Daten liegen vor. Die Ergebnisse sind so vielversprechend, dass eine Duplizierung des Versuchsstands angestrebt wird.

Weitere Aktivitäten

Das IKFF war im Jahre 2003 Mitveranstalter des 18. Stuttgarter Kunststoffkolloquiums am 19. und 20.3.2003 und stellte dort die Arbeiten zu den verschiedenen Temperierkonzepten für das Mikrospritzgießen im Vergleich vor. Damit wurde ein Resumé der letzten drei Dissertationen des Instituts zu diesem Thema gezogen.

1.3 Wissenschaftliche Arbeitsgebiete

Am Institut werden vier Forschungsschwerpunkte bearbeitet:

Im Arbeitsgebiet **Aktorik** stehen feinwerktechnische Direktantriebe, vorzugsweise für lineare Antriebsbewegungen, im Mittelpunkt. Einen Schwerpunkt bilden elektrodynamische Linearantriebe, deren Berechnung und die integrierte Wegsignalerfassung. Neben den elektrodynamischen Systemen bilden piezoelektrische Antriebe, insbesondere Wanderwellenmotoren, einen zweiten Arbeitsschwerpunkt.

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

Im Arbeitsgebiet **optische und mechanische Sensorik** 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 im Mittelpunkt der Arbeiten.

Übergreifend bildet produktbezogene **Konstruktionsmethodik** in der Feinwerktechnik ein viertes Arbeitsgebiet. Schwerpunkte sind hier die konstruktive Gestaltung, die Berechnung von Systemen und die Simulation mit FEM. Dazu zählen auch Magnetfeldberechnungen für Linearantriebe. Auch das Arbeitsgebiet **„Zuverlässigkeit feinwerktechnischer Antriebe“** lässt sich in diesen Problemkreis einordnen. Im Rahmen der DFG-Forschergruppe „System-Zuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen“ bearbeitet das Institut das Thema „Zuverlässigkeit von elektro-

mechanischen/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 und Simulation ihres dynamischen Verhaltens.
- Erarbeitung geeigneter Unterstützungsmittel und Methoden zur Entwicklung alternativer Antriebssysteme.
- Entwicklung ein- und mehrsträngiger elektrodynamischer Lineardirektantriebe mit integrierten Wegmesssystemen.
- Entwicklung geeigneter elektronischer Ansteuerungen unter Ausnutzung der integrierten Messsysteme.
- Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten poröser Materialien für aerostatische Lagerungen von Linearantrieben. Ermittlung von Bearbeitungsparametern zur Luftlagerherstellung und Dimensionierung der Luftlager.

Präzisions-Spritzgießtechnologie

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

Theorie des Konstruktionsprozesses

- Produktbezogene Konstruktionsmethoden in der Feinwerktechnik.
- Konstruktive Gestaltung unter Nutzung von 2D- und 3D-CAD.
- Simulation mit FEM, beispielsweise des Formfüllvorgangs beim Spritzgießen.
- gekoppelte Feldberechnungen, beispielsweise elektromagnetisch, elektromagnetisch-thermisch, piezoelektrisch-dynamisch.

Zuverlässigkeit feinwerktechnischer Antriebe

- Übertragung und Verifizierung bekannter Zuverlässigkeitstechniken auf feinwerktechnische mechatronische Baugruppen, insbesondere Antriebe und Aktorik,
- Datensammlung,
- experimentelle Untersuchungen, Aufbau von Dauerlauf-Versuchständen für Kleinstmotoren und Getriebe
- Vorausberechnung der Zuverlässigkeit von Systemen aus verschiedenartigsten Bestandteilen und Fachgebieten in der Entwurfsphase,
- Erarbeitung von Ansätzen für die Ermittlung der Systemzuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen (Konzeptphase).

2 LEHRVERANSTALTUNGEN

2.1 Vorlesungen und Übungen für das Vordiplom

2.1.1 Konstruktionslehre III (Feinwerktechnik)

(Schinköthe, Burkard)

Wintersemester 2002/2003:	78 Studenten
Wintersemester 2003/2004:	88 Studenten (mach+tema)

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

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

2.1.2 Konstruktionslehre IV (Feinwerktechnik)

(Schinköthe, Burkard)

Sommersemester 2003:	83 Studenten
----------------------	--------------

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

Betreuer: Burkard, Dannemann, Grotz, Haug, Weber

2.2 Vorlesungen und Übungen für das Hauptdiplom

2.2.1 Grundlagen der Feinwerktechnik, Konstruktion und Fertigung

(Schinköthe, Burkard, Köder)

Wintersemester 2002/2003:	10 Studenten
Wintersemester 2003/2004:	13 Studenten

- 15 Vorlesungen (à 2 SWS)
- 15 Übungen (à 2 SWS)

2.2.2 Aktorik in der Feinwerktechnik - Berechnung, Konstruktion und Anwendung

(Schinköthe, Beisse, Clauß, Grotz)

Wintersemester 2002/2003: 10 Studenten

Wintersemester 2003/2004: 10 Studenten

15 Vorlesungen (à 2 SWS)

Sommersemester 2003: 14 Studenten

5 Vorlesungen (à 2 SWS)

8 Übungen (à 2 SWS)

2.3 Prüfungen

Fach	Termin	Kandidaten
KL III + IV (FWT)	F 2003	2
	H 2003	58
Grundlagen der Feinwerktechnik, Konstruktion und Fertigung (Pflichtfach, schriftlich)	F 2003	8
	H 2003	4
Grundlagen der Feinwerktechnik, Konstruktion und Fertigung (Kernfach, mündlich)	F 2003	32
	H 2003	–
Aktorik in der Feinwerktechnik - Berechnung, Konstruktion und Anwendung (Kernfach, mündlich)	F 2003	2
	H 2003	4

2.4 Praktika

2.4.1 Praktikum Feinwerktechnik

(Für Studierende des Hauptfaches Feinwerktechnik)

Wintersemester 2002/2003

Versuch 1:	„Koordinatenmesstechnik“
15 Teilnehmer	4 Termine
Betreuer: Burkard	

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

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

Sommersemester 2003

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

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

2.4.2 Allgemeines Praktikum Maschinenbau (APMB)

(Für Studierende im zweiten Studienabschnitt Maschinenbau)

Sommersemester 2003

Versuch 1:	„Rasterelektronenmikroskopie“
12 Teilnehmer	4 Termine
Betreuer: Burkard	

Versuch 2:	„Schrittmotoren“
17 Teilnehmer	3 Termine
Betreuer: Grotz	

2.5 Seminar Feinwerktechnik

Rentz, Robert	Konstruktion eines Prüfstands zur Messung der Entformungsreibung
Zeis, Christoph	Entwicklung einer Ansteuerelektronik für lineare Wanderwellenmotoren
Beier, Michael	Entwicklung und Aufbau eines Positioniersystems mit Induktionslinearmotor und integrierter Wegmessung
Kurz, Hariolf	Inbetriebnahme und messtechnische Untersuchung eines linearen Wanderwellenmotors
Künzler, Rainer	Konstruktion eines linearen Wanderwellenmotors als anwendungsnahen Prototypen
Tuschka, Jürgen	Ermittlung einer Ansteuerstrategie für Dauerversuche von Elektromotoren und Aufbau eines Messstands zur Drehmomentenerfassung
Müller, Cornelia	Konstruktion eines rotationssymmetrischen Lineardirektantriebs mit bewegtem Magnetsystem und Linearkugellagerung

3 WISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN, STUDIEN- UND DIPLOMARBEITEN

3.1 Dissertationen

Gundelsweiler, Bernd	Dimensionierung und Konstruktion von feinwerktechnischen elektrodynamischen Lineardirektantrieben
Pröger-Mühleck, Rainer	Lineardirektantriebe für die Stoßjustierung feinwerk- und mikrotechnischer Baugruppen

Mitberichte

Diemert, Jan	Grundlagen mikrowellenunterstützter Plastifiziervorgänge von Polyvinylchlorid
--------------	---

3.2 Diplomarbeiten am IKFF

04/2003	Weiß, Karsten	Entwicklung und Implementierung eines taktilen Sensorsystems für den Einsatz in der Servicerobotik Standort: 15.1.308
02/2003	Clauß, Christin	Entwicklung eines Demonstrationssystems zur integrierten Wegmessung in mehrsträngigen Lineardirektantrieben Standort: 15.1.309
05/2003	Bekavac, Miro	Optimierte Kugelumlenkung an Kugelgewindegetrieben Standort: 15.1.310
12/2003	Bayer, Uwe	Aufbau und Inbetriebnahme einer Überwachungs- und Auswerteeinheit für einen Mehrzellenprüfstand Standort: 15.1.311

09/2003 Rothenhöfer, Elmar Schaltbare rotatorische und lineare Bremsysteme für Präzisionsantriebe
Standort: 15.1.312

3.3 Studienarbeiten am IKFF

01/2003 Bretschneider, Kai Konstruktiver Entwurf eines Versuchsstands zur Induktionserwärmung mit integriertem Induktor
Standort: 15.2.934

03/2003 Zeis, Christoph Entwicklung einer Ansteuerelektronik für lineare Wanderwellenmotoren
Standort: 15.2.935

03/2003 Rentz, Robert Konstruktion eines Prüfstands zur Messung der Entformungsreibung
Standort: 15.2.936

05/2003 Beier, Michael Entwicklung und Aufbau eines Positioniersystems mit Induktionslinearmotor und integrierter Wegmessung
Standort: 15.2.937

07/2003 Kurz, Hariolf Inbetriebnahme und messtechnische Untersuchung eines linearen Wanderwellenmotors
Standort: 15.2.938

11/2003 Künzler, Reiner Konstruktion eines linearen Wanderwellenmotors als anwendungsnahen Prototypen
Standort: 15.2.939

10/2003	Tuschka, Jürgen	Ermittlung einer Ansteuerstrategie für Dauerversuche von Elektromotoren und Aufbau eines Messstands zur Drehmoment-erfassung Standort: 15.2.940
12/2003	Müller, Cornelia	Konstruktion eines rotationssymmetrischen Lineardirektantriebs mit bewegtem Magnet-system und Linearkugellagerung Standort: 15.2.941

3.4 Preise

Dipl.-Ing. Christin Clauß

Preis der Gustav-Magenwirth-Stiftung für ihre Diplomarbeit

4 ARBEITSGEBIETE DER MITARBEITER

4.1 Aktorik

- Clauß, C. Bearbeitung des DFG-Forschungsprojekts „Integrierte Wegmessung in feinwerktechnischen Lineardirektantrieben durch Detektion der Flusssdichte im flussführenden Eisen“.
Untersuchungen zur Genauigkeit der integrierten Wegmessung in Lineardirektantrieben mit bewegten Magneten.
Entwicklung und Aufbau elektronischer Schaltungen, Programmierung von Mikrocontrollern und DSPs.
Konstruktion und Aufbau eines dreisträngigen Lineardirektantriebs mit bewegtem Spulensystem.
Betreuung von Gruppenübungen im Vordiplom; Mitarbeit an der Vortragsübung „Lineardirektantriebe“ (Schwerpunkt Regelung) im Hauptdiplom.
Betreuung von Elektroniklabor und Ätzraum.
Unterstützung bei der Softwarewartung PC-Netzwerk.
- Dannemann, M. Betreuung der Vordiplomsübungen in KL 3/4, Vortrags- und Gruppenübungen; Ausarbeitung von Aufgabenstellungen und Musterlösungen für Übungsaufgaben, Korrektur von Übungsaufgaben, FEM-Praktikum.
Industrieprojekt: Erstellung einer Machbarkeitsstudie für eine Feinverstellung im μm -Bereich. Nach erfolgreicher Studie Durchführung einer konstruktiven Voruntersuchung zur Realisierung.
Untersuchung der Einsatzfähigkeit von kommerzieller FEM-Software.
PC-Administration und Betreuung des UNIX-Netzwerks und der Linux-Arbeitsplatz-PCs
- Grotz, A. Lehre:
Betreuung der Vordiplomsübungen Konstruktionslehre 3/4. Durchführung der Hauptfachübungen und des Praktikums „Lineare Direktantriebe“.
Aufbau und Durchführung des APMB-Praktikums „Schrittmotoren“.

Übernahme des Übungskomplexes „Kopplegetriebe“ innerhalb der Vordiplomsübungen Konstruktionslehre 3/4.

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

Betreuung einer Studienarbeit: Konstruktion eines rotations-symmetrischen Lineardirektantriebs mit bewegtem Magnet-system und Linearkugellagerung.

Industrieprojekte:

Konstruktion, Fertigung und Montage einer Serie hoch-dynamischer Lineardirektantriebe in Kastenspulenbauweise.

Konstruktion, Fertigung und Montage eines in eine Linear-führung integrierten Lineardirektantrieb.

PC-Administration:

Konsolidierung der bestehenden Hardware und Software.

Neuinstallation diverser Rechner.

Virenschutz und Sicherheitsbelange.

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, Vortragsübun-gen, Hauptfachpraktikum Ultraschallantriebe.

Hard- und Softwarewartung UNIX-Netzwerk und Firewall.

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.
 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. Untersuchung des Einflusses von Werkzeugbeschichtungen auf die Entformungskraft bei Spritzgussbauteilen aus Thermoplastwerkstoffen.
 Bearbeitung von Industriebaufträgen zur Entformung von Spritzgussteilen.
 Organisation 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 Übungs- und Klausuraufgaben.
 FEM-Praktikum ANSYS; Theorieteil und Abschnitte „Elastomechanik“ und „Temperaturfelder“
 Beginn des Aufbaus einer Online-Präsentation zum FEM-Praktikum ANSYS im Rahmen des Projekts „self-study online“
 Hauptfachpraktikum „Spritzgießen“
 Weiterentwicklung der induktiven Werkzeugtemperierung, insbesondere Ausweitung des Einsatzspektrums hin zu planen Bauteilen mit größerer Fläche.
 Administration und Wartung der UNIX-Workstations und der Firewall.

4.3 Zuverlässigkeitstechnik

Köder, T. Mitarbeit in der DFG Forschergruppe zum Thema „System-Zuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen“ mit dem Arbeitsschwerpunkt auf dem Teilprojekt „Zuverlässigkeit von elektromechanischen/mechatronischen Systemen am Beispiel feinwerktechnischer Antriebe/Aktorik“
Begleitender Aufbau des neuen Arbeitsgebiets der Zuverlässigkeit von Antriebssystemen am Institut. Diese Aufgabe umfasst neben der reinen Forschungstätigkeit auch den Aufbau und die Betreuung von Dauerlaufprüfständen für rotatorische Kleinantriebe.
Ansprechpartner für Literaturrecherchen.
Durchführung und Erstellung der Zuverlässigkeitsübungen im Hauptdiplom.
Mitbetreuung der Gruppenübungen KL 3/4, Korrektur von Übungsaufgaben.

4.4 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

Schinköthe, W.

Temperierkonzepte für das Mikrospritzgießen im Vergleich. Vortrag 18. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 19./20.3.2003. Tagungsband.

Schinköthe, W.; Welk, C.

DFG-Forschungsvorhaben Feinwerktechnische Lineardirektantriebe mit integrierter Wegmessung. Abschlussbericht Oktober 2003, Schi 457/6.

Schinköthe, W.; Ehrfeld, W.

DFG-Forschungsvorhaben Einfließen von Polymerschmelzen in kleine Kavitäten beim Spritzgießen mit induktiver Werkzeugtemperierung. Zuarbeit zum Abschlusskolloquium des DFG-Schwerpunktprogramms Mikromechanische Produktionstechnik, Aachen, 21.05.2003.

Clauß, C.; Schinköthe, W.; Welk, C.

Integrierte Wegmessung in Lineardirektantrieben - Potenziale und Grenzen. Tagung Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik, Darmstadt 3./4. 03. 2004, ETG-Fachberichte 96, S.117-122.

Haug, J.; Schinköthe, W.

Linearer Wanderwellenmotor - Ergebnisse einer Motoroptimierung. Tagung Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik, Darmstadt 3./4. 03. 2004, ETG-Fachberichte 96, S. 177-182.

5.2 Gremienarbeit

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe:

Mitglied des Universitätsrats der Universität Stuttgart

Leitung der Berufungskommissionen zur Nachfolge Höfflinger

Mitarbeit in den Berufungskommissionen zu den Nachfolgen Pritschow

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

Mitglied des Beirats der GMM

Fachbereichsleiter Fachbereich 3 – Feinwerktechnik und Mechatronik

Mitglied des Fachausschusses 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

„4-3-2-1“

Beim diesjährigen Konstruktionswettbewerb sollten Teams von 4 StudentInnen 3 Aufgaben zu 2 Kugeln mit 1 Maschine lösen.

Für die Maschinen war dies ein beinahe sportlicher Mehrkampf. Zuerst musste ein Tennisball in einem hoch hängenden „Korb“ abgelegt, dann unter einer niedrigen „Hürde“ durchgefahren und als Abschluss noch ein wiederum hoch hängender Luftballon zerstört werden. Energie für diese Aufgaben durfte nur aus dem Gewicht der Maschinen und dem Gefälle der Bahn bezogen werden. Dass die Maschinen ein Gewichtslimit und einen eingeschränkten Bauraum nicht überschreiten durften, erschwerte die Aufgaben zusätzlich.

Die Lösungskonzepte der studentischen Teams reichten von sich teilenden Maschinen, um die in verschiedenen Höhen angebrachten Aufgaben zu lösen, bis zu nadelbespickten Schlagarmen und Wurfsternen, um den Luftballon zu zerstören. Wie in den vergangenen Jahren zeigte sich auch dieses Jahr wieder, dass Theorie und Praxis nicht unbedingt übereinstimmen. Widerstand doch so mancher Luftballon den Zerstörungsversuchen, und zu schwungvoll abgelegte Tennisbälle sprangen aus dem „Korb“ wieder heraus.

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

Arburg GmbH & Co, Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co KG, Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG, Bertrandt Fahrzeugtechnik GmbH, Carl Hanser Verlag GmbH & Co, Heise Zeitschriften Verlag GmbH & Co KG, NEFF-Antriebstechnik-Automation GmbH, Otto Bilz Werkzeugfabrik GmbH & Co., Robert Bosch GmbH, Soehnle-Waagen GmbH & Co. KG, Trumpf GmbH & Co

Ergebnisse:

1. Platz: Olga Bogomolova, Frederic van der Geer, Johannes Köwilein, Bernd Heinrich
2. Platz: Nora Hägele, Stephanie Haarmann, Ken Friedl, Benjamin Fidelak, Marc Schneider
3. Platz: Ela Muskardin, Nils Keßler, Georg Pfeilschmidt, Mourad Benali

Der Wettbewerb zeigte auch dieses Jahr wieder, dass eine attraktive Aufgabe die StudentInnen trotz zeitnah anstehender Klausuren motivieren kann. Der Wettkampf selbst fand zum dritten mal in einem großen Hörsaal statt, der auch wieder vollständig gefüllt werden konnte.

6 TEILNAHME AN KONGRESSEN, TAGUNGEN UND MESSEN

Prof. Schinköthe, W.:

- 18. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, Stuttgart 19./20.3.2003.
- Motek, Sinsheim, 24.9.2003
- VDI/VDE Arbeitskreis „Stellantriebe“ Heuchelheim, 05.11.2003 und Frankfurt, 27.03.03

Burkard, E.:

- ARBURG Technologietage 2003, Loßburg, 21.3.2003

Dannemann, M.:

- Arburg Technologietage 21.3.2003
- Hannovermesse 21.4.2003
- Motek 24.9.2003

Köder, T.:

- Hannovermesse 7.4.2003
- Testing-Expo, Stuttgart, 5.6.2003
- Tagung Mechatronik + Betriebsfestigkeit, Universität Stuttgart

7 WERKSTATTBERICHT

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

8 ANHANG - wesentliche Veröffentlichungen

In diesem Jahr exemplarisch eine Veröffentlichung aus dem Bereich Spritzguss, speziell zur Temperierung beim Mikrospritzgießen:

Temperierkonzepte für das Mikrospritzgießen im Vergleich

Vortrag zum 18. Stuttgarter Kunststoff-Kolloquium 2003

TEMPERIERKONZEPTE FÜR DAS MIKROSPRITZGIEßEN IM VERGLEICH

A COMPARISON OF TEMPERATURE REGULATING CONCEPTS FOR INJECTION MOULDING OF PARTS WITH MICROSTRUCTURES

W. Schinköthe

IKFF, Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik der Universität Stuttgart
Tel: + 49 (0) 711 685 6411, Fax: + 49 (0) 711 685 6356, email: schinkoethe@ikff.uni-stuttgart.de

Kurzfassung: Das Spritzgießen mikrotechnischer Bauteile erfordert häufig spezielle Temperaturgänge in der Kavität, da die Schmelzen in den sehr kleinen Kavitäten sonst vor deren vollständiger Füllung erstarren. Gemeinsame Forschungsarbeiten am IMM und am IKFF haben in den vergangenen Jahren die Einsatzpotenziale verschiedener Verfahren untersucht. Beim klassischen Variothermverfahren sichern zwei verschieden temperierte Ölkreisläufe die geforderten Werkzeugtemperaturniveaus. Bei der induktiven Erwärmung wird die Energie transformatorisch auf das Werkstück übertragen. Dabei kann ein externer oder ein integrierter Induktor zum Einsatz kommen. Abschließende Ergebnisse dreier Dissertationen zu diesem Thema sollen vorgestellt werden und die beiden Verfahren vergleichend bewerten. Die Einsatzpotenziale zeigen Abformergebnisse von Teststrukturen.

Abstract: Injection moulding of technical parts with micron dimensions frequently requires special temperature profiles in the cavity, to avoid solidification of the melt in very small cavities before all structures are filled. Common research work at the IMM and at the IKFF together examined the possible fields of application of different methods in the past years. In the classic variotherm process two oil circuits at different temperatures provide the required mold temperatures. In inductive heating, the energy is transferred to the mold in the manner of a transformer. Therefor an internal or external inductor can be used. Final results of three dissertations regarding this topic will be presented and both methods will be compared. Possible fields of applications are shown with samples of moulded test structures.

Schlagwörter: Spritzgießen, Temperierkonzept, Variothermverfahren

Keywords: Injection moulding, temperature regulating concept, variotherm process

1 Einleitung

Mikrotechnische Komponenten finden zunehmend in vielen Bereichen der Technik Anwendung, beispielsweise als faseroptische Schalter oder Steckverbinder in der Informations- und Kommunikationstechnik, als Mikropumpen oder Mikrodosiereinheiten in der Medizintechnik, als Mikroreaktoren in der chemischen Verfahrenstechnik, als Sensoren in der Automobiltechnik und zukünftig sicher auch vermehrt in der Fertigungstechnik. Voraussetzung für den breiten Einsatz sind effektive Fertigungsverfahren, die kostengünstige Mikrokomponenten hervorbringen. An erster Stelle bietet sich hierbei das Abformen in Kunststoff an. Neben anderen Fertigungsverfahren wie dem Spritzprägen und dem Reaktionsharzgießen steht insbesondere das Spritzgießen für die effektive Fertigung großer Stückzahlen als technisch hoch entwickeltes, serientaugliches Fertigungsverfahren zur Verfügung [1-3].

2 Anforderungen beim Spritzgießen von Mikrostrukturen

Unter dem Begriff **Mikrospritzgießen** werden verschiedene Anforderungen und Technologien zusammengefasst. Zunächst wird das Mikrospritzgießen von **Mikroformteilen** hierunter verstanden. Die äußeren Abmessungen von typischen Mikroformteilen liegen im Millimeterbereich mit Strukturelementen im Mikrometerbereich. Das Gewicht einzelner Spritzlinge liegt im Milligrammbereich. Kennzeichnend ist, dass diese sehr kleinen Formteile direkt angespritzt und entformt werden. Typische Bauteile sind Mikrozahnräder oder kleinste Gehäuse für Sensoren. Da die Formteilmolumina hier extrem klein sind, muss die Maschinenteknik gegenüber dem konventionellen Spritzgießen deutlich modifiziert werden (Kolbeneinspritzsysteme mit Plastifizierung durch reine Wärmeleitung und Schussgewichten kleiner 0,01 g).

Mikrostrukturbauteile besitzen dagegen Abmessungen im Zentimeterbereich. Sie sind meist planar bzw. plattenförmig gestaltet und ein- oder beidseitig lokal mit Strukturen im Mikrometerbereich versehen oder bilden Träger einer Vielzahl von Mikrokomponenten zur Batchfertigung. Typisch sind dabei hohe Aspektverhältnisse dieser Strukturen (größer 10 bei Wandstärken ab 5 μm). Typische Bauteile sind hier Stecker- oder Mikropumpenbauteile, Nanotiterplatten, aber auch wieder Zahnräder auf gemeinsamen Trägern. Das Schussgewicht liegt dann im Grammbereich. Somit lassen sich klassische Maschinen einschließlich Handling mit geringen Modifikationen weiter nutzen. Die Mikrostrukturen stehen meist senkrecht zur Grundplatte, stellen im Formeinsatz somit sacklochartige Strukturen dar.

Neben diesen Bauteilen existieren noch diverse **Präzisionsformteile**, die bei größeren Hauptabmessungen ähnlich kleine Strukturen und enge Toleranzen aufweisen, aber vergleichbar niedrige Aspektverhältnisse in ihren Strukturen zeigen, z. B. DVD's mit Pitgeometrien von ca. 0,5 μm x 0,8 μm x 0,12 μm (Länge x Breite x Tiefe).

Abformen von Mikrostrukturbauteilen. In diesem Beitrag soll das Abformen von Mikrostrukturbauteilen mit hohen Aspektverhältnissen im Mittelpunkt stehen. Dabei ergeben sich zum Teil verschärfte oder auch neue Anforderungen an den klassischen Spritzgießprozess, die Maschinenteknik oder auch den Werkzeugaufbau [1- 9]. Die Maschinen müssen für die Verarbeitung kleinster Schmelzemengen ausgelegt sein (kleine Schneckendurchmesser von 14 oder 12 mm bzw. kombinierte Schnecken-Kolben-Plastifiziereinheiten). Eine reproduzierbare, eng tolerierbare und damit voll geregelte Prozessführung ist eine weitere Voraussetzung. Das Werkzeug ist mit entsprechenden Sensoren auszurüsten, allerdings ist eine Anordnung direkt an den Mikrokavitäten wegen der Dimensionen herkömmlicher Sensoren meist nicht möglich. Für die Herstellung der Formeinsätze [3] kommt neben konventionellen mechanischen Verfahren der sog. Ultrapräzisionstechnik die LIGA-Technik zum Einsatz. Die Form- und Maßgenauigkeit der Strukturen liegt hier unter 1 μm . Die hervorragende Oberflächengüte erleichtert die Entformung, Entformungsschrägen sind dann nicht erforderlich. Es können Aspektverhältnisse bis 100 erreicht werden.

Die Öffnungs- und nachfolgenden Entformungsvorgänge müssen zum Schutz der Strukturen vor Abscheren, Deformation bzw. Zerstörung spiel- und versatzfrei ablaufen. Die Entlüftung der Kavität über die Trennebene oder über die Auswerfer ist nicht mehr möglich, da die Mikrostrukturen im Prinzip Sacklöcher auf der Oberfläche des Formeinsatzes darstellen. Für eine vollständige Formfüllung bzw. zur Vermeidung des Deseleffekts muss deshalb die Kavität vor dem Einspritzen evakuiert werden.

Für einen reproduzierbaren Prozess müssen die Werkzeuge bzw. Kavitäten schließlich auch temperiert werden, wobei die Temperiereinrichtungen die mit der Schmelze eingebrachten Wärmemengen abführen und konstante Prozessbedingungen beim Erstarren der Schmelze gewährleisten sollen. Konstante Wasser- oder Öl-Temperierung bzw. Kühlung wie beim Standard-Spritzgießprozess reicht jedoch für eine vollständige Abformung der Mikrostrukturen oft nicht mehr aus. Erforderlich wird eine variotherme Werkzeugtemperierung. Dies soll nachfolgend vertieft werden.

3 Dynamische Werkzeugtemperierung – variotherme Prozessführung

Beim Standardspritzguss trifft die heiße Schmelze beim Einspritzen auf das relativ kalte Werkzeug. Die Seele der Schmelzefront bleibt fließfähig und der Kunststoff wird durch den Spritzdruck in der Kavität vorangetrieben. Von der Werkzeugwand her findet eine Randschichterstarrung statt, Abb. 1.

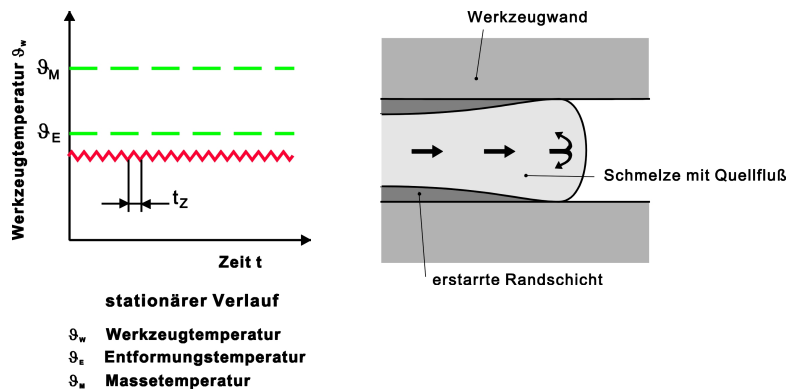


Abb. 1: Randschichterstarrung beim Spritzgießen mit isothermer Temperierung [4]

Bei zu langen Fließwegen und gleichzeitig extrem dünnen Wandstärken kann dies das vollständige Füllen der Kavitäten verhindern. Zur Abhilfe ist eine so genannte variotherme Werkzeugtemperierung erforderlich. Über eine geeignete Zusatzheizung wird der Kavitätsbereich zum Einspritzzeitpunkt bis auf Höhe der Schmelztemperatur des Kunststoffs erwärmt und nach erfolgter Formfüllung auf Temperaturen deutlich unterhalb der Erstarrungstemperatur des Kunststoffs wieder abgekühlt, Abb. 2. Aus Gründen der Produktivität sollten diese Temperaturwechsel möglichst schnell erfolgen.

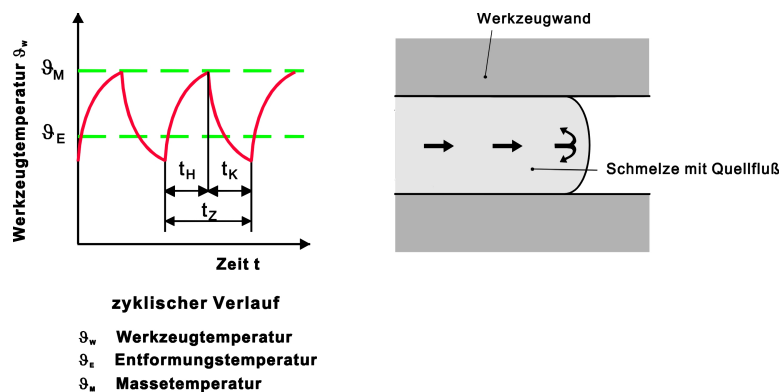


Abb. 2: Spritzgießen mit variothermer Prozessführung [4]

Zur Realisierung dieser Temperierung sind verschiedene Methoden bekannt. Zunächst bietet sich eine **öl-variotherme Prozessführung** mittels zweier unterschiedlich temperierter Ölkreisläufe im Werkzeug an [2, 3, 6, 9]. Der Werkzeugrahmen wird durch einen primären Ölkreislauf mit einem „kalten“ Temperiermedium durchströmt und so auf Entformungstemperatur gehalten. Im thermisch weitgehend isolierten Kavitätsbereich wird je nach Prozessphase zwischen einem heißen und einem kalten Temperiermedium umgeschaltet, was die Erwärmung bzw. die sich an das Einspritzen anschließende Abkühlung der Kavität bewirkt. Aufgrund der hohen Wärmekapazität des Formein-satzes und des nur mäßigen Wärmeüberganges ergeben sich lange Zykluszeiten im Bereich mehrerer Minuten.

Nahe liegend ist als zweite Methode die Zuhilfenahme von **elektrischen Widerstands-Heizelementen** [2]. Das Werkzeug wird wiederum zunächst mit einem flüssigen Temperiermedium auf konstanter

Temperatur gehalten. Vor dem Einspritzen erwärmen gezielt platzierte Heizelemente die komplette Kavität oder nur bestimmte Bereiche der Kavität auf die gewünschte Temperatur.

Beide Methoden haben sich bereits etabliert und werden unter Produktionsbedingungen eingesetzt. Verbesserungsbedarf gibt es jedoch bei den erreichbaren Zykluszeiten, die diejenigen des Standardspritzgießens bis zum Zehnfachen übersteigen und durch die lange Verweildauer des Kunststoffes in der Schnecke zu thermischen Schädigungen der Formmasse führen können. Andererseits stoßen die Verfahren auch an Grenzen hinsichtlich des Temperaturoffsets für Hochtemperaturkunststoffe.

Am IKFF wird deshalb der Einsatz einer dritten Erwärmungsmethode untersucht, die auf dem **induktiven Erwärmungsprinzip** beruht [4 - 9]. Tabelle 1 zeigt vorab einen zusammenfassenden Vergleich der verschiedenen Temperiermethoden, bevor auf die induktive Temperierung vertieft eingegangen wird.

Tabelle 1: Vergleich der variothermen Temperiersysteme beim Mikrospritzgießen [6, 8]

	Fluidisches System (Öl oder Wasser)	Elektrische Widerstandsheizung	Induktionsheizung
Temperier- prinzip	Konvektion zwischen Fluid und Werkzeug, Wärmeleitung in den Werkzeugplatten.	Wärmeerzeugung in elektrischen Heizkörpern, Wärmeleitung vom Heizkörper zum Formeinsatz.	Direkte Wärmegenerierung durch elektromagnetische Wechselfelder im Formeinsatz.
Geräte	1 Temperiergerät heiß 1 Temperiergerät kalt 1 Temperiergerät für Rahmentemperierung, elektronisch geregelter Ventilblock, Steuerung für Spritzgießvorgang.	1 Temperiergerät für Grundtemperierung, Heizkörper (Heizpatrone, flexibler Leiter, Folie), elektronisches Regelgerät, Steuerung für Spritzgießvorgang.	1 Temperiergerät für Grundtemperierung, Generator, Induktor, Zuleitungen, mechanisches Handling oder Koppelgetriebe, Steuerung mit Maschine möglich.
Anforderungen an den Werkzeugaufbau	Aufwendiger Formenbau durch Temperierbohrungen in den Formplatten.	Integration der Heizkörper in die Formplatten, Zusatzkühlung nötig.	i. Allg. keine Integration ins Werkzeug, externer Induktor, Zusatzkühlung.
Flexibilität	Keine Anpassung an verschiedene Geometrien möglich, Austausch der Werkzeugplatten.	Wechsel des gesamten Heizsystems, teilweise Modifikation am Werkzeug notwendig.	Anpassung der Induktorgeometrie, einfacher und schneller Austausch bei externem Induktor.
Zykluszeiten	ca. 180 - 300 s [6]	ca. 60 s [2]	ca. 20-25 s [6, 8]

4 Induktive Werkzeugtemperierung beim Mikrospritzgießen

Eine an die zu erwärmende Fläche angepasste, meist wassergekühlte Spule wird von einem hochfrequenten Wechselstrom durchflossen und erzeugt ein elektromagnetisches Wechselfeld. Im Werkstück, welches elektrisch leitfähig sein muss, werden im Oberflächenbereich Wirbelströme generiert, die aufgrund des spezifischen elektrischen Widerstandes des Erwärmungsgutes eine Joulesche Erwärmung bewirken. Für den Einsatz der induktiven Erwärmung als Zusatzheizung zur variothermen Prozessführung beim Mikrospritzgießen sprechen die sehr schnelle Erwärmung des Werkstücks und die direkte Generierung der Wärme in der Formeinsatzoberfläche. Der bei anderen Erwärmungsmethoden erforderliche Wärmeübergang und der zeitaufwendige Wärmetransport zur Kavität entfallen.

Die wesentlichen Bestandteile einer Anlage zur Induktionserwärmung sind die an die Geometrie des Bauteils angepasste Induktionsspule (Induktor), die Zuleitungen für die Energiezuführung und der Hochfrequenzgenerator. Die eigentliche Induktionsspule besteht aus einem Kupferhohlleiter. Zur Abführung der in der Induktionsspule erzeugten Verlustwärme durchfließt die Spule ein Kühlmittel (Wasser).

Für die induktive Temperierung von Spritzgießwerkzeugen wurden zwei Varianten untersucht: Die Kavität wird bei geöffnetem Zustand von einem *externen Induktor* erwärmt [4-9] oder das Werkzeug enthält einen *internen, integrierten Induktor* [4, 5, 8].

4.1 Induktive Werkzeugtemperierung mit externem Induktor

Eine der Kavitätsoberfläche angepasste Induktorspule wird mit Hilfe einer Handhabungseinrichtung oder durch ein zwangsläufiges Koppelgetriebe bei geöffnetem Werkzeug vor die Kavität positioniert. Der Formeinsatz wird bei geöffnetem Werkzeug induktiv erwärmt. Der Induktor muss sich hierzu in einem genau definierten Abstand vor dem Formeinsatz befinden. Die Erwärmung findet primär in der Randschicht des Werkzeugs und damit an der Oberfläche statt. Die eingebrachte Wärmemenge ist vergleichsweise gering, der Aufheizvorgang geht extrem schnell. Der Wärmetransport in tiefere Schichten über Wärmeleitung erfolgt verzögert. Die externe Temperierung eignet sich für Anwendungen, bei denen vorzugsweise nur planare Teile der Kavität in oder möglichst nahe der Trennebene erwärmt werden sollen. Die Gestalt einer Induktorspule ist ebenfalls eher planar als dreidimensional. In Abb. 3 (vgl. auch Abb. 6) ist ein typischer Temperaturverlauf dargestellt.

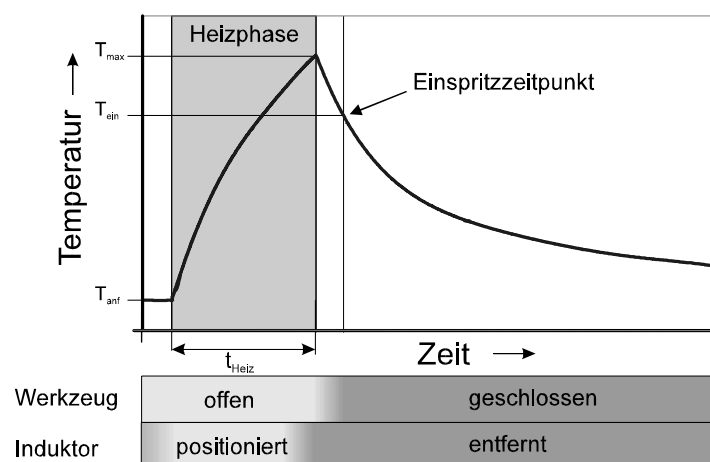


Abb. 3: Typischer Temperaturverlauf an der Kavitätsoberfläche bei externem Induktor [8]

Während die Temperatur an der Oberfläche sehr schnell ansteigt, wird der Bereich unter der Kavitätsoberfläche entsprechend der Wärmeleitfähigkeit des Materials stark zeitverzögert erwärmt.

Sofort nach Ende der Heizphase fällt die Temperatur an der Oberfläche wieder. Ein Teil der Wärme fließt an die Umgebung ab, der Rest wird in tiefere Schichten und dann letztlich durch die Flüssigkeitstemperierung nach außen abgeleitet.

Die Erwärmung erfolgt bei geöffnetem Werkzeug, vergleiche [6, 8]. Bevor das Werkzeug geschlossen werden kann und das Einspritzen beginnt, muss der Induktor zunächst aus dem Werkzeugbereich ausfahren. Durch diese Verzögerung fließt ein Teil der eingebrachten Wärmemenge bereits wieder ab, ehe der Einspritzvorgang beginnt. Es muss folglich zunächst auf ein experimentell zu ermittelndes, deutlich höheres Anfangstemperaturniveau T_{\max} erwärmt werden. Diese Temperatur ist u. a. abhängig von der Kühlkreislauftemperatur, dem Schmelzevolumen, dem Wärmeübergang ins Werkzeuginnere und der Zeitverzögerung zwischen Heizen und Einspritzen. Das Einstellen der nötigen Über-temperatur T_{\max} erfolgt über die Heizzeit. Ein Einregeln auf einen vorgegebenen Wert ist über mehrere Zyklen hinweg durch Messen und anschließendes Anpassen der Heizdauer realisierbar.

Bei größeren Bauteildimensionen und evtl. auch schon bei Mehrfachkavitäten können Probleme auftreten. Einerseits sind dann u. U. keine planaren Strukturen mehr vorhanden. Andererseits steigen die erforderlichen Wärmemengen erheblich. Eine Aufheizung über den erforderlichen Pegel hinaus reicht hier nicht mehr aus, um den bis zum Beginn des Einspritzens auftretenden Wärmeverlust zu kompensieren.

4.2 Induktive Werkzeugtemperierung mit integriertem Induktor

Im Gegensatz zum externen Induktor fordert die Integration des Induktors in das Werkzeug ein Umdenken bezüglich der Werkzeugkonstruktion. Die Induktorspule beeinflusst mit dem sie umgebenden Wechselfeld hier nicht nur die zur Erwärmung bestimmte Kavität, sondern wirkt sich auf alle in unmittelbarer Nähe des Induktors befindlichen elektrisch leitfähigen Teile des Werkzeugs aus und erwärmt diese. Die gezielte Erwärmung von Teilbereichen der Kavität bedarf daher entsprechender Maßnahmen in Form von Abschirmmaterialien oder genügend breiten Luftspalten. Da die Wärme die Kavität wie bei konventionellen Erwärmungsmethoden dann indirekt erreicht, ist eine Erwärmung auch bei geschlossenem Werkzeug möglich. Abb.4 zeigt ein Beispiel für die Integration eines Induktors in ein Werkzeug, hier jedoch nicht für Mikrostrukturbauteile.

Hier ist auch ein geschlossener Regelkreis über eine Temperaturmessung mittels kavitätstnaher Temperatursensoren realisierbar. Dies stellt einen erheblichen Vorteil dar und lässt das Einbringen auch deutlich größerer Wärmemengen bei sehr hohen Einspritztemperaturen zu. Bei Versuchen wurden geregelte Kavitätstemperaturen von 200°C bis 400°C angestrebt, erreicht und je nach Bedarf über den gesamten Einspritzvorgang hinweg auch sehr konstant gehalten. Damit öffnen sich neue Anwendungsfelder von Seiten der Werkstoffe als auch des Prozessumfeldes, beispielsweise der Verzicht auf Öl zur Temperierung.

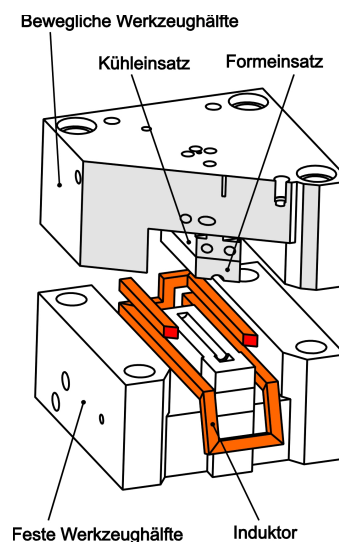


Abb. 4: Werkzeug mit integriertem Induktor [8]

4.3 Ergebnisse beim Abformen von Mikrostrukturen

Zur Untersuchung des Potenzials der induktiven Werkzeugtemperierung wurden zusammen mit dem Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH (IMM) Induktionsanlagen mit externem Induktor in den Spritzgießprozess integriert und Abformversuche vorgenommen [6-9]. Die Formeinsätze wurden am IMM im LIGA-Verfahren hergestellt und beinhalten konzentrische Stege mit Wandstärken von 20, 15, 10, 5 und 2,5 μm und Keile verschiedener Spitzenradien mit Aspektverhältnissen von 5 bis 40, Abb. 5. Die Gestaltung des Bauteils erfolgte mit dem Ziel, die Leistungsgrenzen des Verfahrens zu ermitteln. Die Geometrie des Induktors wurde den äußeren Abmaßen des LIGA-Formeinsatzes angepasst. Über ein zwangsläufiges Kniehebelgetriebe wurde die Induktorspule vor der Kavität positioniert.

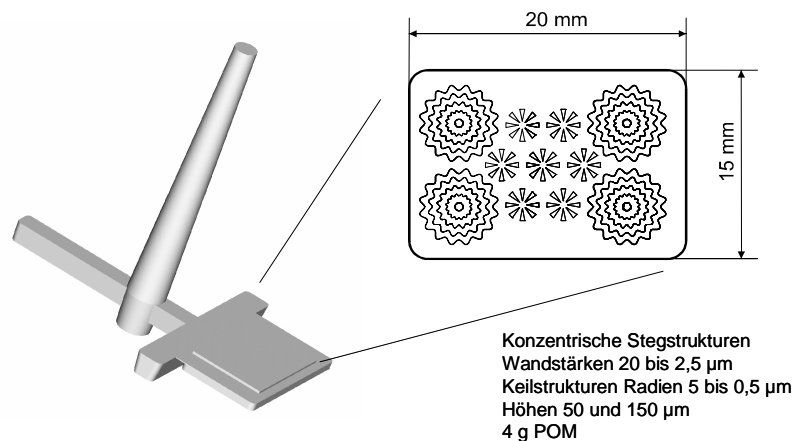


Abb. 5: Formteil mit konzentrischen Steg- und Keil-Mikrostrukturen ([7], vgl. auch Abb. 7)

In vorausgegangenen Erwärmungsversuchen an einem Versuchsstand konnte die Leistungsfähigkeit des Verfahrens im Vergleich zum öl-variothermen Verfahren unter Beweis gestellt werden, Abb. 6. Aufgeheizt wurde auf eine geforderte Werkzeugtemperatur von 200 $^{\circ}\text{C}$. Die Heizzeit von 5 s beim induktiven Verfahren im Vergleich zu 180 s beim öl-variothermen Verfahren macht die Schnelligkeit der Induktionserwärmung deutlich (Gesamtzykluszeiten waren hier 25 s gegenüber 240 s). Gemessen wurde die Temperatur an zwei Stellen im Werkzeug, direkt an der Formoberfläche und 2 mm unter der Oberfläche. Während sich die Kurven im linken Bild fast überdecken ist im rechten Bild die Auswirkung der Induktionserwärmung zu sehen. Die Erwärmung findet primär in der Randschicht des Werkzeugs an der Oberfläche statt, der Wärmetransport in die tieferen Schichten erfolgt verzögert.

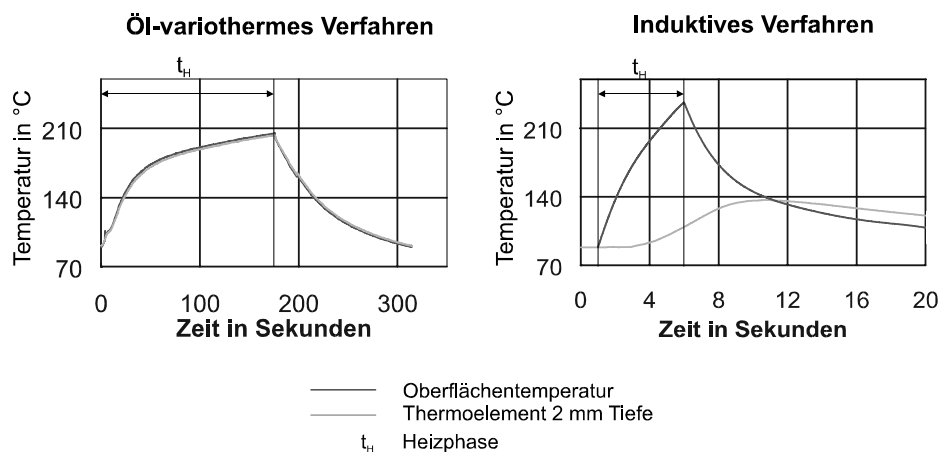


Abb. 6: Öl-variotherme und induktive Temperierung im Vergleich [8]

Das Versuchsbauteil mit den einseitig angeordneten Mikrostrukturen und einer Gesamtmasse von 4 g POM konnte mit einer Zykluszeit von 50 s gefertigt werden, wobei die Kavitätstemperatur zum Einspritzzeitpunkt ca. 190 °C betrug. Die Mikrostrukturen waren bei einer Wandstärke von 5 µm noch bis zu Strukturhöhen von 150 µm abformbar und entformbar, was einem Aspektverhältnis von 30 entspricht. Stege mit einer Wandstärke von 2,5 µm waren zwar abformbar, aber nicht mehr zu entformen. An den Keilstrukturen waren Keilradien bis 0,5 µm bei Strukturhöhen von 150 µm abform- und entformbar, was sogar Aspektverhältnissen von 150 entspricht, Abb. 7. In [6, 8, 9] sind weitere Abformungsbeispiele dargestellt, auf die hier aus Platzgründen nicht eingegangen werden kann.

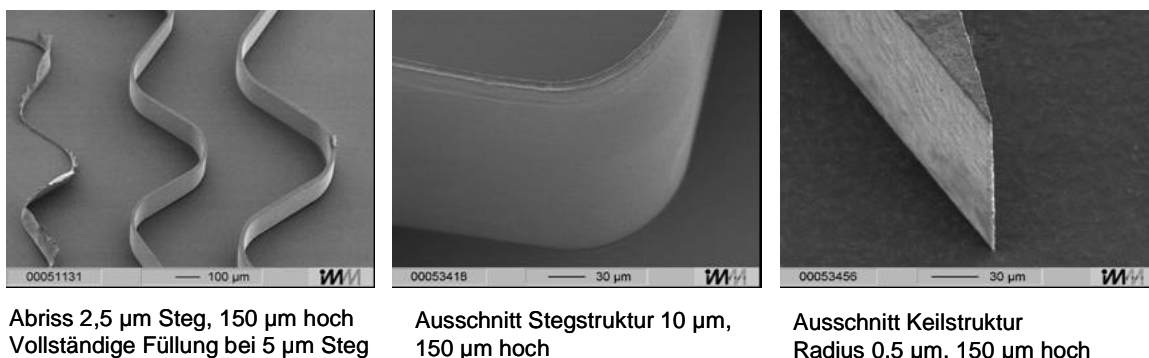


Abb. 7: Details abgeformter Teststrukturen (DFG-Projekt mit IMM Mainz [6, 7])

5 Zusammenfassung

Die induktive Werkzeugtemperierung eignet sich als schnelles Temperierverfahren für die Massenproduktion von mikrostrukturierten Bauteilen. Kurze Erwärmungszeiten und hohe Temperaturniveaus erlauben eine dynamische Werkzeugtemperierung für verschiedenartigste Anwendungsfälle. Die Erwärmung planarer Strukturen (Mikrotechnik) ist ebenso möglich wie die Temperierung echter dreidimensionaler Strukturen durch eine Integration des Induktors in das Werkzeug. Die Arbeiten hierzu wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens "Einfließen von Polymerschmelzen in kleine Kavitäten beim Spritzgießen mit induktiver Werkzeugtemperierung" durch die DFG unterstützt.

Literatur

- [1] Hecke, M.; Bacher, W.; Blum, H.; Müller, L.; Ünal, N.: Heißprägen von Mikrostrukturen als Fertigungsprozess. F&M 105(1997)9, S. 598-602.
- [2] Michaeli, W.; Rogalla, A.; Ziegmann, C.: Mikrostrukturen in Serie fertigen. Kunststoffe 89(1999)9, S. 80-82.
- [3] Weber, L.; Ehrfeld, W.: Mikroabformung – Verfahren, Werkzeuge, Anwendungen. Kunststoffe 88(1998)10, S. 1791-1802.
- [4] Tewald, A.: Entwicklung und Untersuchung eines schnellen Verfahrens zur variothermen Werkzeugtemperierung mittels induktiver Erwärmung. Diss. Universität Stuttgart IKFF, Institutsbericht 13, 1997.
- [5] Schinköthe, W.; Walther, T.: Zykluszeiten verringern - Eine alternative Werkzeugtemperierung beim Mikrospritzgießen. Kunststoffe 90(2000)5, S. 62-68. BeoitargBb
- [6] Schaumburg, C.: Mikrospritzgießen mit induktiver Werkzeugtemperierung. Diss. Universität Stuttgart IKFF, Institutsbericht 17, 2001.
- [7] Ehrfeld, W.; Schinköthe, W.; Weber, L.: Einfließen von Polymerschmelzen in kleine Kavitäten beim Spritzgießen mit induktiver Werkzeugtemperierung. DFG-Bericht, 1999.
- [8] Walther, T.: Geräte- und Verfahrenstechnik zur induktiven Werkzeugtemperierung beim Mikrospritzgießen. Diss. Universität Stuttgart IKFF, Institutsbericht 20, 2003.
- [9] Kemmann, O.: Untersuchungen zum Füllverhalten von mikrostrukturierten Formteilen beim Mikrospritzgießen von Polymerschmelzen. Diss. Universität Stuttgart IKFF, Institutsbericht 19, 2002.

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