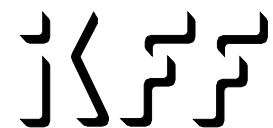


Universität Stuttgart

Jahresbericht IKFF 2018

Institut für Konstruktion und
Fertigung in der Feinwerktechnik



Herausgeber und Verlag:

Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik
Pfaffenwaldring 9
70569 Stuttgart

Tel.: 0711 685-66401

Fax: 0711 685-56402

Prof. Dr.-Ing. Bernd Gundelsweiler

Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik, Februar 2019

1	DAS INSTITUT	1
1.1	Mitarbeiter	1
1.2	Jahresrückblick	2
1.3	Wissenschaftliche Arbeitsgebiete	5
2	LEHRVERANSTALTUNGEN	7
2.1	Vorlesungen und Übungen für das Bachelorstudium.....	7
2.2	Vorlesungen und Übungen für das Bachelor- und Masterstudium.....	7
2.3	Prüfungen	10
2.4	Praktika	11
2.5	Exkursion	13
2.6	Projektarbeiten	13
2.7	Seminar Feinwerktechnik (WS 2017/18 und SS 2018).....	13
3	WISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN, BACHELOR-, STUDIEN- UND MASTERARBEITEN	16
3.1	Dissertationen	16
3.2	Masterarbeiten am IKFF (WS 2017/18 und SS 2018)	16
3.3	Bachelorarbeiten am IKFF (WS 2017/18 und SS 2018)	17
3.4	Studienarbeiten am IKFF (WS 2017/18 und SS 2018)	18
4	ARBEITSGEBIETE DER WISSENSCHAFTLICHEN MITARBEITER ..	20
4.1	Aktorik.....	20
4.2	Spritzgießen	22
5	ÖFFENTLICHKEITSARBEIT	25
5.1	Veröffentlichungen	25
5.2	Doktorandenkolloquien.....	25
5.3	Gremienarbeit	25
5.4	Tag der Wissenschaft.....	26
6	KONGRESSE, TAGUNGEN UND MESSEN	28
7	WERKSTATTBERICHT	30
8	ANHANG - Ausgewählte Veröffentlichungen	30

1 DAS INSTITUT

1.1 Mitarbeiter

Institutsleitung:

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe bis 30.09.2018

Prof. Dr.-Ing. Bernd Gundelsweiler ab 01.10.2018

Emeritus:

Prof. Dipl.-Ing. Artur Jung (verstorben am 26.05.2018)

Sekretariat:

Ulrike Ortner

Kornelia Wanner

Unbefristeter wissenschaftlicher Mitarbeiter:

Akademischer Oberrat: Dipl.-Ing. Eberhard Burkard

Befristete wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dipl.-Ing. Judith Henzler (geb. Kofler)

M. Sc. Thomas Litwin

M. Sc. Manuel Mauch (ab 01.11.2018)

Dipl.-Ing. Andreas Maucher

M. Sc. Marcel Mittag

M. Eng. Markus Raab

M. Sc. Frank Schiele

Dipl.-Ing. Maximilian Schönherr

M. Sc. Simon Strohmeyr

Modellbau und Versuchswerkstatt:

Ralf Berwanger

Stefan Schneider

Wissenschaftliche Hilfskräfte:

Eickhoff, Leonie

Fleischmann, Patrick

Hirsch, Felix

Hutter, Marco

Khoury, Gibran

Ziegler, Maximilian

1.2 Jahresrückblick**Kolloquium der Feinwerktechnik am IKFF**

Am 27.09.2018 fand am IKFF zur Verabschiedung von Herrn Prof. Schinköthe in den Ruhestand ein Kolloquium der Feinwerktechnik statt. Nach einer kurzen Begrüßung stellte Herr Prof. Schinköthe seinen Mitarbeitern, Ehemaligen und Gästen des Instituts ein Resümee von „25 Jahren Forschung und Lehre am IKFF“ vor. Die Ausrichtung der Lehre und die dazugehörigen Lehrveranstaltungen wurden neben der Entwicklung der Studierendenzahlen vorgestellt und in den direkten Zusammenhang zu den aktuellen Forschungsgebieten des Institutes gestellt. Die Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der feinwerktechnischen Aktorik und dem Präzisionsspritzguss. Aus beiden Bereichen wurden von den Mitarbeitern aktuelle Themen zum Stand ihrer Arbeiten vorgestellt. Vor den Schlussworten und dem Ausklang fand die Schlüsselübergabe von Herrn Prof. Schinköthe an seinen Nachfolger statt.

Herr Prof. Schinköthe verabschiedet sich in den Ruhestand am 30.09.2018

Herr Prof. Schinköthe verabschiedet sich am 30.09.2018 in den Ruhestand und die Institutsleitung wird zum 01.10.2018 von Herrn Prof. Gundelsweiler übernommen.

Personalia

Im Jahre 2018 fand die Übergabe der Institutsleitung am 01.10.2018 an Herrn Prof. Gundelsweiler statt und es konnte ein neuer Mitarbeiter Herr Mauch für den Bereich feinwerktechnische Antriebstechnik gewonnen werden. In der bestehenden Personalbesetzung des Institutes gab es keine weiteren Veränderungen.

Aktivitäten in der Lehre

Bei den Anfängerzahlen im Maschinenbau ist in 2018 ein starker Rückgang zu verzeichnen. Die Anfängerzahlen aller maschinenbaulichen Bachelor-Studiengänge der Universität Stuttgart (ohne Luft- und Raumfahrttechnik) lagen im Jahr 2018 bei ca. 680 Studierenden. Im Bachelor-Studiengang Maschinenwesen selbst fielen die Anfängerzahlen gegenüber dem Vorjahr nochmals auf ca. 195. Hinzu kommen noch ca. 850 neue Masterstudierende.

Der Masterstudiengang Maschinenbau / Mikrotechnik, Gerätetechnik und Technische Optik (Studiendekan Prof. Zimmermann vom IFM, ab 01.10.2018 Prof. Gundelsweiler vom IKFF, Studiengangsmanager Herr Mohr vom IFM, ab 01.10.2018 Herr Burkard vom IKFF) hat ca. 10 Anfänger pro Jahr, ebenfalls weniger als früher. Zuspruch zu

unserem Master gibt es vor allem von außen, aus anderen Universitäten, Hochschulen bzw. aus Dualen Hochschulen. Die Studierendenzahl liegt damit etwas unter der langfristigen Zielstellung von 25 Immatrikulationen pro Jahr.

In der Konstruktionslehre Feinwerktechnik hatten wir im Wintersemester 59 Studierende, etwas höhere Anfängerzahlen als im Vorjahr mit 45. Die Bachelor-Lehrveranstaltungen konzentrierten sich nach wie vor auf die Fächer Konstruktionslehre Feinwerktechnik III und IV im dritten und vierten Semester als Wahlmöglichkeit für die beiden Bachelor-Studiengänge Maschinenbau sowie Fahrzeug- und Motorentechnik.

Im Spezialisierungsfach dominieren nun die Masterstudierenden. Derzeit begannen 30 Studierende im Fach „Gerätekonstruktion und -fertigung in der Feinwerktechnik“ als Pflicht- oder Kernfach. 16 Studierende starteten im Kernfach „Aktorik“. Das Fach „Praxis des Spritzgießens in der Gerätetechnik: Verfahren, Prozesskette, Simulation“ belegten 8 Studierende, die „Praktische FEM-Simulation mit ANSYS® und Maxwell“ belegten 19 Studierende. Im vergangenen Jahr hatten wir zudem mit erneut 26 Studien-, Bachelor- und Masterarbeiten wieder einen sehr hohen Zuspruch in diesem Bereich. Hinzu kommen noch Projektarbeiten.

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

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

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

Hinzu kommen die Lehrveranstaltungen „Praktische FEM-Simulation mit ANSYS® und Maxwell“ und „Praxis des Spritzgießens in der Gerätetechnik: Verfahren, Prozesskette, Simulation“, die einen guten Anklang finden.

Die Spezialisierungsfachpraktika Ultraschallantriebe, Lineardirektantriebe, Schrittmotoren, Gleichstrommotoren, Koordinatenmesstechnik, FEM-Berechnung mit ANSYS® sowie Maxwell, Spritzgießen inklusive Spritzgieß-Simulation mit Moldflow sind in die Lehrveranstaltungen einbezogen. Mit diesen insgesamt sieben Praktika existiert ein solides Angebot zum praktischen Arbeiten für die Studierenden.

Die Absolventen fanden auch 2018 überwiegend problemlos ihren Einstieg in die Industrie.

Aktivitäten in der Forschung

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

Als Schwerpunkt in der Nutzung elektrodynamischer Antriebsprinzipien standen 2018 Arbeiten zum Entwurf und zur Optimierung von anwendungsspezifischen Lineardirektantrieben, induktiver Energieübertragung, PCB-Spulen sowie die Weiterführung der Aktivitäten zu magnetischen Führungen an. Die Forschungen zur Entwicklung von neuartigen mehrdimensionalen piezoelektrischen Antrieben werden weiter geführt. Generell bilden dabei neben der Motorentwicklung und durchgängigen Motorberechnung bzw. -simulation, die Realisierung von Ansteuerung und Regelung über eine dSPACE-Entwicklungsumgebung einen Schwerpunkt. Beide Antriebslinien ergänzen und befruchten sich gegenseitig.

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. Die Arbeiten zur Nutzung der Induktionserwärmung für das Spritzgießen mit externer oder interner Induktoranordnung wurden fortgeführt bzw. abgeschlossen. Ergebnisse dazu sind mehrfach veröffentlicht.

Hinzu kamen neben oder innerhalb dieser Forschungsarbeiten auch Industrieprojekte.

1.3 Wissenschaftliche Arbeitsgebiete

Im Institut werden zusammengefasst folgende Forschungsschwerpunkte bearbeitet:

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

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

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

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

Auch das Arbeitsgebiet **Zuverlässigkeit feinwerktechnischer Antriebe** lässt sich in diesen Problembereich einordnen. Hier arbeitete das Institut auf dem Gebiet der Zuverlässigkeit von elektromechanischen/mechatronischen Systemen am Beispiel feinwerktechnischer Antriebe/Aktorik. Dies betrifft sowohl die elektromechanischen als auch die mechanischen Komponenten derartiger Antriebe.

Im Detail werden folgende Inhalte bearbeitet:

Feinwerktechnische Aktorik

- Entwicklung alternativer Antriebssysteme für die Feinwerktechnik auf der Basis elektrodynamischer Kraftwirkung bzw. von Festkörpereffekten (elektrodynamische Linearmotoren, Piezomotoren).

- Berechnung und Optimierung derartiger Antriebe, Simulation ihres dynamischen Verhaltens.
- Erarbeitung geeigneter Unterstützungsmittel und Methoden zur Entwicklung derartiger Antriebssysteme.
- Entwicklung von magnetischen Schwebeführungen für Linearantriebe.
- Entwicklung von Spulensystemen auf Basis von Leiterplattentechnologie.
- Induktive Energieübertragung bei Antrieben mit bewegter Spule.

Präzisions-Spritzgießtechnologie

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

Theorie des Konstruktionsprozesses

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

Zuverlässigkeit feinwerktechnischer Antriebe

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

2 LEHRVERANSTALTUNGEN

2.1 Vorlesungen und Übungen für das Bachelorstudium

Konstruktionslehre III (Feinwerktechnik)

(Schinköthe, Gundelsweiler, Burkard)

Wintersemester 2017/2018: 45 Studenten (mach + famo)

Wintersemester 2018/2019: 59 Studenten (mach + famo)

15 Vorlesungen à 2 SWS

15 Vorlesungen à 1 SWS

15 Übungen à 2 SWS

Betreuer: Burkard, Litwin, Mauch, Maucher, Mittag, Raab, Schiele, Schönherr, Strohmeyr

Konstruktionslehre IV (Feinwerktechnik)

(Schinköthe, Burkard)

Sommersemester 2018: 50 Studenten (mach + famo)

13 Vorlesungen à 2 SWS

13 Vorlesungen à 1 SWS

13 Übungen à 1 SWS

Betreuer: Burkard, Litwin, Maucher, Mittag, Raab, Schiele, Schönherr, Strohmeyr

2.2 Vorlesungen und Übungen für das Bachelor- und Masterstudium

Gerätekonstruktion und -fertigung in der Feinwerktechnik

(Schinköthe, Gundelsweiler, Burkard)

Wintersemester 2017/2018: 30 Studenten

Wintersemester 2018/2019: 30 Studenten

17 Vorlesungen à 2 SWS

10 Übungen à 2 SWS

Betreuer: Burkard, Litwin, Schiele, Schönherr

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

Wintersemester 2017/2018: 22 Studenten

Wintersemester 2018/2019: 15 Studenten

9 Vorlesungen à 2 SWS

5 Übungen à 2 SWS

Betreuer: Strohmeyr, Raab

Sommersemester 2018: 18 Studenten

11 Vorlesungen à 2 SWS

3 Übungen à 2 SWS

Betreuer: Schiele

Praktische FEM-Simulation mit ANSYS® und Maxwell
(Litwin, Schiele)

Sommersemester 2018: 19 Studenten

10 Vorlesungen à 2 SWS

5 Übungen à 2 SWS

Betreuer: Litwin, Schiele, Mittag, Schönherr

Praxis des Spritzgießens in der Gerätetechnik: Verfahren, Prozesskette, Simulation
(Schinköthe/Burkard)

Sommersemester 2018: 8 Studenten

18 Vorlesungen à 2 SWS

7 Übungen à 2 SWS

Betreuer: Burkard, Schönherr

Medizingerätetechnik

Ab Wintersemester 2017/2018 übergeben an Prof. Peter Pott, Institut für Medizingerätetechnik, IMT.

Projektarbeiten für alle Studierenden der Maschinenbau fakultäten

Wintersemester 2017/2018	0 Studierende (0 Projektgruppen)
Sommersemester 2018	0 Studierende (0 Projektgruppen)
Wintersemester 2018/2019	8 Studierende (2 Projektgruppen)

2.3 Prüfungen

Fach	Termin	Kandidaten
KL III + IV (Feinwerktechnik)	F 2018	17
	H 2018	51
Gerätekonstruktion und -fertigung in der Feinwerktechnik (Kompetenzfeld, Pflichtfach)	F 2018	22
	H 2018	5
Gerätekonstruktion und -fertigung in der Feinwerktechnik (Kernfach, mündlich)	F 2018	4
	H 2018	8
Aktorik in der Gerätetechnik - Berechnung, Konstruktion und Anwendung mechatronischer Komponenten (Kernfach/Pflichtfach, mündlich)	F 2018	8
	H 2018	8
Praxis des Spritzgießens in der Gerätetechnik: Verfahren, Prozesskette, Simulation	F 2018	0
	H 2018	6
Praktische FEM-Simulation mit ANSYS® und Maxwell	F 2018	0
	H 2018	7
Projektarbeiten	F 2018	0
	H 2018	8
Studienarbeit Feinwerktechnik	F 2018	8
	H 2018	1
Bachelorarbeiten	F 2018	5
	H 2018	1
Masterarbeiten	F 2018	9
	H 2018	2

2.4 Praktika

Spezialisierungsfachpraktikum Feinwerktechnik

(Für Studierende des Spezialisierungsfaches Feinwerktechnik)

Sommersemester 2018

Versuch 1: „FEM-Simulation mit ANSYS® / Maxwell“
19 Teilnehmer 5 Termine
Betreuer: Litwin, Schiele, Mittag, Schönherr

Versuch 2: „Ultraschallantriebe“
7 Teilnehmer 2 Termine
Betreuer: Schiele

Versuch 3: „Spritzgießen“
13 Teilnehmer 3 Termine
Betreuer: Burkard, Maucher, Litwin, Schönherr

Wintersemester 2018/2019

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

Versuch 2: „FEM-Simulation mit ANSYS® / Maxwell“
12 Teilnehmer 3 Termine
Betreuer: Mittag, Schiele, Litwin

Versuch 3: „Gleichstrommotoren“
5 Teilnehmer 2 Termine
Betreuer: Raab, Strohmeyr

Versuch 4: „Lineardirektantriebe“
10 Teilnehmer 2 Termine
Betreuer: Raab, Mittag

Versuch 5:	„Optische 3D-Vermessung“
15 Teilnehmer	3 Termine
Betreuer: Burkard	

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

Sommersemester 2018

Versuch 1:	„Schrittmotoren“
17 Teilnehmer	4 Termine
Betreuer: Mittag, Strohmeyr	

Wintersemester 2018/2019

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

Versuch 2:	„Optische 3D-Vermessung“
15 Teilnehmer	3 Termine
Betreuer: Burkard	

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

Wintersemester 2018/2019

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

Versuch 2:	„Einführung in die Geräuschesstechnik und Lärminderung“
8 Teilnehmer	1 Termin
Betreuer: Schiele, Schönherr	

2.5 Exkursion

Am 5. Juli 2018 fand, zusammen mit dem IKT, eine Exkursion mit insgesamt 20 Studenten und Mitarbeitern zur Firma ARBURG GmbH + Co. in Loßburg statt. Von Herrn Dr. Walther wurden uns auch dieses Jahr wieder die Firma ARBURG und insbesondere die Sonderverfahren beim Spritzgießen in einem interessanten Vortrag nähergebracht. Daran anschließend bekamen wir noch eine umfangreiche Führung in mehreren Gruppen durch das Kundencenter, insbesondere mit Blickwinkel auf spezielle Spritzgießverfahren und die Fertigung. Für viele Studierende ist insbesondere die hohe Fertigungstiefe in der Produktion und das offenbar sehr angenehme Betriebsklima bei der Firma ARBURG beeindruckend. Die Exkursion wurde im Rahmen der Vorlesung Praxis des Spritzgießens organisiert und war auch dieses Mal wieder für weitere Studierende des IKFF und des IKT offen.

2.6 Projektarbeiten

WS 2018/2019

28.02.2019 Der Magnetmotor - Ein Perpetuum Mobile?

28.02.2019 Recherche, Vergleich und Modellierung von unkonventionellen Aktoren

2.7 Seminar Feinwerktechnik (WS 2017/18 und SS 2018)

Wintersemester 2017/2018

19.10.2017 Verarbeitung von hart- und weichmagnetisch-gefüllten Thermoplasten im 3D-Druck

02.11.2017 Design und Aufbau eines Antriebssystems für einen neuartigen multidimensionalen Ultraschallmotor

23.11.2017 Aufbau und Untersuchung eines homopolaren Lineardirektantriebs in Leiterplattenbauform

31.01.2018 Simulation der Abkühlung einer einfachen induktiv beheizten Leistengeometrie mittels unterschiedlicher Berechnungsmethoden

- 31.01.2018 Untersuchung verschiedenartiger Induktor-Geometrien hinsichtlich der optimalen elektromagnetischen Feldausbreitung anhand einer Versuchsgeometrie
- 27.02.2018 Control System and User Interface of a Finger and Wrist Rehabilitation Robotic Drive

Sommersemester 2018

- 19.04.2018 Entwicklung eines multidimensional geregelten Ultraschall-Bewegungsdemonstrators
- 03.05.2018 Charakterisierung von magnetischen Formgedächtnislegierungen
- 08.05.2018 Entwicklung einer grafischen Benutzeroberfläche (GUI) zur Steuerung der Induktionsgeneratoren und Messdatenerfassung in Lab View
- 06.06.2018 Analyse und Konstruktion eines Messsystems zur Ermittlung der durch Adhäsion bedingten Zugkräfte im Kunststoffspritzguss
- 21.06.2018 Simulation einer induktiven Energieübertragung mit Untersuchung der Einflussgrößen
- 04.07.2018 Konzeptfindung zur passiven und aktiven Kühlung anhand eines heteropolaren Lineardirektantriebs
- 17.07.2018 Konstruktion und elektromagnetisch-harmonische Simulationen induktiv temperierter Spritzgieß-Demonstrator-Werkzeuge unter der Verwendung von elektromagnetisch durchlässigem Material
- 30.08.2018 Konstruktive Gestaltung mit simulativer Optimierung eines induktiv temperierten Kunststoffspritzgießwechselwerkzeugs
- 19.09.2018 Entwicklung eines im 3D-Druck hergestellten Sensors
- 25.09.2018 Konstruktion eines Spritzgießwerkzeugs mit wechselbaren Kassetteneinsätzen

25.09.2018 Vergleichende Berechnungen an einem kommutierten Flachspulmotor

Wintersemester 2018/2019 (unvollständig)

15.11.2018 Untersuchung der induktiven Erwärmbarkeit von 3D gedruckten Kavitätseinsätzen für Spritzgusswerkzeuge

15.11.2018 Entwicklung und Inbetriebnahme eines MSM-gesteuerten permanentmagnetisch erregten Reluktanzaktors

22.11.2018 Konstruktive Integration einer induktiven Energieübertragung in einen Lineardirektantrieb

22.11.2018 Konstruktion eines passiven Ausgabe-/Paletten-Systems

20.12.2018 Simulation und Inbetriebnahme von Halbkugelresonatoren für Piezomotoren

07.02.2019 Analyse und Simulation von Probengeometrien zur Messung von adhäsionsbedingten Zugkräften im Kunststoffspritzguss

07.02.2019 Simulative Untersuchung an einer Magnetschwingkolbenpumpe und Verifizierung anhand externer Versuchsergebnisse

3 WISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN, BACHELOR-, STUDIEN- UND MASTERARBEITEN

3.1 Dissertationen

Schattka, Gregor Charakterisierung von Entformungskräften im Kunststoffspritzguss unter Berücksichtigung adhäsiver Bindungskräfte

3.2 Masterarbeiten am IKFF (WS 2017/18 und SS 2018)

10/2017 Verarbeitung von hart- und weichmagnetisch-gefüllten Thermoplasten im 3D-Druck

10/2017 Design und Aufbau eines Antriebssystems für einen neuartigen multidimensionalen Ultraschallmotor

10/2017 Entwicklung eines Verfahrens zur indirekten Volumestrommessung und Fehlererkennung in miniaturisierten Gaspfaden von Atemanalysegeräten

12/2017 Konzepte zur laserspektroskopischen Bestimmung des Ethanolgehaltes für eine schnelle Nüchternheitskontrolle

01/2018 Untersuchung verschiedenartiger Induktor-Geometrien hinsichtlich der optimalen elektromagnetischen Feldausbreitung anhand einer Versuchsgeometrie

02/2018 Control System and User Interface of a Finger and Wrist Rehabilitation Robotic Device

03/2018 Konstruktive Auslegung eines bipolaren Instruments für die minimalinvasive Chirurgie

03/2018 Weiterentwicklung des Produktdesigns eines Titan-Plattensystems

03/2018 Produktoptimierung eines medizinischen single-use-Produktes der Hybridchirurgie

- 06/2018 Konstruktion und elektromagnetisch-harmonische Simulationen induktiv temperierter Spritzgieß-Demonstrator Werkzeuge unter der Verwendung von elektromagnetisch durchlässigem Material
- 06/2018 Konzeption und Entwicklung permanenter Fixierungen von schaumartigen Implantaten aus mehreren Komponenten an Knochen des Kraniums und Mittelgesichts
- 09/2018 Optimierung des Entwicklungs-, Zulassungs- und Fertigungsprozesses durch die Entwicklung eines standardisierten Konstruktionskataloges in Solid Works unter Betrachtung regulatorischer Anforderungen
- 09/2018 Konzept zur Intergration eines Displays in ein Medizingerät

Wintersemester 2018/2019 unvollständig

- 10/2018 Konstruktion, Aufbau und Verifizierung eines magnetischen Formgedächtnisaktors
- 11/2018 Simulation und Inbetriebnahme von Halbkugelresonatoren für Piezomotoren

3.3 Bachelorarbeiten am IKFF (WS 2017/18 und SS 2018)

- 04/2018 Entwicklung einer grafischen Benutzeroberfläche (GUI) zur Steuerung der Induktionsgeneratoren und Messdatenerfassung in LabVIEW
- 04/2018 Entwicklung eines multidimensional geregelten Ultraschall-Bewegungsdemonstrators
- 05/2018 Charakterisierung von magnetischen Formgedächtnislegierungen
- 09/2018 Konstruktion eines Spritzgießwerkzeugs mit wechselbaren Kassetteneinsätzen

Wintersemester 2018/2019 unvollständig

10/2018	Konstruktion eines passiven Ausgabe-/Paletten-Systems
10/2018	Konstruktive Integration einer induktiven Energieübertragung in einen Lineardirektantrieb
11/2018	Analyse und Simulation von Probengeometrien zur Messung von adhäsionsbedingten Zugkräften im Kunststoffspritzguss

3.4 Studienarbeiten am IKFF (WS 2017/18 und SS 2018)

10/2017	Entwicklung einer Echtzeitsteuerung für einen mehrdimensionalen Ultraschallmotor
10/2017	Aufbau und Untersuchung eines homopolaren Lineardirektantriebs in Leiterplattenbauform
11/2017	Simulation der Abkühlung einer einfachen induktiv beheizten Leistengeometrie mittels unterschiedlicher Berechnungsmethoden
04/2018	Analyse und Konstruktion eines Messsystems zur Ermittlung der beim Entformen durch Adhäsion bedingten Zugkräfte im Kunststoffspritzguss
05/2018	Entwicklung aktiver Kühlkonzepte von Lineardirektantrieben durch vibrierende flache Platten
05/2018	Konzeptfindung zur passiven und aktiven Kühlung anhand eines heteropolaren Lineardirektantriebs
06/2018	Simulation einer induktiven Energieübertragung mit Untersuchung der Einflussgrößen
08/2018	Konstruktive Gestaltung mit simulativer Optimierung eines induktiv temperierten Kunststoffspritzgießwechselwerkzeugs
09/2018	Entwicklung eines im 3D-Druck hergestellten Sensors

09/2018 Vergleichende Berechnungen an einem kommutierten Flachspulmotor

Wintersemester 2018/2019 unvollständig

10/2018 Untersuchung der induktiven Erwärmbarkeit von 3D-gedruckten Kavitätseinsätzen für Spritzgusswerkzeuge

01/2019 Simulative Untersuchungen an einer Magnetschwingkolbenpumpe und Verifizierung anhand externer Versuchsergebnisse

4 ARBEITSGEBIETE DER WISSENSCHAFTLICHEN MITARBEITER

4.1 Aktorik

Mauch, M.

Lehre:

Betreuung der Übungen und Testatgruppen in KL 3/4.

Forschung:

Feinwerktechnische Antriebstechnik – Auslegung, Konstruktion und Inbetriebnahme von feinwerktechnischen Antrieben mit Sensorintegration und Ansteuerung (smart actuators).

FEM-Simulation.

Funktionale Werkstoffe.

Zuverlässigkeitstechnik.

Industrieprojekte.

Mittag, M.

Lehre:

Erstellung und Ausarbeitung des Testats „Konstruktionsmethodik“.

Organisation des KL-Wettbewerbs.

Korrekturmithilfe bei der Prüfungsaufgabe „Konstruktion“ und Korrektur der „Welle/Lager“-Aufgabe.

Erstellung und Korrektur der Testataufgabe „Welle/Lager“ und „Kupplung“.

Vortragsübung zum Themenkomplex „Welle und Lager“.

Unterstützung beim Durchführen des FEM-Praktikums.

Betreuung der KL 3/4 Übungen, Testatgruppen.

Betreuung von Studien-, Bachelor- und Projektarbeiten.

Betreuung Lineardirektantriebspraktikum.

Betreuung Schrittmotorenpraktikum.

Forschung:

Forschungsschwerpunkt: Kabellose Energieübertragung bei Lineardirektantrieben.

Simulative Auslegung, Konzeptionierung und Aufbau eines Lineardirektantriebs mit induktiver Energieübertragung .

Programmierung und Inbetriebnahme einer kabellosen Datenübertragung mittels WiFi-Verbindung.

Inbetriebnahme eines Lineardirektantriebs mit induktiver Energieübertragung.

Industrieprojekte.

Raab, M.

Lehre:

Vortragsübung zum Themenkomplex „Ansteuerung und Regelung von Lineardirektantrieben“ in „Aktorik in der Gerätetechnik“.

Erstellung und Betreuung FEM-Aufgabe „Praktische FEM-Simulation mit ANSYS® und Maxwell“.

Betreuung der Bachelorübungen in KL 3/4, Testatgruppen.

Organisation und Durchführung des Spezialisierungsfachpraktikums „Gleichstrommotoren“.

Organisation und Durchführung des Spezialisierungsfachpraktikums „Lineardirektantriebe“.

Betreuung von Projekt-, Bachelor-, Studien- und Masterarbeiten.

Forschung:

Forschungsschwerpunkt: Magnetschwebetechnik für feinwerktechnische Antriebe mit minimaler Leistungsaufnahme.

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

Entwicklung von Aktoren auf Basis magnetischer Formgedächtnislegierungen.

Industrieprojekte.

Schiele, F.

Lehre:

Betreuung der Übungen und Testatgruppen in KL 3/4.

Vortragsübungen „Koppelgetriebe“ und „Welle/Lager“ in KL 3/4.

Erstellung und Korrektur der Testataufgaben „Koppelgetriebe“ und „Welle/Lager“ in KL 3/4.

Vortragsübung „Piezoelektrische Antriebssysteme“ in „Aktorik in der Gerätetechnik“.

Betreuung von Bachelor- und Masterarbeiten.

Betreuung des Spezialisierungsfachpraktikums „Praktische FEM-Simulation mit ANSYS® und Maxwell“. Vortrag, Ausarbeitung und Korrektur von Prüfungsaufgaben.

Betreuung des Spezialisierungsfachpraktikums „Ultraschallantriebe“.

Betreuung des Praktikums „Geräuschmesstechnik“ in „GFF“.

Forschung:

Forschungsschwerpunkt „Mehrdimensionale Ultraschallantriebe“.

Simulative und experimentelle Untersuchungen geeigneter Geometrien und Piezo-Materialien.

Entwicklung eines Prüfstandes für derartige mehrdimensionale Ultraschallantriebe.

Sonstiges:
PC-Administration.

Strohmeyr, S. Lehre:
Vortragsübung und Vorlesung KL 3/4 zum Themenkomplex „Kupplungen“.
Vorlesung in der Aktorik, Themenkomplex „Auslegung von Lineardirektantrieben“.
Betreuung von Prüfungen des Praktikums/der Vorlesung „Praktische FEM-Simulation mit ANSYS® und Maxwell“.
Betreuung der Übungen in KL 3/4, Testatgruppen.
Organisation des Übungskomplexes „Kupplungen“.
Betreuung von Studien- und Masterarbeiten.
Betreuung Gleichstrommotorenpraktikum.
Betreuung Schrittmotorenpraktikum.
Forschung:
Forschungsschwerpunkt: Thermische Untersuchungen an feinwerktechnischen Lineardirektantrieben.
Simulative Auslegung und Konzeptionierung von Lineardirektantrieben mit verbesserter thermischer Wärmeabführung.
Entwicklung neuartiger Spulenkonzepte.
Entwicklung neuartiger Kühlkonzepte.
Industrieprojekte.

4.2 Spritzgießen

Burkard, E. Untersuchung des Einflusses von Werkzeugbeschichtungen auf die Entformungskraft bei Spritzgussbauteilen aus Thermoplastwerkstoffen.
Bearbeitung von Industrieaufträgen.
Betreuung der Studenten im B. Sc. und M. Sc.
Betreuung von Vorlesungen und Übungen im B. Sc. und M. Sc.
Organisation des Konstruktionswettbewerbs.
Betreuung und Durchführung der Vorlesung „Praxis des Spritzgießens in der Gerätetechnik“.
Betreuung der 3D-Messmaschinen und der Praktika zur 3D-Messtechnik sowie Vermessung von Werkstücken.
Administration und Wartung der Linux-Rechner und des Institutsnetzes.

Stundenplanbeauftragter und Studiengangsmanger für den M. Sc. Maschinenbau/Mikrotechnik, Gerätetechnik und Technische Optik.

Litwin, T.

Lehre:

Betreuung der Konstruktionslehre-Übungen in KL 3/4 sowie der Testatgruppen.

Erstellung und Korrektur der Prüfungsaufgabe „Getriebe“ in KL 3/4.

Erstellung und Korrektur der Testataufgabe „Getriebe“ in KL 3/4.

Betreuung des Spezialisierungsfachpraktikums „Praktische FEM-Simulation mit ANSYS® und Maxwell“. Vortrag, Ausarbeitung und Korrektur von Prüfungsaufgaben.

Betreuung des Spezialisierungsfachpraktikums „Spritzgießen“.

Betreuung der Vortragsübung der Zuverlässigkeit in der Gerätekonstruktion und -fertigung in der Feinwerktechnik.

Betreuung von Bachelor-, Studien- und Masterarbeiten.

Forschungsschwerpunkte:

Einbindung von elektromagnetisch durchleuchtbaren Materialien zur Steigerung der Energieeffizienz von induktiv-variothermen Spritzgießwerkzeugen.

FEM basierte Induktor-Optimierung zur Steigerung der Erwärmungsrate von partikelgefüllten Kunststoffen.

Simulation des Spritzgießprozesses von partikelgefüllten Kunststoffen.

Konstruktive Integration induktiver Temperierung in Einsatz- und Kassettenwerkzeuge sowie Optimierung des Randschichterwärmungsverhaltens.

Grundlagenuntersuchungen sowie Simulationen zur induktiven Temperierung mittels Hochfrequenzlitze.

Untersuchungen zur Miniaturisierung von Induktionsgeneratoren.

Sonstiges:

Netzwerk-Administration.

Maucher, A.

Lehre:

Betreuung der Übungen in KL 3/4, Testatgruppen.

Betreuung des Spezialisierungsfachpraktikums „Spritzgießen“.

Betreuung von Studienarbeiten.

Forschung:

Steigerung der Energieeffizienz induktiv-variothermer Spritzgusswerkzeuge durch geeignete Temperatur- sowie Wirbelstromführung.

Untersuchungen zur Miniaturisierung von Induktionsgeneratoren.
Konstruktion und Aufbau eines induktiv-variothermen Spritzgusswerkzeugs zur Herstellung von Stents aus Kunststoff. Untersuchungen zur Herstellung von stentartigen Strukturen mittels eines induktiv-variothermen Spritzgussverfahrens.

Sonstiges:

Netzwerk-Administration.

Schönherr, M.

Lehre:

Betreuung der Übungen in KL 3/4, Testatgruppen.

Erstellung und Korrektur der Prüfungsaufgabe „Getriebe“ in KL 3/4.

Erstellung und Korrektur der Testataufgabe „Getriebe“ in KL 3/4.

Erstellung und Korrektur der Testataufgaben „Koppelgetriebe“ in KL 3/4.

Betreuung des Spezialisierungsfachpraktikums „Praktische FEM-Simulation mit ANSYS® und Maxwell“, Vortrag sowie Betreuung von Prüfungsaufgaben.

Betreuung des Spezialisierungsfachpraktikums „Spritzgießen“.

Betreuung des Praktikums „Geräuschmesstechnik“ in „GFF“.

Betreuung von Studien- und Bachelorarbeiten.

Forschung:

Messung von Entformungskräften unterschiedlicher Kunststoff-Beschichtung-Paarungen.

Messung von Oberflächenspannungen diverser Beschichtungen.

Simulative Auslegung geeigneter Probengeometrien zur Messung adhäsionsbedingter Zugkräfte.

Sonstiges:

PC-Administration, Lizenzadministration.

5 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

5.1 Veröffentlichungen

Artikel oder Tagungsbeiträge:

Maucher, A.: „Weniger ist mehr! Optimierung der induktiven Temperierung von Spritzgusswerkzeugen durch gezielte Ausrichtung der Erwärmung“. Zeitschrift Kunststoffe 02/ 2018.

Maucher, A.: „Less is more! Induction Heating of Injection Molds Can Be Optimized by Targeted Heating of Specific Mold Areas“. Zeitschrift Kunststoffe international 01-02/ 2018.

Maucher, A.: „Induktive Werkzeugtemperierung optimiert einsetzen“. Zeitschrift MaschinenMarkt online-Ausgabe 10/2018.

Raab, M.; Schinköthe, W.: „Active Gravity Compensation Actuator using the Multistability of Magnetic Shape Memory“. ACTUATOR 18 International Conference and Exhibition on New Actuators and Drive Systems, 25.-27.06.2018, Bremen.

Raab, M.; Schinköthe, W.: „Aktuatorvorrichtung zur multistabilen Positionierung“. Patentanmeldung DE102018118927.3 vom 03.08.2018.

5.2 Doktorandenkolloquien

Raab, Markus: Gewichtskraftkompensierte feinwerktechnische Schwebeantriebe bei variierenden Lasten, 04/2018.

5.3 Gremienarbeit

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe:

Mitglied des Wissenschaftlichen Beirates der Zeitschrift Mechatronik F&M

Mitglied im Kuratorium der Gustav Magenwirth Stiftung, Bad Urach

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

Mitglied des Beirats der GMM

Fachbereichsleiter Fachbereich 3 Feinwerktechnik und Mechatronik

Mitglied des Fachausschusses 3.3 Elektrische Geräte- und Stellantriebe

Programmausschuss Tagung Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik.

5.4 Tag der Wissenschaft

Hier geht es dem Dreck an den Krägen

Kleine Kehrmaschinen mussten mit Blättern, Dosen und Hundehaufen kämpfen, die Konstrukteurinnen und Konstrukteure mit der „Gewissens“-Entscheidung – Gulli, Straße, Mülleimer oder einfach rüber zum Nachbarn?



Mit einer ganz und gar schwäbischen Aufgabe – der Kehrwoche – beging der Konstruktionswettbewerb des Instituts für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik der Universität Stuttgart sein 25-jähriges Jubiläum.

Dieses Jahr mussten die studentischen Maschinen in zwei Durchgängen „ihren“ Gehweg sauber räumen. Im ersten Durchgang, noch ohne direkten Vergleich zum Nachbarn, blieb da so manches liegen. Im direkten Wettkampf mit einem Nachbarn wurde aber sehr gründlich geputzt.

Wie immer mussten die studentischen Teams einige Einschränkungen bei Gewicht und Größe der Maschinen und bei der Energieversorgung beachten.

Wegräumen mussten die „autonomen“ Maschinen den ganz alltäglichen Dreck, wie Blätter, Dosen, Äpfel, Zigaretten und Hundehaufen. Das Ganze konnte dann entweder ordentlich in den Mülleimer oder einfach auf die Straße oder in den Gulli entsorgt werden. Klar, ordentliche Arbeit wurde besonders belohnt und wer dann auch noch die Münze unter dem Dreck fand, bekam zusätzliche Punkte.

Die Teams mit den besten acht Maschinen kamen in den zweiten Durchgang und konnten nun zeigen, wie gut sie sich mit ihrem Nachbarn verstehen. Nur die klebrigen Hundehaufen blieben im Finallauf liegen und so entschied nur ein kleiner taktischer Unterschied über den ersten Platz.

Rotierende Bürsten, kehrende Arme, scharfkantige Schaufeln - es wurden wieder sehr unterschiedliche Ideen von den studentischen Teams gewählt und es zeigte sich, dass nicht alle anfänglich gut wirkenden Ideen in der kurzen Bearbeitungszeit der Aufgabe so umsetzbar sind, dass sie zum Sieg führen.



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

Arburg GmbH & Co, Bilz Werkzeugfabrik GmbH & Co. KG, Carl Hanser Verlag GmbH & Co, Christian Bürkert Stiftung gGmbH verbunden mit der Christian Bürkert GmbH & Co. KG, Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG, Dr. Ing. Paul Christiani GmbH & Co KG, G. Ulmer Automation GmbH, Gustav Magenwirth Stiftung gem. GmbH verbunden mit der GUSTAV MAGENWIRTH GmbH & Co. KG, Hauni Maschinenbau GmbH und Verlag Europa-Lehrmittel Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG.

Ergebnisse:

1. Platz: Benedict Ehrhardt, Miro Holstein, Stephanie Mrzyglod, Maximilian Ziegler.
2. Platz: Jan Gärtner, Gibran Khoury, Leonhard Kölz, Nora Lösch.
3. Platz: Philip De Righetti, Melih Disli, Richard Fuchs, Lisa Wamsler.

6 KONGRESSE, TAGUNGEN UND MESSEN

Burkard, E.:

- FAKUMA, Internationale Fachmesse für Kunststoffverarbeitung, Friedrichshafen, 18.10.2018

Litwin, T.:

- Autodesk University, Darmstadt, 17.10.2018
- FAKUMA, Internationale Fachmesse für Kunststoffverarbeitung, Friedrichshafen, 18.10.2018
- Weiterbildungsseminar „Wissenschaftliches Schreiben“ am ZLW Universität Stuttgart, 15./16.11.2018
- Weiterbildung Moldflow, Darmstadt, 26.-29.11.2018

Maucher, A.:

- AMB Internationale Ausstellung für Metallbearbeitung, Stuttgart, 19.09.2018
- FAKUMA, Internationale Fachmesse für Kunststoffverarbeitung, Friedrichshafen, 18.10.2018

Mittag, M.:

- Autodesk University 2018, Darmstadt, 17.10.2018
- Weiterbildungsseminar „Wissenschaftliches Schreiben“ am ZLW Universität Stuttgart, 15./16.11.2018

Raab, M.:

- ACTUATOR 18 International Conference and Exhibition on New Actuators and Drive Systems, Bremen, 25.-27.06.2018

Schiele, F.:

- Polytec Anwenderkonferenz, Waldbronn, 13./14.11.2018
- ACTUATOR 18 International Conference and Exhibition on New Actuators and Drive Systems, Bremen, 25.-27.06.2018

Schönherr, M.:

- ARBURG Institutsexkursion, Loßburg, 07.05.2018
- Autodesk University, Darmstadt, 17.10.2018
- FAKUMA, Internationale Fachmesse für Kunststoffverarbeitung, Friedrichshafen, 18.10.2018

- Weiterbildungsseminar „Wissenschaftliches Schreiben“ am ZLW Universität Stuttgart, 15./16.11.2018
- Weiterbildung Moldflow, Darmstadt, 26.-29.11.2018

Strohmeyr, S.:

- Vortrag an der Electric Drives Production Conference in Schweinfurt, 04./05.12.2018

7 WERKSTATTBERICHT

Mit Arbeiten zur Herstellung von Bauteilen und Baugruppen für Versuche im Rahmen von studentischen Arbeiten und Dissertationen war die Institutswerkstatt auch in diesem Berichtsjahr wieder vollständig ausgelastet.

8 ANHANG - Ausgewählte Veröffentlichungen

In diesem Jahr verweisen wir exemplarisch auf zwei Veröffentlichungen, einerseits zur Auslegung von Antriebsspulen inkl. Spulendesign und andererseits aus dem Präzisions-spritzguss mit induktiver Temperierung „Weniger ist mehr“.

Strohmeyr, S.; Schinköthe, W.; Gadegast, S.: Design of Printed Circuit Board Coils for Precision Engineering Linear Direct Drives, Electric Drives Production Conference in Schweinfurt, 04./05.12.2018.

Maucher, A.; Schinköthe, W.: Weniger ist mehr; Kunststoffe 2/2018, Hanser Verlag, S. 49-52.

Design of Printed Circuit Board Coils for Precision Engineering Linear Direct Drives

Simon Strohmeyr M.Sc.
Institute of Design and Production in
Precision Engineering
University of Stuttgart
Stuttgart, Germany
simon.strohmeyr@ikff.uni-stuttgart.de

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe
Institute of Design and Production in
Precision Engineering
University of Stuttgart
Stuttgart, Germany
schinkoethe@ikff.uni-stuttgart.de

Simon Gadegast B.Sc.
Institute of Design and Production in
Precision Engineering
University of Stuttgart
Stuttgart, Germany

Abstract—Aiming at high forces at low space in linear direct drives, favorable heat transfer conditions and high copper filling factors of the coils are of central importance [1]. For this reasons coils are mainly made of round copper wire and subsequently casted with impregnating resins or epoxy resins to increase stability and thermal conductivity. However, there are alternatives such as coils with rectangular wire, casted coils [2] or PCB (printed circuit boards) coils [3]. Due to the geometric design of linear direct drives PCB coils can be an alternative [4]. In this paper a coil in printed circuit board design is presented. The development and the process, from the selection of suitable PCB designs to optimization, assembly and comparison with conventionally round wire coils, is described. A linear direct drive is designed to compare the force-displacement characteristics and the increase of the temperature in static operation of the two types of coils. Slightly lower temperature of the overall system at the same mechanical motor parameters can be achieved with the PCB coil.

Keywords—PCB coil; linear direct drive; copper filling factor

I. INTRODUCTION

In contrast to rotary motors, which require a rotary-translation converter to generate linear movements, linear direct drives can generate a linear movement directly. Using an additional displacement measuring system and a closed loop control, high positioning accuracy and high dynamics can be achieved at the same time [5]. The operating principle is based on the Lorentz force. With this physical principle, a large number of linear drives can be designed, which can be distinguished according to the type of commutation, the polarity, the excitation of the magnetic field, the type of moving components and other criteria. A commonly used linear direct drive in industry is the ironless linear drive seen in Fig. 1.

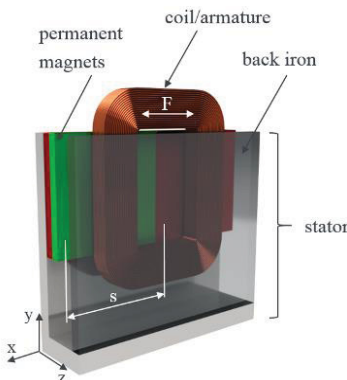


Fig. 1. Design of a linear direct drive (linear guidance not shown)

Fig. 1 shows a homopolar drive with permanent-magnetically excited magnetic field and moving coil as armature. Simplified, this consists of two permanent magnets, a linear guidance to which the self-supporting coil is attached and the back iron for guiding the magnetic flux. The critical and limiting factor of a drive is usually the permissible temperature increase of the coil due to the ohmic losses during operation. The main problem of the power design is therefore the dissipation of the occurring power losses of the coil.

For this reason it is very important to know the required forces, the operating modes and the switch-on and switch-off times as precisely as possible in order to be able to adapt the drive and the coil system to the required conditions in the best possible way. The geometry of the coil must be redesigned for each new developed linear drive. The following Fig. 2 shows an example of the coil geometry required for this type of linear direct drive.

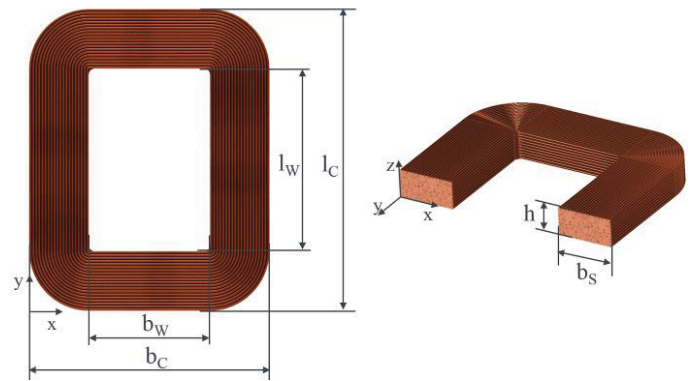


Fig. 2. Geometry of a coil for linear direct drives

The outer dimensions of the coil are the width b_C , the length l_C and the height h . The coil window consists of the width b_W and the length l_W . The winding slot, shown in cross-sectional view at the figure on the right, is composed of the height h and the width b_S . Based on this dimensions a PCB coil can be used instead of a round copper wire coil (see [6]). The question arises whether a PCB coil can provide the same or perhaps even better performance than a coil made of round wire. Therefore the printed circuit board technologies are examined in more detail and compared with each other.

In the following, the selection of the PCB technology and the design of the PCB coil will be discussed.

II. SELECTION OF THE PCB TECHNOLOGY

In a first step different PCB technologies, suitable for the assembly of coils in precision engineering drives, are considered. In order to have reasonable flux density in the air gap of the motor, a coil thickness between 2.5 mm and 3 mm is set as target size. The selection of a suitable PCB technology essentially takes place on two levels. In the x-z plane, which represents the thickness of the coil, the different materials and their layer thicknesses are of interest (see Fig. 3 ff.), while in the x-y plane, which is the length and width of the coil, the structuring of the individual copper layers and the distances between two traces are relevant. For this application several PCB designs have been investigated in detail. The copper filling factor is used to compare the various PCB designs. It is the ratio of the area of copper and the cross section of the winding slot of the coil (see Fig. 2).

A. Double-layer PCB

The possible copper content in the x-z plane is investigated in consideration of the design rules of different PCB technologies and the technically feasible copper and insulation material thickness. The design rules are usually defined by the respective manufacturers themselves and can change slightly. However, basic requirements and orders of magnitude can generally be transferred. Fig. 3 shows a double-layer PCB with a typical copper layer thickness of 35 μm up to 400 μm on both surfaces of the substrate [7]. The substrate in general is fiberglass impregnated with resin, but can also be made of other materials such as polyimide.

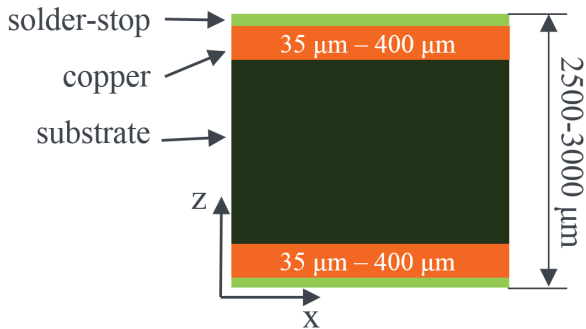


Fig. 3. Construction of a double layer PCB

An insulating varnish, also called solder-stop, is applied to the surfaces of the copper layers. The layer thicknesses of the solder-stop is about 20-45 μm . With a total thickness of 2.5 mm – 3 mm of the PCB a copper content in the x-z plane of approx. 27 % - 32 % can be achieved.

B. Multi-layer PCB

In contrast to double layer PCBs, multi-layer PCBs consist of several layers of copper and prepreg (fiberglass impregnated with resin) material. Up to 48 layer copper and more are possible [8]. An example of a 4-layer PCB [9] is shown in Fig. 4.

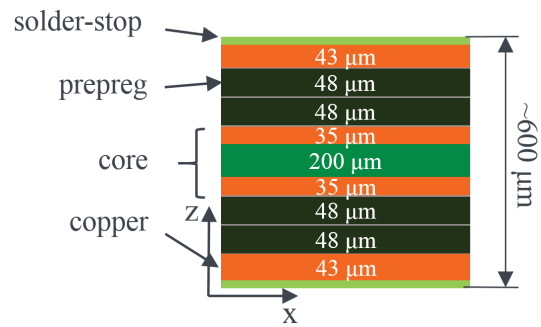


Fig. 4. Construction of a 4 layer PCB

In the middle of the PCB is the core, a pre-pressed compound of prepreg and two layers of copper. On top of the core two prepreg layers are used to give the circuit board the necessary stability. The finish of the multilayer PCB is an additional layer of copper and solder-stop, as described in the design of the double layer PCB. If additional layers are required, a further core with two copper layers and another two prepreg layers are added. This is repeated until the desired number of layers or PCB thickness is reached. A design with only one layer of prepreg is also possible, but then a thicker core must be selected. The layer thicknesses of core, prepreg material and copper thickness are interdependent and must be considered in their entirety. The copper content in x-z plane in this example is approx. 25 %, but can be increased by selecting appropriate layer thicknesses.

C. Thick-copper PCB

Thick-copper circuit boards represent a special form of double- and multilayer PCBs. The construction is very similar to the already presented circuit board construction forms, but with significantly greater layer thicknesses of copper. In general copper layer thicknesses of up to 400 μm are offered for inner and outer layers. However, there are also manufacturers offering copper thicknesses of 1000 μm [8] and 2000 μm [10]. With thick copper circuit boards, the achievable copper filling is strongly dependent on the number of layers and the copper layer thicknesses associated with them. A detailed indication of the achievable copper filling factors is difficult due to the large number of manufacturers and the large number of special designs. However, filling factors of 55 % and more can be achieved [11].

D. Foldflex PCB

Another form of printed circuit board production is the so-called folding flex method [12]. The printed circuit boards are first structured in double layer construction and sealed with solder-stop. Afterwards, the PCB is folded at the intended bends and glued together in the last step. This creates a multilayer PCB from initially individual double layer PCBs. A segment consists of a polyimide core with copper layers applied on both sides and a flexible solder-stop on top of the copper layers as shown in Fig. 5. The polyimide core can assume very small layer thicknesses of 25 μm with simultaneous high copper layer thicknesses of 105 μm . A high copper content in the x-z plane of up to 75 % can also be achieved.

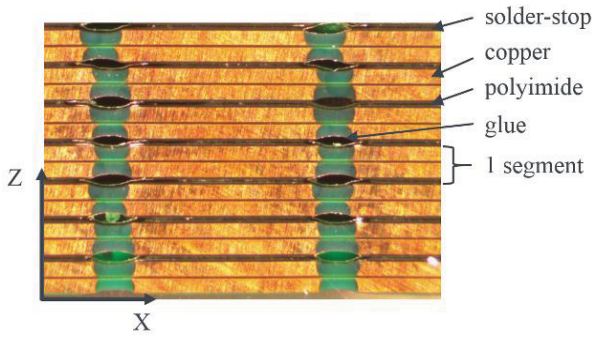


Fig. 5. Cross section of a PCB coil with Foldflex technology

E. Interaction between conductor tracks and copper thickness

However, not only the copper filling in the x-z plane is important for an efficient PCB coil, but also the structuring of the conductor tracks in the x-y plane. By structuring the conductor tracks, the resistance of the coil can be adapted to the respective application, similar to round wire coils by using different wire diameters. The structure of the conductor tracks is mainly produced by isotropic etching of the copper. The thickness of the copper layer has a decisive influence on the etching process. During etching of the copper layers, the isotropically spreading etching medium forms circular structures, as shown in Fig. 6.

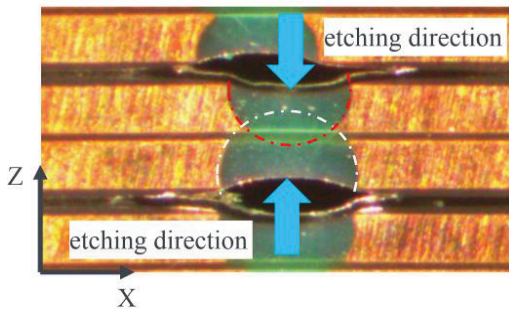


Fig. 6. Display of the etching directions using the example of a Foldflex circuit board coil

Therefore, the distance between the traces must be increased as the copper thickness increases. Otherwise the structure may be greatly under-etched or the copper layer may not be completely etched. The following table shows copper thicknesses and the respective minimum distances between two tracks.

TABLE I TRACK WIDTH AND CONDUCTOR SPACING [13]

Copper thickness	Min. conductor trace with inner layers	Min. conductor trace with outer layers
12 μm	75 μm	-
35 μm	100 μm	100 μm
70 μm	175 μm	175 μm
140 μm	300 μm	250 μm
400 μm	-	900 μm

Table I shows that with a copper thickness of 400 μm , a distance of 900 μm must be maintained between two tracks. If only a few conductor tracks are structured there will be a very low resistance of the coil due to the large conductor cross-section. This can be problematic, as high currents must be used to achieve the same resulting force in the drive. If, on the other hand, many tracks are structured to increase the resistance, the overall copper filling factor will drop

significantly. The construction of a PCB coil with very large layer thicknesses therefore does not make sense in the field of precision engineering, irrespective of the PCB technology. Thick-copper circuit boards, in double or multilayer construction, are therefore not investigated further.

In the example of a multilayer PCB, shown in Fig. 4, a copper filling of approx. 25 % for thin layers of copper will be achieved. As already discussed, the copper filling can be increased by suitable selection of material thicknesses, but the potential is not very high. In addition, the overall copper filling factor would again decrease significantly due to the structuring of the conductor tracks. In comparison, coils made of round copper wire achieve much higher overall copper filling factors as it will be shown later.

The Foldflex method can achieve even with thin copper layers a very high copper filling factor in the x-z plane. Therefore it seems to be a suitable choice for the structure of a PCB coil for linear direct drives in precision engineering.

The following section deals with the optimization of the total copper filling factor and the layout of the PCB coil.

III. OPTIMIZATION AND LAYOUT OF THE PCB COIL

The coil presented here is manufactured according to the process of the Foldflex technology of Würth Elektronik [12]. The copper filling factor is optimized using Matlab for an optimal design of the available coil dimensions. As already discussed in the previous section, both the x-y plane and the x-z plane must be considered as a whole. Dependent variables, e.g. the minimum distance between two traces, depend significantly on the copper thickness. Therefore, the optimum coil structure can only be determined by taking an overall view of the system. Fig. 7 below describes the procedure for creating the PCB coil.

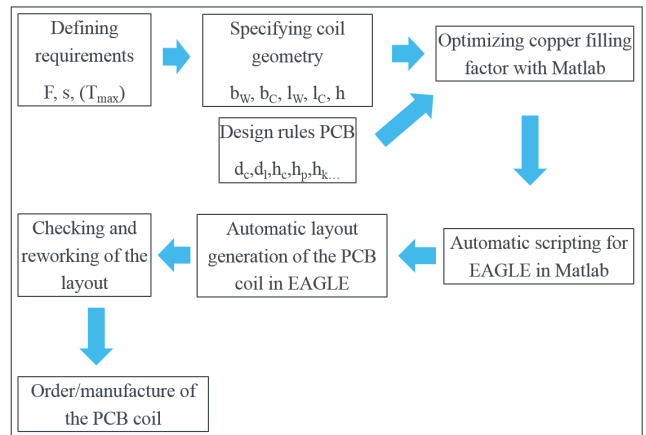


Fig. 7. Workflow PCB coil

After defining the requirements for the drive, such as the required force F and the displacement s , the optimum coil geometry is determined. The geometry includes, as shown in Fig. 2, the outer dimensions of the coil, the dimensions of the coil window and the height. Furthermore, a range of the allowable resistance of the coil must be specified. If no minimum resistance is specified, the optimum of copper filling corresponds to a full-surface formation of the copper layers. This in turn would lead to very small resistances and high currents. The design rules, such as the minimum distance between two conductors and the height of the copper layer, must be adapted to the PCB type as well as the

respective manufacturer's specifications. With the parameters of the coil geometry and the variables of the design rules the optimization, according to the copper filling factor, can be done.

After the optimization a script is automatically generated, in which the code for the PCB layout is contained. The script with the code can then be loaded into a PCB designer program e.g. Eagle in which the layout is generated automatically. At the final stage of the workflow is the check of the layout, if necessary reworking of the design and the manufacturing or order of the PCB coil. The described workflow, from the geometry of the coil to the optimized layout, can be automated in a very high degree. A further automation, from the geometry of the coil to the finished PCB coil with no mechanical adjustments in the PCB production, would be conceivable. This could lead to efficient and fast coil production.

After the workflow of the coil production the layout of the coil is described in the following. Fig. 8 shows two of a total of 9 segments (S1 and S2) of the finished PCB coil. On the left side of the figure the top layer is shown, in the middle the bottom layer and on the right side both layers combined are shown.

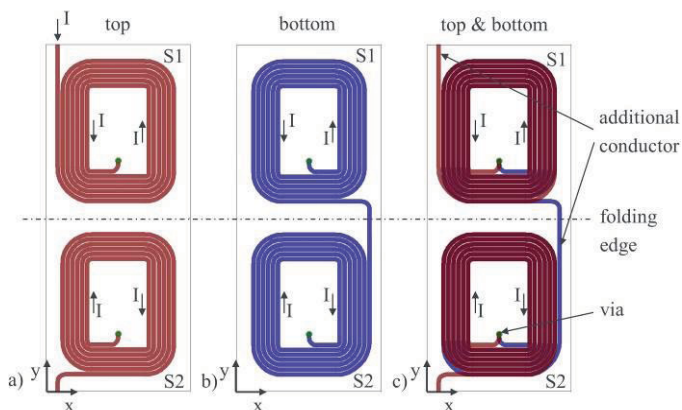


Fig. 8. PCB structure a) top Layer b) bottom Layer c) top and bottom Layer

Within a segment, the trace of the front side is connected to the trace of the back side with a via. However no via can be used across segments with this PCB technology. A trace from one segment to the other, across the segment boundary (folding edge), has to be considered in the layout. As a result, an additional conductor is required to ensure current return (see Fig. 8). The additional conductor also changes the geometric dimensions of the coil. This must be taken into account in the design and optimization of the PCB coil. A total of eight additional conductors are required in the structure of the coil. In the cross-section of the coil, see in Fig. 9, the additional conductors are evenly distributed on the left and right side. This ensures an even force generation of the coil.

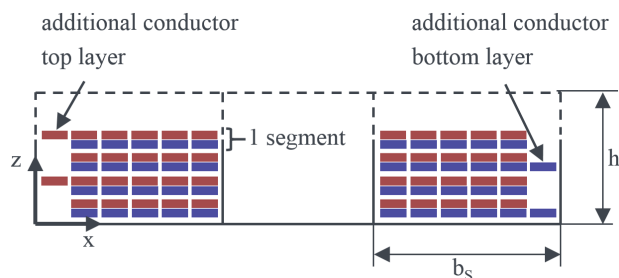


Fig. 9. Schematic of a cross-section of the PCB coil with additional conductor

However, the additional conductor influences the copper filling factor of the coil. Taking the additional conductor into account, the total copper filling factor of the coil is approx. 58 %. Without a factor of 63 % could be possible. The copper filling factor is nevertheless comparable to conventional round wire coils, which is shown in the following section.

IV. COMPARISON TO ROUND WIRE COILS

Self-supporting coils usually made of insulated round copper wire with an additional layer of bond coating, which gives the coil a certain stability after bonding. The design of a suitable coil made of round wire is an interaction of available operating voltage, the copper wire diameter and the resulting resistance, the geometric outer dimensions, the type of winding and the copper filling factor. The following Table II shows an excerpt from the DIN EN 60317. It contains the nominal diameters and the largest permissible diameters with insulation as well as the largest permissible diameters with insulation and bond coating.

TABLE II EXCERPT OF DIN EN 60317

Nominal wire diameter	Largest diameter with insulation	Largest diameter with insulation and bond coating
0.14 mm	0.16 mm	0.175 mm
0.355 mm	0.392 mm	0.413 mm
0.45 mm	0.491 mm	0.514 mm
0.56 mm	0.606 mm	0.63 mm
0.71 mm	0.762 mm	0.788 mm
0.8 mm	0.855 mm	0.882 mm

In order to get a comparable condition, the dimensions of the round wire coil are the same compared to the PCB coil with additional conductor. In addition the round wire coil is optimized due to the highest copper filling factor. Therefore an orthocyclic winding type is assumed [14].

The number of windings that fit into the specified coil window $h \cdot b_s$ (compare to Fig. 9) for different self-bonding wire diameters according to DIN EN 60317 (grade 1) is calculated during the optimization. Subsequently, the filling factor of the respective wire diameters is calculated and shown in the following Fig. 10.

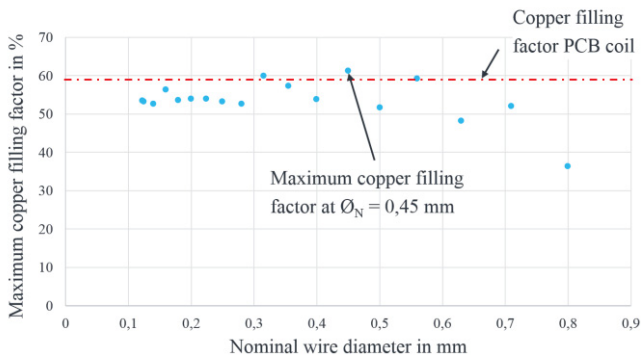


Fig. 10. Copper filling factor as a function of the nominal wire diameter for a defined bobbin window

As one can see, the copper filling factors vary depending on the wire diameter. The highest value is achieved with nominal diameter of $d = 0.45$ mm. Slightly below this is the value of the PCB coil.

However, due to tolerances, the actual copper filling factor of the round wire coil can drop down to 59 % and is thus slightly below the calculated value. The other components of the coil are insulation varnish, bond coating and air. Air inclusions account for 23 % of the total volume, the isolation varnish incl. bond coating for 18 %. Due to the high air content of the round wire coil and the poor heat conduction of air, the two coils are difficult to compare. In addition, the outer dimensions of the PCB coil are larger than those of the round wire coil. For this reasons the round wire coil is cast with epoxy resin, with a thermal conductivity of 1 W/mK [15] in a further step. Now they have the same dimensions and can be compared metrological with each other in the next step.

V. COMPARISON OF THE COILS IN A DRIVE

Both coils, round wire coil and PCB coil, are measured and compared in a homopolar linear direct drive as previously described. The design of the actuator is shown in Fig. 11. This consists of two back iron plates (second plate not shown in the illustration), four magnets, a linear guidance and the respective coil.

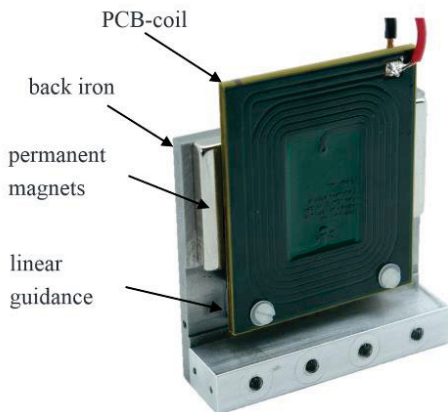


Fig. 11. Construction of the linear direct drive (half opened)

In a first test, the force-displacement characteristics (shown in Fig. 12) are recorded. The resulting winding amperes are set equal so that the two types of coils can be

compared directly with each other. Therefore slightly different current intensities are set due to the different number of windings or rather conductors.

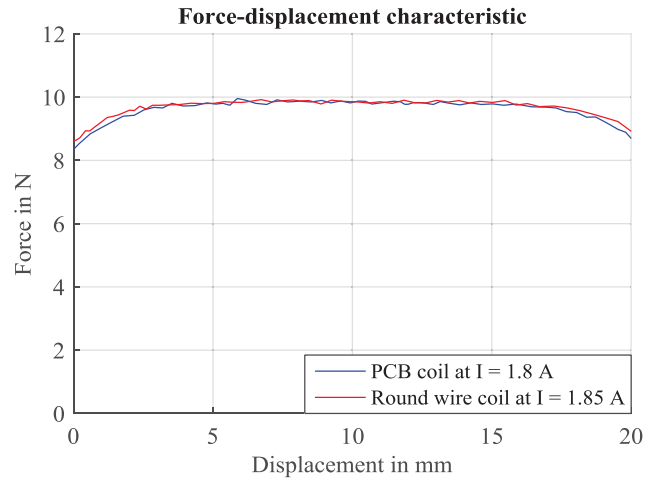


Fig. 12. Comparison of the force-displacement characteristic of the PCB coil and round wire coil

It turns out that both coils represent approximately the same force-displacement characteristic. The flattening of the force at the beginning and end of the curve is caused by the reduction of induction at the edges of the permanent magnets of the drive. However, this behavior is typical for this type of drives. The largest deviations are only 0.1 N and are negligibly small. As a result, both types of coils can generate the same forces.

However, not only the forces alone are of interest for the design of the drives. As already mentioned is the temperature increase of the coil due to the ohmic losses usually the limiting factor in the design of precision engineering drives. Therefore, a second test under static load is set up to obtain the temperature-time diagrams of the respective coils. For this test, the coils are fixed in the middle position of the drive. To achieve the same force in both motors, a current of 1.8 A is required in the PCB motor and a current of 1.85 A is required in the conventional design. The heating curves are shown in Fig. 13.

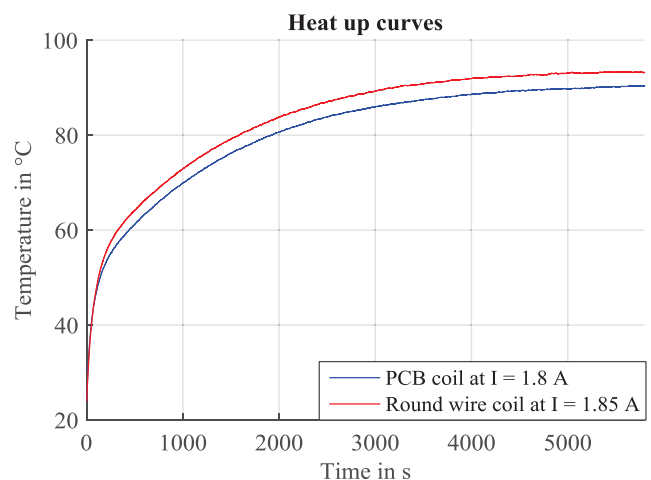


Fig. 13. Heating curves of the PCB coil and round wire coil in the drive

Both curve progressions are very similar. At the beginning of the measurement there is no significant difference. In the thermally stable state, the temperature of the PCB coil is 90°C and is thus around 3 K lower than the temperature of the round wire coil. The power input of the PCB coil of 7.7 W in the thermally stationary state, calculated from voltage and current, is also slightly lower compared to the round wire coil with 7.9 W.

VI. CONCLUSION AND PROSPECT

In this paper, different PCB technologies were compared for their suitability for precision engineering planar coils. The Foldflex method was chosen because of the high copper filling factors and the good aspect ratio of copper thickness to conductor spacing. The workflow how PCB coils can be designed effectively and quickly was described with which a very good automatability from the required coil geometry to the finished coil is given. Due to the high technical standards in PCB manufacturing, PCB coils can be manufactured very quickly and with high precision and repeatability. Changes to the coil design can be incorporated into production very quickly. As a result, machine downtimes and conversion costs can be minimized.

Furthermore, an optimized PCB coil was compared with an optimized round wire coil in a drive. The tests have shown that both, the power input and the temperature of the PCB coil, are lower while the mechanical properties of the drive remain constant. PCB coils can thus increase the performance of drives where round wire coils reach their limits.

Current research work deals with the increase of the copper filling factor in PCB coils as well as the improvement of the thermal heat dissipation in order to get even better performance of the drive.

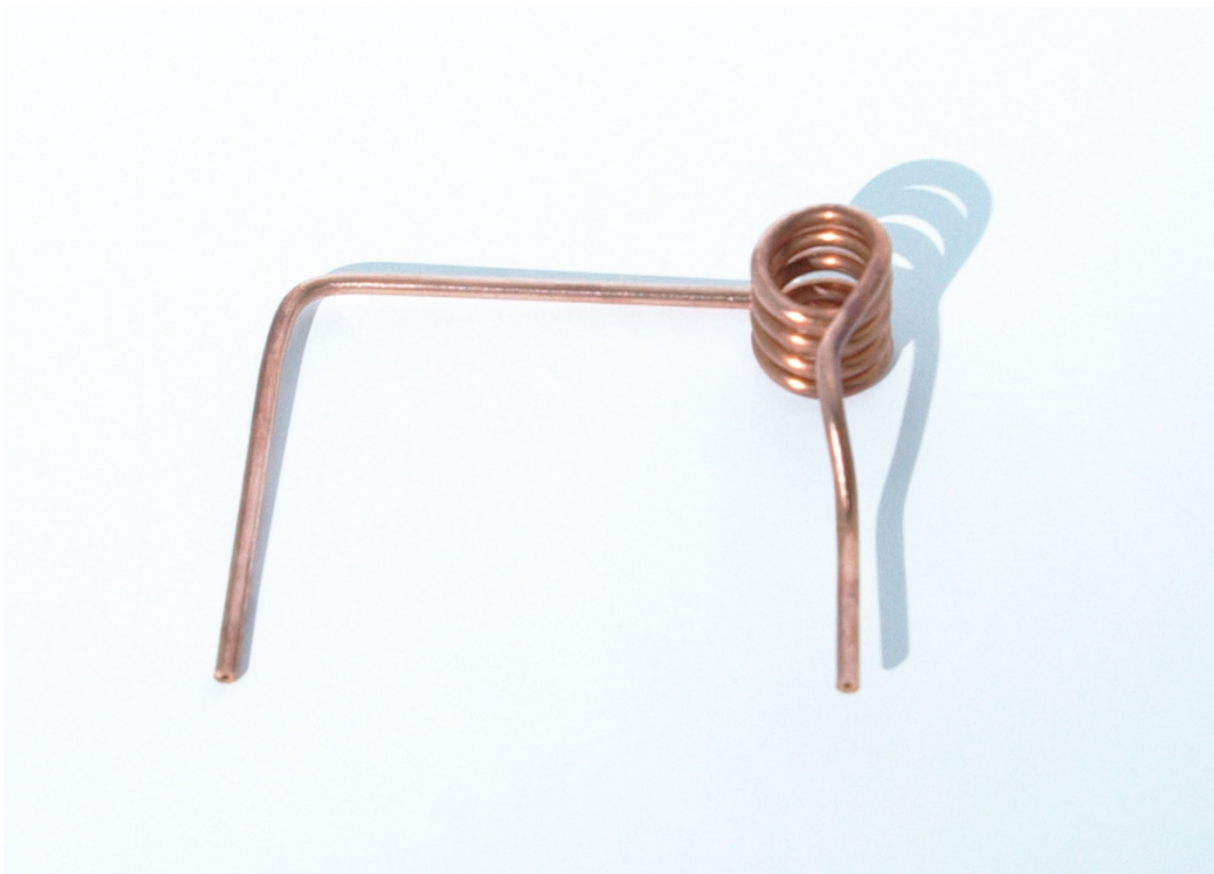
REFERENCES

- [1] E. Kallenbach, R. Eick, T. Ströhla, K. Feindt, M. Kallenbach, O. Radler: *Elektromagnete*, 5. Auflage Springer Vieweg Verlag, 2014
- [2] M. Gröninger, A. Kock, F. Horch, B. Ponick, M. Jakob, Cast coils for electrical machines and their application in automotive and industrial drive systems, *Electric Drives Production Conference EDPC*, 2014
- [3] M. Raab, A. Kazi, D. L. Trumper, Magnetically levitated BLDC motor as a modular teaching tool, *16th International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM)*, 2015
- [4] INA-Drives & Mechatronics GmbH & Co. KG, 03/2014 Brochure UPL-Series ,online, March 2018
- [5] H. Stölting, E. Kallenbach, W. Amrhein: *Handbuch elektrische Kleinantriebe*, 4. Auflage, Carl Hanser Verlag München, 2011
- [6] S. J. Botos, R. T. Novotnak; Aerotech, Inc.; *PRINTED CIRCUIT LINEAR MOTOR*, US patent 6,664,664, 2003 Dez. 16
- [7] Leiterplatten-Technische Möglichkeiten <https://www.limiter.com/limiterProject/index.php?lang=de&page=252>, 19-7-2018
- [8] <http://beratronic.com/index.php/leiterplatten/technologie>, 8-2018
- [9] Thick copper multilayer, 4 layers - 1.5/1.6 mm, https://www.ksg.de/de/Dickkupfer-Multilayer-4-Lagen---1-55-mm__1314/, 1-8-2018
- [10] Dickkupferleiterplatten und deren Einsatz, <https://www.electronicprint.eu/leiterplatten/dickkupfer-leiterplatte>, 1-8-2018
- [11] <https://www.schweizer.ag/de/produkteundloesungen/leistungselektronik/dickkupferboard.html>, 1-8-2018
- [12] Würth Elektronik, Foldflex®-Technology [online], 2012, 5-3-2018
- [13] <https://www.multi-circuit-boards.eu/en/pcb-design-aid/surface-conductor-copper-thickness.html>, 1-8-2018
- [14] J. Hagedorn, F. Sell-Le Blanc, J. Fleischer, *Handbuch der Wickeltechnik für hocheffiziente Spulen und Motoren*, Springer Vieweg Verlag, 2016
- [15] Wevopox 2511 FL, *Technisches Datenblatt*, Ausgabe 06/16

WENIGER IST MEHR!

A. Maucher¹, W. Schinköthe¹

¹IKFF, Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik der Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 9, 70569 Stuttgart
Tel.: +49 711 685-67472, Fax: +49 711 685-56402, E-Mail: maucher@ikf.uni-stuttgart.de



Einfacher Induktor zur Temperierung kleiner Schieberkavitäten. Durch eine orientierte Temperaturführung sowie die Beeinflussung der induzierten Wirbelströme lässt sich die Gestaltung der Induktoren vereinfachen.

Die induktive Temperierung von Spritzgießwerkzeugen lässt sich durch gezielte Ausrichtung der Erwärmung optimieren

Beim variothermen Spritzgießen ist neben anderen Verfahren die induktive Temperierung eine der schnellsten und effizientesten Methoden. Allerdings wohnt auch dieser Variante ein großes Potenzial inne, die Effizienz zu steigern. Durch eine gezielte Temperaturführung und Erwärmung klar abgegrenzter Bereiche lässt sich wertvolle Zykluszeit einsparen.

Zur Herstellung anspruchsvoller thermoplastischer Spritzgussteile reicht häufig ein isothermer Spritzgießprozess nicht aus. Daher kommen in solchen Fällen variotherme Spritzgießprozesse zur Anwendung. Für die zyklische Erwärmung der Werkzeuge gibt es unterschiedliche Möglichkeiten. Am Institut für

Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik (IKFF) der Universität Stuttgart bildet die induktiv-variotherme Prozessführung seit Mitte der 1990er Jahre einen zentralen Forschungsschwerpunkt. Hierbei gibt es unterschiedliche Anordnungs- sowie Gestaltungsvarianten, aber immer geht es darum,

eine gezielte und somit schnelle sowie energieeffiziente Erwärmung der gewünschten Bereiche zu erreichen. Die Induktoren können je nach Anforderung extern, also vor der zu erwärmenden Fläche, oder intern, also unmittelbar unter der Werkzeugoberfläche, angeordnet werden (**Bild 1**).

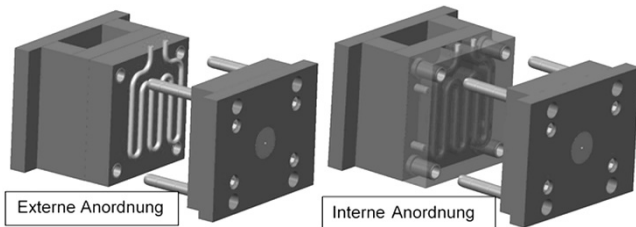


Bild 1: Je nach Anforderung empfiehlt sich eine externe (links) oder interne (rechts) Anordnung des Induktors

Eine externe Anordnung erfordert zusätzlich eine Vorrichtung zum Ein- und Ausfahren des Induktors in die Werkzeugmitte. Ein solches Handlingsystem kann die Induktoren genau vor der zu erwärmenden Fläche platzieren, die deshalb die Heizenergie allerdings nur bei geöffnetem Werkzeug einbringen können. Da sich die Wärme bereits beim Schließen des Werkzeugs verteilt und die Kavität somit vor Beginn des Einspritzens wieder abkühlt, ist der Energiebedarf höher als der Prozess es eigentlich verlangt.

Im Gegensatz dazu werden bei der internen Anordnung die Induktoren so kavitätsnah wie möglich in die Werkzeugplatte integriert. Dadurch kann die Kavität unabhängig von Maschinenöffnung und Zyklusphase aufgeheizt werden. In diesem Fall muss eine kurze Wärmeleitstrecke bis zur Kavitätsoberfläche überbrückt werden. Während dieser Zeit verteilt sich die Wärme nicht nur in Richtung Kavität, sondern in alle Richtungen. Darum wird bei dieser Variante wertvolle Zykluszeit sowie Energie bis zum Erreichen der gewünschten Oberflächentemperatur verschwendet, weil Teile des Werkzeugs unnötig erwärmt werden.

Temperaturführung durch Luftspalte

Um bei der internen Anordnung die Wärme gezielter in die gewünschte Richtung leiten zu

können, besteht die Möglichkeit, Spalte, bevorzugt dünne Luftspalte, in die Werkzeugplatten einzubringen. Diese Luftspalte „umrahmen“ den Bereich um den Induktor, so dass die Wärme nur in die vorgegebene Richtung abfließen kann (**Bild 2 rechts**). Eine Serie von Simulationen hat bestätigt, dass durch die Luftspalte die Wärme zwar rund um den Induktor erzeugt wird, aber gezwungenermaßen zunächst nur in Richtung Kavität abfließen kann. Erst nach Überwinden der Luftspalte verteilt sich die Wärme zunächst oberflächennah in alle Richtungen.

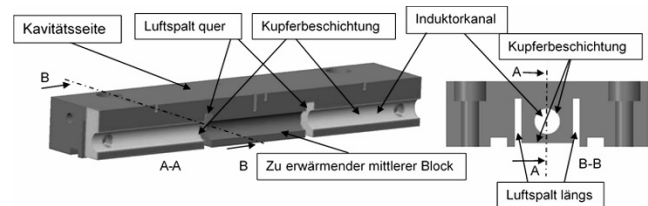


Bild 2: CAD-Modell eines Teils einer beschichteten Versuchsgeometrie im Schnitt. Links: Längsschnitt, rechts: Querschnitt. Der Induktor im Induktorkanal ist nicht dargestellt.

In realen Messungen eines Aufbaus mit Luftspalten zeigt sich dieser Vorteil sehr deutlich durch eine um mehr als 60% verkürzte Heizzeit gegenüber derselben Geometrie ohne Luftspalte. Außerdem verringert sich durch die geringere induzierte Wärmemenge bei einer solchen Anordnung auch die Kühlzeit um mehr als 60%.

Eine Kupferschicht dirigiert die induzierten Wirbelströme

Luftspalte können zwar die Wärme gezielt in Richtung Kavität führen, allerdings werden auf die gesamte Länge des Induktors Wirbelströme in die Platte induziert, die zu einer Erwärmung führen. Sollen induktornahe Bereiche von der Erwärmung ausgenommen werden, kann dies z.B. durch größere Abstände zwischen den Induktoren und den entsprechenden ferromagnetischen Teilen erreicht werden. Innerhalb der Induktorbohrungen ist dies nur möglich, wenn man die Bohrungsdurchmesser vergrößert. Allerdings gehen damit ein erhöhter Platzbedarf und eine zusätzliche Bauteilschwächung in Kavitätsnähe einher.

Um dies zu umgehen, lassen sich mit einer gut leitfähigen Oberflächenbeschichtung die induzierten Wirbelströme verlustärmer in Bereiche leiten, in denen eine Erwärmung gewünscht ist. Bei der hier verwendeten Versuchsgeometrie wird dafür Kupfer verwendet. Alle den Induktor umgebenden leitfähigen Teile, die nicht erwärmt werden sollen, werden mit dem Metall beschichtet.

Die induzierten Wirbelströme fließen aufgrund des Skin效ekts in den Randschichten der Kupferschicht, wo sie verlustarm fließen können. Sie sind in sich kurzgeschlossen und ihrer Ursache, dem Induktorstrom, entgegengerichtet (axial zum Induktor). Für das gezeigte Modell (**Bild 2**) bedeutet dies, dass sie sich, von der Kupferschicht ausgehend, über den mittleren zu erwärmenden Block sowie die Oberfläche (Trennebene) kurzschließen. In diesen beiden Bereichen ist eine Erwärmung erwünscht und daher die Kupferschicht unterbrochen, weshalb die Wirbelströme nun über ein Material mit höherem ohmschen Widerstand fließen. Als Folge steigen die ohmschen Verluste und verstärkt sich die Erwärmung in diesen Bereichen.

Da die Wirbelströme frequenzabhängig bis auf eine bestimmte Skintiefe verdrängt werden, muss die Kupferschicht in den „kühlen“ Bereichen mindestens die Dicke dieser Skintiefe einnehmen. Ist die Kupferschicht zu dünn, können die Wirbelströme nicht vollständig in die Beschichtung verdrängt werden, sodass ein Anteil der Wirbelströme mit hoher Stromdichte im ferromagnetischen Material fließt. In diesem Fall erwärmt sich auch der beschichtete Bereich [1].

Kombination der beiden Varianten

Der im Schnitt gezeigte Teil einer Versuchsgeometrie stellt die Kombination der beiden vorgestellten Varianten dar (**Bild 2**). Zum einen werden die induzierten Wirbelströme durch die Kupferbeschichtung geführt, sodass sie sich in der Mitte der Platte über den Stahl kurzschließen. Hierbei erwärmen die in diesen Bereich geführten Wirbelströme den mittleren nicht beschichteten Block. Zum anderen werden dadurch die Bereiche der Platte, in denen keine Erwärmung gewünscht ist, von

den Wirbelstromverlusten „isoliert“. Ebenso werden Wirbelströme und somit thermische Energie direkt im nicht beschichteten Bereich induziert. Um die Ausbreitung der dabei entstehenden Wärme auf den mittleren Bereich zu orientieren, wurden längs zum Induktorkanal Luftspalte angeordnet.

Ein qualitativer Vergleich zweier Simulationen – einmal mit einer Leiste ohne Luftspalt und ohne Beschichtung, nachfolgend vereinfachend Vollmaterial genannt, und einmal mit der beschichteten Luftspaltleiste – verdeutlicht, dass letztere im mittleren unbeschichteten Block hohe ohmsche Verluste in Folge der induzierten Wirbelströme verzeichnet und sich dieser Bereich somit erwärmt. In den kupferbeschichteten Bereichen tritt in der Simulation keine Erwärmung auf. Die Wärmeleitung in die umgebenden Bereiche ist bei der unteren Geometrie im Vergleich zur oberen Vollmaterial-Geometrie durch die eingebrachten Luftspalte stark verringert (**Bild 3**).

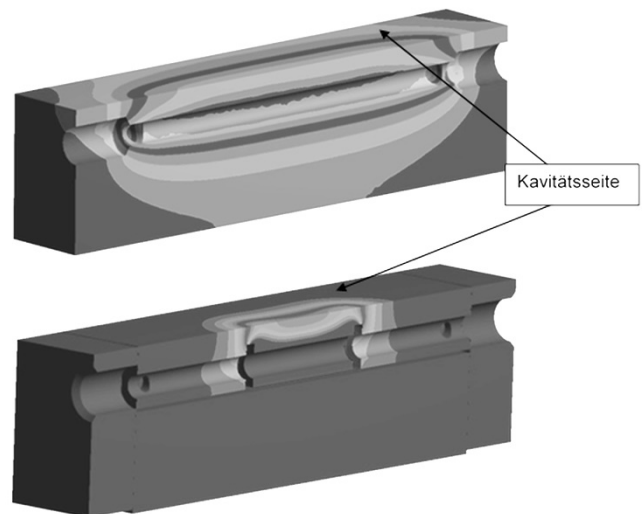


Bild 3: Qualitativer Vergleich der thermischen Simulationen einer Vollmaterial-Leiste (oben) und einer mit Kupfer beschichteten Luftspaltleiste (unten). Letztere erwärmt sich nur im mittleren unbeschichteten Block.

Messungen am realen Aufbau

Im realen Aufbau der Versuchsgeometrie sind an der Oberfläche mehrere Bohrungen angebracht, um die Temperaturverteilung an den relevanten Stellen messen zu können (**Bild 4**).

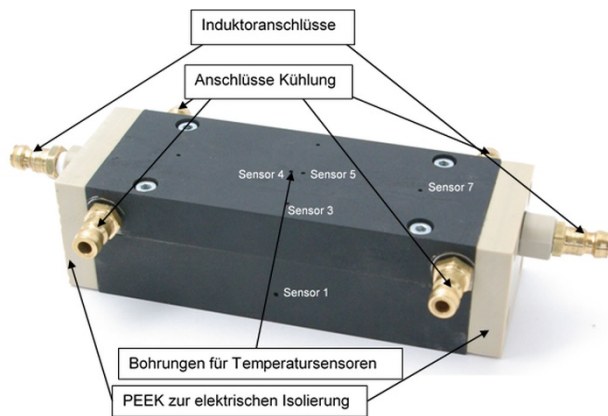


Bild 4: Realer Versuchsaufbau aus dem Werkzeugstahl 1.2312 (schwarz lackiert). In den Bohrungen lässt sich der Temperaturverlauf messen.

Die Messergebnisse (**Bilder 5 und 6**) bestätigen die bereits erläuterten Erkenntnisse. An den Sensoren 4 und 5 lässt sich ablesen, dass der mittlere unbeschichtete Bereich deutlich wärmer wird als die umliegenden Bereiche (**Bild 6**). Sensor 4 ist in der Nähe des Induktors angeordnet und Sensor 5 oberflächennah. Durch die um den Induktor angeordneten Luftspalte lässt sich die Wärmeausbreitung in die senkrecht zur Stromrichtung gelegenen Randbereiche (Sensor 3) zunächst aufhalten. Erst mit Überwinden der Luftspalte verteilt sich die Wärme auch nach außen.

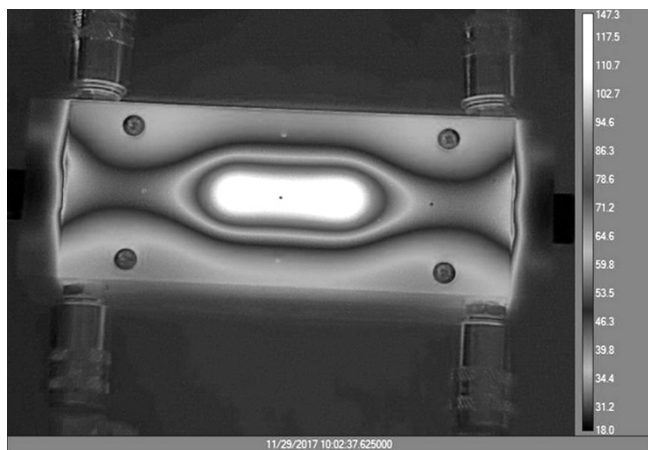


Bild 5: Thermografieaufnahme der beschichteten Versuchsgemetrie. Das Bild zeigt eine induktive Erwärmung des mittleren Bereichs einer beschichteten Luftspaltleiste.

Sensor 7 zeigt die Temperatur an der Außenseite in axialer Richtung. Auch dort sammelt sich, im Vergleich zur Mitte, wesentlich weniger Wärme, weil die Wirbelströme in diesen Bereichen durch die Kupferbeschichtung verlustarm geführt werden. Die Erwärmung der

Kupferschicht lässt sich nicht vollständig verhindern, da auch dort Verluste auftreten, sie ist bei ausreichender Schichtdicke jedoch sehr gering. Bei dieser Versuchsgeometrie war es aus prozesstechnischen Gründen nicht möglich, die Kupferschicht innerhalb der Induktorbohrungen in ausreichender Dicke aufzutragen; daher treten auch in diesem Bereich etwas höhere Verluste auf.

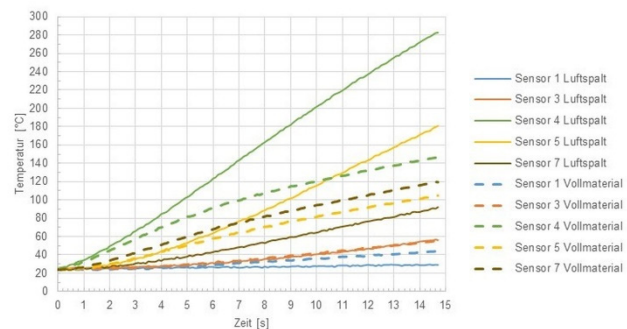


Bild 6: Verschiedene Messpunkte der induktiven Erwärmung der kupferbeschichteten Leiste mit Luftspalt im Vergleich zu einer sogenannten Vollmaterial-Leiste. Der Temperaturverlauf für Sensor 3 ist für beide Varianten deckungsgleich.

In der Grafik (**Bild 6**) ist zum Vergleich zusätzlich der Temperaturverlauf einer Versuchsgeometrie gleicher Abmaße ohne Luftspalte und Kupferbeschichtung dargestellt. Bei gleicher eingebrachter Leistung registrieren die Sensoren 4 und 5 in derselben Zeit eine deutlich geringere Erwärmung an der Oberfläche. Wohingegen beim Erreichen derselben Zieltemperatur die Sensoren in den äußeren Bereichen (1, 3 und 7) eine höhere Temperatur anzeigen, weil keine Führung der Temperatur vorhanden ist.

Schneller zum Ziel mit weniger Einsatz

Mithilfe isolierender Luftspalte um den Bereich des Induktorkanals kann die von der Kanalwandung ausgehende Erwärmung gezielt in Richtung Kavität geführt werden. Alle anderen Richtungen werden dadurch zunächst blockiert. Auf diese Weise lässt sich die notwendige Heizzeit zum Erwärmen der gewünschten Bereiche bei gleicher eingebrachter Leistung wesentlich verkürzen.

Werden nun zusätzlich Bereiche, die keiner Erwärmung bedürfen (z.B. Induktorzuleitungen oder nicht prozessrelevante Werkzeugbereiche), mit gut leitfähigen Oberflächen geeigneter Dicke beschichtet, lässt sich die eingebrachte Wärmeenergie zusätzlich fokussieren und damit reduzieren. Beide Maßnahmen haben schlussendlich neben einer verbesserten Energiebilanz einen großen Einfluss auf die notwendige Kühlzeit, weil insgesamt weniger thermische Energie benötigt wird. Dies befördert eine höhere Energieeffizienz des induktiven Verfahrens sowie insgesamt schnellere Zyklen.

Literatur

[1] DE102016102415A1: Vorrichtung und Verfahren zur Herstellung von Werkstücken aus Kunststoff (2017) Maucher, A.; Retzbach, A.; Schinköthe, W.