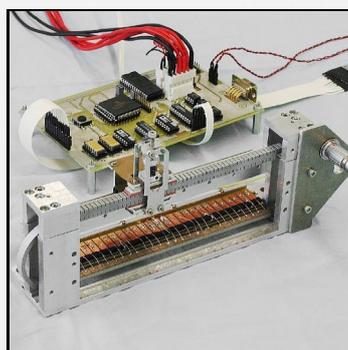
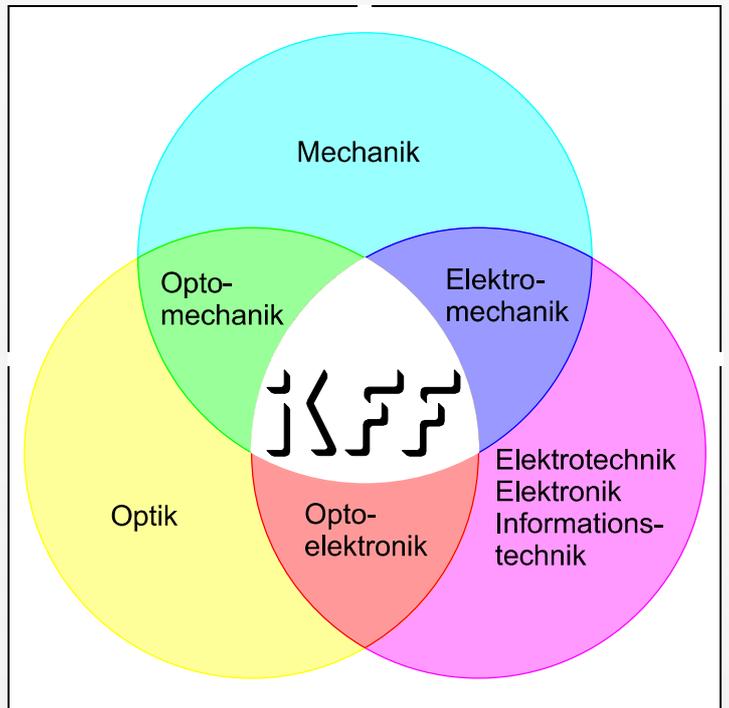
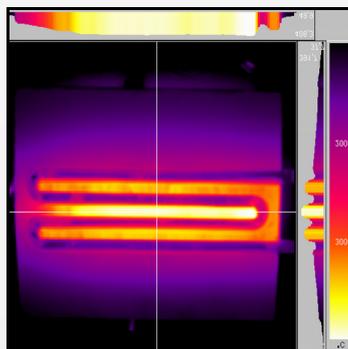
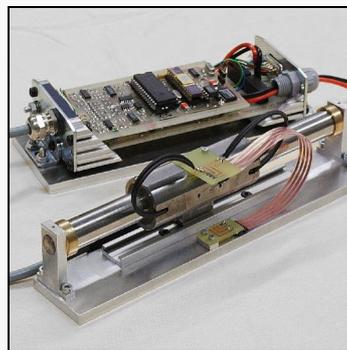
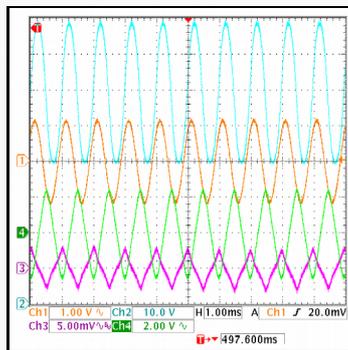
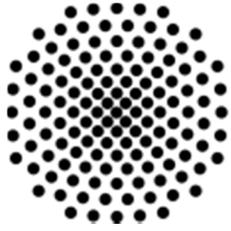


Festschrift 50 Jahre IKFF



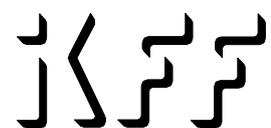


Universität Stuttgart

Festschrift

50 Jahre IKFF

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 685-66402
Fax: 0711 685-56402
E-Mail: ikff@ikff.uni-stuttgart.de
Internet: <http://www.uni-stuttgart.de/ikff/>

Redaktion:

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe
Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik, April 2017

1	Vorwort	1
2	Historie des Institutes	2
2.1	Das erste Jahrzehnt - die Aufbauphase 1967 - 1976.....	2
2.2	Emeritierung von Herrn Prof. Stabe und Berufung von Herrn Prof. Jung - die zweite Phase der Institutsgeschichte 1977 - 1995	3
2.3	Emeritierung von Herrn Prof. Jung und Berufung von Herrn Prof. Schinköthe - das Institut von 1993/1995 bis heute.....	7
2.3.1	Lehre am IKFF von 1993/1995 bis 2017 in der Kurzübersicht.....	7
2.3.2	Forschung am IKFF von 1993/1995 bis 2017 in der Kurzübersicht ...	13
2.3.3	Der Brand im Pfaffenwaldring 9 im Jahre 2014 und seine Auswirkungen für das IKFF.....	19
2.3.4	Jubiläen	20
3	Die Lehre am IKFF heute.....	22
3.1	Lehre am IKFF im Detail	24
4	Konkrete Forschungsgebiete und Forschungsarbeiten am IKFF	27
4.1	Aktorik am IKFF - Elektrodynamische Lineardirektantriebe	27
4.2	Aktorik am IKFF - Piezoelektrische Antriebe.....	40
4.3	Präzisionsspritzgießen am IKFF - Induktionserwärmung zur variothermen Prozessführung	44
4.4	Präzisionsspritzgießen am IKFF - Entformungskraftuntersuchungen	50
4.5	Zuverlässigkeit feinwerktechnischer mechatronischer Systeme	52
5	Publikationen	55
5.1	Habilitationen/Dissertationen	55
5.2	Ausgewählte weitere Publikationen	58
5.2.1	Veröffentlichungen im Arbeitsgebiet Konstruktionsmethodik und zum IKFF (Auswahl)	58
5.2.2	Veröffentlichungen im Arbeitsgebiet Aktorik - Elektrodynamische Antriebe (Auswahl).....	58
5.2.3	Veröffentlichungen im Arbeitsgebiet Aktorik - Piezoelektrische Antriebe (Auswahl).....	61
5.2.4	Veröffentlichungen im Arbeitsgebiet Präzisionsspritzgießen - Induktionserwärmung zur variothermen Prozessführung (Auswahl)..	62
5.2.5	Veröffentlichungen im Arbeitsgebiet Präzisionsspritzgießen - Entformungskraftuntersuchungen (Auswahl)	65
5.2.6	Veröffentlichungen im Arbeitsgebiet Präzisionsspritzgießen - Weitere Aspekte (Auswahl)	65

5.2.7	Veröffentlichungen im Arbeitsgebiet Zuverlässigkeit feinwerktechnischer Antriebe (Auswahl)	66
5.3	Patente.....	67
5.4	Umfangreiche, schriftliche Lehrmaterialien	68

1 Vorwort

50 Jahre „Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik“ sind Anlass für eine kurze Rückschau, für eine Standortbestimmung, für die Vorstellung aktueller Forschungsprojekte und für einen Ausblick auf zukünftige Aufgaben.

50 Jahre Forschung und Lehre auf den Gebieten von Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik sind geprägt von dem Bemühen nun mittlerweile dreier Lehrstuhlinhaber und Institutsdirektoren sowie ihrer Mitarbeiter, die Feinwerktechnik sowie die Studien- und Forschungsmöglichkeiten in diesem Bereich zusammen mit benachbarten Instituten auf- und auszubauen. Aus einer anfangs eher noch auf Uhren, Waagen und Optik eingeeengten Feinwerktechnik entwickelte sich ein breiter Schwerpunkt, der heute sogar Schlüsseltechnologien hervorbringt, z. B. die Mikrosystemtechnik oder die Mechatronik.

Wir wollen unser Institut dabei nicht losgelöst betrachten von unserem Umfeld, von den benachbarten Instituten. Stand zur Zeit der Gründung des IKFF das Bemühen im Vordergrund, zusammen mit dem seit 1944 bestehenden Uhreninstitut (heute Institut für Mikrointegration) und dem 1960 gegründeten Institut für Technische Optik einen feinwerktechnischen Schwerpunkt zu bilden, können wir heute in den Fakultäten des Stuttgarter Maschinenbaus gleich sechs Institute und An-Institute benennen, die feinwerk- und mikrotechnischen Problemen gewidmet sind, z. B. der Mikrosystemtechnik, der Mikroelektronik, der Biomedizinischen Technik, der Technischen Optik, der Feinwerktechnik und demnächst auch der Medizingerätetechnik. Diese Schwerpunktbildung wurde in der Etablierung eines Clusters Mikrotechnik, Gerätetechnik und Technische Optik fortgeführt. Derzeit vertreten diese Institute auch den spezifischen Masterstudiengang Maschinenbau / Mikrotechnik, Gerätetechnik und Technische Optik.

Wo hat sich das IKFF in diesem Umfeld eingebracht? Zunächst ist hier sicherlich die Lehre zu nennen, im Bachelor die jährlich startende Konstruktionslehre Feinwerktechnik und früher zusätzlich die Konstruktionslehre für Elektrotechniker sowie im Master die Vorlesungen zur Geräteentwicklung, zur Aktorik, zum Spritzgießen und zur FEM-Simulation.

In der Forschung bringt der Institutsname, der sehr weitsichtig vom Gründer Herrn Prof. Stabe gewählt wurde, Ziele und Richtungen zum Ausdruck. Die Verbindung von konstruktionsmethodischen Aspekten, angewandt auf ganz spezifische Produkte der Feinwerktechnik, gepaart mit fertigungstechnischen Aspekten der Umsetzung, gab stets genügend Stoff. So wurden methodische Aspekte beim Entwickeln feinwerktechnischer Produkte behandelt, die Umsetzung in Messtechnik und in Aktorik betrieben und der Fertigungsschwerpunkt Spritzgießen in der Feinwerktechnik etabliert. Dies ist aber nur eine grobe Klassifizierung von 50 Jahren Lehre und Forschung am IKFF, betrachten wir deshalb die Institutsentwicklung im Einzelnen.

2 Historie des Institutes

Am **1. April 1967** wurde mit der Berufung von Herrn Dr.-Ing. Heinrich Stabe als Professor auf den „Konstruktionslehrstuhl C“ an der Universität Stuttgart der Grundstein für das heutige Institut gelegt.

Vorausgegangen waren viele Überlegungen und Planungen, die etwa im Mai 1962 mit der Zielsetzung begannen, in Stuttgart einen feinwerktechnischen Schwerpunkt zu bilden, bestehend aus dem seit 1944 existierenden **Uhreninstitut**, heute **Institut für Mikrointegration**, dem **Institut für Technische Optik** (seit 1960) und dem neu zu gründenden **Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik - IKFF**.

Dadurch entstand eine gute Basis für Studium und Forschung im Bereich der Feinwerktechnik, der Mikrotechnik und der Technischen Optik in Stuttgart.

2.1 Das erste Jahrzehnt - die Aufbauphase 1967 - 1976

Die Aufbauphase des IKFF begann im Kollegiengebäude II (K II) in der Keplerstraße 17 im 8. Obergeschoss auf einer Fläche von ca. 500 m². Am Ende dieser Phase, etwa im Jahre 1971, standen am Institut folgende Planstellen zur Verfügung: Eine Oberassistenten-Stelle, vier Assistenten-Stellen, ein Mechaniker, ein Techniker, eine Verwaltungsangestellten-Stelle für das Sekretariat und eine Fachhochschulingenieur-Stelle. Dies war eine bessere Ausstattung an Haushaltsstellen als sie sich heute bietet, sieht man von den selbst eingeworbenen Drittmittelstellen und Überlastmitteln für die Lehre ab.

Die Lehrbelastungen der Institutsmitarbeiter waren unmittelbar nach Institutsgründung noch relativ gering, nach abgeschlossener Aufbauphase erreichten sie hauptsächlich im damaligen Vordiplom jedoch schnell enorme Ausmaße und wurden überproportional groß.

Die Jahresberichte aus den ersten 10 Jahren des Institutes lassen erkennen, dass infolge der wachsenden Lehrverpflichtungen in diesem Zeitraum nur äußerst bescheidene Möglichkeiten zur Forschung bestanden.

Erst die ab 1973 beginnende Mitwirkung im **Sonderforschungsbereich „Flexible Fertigungssysteme“** ermöglichte dann die Realisierung größerer ingenieurmäßiger Forschungsprojekte auf den Arbeitsgebieten des Institutes. Es konnten Drittmittel-Mitarbeiter eingestellt werden, die im Wesentlichen auf den Gebieten der Messwerterfassung, der Messwertübertragung und der Objekterkennung arbeiteten. In der Endstufe dieser Arbeiten gelang es einen Kleinroboter mit einem Objekterkennungssystem auszustatten, sodass Objekte auf einem Transportband automatisch erkannt, zugeordnet, erfasst und definiert wieder abgelegt werden konnten.

Eine Habilitation /1/ und eine Dissertation /2/ fallen in diese Phase, die Belastungen beim Aufbau des Institutes und in der Lehre waren doch recht hoch. Das Themengebiet der Habilitation zielte auf den Entscheidungsprozess beim methodischen Konstruieren, ein Startpunkt für die methodischen Arbeiten am Institut.

2.2 Emeritierung von Herrn Prof. Stabe und Berufung von Herrn Prof. Jung - die zweite Phase der Institutsgeschichte 1977 - 1995

Herr Prof. Stabe war bereits ein halbes Jahr emeritiert (ab 30.09.76) als Herr Dipl.-Ing. Jung als Professor berufen wurde und am 01.03.77 das Institut übernahm. Die Arbeitsziele, die Herr Jung sich damals stellte, beinhalteten folgende Aspekte:

- Problemstellungen zur Konstruktionstheorie mechanischer/elektromechanischer Funktionsgruppen und Geräte,
- die optische Bearbeitung,
- die Sensorik, insbesondere die Objekt- und Lageerkennung von Werkstücken,
- die Prüfung feinmechanischer Bauelemente, z. B. des Schwingungsverhaltens,
- die korrosionsschutzgerechte Konstruktion in Feinwerk- und Elektrotechnik,
- sowie die Spritzgießtechnologie für feinmechanische Bauelemente.

Weitergeführt wurde der Sonderforschungsbereich (SFB 155) „Flexible Fertigungssysteme“, insbesondere das Teilprojekt „Entwicklung spezieller Sensoren zur Identifizierung und Lageerkennung von Werkstücken und Werkzeugen“.

Im Juni/Juli 1977 folgte der Umzug von der Keplerstraße (K II), in der die Mitarbeiter recht verstreut saßen, in den Neubau im Pfaffenwaldring 9 nach Vaihingen. Damit waren von der räumlichen Seite her sehr gute Voraussetzungen erreicht. Erstmals in seiner Geschichte war das Institut geschlossen auf einer Etage untergebracht und damit eigenständig. Mit ca. 1.000 m² stand nun genügend Raum für Forschung und Lehre zur Verfügung.

In den Jahren 1979/80 kamen recht schnell interessante Industriaufträge ins Haus, so die Neukonstruktion eines Goniometertisches für die Rasterelektronenmikroskopie und die Konstruktion eines Oberflächentasters. Ein BMFT-Projekt zum Korrosionsschutz in der Elektrotechnik wurde gestartet.

Die Institutsausstattung wurde erheblich verbessert, durch Anschaffung einer Spritzgießmaschine, eines Rasterelektronen-Mikroskops, eines Tastschnittgerätes und des ersten Rechners PDP 11. Die Hauptspeicherkapazität dieses Rechners lag übrigens bei 64 kByte, die Wechselplattenkapazität bei 10 MByte, unvorstellbar klein gegenüber heutigen Rechnern.

In das Jahr 1979 fiel auch die Auslobung eines Preises für ein Instituts-Logo. Ein Vorschlag von Prof. Seeger wurde ausgewählt. Das Institut bekam ein heute noch sehr prägnantes Symbol. Das Technische Design wurde zur damaligen Zeit noch von drei Instituten, dem Institut für Maschinenkonstruktion und Getriebebau, dem Institut für Maschinenelemente und dem IKFF getragen und war in der Keplerstraße räumlich sogar im IKFF integriert.

Großen Anklang fanden 1980 auch die Arbeiten am Rasterelektronenmikroskop. Weiterentwicklungen sowie zusätzliche eigene apparative Ausstattungen ermöglichten erstmalig in Europa REM-Aufnahmen von unpräparierten, nichtmetallischen Oberflächen, so war im Institutsbericht 1980 zu lesen. Dadurch konnten beispielsweise Kunststoffe in realer Oberflächengestalt ohne Besputtern betrachtet werden.

Ab 1981 stieg die Lehrbelastung des Institutes stark an. Gleichzeitig kam es infolge des Auslaufens des Sonderforschungsbereichs SFB 155 zu erheblichen Stellenreduzierungen (30 % Personalreduzierung allein 1981), sodass es äußerster Anstrengungen bedurfte, die Lehre zu sichern und wieder neue Drittmittelprojekte einzuwerben. Ein DFG-Projekt „Objekterkennung“ konnte Ende 1981 eingeworben werden, brachte personell jedoch nur wenig Entlastung.

Es folgte eine gewisse Umorientierung des Institutes hin zu Industriaufträgen. Neben den Forschungsschwerpunkten Rasterelektronenmikroskopie, Oberflächenabtastung und Spritzgießen kamen Projekte aus der Medizintechnik hinzu. Aufgenommen wurden Arbeiten zur mechanischen und optischen Sensorik als weiterer Schwerpunkt des Institutes, beispielsweise die Entwicklung eines berührungslosen schaltenden 1D-Tasters für Messmaschinen.

Unaufhaltsam wuchsen jedoch auch die Lehrbelastungen immer weiter an. Dies betraf Studierende des Maschinenwesens und benachbarter Studiengänge mit Vorlesungen im Vor- und Hauptdiplom (Abb. 1) und auch Studierende der Elektrotechnik in der Konstruktionstechnik-Vorlesung des IKFF (Abb. 2).

Hauptlast stellte die Konstruktionstechnik-Vorlesung für Elektrotechniker dar, die parallel zur Konstruktionslehre Feinwerktechnik im Vordiplom gehalten werden musste. Die Vorlesung Konstruktionslehre Feinwerktechnik wiederum stand parallel als KL I und III im Wintersemester und als KL II und IV im Sommersemester an. 1987 konnte die Vorlesung Konstruktionstechnik für Elektrotechniker schließlich abgegeben werden, was zu einer ersten deutlichen Entspannung für das IKFF führte.

Die Doppelbelastung mit KL I und III im Wintersemester und KL II und IV im Sommersemester blieb jedoch zunächst erhalten. Vergleichbare Institute mit Konstruktionslehre im Vordiplom halten diese Lehrveranstaltungen jeweils abwechselnd nacheinander im Zweijahreszyklus und nicht parallel.

Studierendenzahlen am IKFF bis 1995:

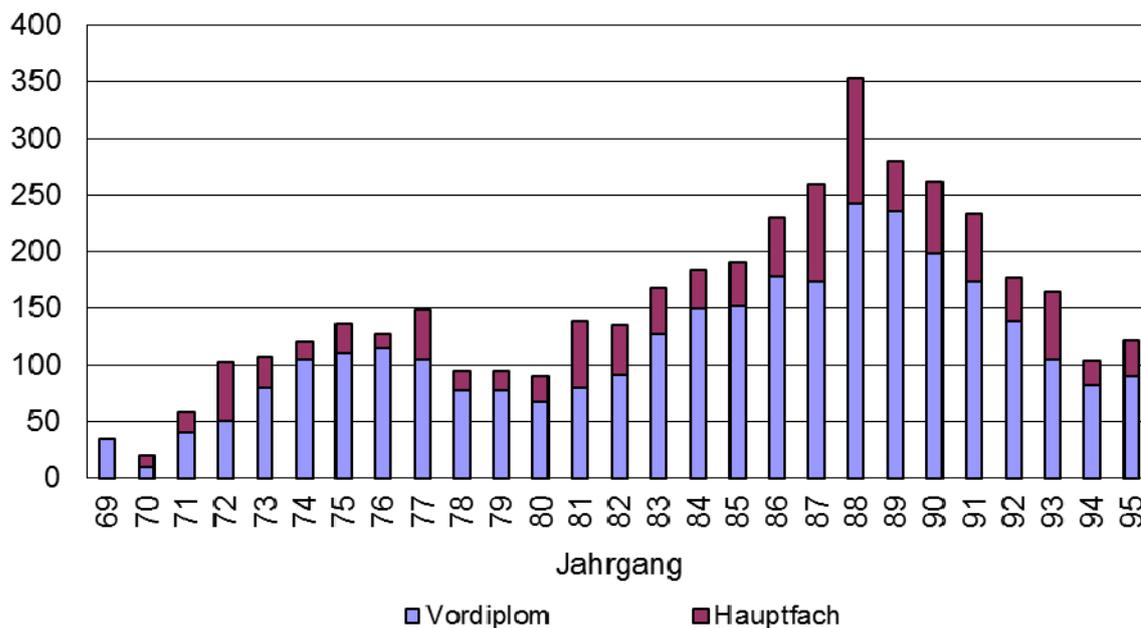


Abb. 1: Studierende des SG Maschinenwesen am IKFF

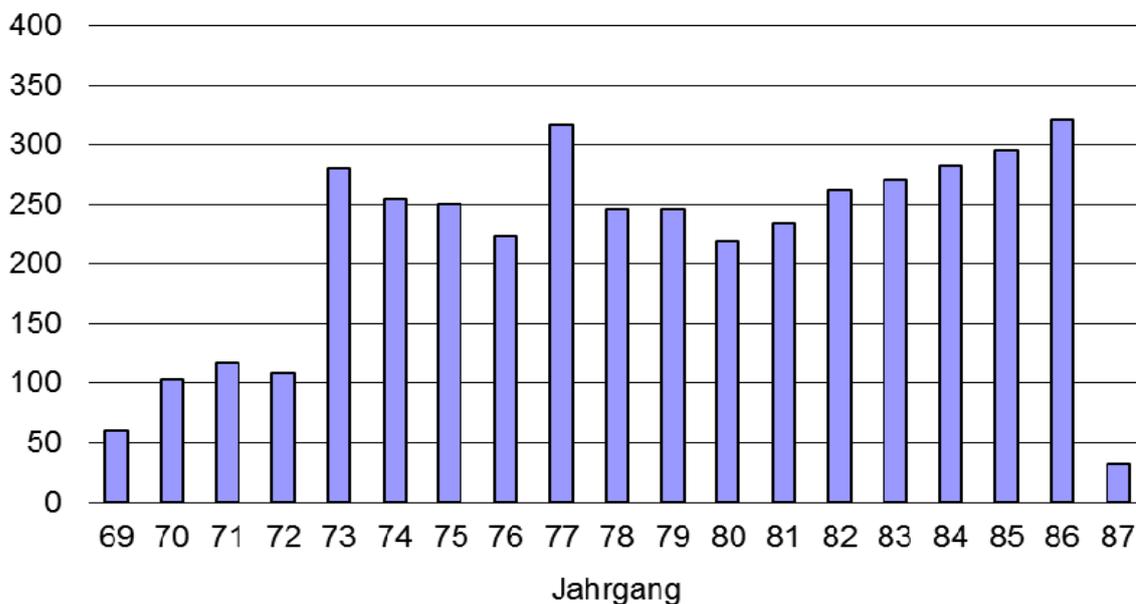


Abb. 2: Studierende des SG Elektrotechnik am IKFF (Konstruktionstechnik-Vorlesung)

Zwangsläufig war der Zeitfonds für die Forschung in diesen Jahren noch stark eingengt. Nach Abgabe der Konstruktionstechnik für Elektrotechniker musste man die Hoffnung auf nun zumutbare Lehrbelastung trotzdem schnell wieder begraben, da im WS 1987/88 statt der sonst üblichen ca. 80 Studenten in der Konstruktionslehre Feinwerktechnik nun 150 Studenten im Hörsaal saßen. Ein Versuch, diese ständige Überlast im Rahmen einer vorgezogenen Nachfolge (C4-Fiebiger-Stelle) zu mindern, scheiterte 1989 zunächst.

In das Jahr 1987 fiel auch das 20. Jubiläum des Institutes, das festlich begangen wurde. Die Institutsausstattung wurde durch eine CNC-Fräsmaschine ergänzt, die noch heute läuft. Damit war nun für die Herstellung von Spritzgussformen am IKFF eine durchgehende Kette vom CAD-Entwurf über eine CNC-Herstellung, das Ausmessen und Überprüfen auf der Koordinatenmessmaschine und das Abspritzen realisierbar. Viele Studenten wurden im Hauptdiplom damit vertraut gemacht.

Der Schwerpunkt Spritzgießen entwickelte sich gut, auch Optikteile konnten gespritzt werden. Die systematische Untersuchung des Formfüllvorganges begann, insbesondere der Temperaturverlauf im Formnest wurde untersucht. Eine Vielzahl von Werkzeugen wurde erstellt.

Andere, neu hinzukommende Forschungsschwerpunkte waren im Jahre 1985 die Arbeiten im Rahmen des EG-finanzierten Projektes Prometheus sowie Arbeiten zu Ultraschall-Aktoren. Für „Prometheus“ stand zunächst die Erfassung der Fahrbahnfeuchte über die Messung des Wasserfilmes auf dem Fahrzeugreifen, später jedoch die berührungslose Wasserschichtdickenmessung und als Option die Eisdetektion im Vordergrund. Ein interessanter Sensor entstand, der auf großes Interesse bei Fahrzeugherstellern als auch bei Winterdienstfahrzeugen stieß.

Im Schwerpunkt Sensorik wurde ein Triangulationssensor entwickelt und grundlegende Versuche zur taktilen Erfassung von Größen vorgenommen, die den manuellen Greifvorgang charakterisieren. Ziel war letztlich ein Erkenntnisgewinn für die Auslegung technischer Miniaturgreifer.

Ab 1991/92 wurden mit der Bereitstellung von Workstations und geeigneter Software Voraussetzungen geschaffen, Formfüllvorgänge sowie Temperatur- und Druckverläufe beim Spritzgießen auch über Simulationen zu untersuchen. Der Spritzgussbereich entwickelte sich nun zu einem breiten Arbeitsgebiet, von der Simulation über praktische Untersuchungen bis zur Beeinflussung des Formfüllvorganges. Ergebnisse wurden in zwei Arbeitskreisen zusammen mit dem Institut von Prof. Aßmus in die Praxis getragen.

Das 25-jährige Institutsjubiläum 1992 bildete einen würdigen Rahmen, um all die bisher erreichten Forschungsergebnisse vorzustellen. Durch Spendenmittel gelang es, ein neues Rasterelektronenmikroskop (REM) zu beschaffen.

Parallel bildete natürlich immer das Bemühen des Institutsleiters und der Mitarbeiter um die Verbesserung der Ausbildung einen permanenten Arbeitsschwerpunkt. Neben Skripten wurden auf der methodischen Seite beispielsweise Lehrmaterialien in Form der beiden Bücher „Funktionale Gestaltbildung“ und „Technologische Gestaltbildung“ (Springer Verlag), aber auch in weiteren Lehrbüchern zum Entwurf von Vorrichtungen „Vorrichtungen I“ und „Genauere Maschinen, Geräte und Instrumente“ erarbeitet.

Beginnend im Jahre 1993 wurde am Institut auch eine neue Initiative ergriffen, um die Vordiplom-Lehrveranstaltungen für die Studenten noch attraktiver zu gestalten. Durch einen zunächst außerhalb der Lehrveranstaltungen angeordneten Konstruktionswettbewerb zum Tag der Wissenschaft konnten Studenten die Probleme der praktischen Umsetzung einer konstruktiven Lösung am eigenen Leibe erfahren.

Schließlich seien auch die Gründung von Firmen durch Institutsmitarbeiter und damit der direkte Wissenstransfer erwähnt (Firma Wolf & Beck GmbH und Firma melab GmbH).

2.3 Emeritierung von Herrn Prof. Jung und Berufung von Herrn Prof. Schinköthe - das Institut von 1993/1995 bis heute

Im Jahre 1993 gelang schließlich die schon Jahre zuvor angestrebte Verstärkung des Institutes durch eine C4-Fiebiger-Stelle (vorgezogene Nachfolge) mit der Berufung von Herrn Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe als Professor und seinem Dienstantritt am 1.5.1993. Zwar war der Zeitraum der Parallelbesetzung bis zur Emeritierung von Herrn Prof. Jung im März 1995 nur recht kurz in Relation zu den eigentlichen Zielen des Fiebiger-Programms, ermöglichte aber einen kontinuierlichen Übergang in der Institutsleitung und in den Lehr- und Forschungsarbeiten des Institutes ohne den sonst üblichen Einbruch. Am 1. April 1994 hat Prof. Schinköthe die Institutsleitung geschäftsführend übernommen.

Am 29. März 1995 verabschiedete das Institut Herrn Prof. Jung nach 18 Jahren Tätigkeit als Universitätsprofessor, Lehrstuhlleiter und Institutsdirektor in seinen wohlverdienten Ruhestand. Anlässlich der Emeritierung von Herrn Prof. Jung fand am Institut ein festliches Kolloquium „Feinwerktechnik“ statt, zu dem Kollegen von feinwerktechnischen Lehrstühlen der Bundesrepublik, ehemalige Doktoranden, Industrievertreter und die Professoren unserer Fakultät eingeladen waren. In einem Festvortrag von Prof. Schinköthe wurde das Wirken von Herrn Prof. Jung am Institut, sein wissenschaftlicher Werdegang sowie die Institutsentwicklung unter seiner Leitung dargestellt und gewürdigt. In fünf wissenschaftlichen Beiträgen stellten wissenschaftliche Mitarbeiter des Institutes Forschungsergebnisse vor.

2.3.1 Lehre am IKFF von 1993/1995 bis 2017 in der Kurzübersicht

In der Lehre wurden die Vorlesungen und Übungen des **Vordiploms** bzw. heutigen **Bachelors** durch Prof. Schinköthe überarbeitet und aktualisiert. Insbesondere wurden Freiräume im vierten Semester der Konstruktionslehre Feinwerktechnik geschaffen, um einerseits zusätzlich zu den bisher behandelten mechanischen Komponenten auch elektromechanische Baugruppen der Antriebstechnik und Aktorik bereits im Vordiplom ansprechen zu können. Andererseits

fand auch ein relativ großer Block beispielorientierte Konstruktionsmethodik in das vierte Semester Eingang.

So wurden schließlich auch alle Konstruktionswettbewerbe (ab 1994) unmittelbar in die Übungen zur Konstruktionslehre integriert. An einer unkonventionellen Aufgabenstellung erfolgt das Üben eines kompletten Entwicklungsablaufes vom Lastenheft über die Konzept- und Entwurfsphase bis zur Ausarbeitung und schließlich auch bis zur Realisierung. Eine bewusst gewählte unkonventionelle Aufgabenstellung erlaubt dabei einerseits das Trainieren einer völligen Neuentwicklung, ohne von ähnlichen Erzeugnissen in der Ideenfindung eingeengt zu werden. Andererseits besteht dabei auch die Möglichkeit, publikumswirksame Wettbewerbe um die besten Lösungen zu kreieren.

Die Studenten bauen nach dem Entwicklungsprozess und dem Abschluss der eigentlichen Methodikübung auf freiwilliger Basis einen Prototyp ihres Entwurfes und treten mit diesem Prototyp im Wettbewerb am Tag der Wissenschaft gegen ihre Kommilitonen an. Gruppen von bis zu fünf Studierenden organisieren sich selbst und bauen ihre Maschinen eigenständig auf, zum Teil auch in der Diplomandenwerkstatt des Institutes. Sie kämpfen um die beste Lösung, um den Sieg im Wettkampf, aber auch um attraktive Preise, die von der Industrie dafür erworben werden. Oft wird die Umsetzung ihrer Lösungen im Rahmen des Konstruktionswettbewerbes auch zum heilsamen Kriterium der Wahrheit.

Die Monate vor dem Wettbewerb sind dabei eine Herausforderung für das Institut hinsichtlich des doch beachtlichen Organisationsaufwandes, die letzte Woche vor dem Wettkampf herrscht fast Ausnahmezustand.

Im **Hauptdiplom** bzw. heute im **Master** erfolgte eine Neuprofilierung der Lehrveranstaltungen im Hauptfach bzw. Spezialisierungsfach Feinwerktechnik zunächst mit den beiden Schwerpunkten, der Gerätekonstruktion als methodisch orientierten Linie einerseits und der feinwerktechnischen Aktorik als konkret forschungs- und entwicklungsorientierten Linie andererseits. Später kamen noch zwei weitere Vorlesungen hinzu, einerseits zur Praxis des Spritzgießens und andererseits zur FEM-Simulation mit ANSYS und MAXWELL. Neu geschaffen bzw. überarbeitet wurden auch alle Hauptfachpraktika, heute Spezialisierungsfachpraktika. Dies führte insgesamt nun zu einer wesentlichen Ausweitung und Aufwertung der Lehrveranstaltungen des Hauptfaches bzw. Spezialisierungsfaches Feinwerktechnik am IKFF. Somit wurden alle Vorlesungen, Übungen und Praktika erneuert bzw. neu aufgebaut. Entsprechende Lehrmaterialien, umfangreiche Skripte und separate Unterlagen für die Übungen sowie Powerpoint-Präsentationen sind auf der Instituts-Homepage zur Verfügung gestellt.

Die Lehrinhalte zur Aktorik konnten in Buchbeiträgen für das „Handbuch Elektrische Kleinantriebe“ in deutscher und in englischer Sprache sowie für das Lehrbuch „Gerätekonstruktion in Feinwerktechnik und Elektronik“ einer größeren Ver-

breitung zugeführt werden. Die Lehrinhalte zur Konstruktionslehre sind in Buchbeiträgen für das Lehrbuch „Konstruktionselemente der Feinmechanik“ eingebracht.

Zum Wintersemester 2010/11 startete eine weitere Lehrveranstaltung im Rahmen des Bachelors Maschinenbau sowie der verwandten Bachelor dazu, die sogenannten Projektarbeiten. Im Rahmen der Projektarbeiten sollen Gruppen von Studierenden bereits im Bachelor in einem Team abgeschlossene Projekte verschiedenster Art bearbeiten. Dies kann unter anderem auch ein konstruktives Projekt sein. Die Projektarbeiten starten regulär im Wintersemester, aber auch im Sommersemester werden jeweils Aufgaben für Projektarbeiten angeboten. Der Betreuungsaufwand für diese Projektarbeiten ist nicht unbedeutend, da die Studierenden des Bachelors bis zu diesem Zeitpunkt noch keine studentische Arbeit erstellt haben. Die Projektarbeiten enden mit Vorträgen am Institut.

In den Seminaren finden neben den Vorträgen zu den Projektarbeiten auch Vorträge zu Studienarbeiten, Bachelor- und Masterarbeiten statt.

Schließlich ist noch eine neue Lehrveranstaltung zu benennen. Seit dem Wintersemester 2013/14 hat das Institut zusätzlich das Spezialisierungsfach Medizingerätekonstruktion übernommen, um die Zeit bis zur Berufung des dafür vorgesehenen Professors zu überbrücken. Das Spezialisierungsfach Medizingerätekonstruktion setzt sich zum Teil aus vorhandenen Lehrveranstaltungen zusammen, die inhaltlich dazu passen. Als spezifische Lehrveranstaltung wurde die Vorlesung Medizingerätetechnik I/II neu etabliert. Sie wird durch externe Dozenten gehalten. Das IKFF ist für diese Vorlesung und das gesamte Spezialisierungsfach interimsmäßig verantwortlich.

Eine detaillierte Übersicht zu den Inhalten und Umfängen der einzelnen Lehrveranstaltungen heute enthält Abschnitt 3.

Entwicklung der Studierendenzahlen am IKFF bis heute

Wie bereits erwähnt, fanden die Vorlesungen und Übungen zur Konstruktionslehre Feinwerktechnik jeweils parallel im Wintersemester (KL I und III für die ersten und dritten Semester) und im Sommersemester (KL II und IV für die zweiten und vierten Semester) statt. Nach Umstrukturierungen in der Konstruktionslehre-Ausbildung und bedingt durch die Deputatsminderung als Dekan sowie infolge von Differenzierungen in den Studiengängen des Maschinenbaus, wurde ab Wintersemester 1998 jedoch kein neuer Konstruktionslehrezyklus im ersten Semester mehr begonnen.

Die Konstruktionslehre-Vorlesungen des IKFF im Vordiplom und heutigen Bachelor konzentrierten sich seit 1998 nur noch auf die Konstruktionslehre Feinwerktechnik III und IV für die dritten und vierten Semester als Wahlmöglichkeit zunächst nur für den Studiengang Maschinenwesen und ab dem Jahr 2002 auch zusätzlich als Wahlmöglichkeit für den Studiengang Technologiemanagement.

Für die Studierenden des Technologiemanagements wurde dabei ein modifiziertes Programm für KL IV angeboten. Ab 2005 hat das Technologiemanagement eine eigene Veranstaltung erhalten, das IKFF betreut deshalb seit 2006 nun neben den Maschinenbauern auch Fahrzeug- und Motorentechner im Vordiplom bzw. Bachelor.

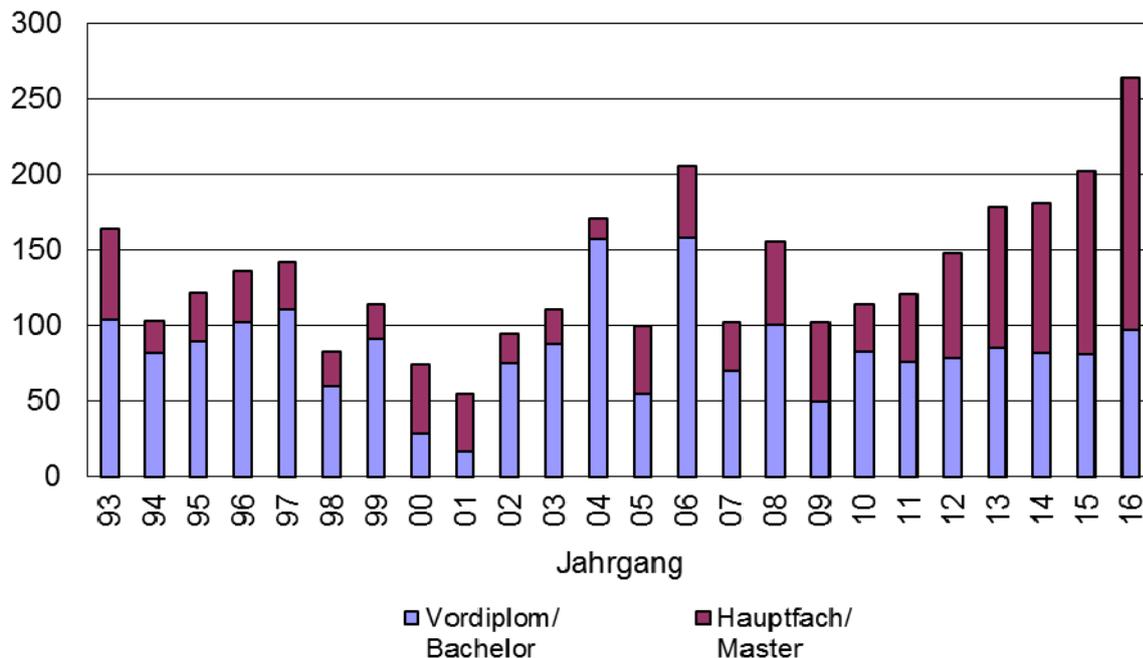


Abb. 3: Studierende am IKFF ab 1993

Die dadurch stark schwankenden Studierendenzahlen zeigt Abb. 3, wobei ab 1998 keine Doppelbelastung durch zwei parallele Jahrgänge mehr enthalten ist. Das IKFF erreichte damit endlich eine der Ausstattung angepasste Belastung in der Lehre, zumal im Rahmen des Solidarpaktes von 1996 bis 2006 eine bleibende Personalreduzierung bei den Haushaltsstellen um 17 % erfolgte.

Im Jahrgang 2002 lagen die Anfängerzahlen aller maschinenbaulichen Studiengänge der Fakultät Maschinenbau der Universität Stuttgart (ohne Luft- und Raumfahrttechnik) auf einem Spitzenwert von ca. 1.100 Studierenden, dies war das Doppelte gegenüber den Spitzenwerten Ende der 80er und zu Beginn der 90er Jahre. Danach fielen die Gesamtzahlen im Maschinenbau wieder geringfügig, um etwa seit 2010 wieder auf Werte von ca. 1.100 Neuanfängern im Bachelor anzusteigen und auf diesen hohen Werten bis heute zu verbleiben. Im Studiengang Maschinenwesen selbst bewegen sich die Anfängerzahlen um 350 Studierende. Hinzu kommen aber noch die Studiengänge Fahrzeug- und Motorentchnik, Technologiemanagement, Mechatronik, Technische Kybernetik, Verfahrenstechnik und Medizintechnik.

Nach der vollständigen Umstellung auf das Bachelor-/Master-Studium kommen zweimal pro Jahr, zum Sommer- und Wintersemester, auch die Masterimmatrikulationen hinzu. Dies betrifft zunächst natürlich vorwiegend die Bachelorabsolventen der Universität Stuttgart, zunehmend aber auch externe Studierende, vorzugsweise aus Hochschulen der Angewandten Wissenschaften (HAW) bzw. der Dualen Hochschulen, sowie ausländische Bewerber. 2015 waren insgesamt ca. 1.500 Mastereinschreibungen in den beiden Fakultäten zu verzeichnen, also bereits deutlich mehr als Bachelor-Einschreibungen. Dies treibt die Studierendenzahlen stark nach oben, der Anstieg ist noch nicht abgeschlossen.

An den Zahlen des IKFF sind diese erheblichen Änderungen in Abb. 4 nicht so klar ablesbar, weil hier die Entwicklung durch o. g. Wegfall der parallelen Betreuung zweier Jahrgänge überlagert ist. Insgesamt waren 2015 im Wintersemester in KL III 81 Bachelor-Studierende eingeschrieben.

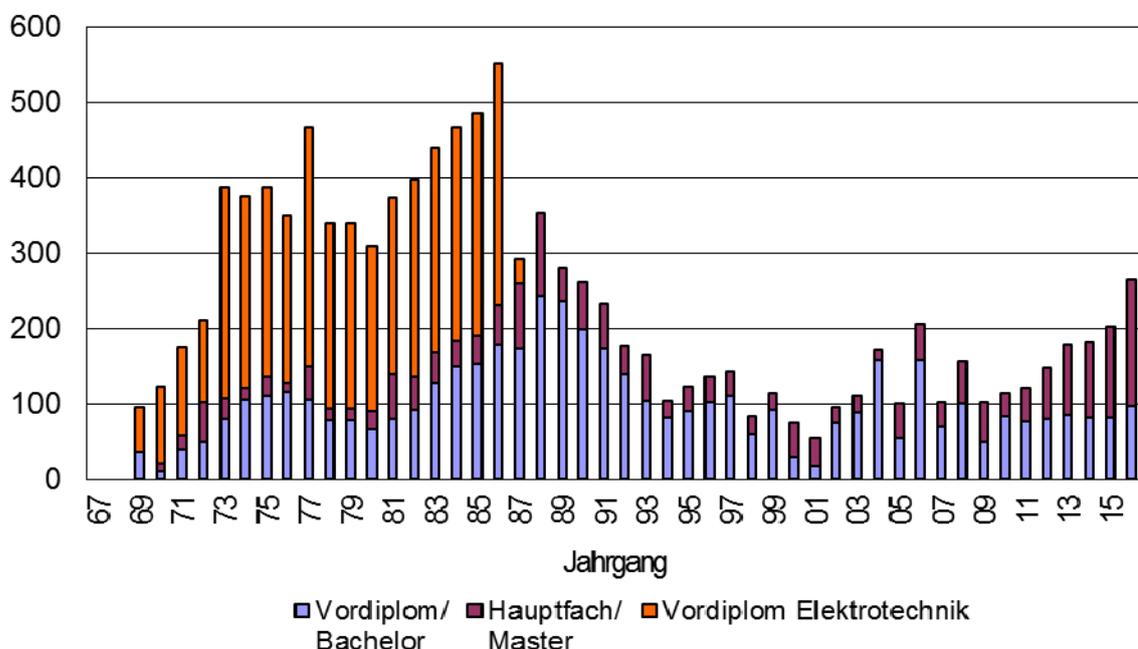


Abb. 4: Studierendenzahlen am IKFF insgesamt seit der Institutsgründung

Im Hauptdiplom bzw. Master kommt die starke Zunahme der Studierendenzahlen der letzten Jahre nun aber deutlich zum Tragen. Im Wintersemester 2015 belegten 33 Studierende das Kernfach „Aktorik“ und 50 das Fach „Gerätekonstruktion und -fertigung in der Feinwerktechnik“ als Pflicht- oder Kernfach, 24 Studierende die „Praktische FEM-Simulation mit ANSYS und MAXWELL“ und 14 Studierende die „Praxis des Spritzgießens in der Gerätetechnik; Verfahren, Prozesskette, Simulation“.

Ab Wintersemester 2010/11 kamen noch die Projektarbeiten im Bachelor dazu. Unser Institut bietet dabei in der Regel jährlich zwischen 5 und 7 Projektarbeiten an, die jeweils in Gruppen von 4-6 Studierenden realisiert werden.

In den Seminaren finden neben den Vorträgen zu den Projektarbeiten auch noch Vorträge zu Studienarbeiten, Bachelor- und Masterarbeiten statt, dies können durchaus bis zu 30 und mehr Vorträge zusätzlich zu den Projektarbeiten pro Jahr sein. Damit verbunden ist natürlich auch eine gleich große Zahl von studentischen Arbeiten (Bachelor-, Studien- oder Masterarbeiten), die inzwischen die Zahl von 30 pro Jahr überschritten haben. Eine Gesamtübersicht zeigt Abb. 5, dabei ist aber zu berücksichtigen, dass es früher auch noch zusätzlich sogenannte kleine Studienarbeiten gab, die keinen vergleichbaren Umfang zu den heutigen Arbeiten besaßen. Abb. 6 zeigt die Entwicklung ab dem Jahr 2000 et- was herausgezoomt.

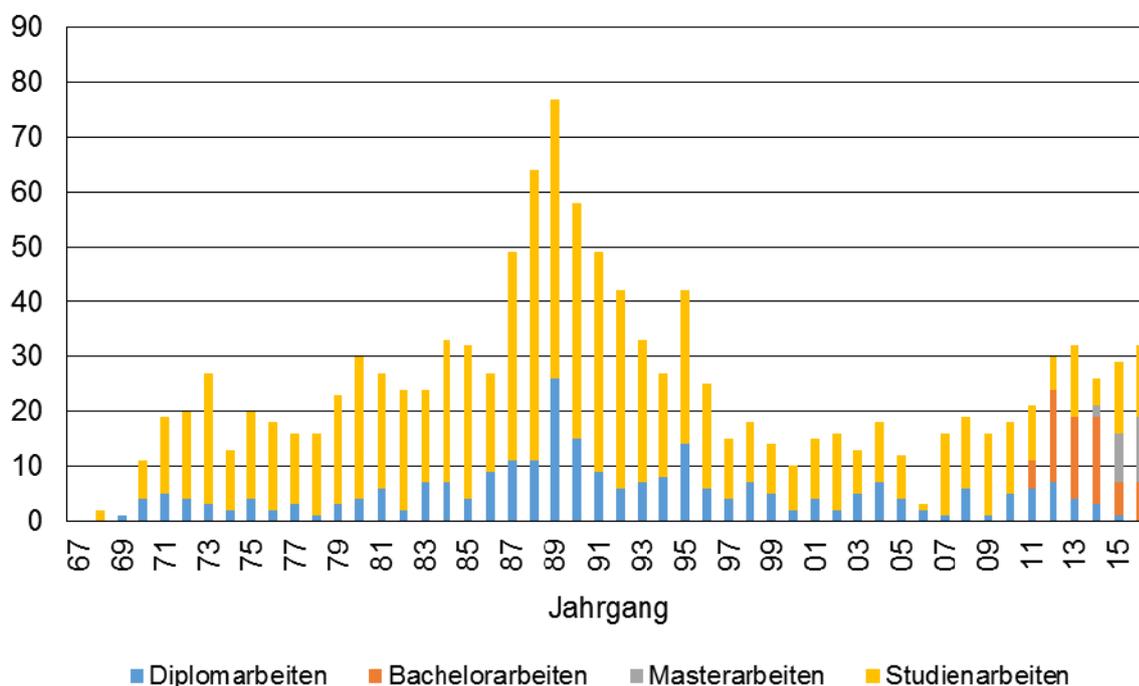


Abb. 5: Studentische Arbeiten am IKFF seit der Institutsgründung

Schließlich kam ab dem Wintersemester 2013/14 ja noch das Spezialisierungsfach Medizingerätekonstruktion und als spezifische Lehrveranstaltung dafür die Vorlesung Medizingerätetechnik I/II neu hinzu. Diese Vorlesung ist inzwischen sehr stark nachgefragt. Jährlich sind zwischen 60 und 80 Studierende in dieser Mastervorlesung und auch viele Studienarbeiten und Masterarbeiten im Spezialisierungsfach Medizingerätekonstruktion zu betreuen.

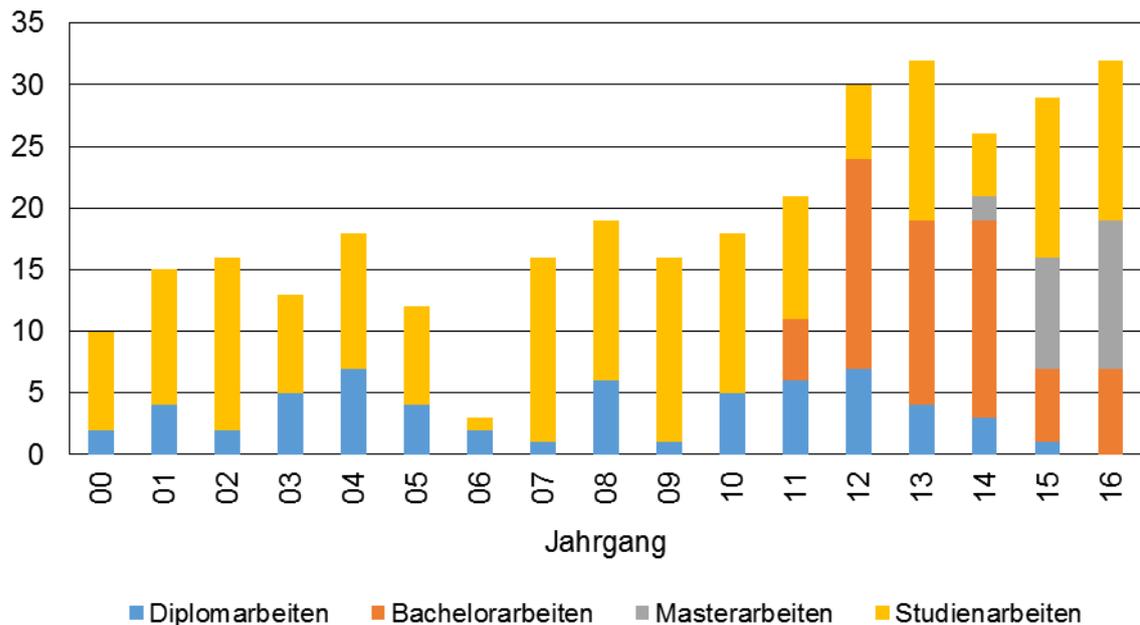


Abb. 6: Studentische Arbeiten am IKFF ab 2000

Letztlich verläuft auch die Vermittlung unserer Absolventen sehr gut. Allerdings ist eine Vielzahl der Einstellungen im Anschluss an eine Diplomarbeit oder Masterarbeit im jeweiligen Betrieb erfolgt. Das bereitet insofern Sorge, da bereits sehr viele Diplom- bzw. Masterarbeiten in die Industrie vergeben werden und damit Forschungskapazität für das Institut in erheblichem Maße verloren geht.

2.3.2 Forschung am IKFF von 1993/1995 bis 2017 in der Kurzübersicht

Nachfolgend sei die Entwicklung der letzten Jahrzehnte und der heutige Stand in der Forschung zunächst kurz zusammengefasst.

Am Institut wurden ab 1995 bis heute insgesamt vier große Forschungsschwerpunkte bearbeitet, Abb. 7. Im Arbeitsgebiet **Aktorik** stehen feinwerktechnische Direktantriebe im Fokus. Die Entwicklung alternativer Antriebssysteme für die Feinwerktechnik auf der Basis elektrodynamischer Kraftwirkung bzw. von Festkörpereffekten (elektrodynamische Linearmotoren, Piezo-Wanderwellenmotoren) bildet den Schwerpunkt dieses Arbeitsgebietes. Ausgangspunkt ist die Tatsache, dass neben rotatorischen Antrieben zunehmend Lineardirektantriebe in verschiedenste Anwendungsfelder der Feinwerktechnik vordringen. Initiiert beispielsweise durch die Verfügbarkeit neuer Magnetwerkstoffe oder durch die systematische Untersuchung neuer Wirkprinzipie können bekannte Bauformen miniaturisiert neue Anwendungsfelder erschließen oder auch völlig neue Motorbauformen zum Einsatz kommen.

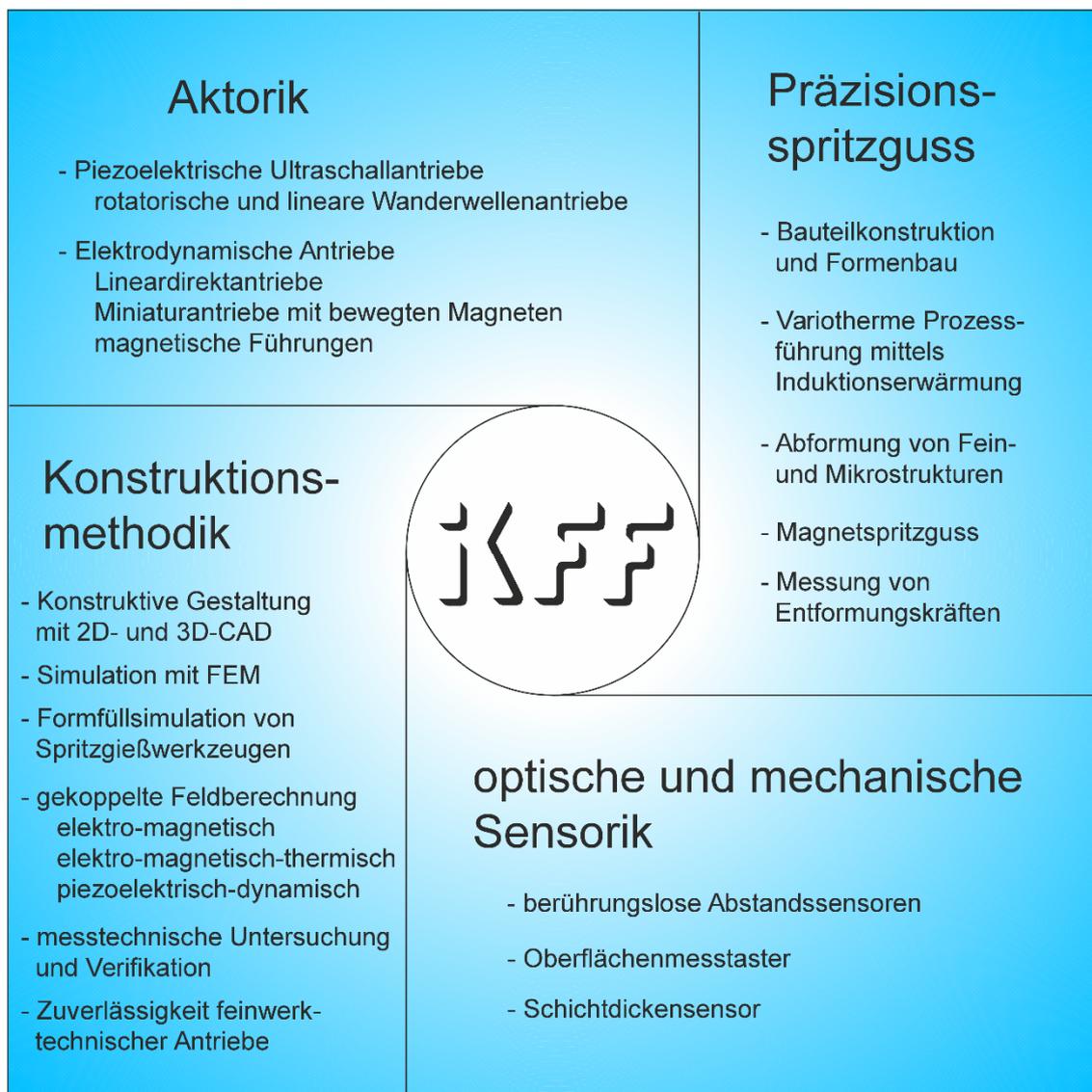


Abb. 7: Forschungsgebiete des IKFF plakativ

Grundsätzlich bieten sich dabei als Wirkprinzipie die Ausnutzung elektro-magneto-mechanischer und elektrodynamischer Kraftwirkungen, wie bei klassischen rotatorischen Motoren, sowie die verschiedensten Festkörpereffekte an. Für Positionieraufgaben im mm-Bereich bei kleinen Kräften können insbesondere **elektrodynamische Lineardirektantriebe** vorteilhaft sein. Die Analyse, Synthese, Dimensionierung und Konstruktion derartiger Antriebe bildet deshalb einen Schwerpunkt am Institut /20//24//32//33//37//40//41/.

Elektrodynamische Linearmotoren besitzen zunächst keine internen Maßverkörperungen und benötigen deshalb externe Wegmesssysteme zum Betrieb im geschlossenen Regelkreis oder zur Kommutierung. Es stellte sich deshalb die Frage, ob ausgewählte Motorparameter als inhärente sensorische Eigenschaften genutzt bzw. auch gezielt eingebracht werden können. Am Institut wurden umfangreiche Untersuchungen vorgenommen, um diese Frage für verschiedene Antriebsbauformen zu untersuchen /20//26//29/. Diese Arbeiten ermöglichen mechanisch einfache, weniger komplexe und kostengünstige Antriebe, in denen ein

Wegmesssignal auf rein elektronischem Wege ohne zusätzliche externe Messsysteme generiert werden kann.

In diversen Industrieprojekten wurden darüber hinaus viele anwendungsspezifische elektrodynamische Linearmotoren entwickelt, berechnet und realisiert. Die Ergebnisse aus den praktischen Umsetzungen wurden und werden als neue Vorgehensweisen zur Dimensionierung von Linearmotoren in Dissertationen aufbereitet /32//33//42/.

Die Ansteuerung und Regelung von Lineardirektantrieben kann zwischenzeitlich am Institut effizient über dSPACE-Arbeitsplätze realisiert werden.

Ganz andere interessante Entwicklungen der jüngsten Vergangenheit stellen **piezoelektrische Antriebe** dar, die piezoelektrisch erzeugte Wanderwellen oder elliptische Trajektorien auf Oberflächenpunkten zur Bewegungserzeugung nutzen. Diese sogenannten Wanderwellenmotoren bzw. Bimodenantriebe besitzen vielversprechende Eigenschaften, wie hohes Antriebsmoment bei kleiner Baugröße, kleine Anlaufzeitkonstanten und ein großes Haltemoment im stromlosen Zustand.

Die Forschungen zur Entwicklung von neuartigen piezoelektrischen Direktantrieben werden ebenfalls seit Jahren am Institut fortgeführt und dazu auf Tagungen wie der Actuator oder der Kleinantriebstagung berichtet, siehe auch /12//13//16//28//31//34//47/. Auch hier bildet neben der Motorentwicklung und durchgängigen Motorberechnung bzw. -simulation die Realisierung von Ansteuerung und Regelung über eine dSPACE-Umgebung einen Schwerpunkt. Beide Antriebslinien ergänzen und befruchten sich dadurch.

Einen weiteren Arbeitsgegenstand in der Aktorik bildeten am IKFF auch grundlegende Untersuchungen an **Luftlagern und Luftführungen** in Linearantrieben. Nach Abschluss der Dissertation /25/ zu Lineardirektantrieben für die Stoßjustierung feinwerk- und mikrotechnischer Baugruppen mit aerostatischen Führungen wurde dieses sehr interessante Thema mit Arbeiten zu kommutierten **Luftführungen** in Lineardirekt- und Mehrkoordinatenantrieben weitergeführt. Auch magnetische Führungen wurden untersucht und elektromagnetisch sowie elektrodynamisch realisiert /45/.

Regelmäßig wurde auch ein zweitägiger Weiterbildungslehrgang an der TA Esslingen zum Themengebiet „Antriebssysteme der Feinwerktechnik“ unter Leitung von Professor Schinköthe angeboten.

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.

In den letzten Jahren wurden umfangreiche Untersuchungen zur **variothermen Prozessführung** beim Präzisions-spritzgießen und beim Mikrospritzgießen am IKFF vorgenommen. Das Spritzgießen mikrotechnischer Bauteile und feinwerktechnischer Präzisionsteile erfordert häufig spezielle Temperaturgänge in der Kavität, da die Schmelzen in den sehr kleinen Kavitäten sonst vor deren vollständiger Füllung erstarren. Die Dissertation /15/ bildete den Auftakt dieser Arbeiten, es folgten gemeinsame Forschungsarbeiten am IKFF und am IMM in Mainz in den Jahren 1997 bis 1999 im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms Mikro-mechanische Produktionstechnik /19//21//22/ und weitere Arbeiten am IKFF. Dabei wurden die Einsatzpotenziale verschiedener induktiver Temperierverfahren untersucht und anwendungsgerecht aufbereitet.

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. Die Einsatzpotenziale wurden durch Abformergebnisse an Teststrukturen deutlich gemacht.

Im Rahmen beispielweise eines DFG-Projektes und zweier BMWi-Projekte /36//38//43/ wurden die Arbeiten mit integrierten Induktoren und Impulskühlung fortgeführt. Ergebnisse dazu wurden u. a. fortlaufend auf den Stuttgarter Kunststoff-Kolloquien veröffentlicht. Das IKFF war dabei wie stets in den letzten Jahren Mitveranstalter des Kunststoff-Kolloquiums. Zu diesem Themenfeld gibt es auch ein sehr reges Interesse aus der Industrie. Die interne, aber auch externe Induktionserwärmung, wird als Problemlöser für schwierige Abformaufgaben gesehen. Oft übersteigen die Anfragen unsere Kapazitäten.

In einem weiteren Projekt werden am IKFF die **Entformungskräfte** beim Spritzgießen in Abhängigkeit von Oberflächenrauheit und Beschichtung sowie vom eingesetzten Kunststoff untersucht. Gemeinsam mit Firmen stehen hier zunächst Untersuchungen an Thermoplasten im Mittelpunkt.

Durch den Einsatz der wissenschaftlichen Mitarbeiter aus dem Bereich Spritzguss gelang es, leihweise als Dauerleihgabe bzw. zur zeitweisen Nutzung zwei hochwertige Spritzgießautomaten der Firmen Arburg und Boy am Institut nutzen zu können. Es handelte sich dabei um die Spritzgießmaschinen Arburg Allrounder 270 S/250-60, heute als Leihgabe ersetzt durch eine Arburg Allrounder 170 S/180-30 und eine Maschine Dr. Boy 22A, die heute nicht mehr verfügbar ist. Derzeit verfügt das IKFF über die Dauerleihgabe Arburg Allrounder 170 S/180-30 sowie die in das Institutseigentum überführte Arburg Allrounder 270 S/250-60.

Im Arbeitsgebiet optische **und mechanische Sensorik** wurden nach Abschluss der Dissertationen /14//17//18/ keine eigenständigen Themen mehr bearbeitet. Vielmehr ging dieses Gebiet in den letzten Jahren in das Arbeitsgebiet Aktorik und dort insbesondere in die Verfahren zur integrierten Wegsignalerfassung in elektrodynamischen Linearmotoren mit bewegten Magneten oder auch bewegten Spulen ein.

Übergreifend bildet die 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 oder die FEM-Analyse von piezoelektrischen Antrieben.

Auch das Arbeitsgebiet **Zuverlässigkeit feinwerktechnischer Antriebe** lässt sich in diesen Problemkreis einordnen. Im Rahmen der DFG-Forschergruppe „Systemzuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen“ bearbeitet das Institut seit 2002 das Thema „Zuverlässigkeit von elektromechanischen/mechatronischen Systemen am Beispiel feinwerktechnischer Antriebe/Aktorik“. Dadurch wird Kompetenz in der Zuverlässigkeitstechnik, speziell zur Zuverlässigkeit feinwerktechnischer Antriebe, aufgebaut. Dies betrifft sowohl elektromechanische als auch mechanische Komponenten derartiger Antriebe. Das angestrebte Ziel der Forschergruppe ist die Entwicklung von Methoden zur Bestimmung der Zuverlässigkeit mechatronischer Systeme in frühen Entwicklungsphasen. Die Forschergruppe vereinte Kollegen aus den Fachgebieten Konstruktion, Mathematik, Elektrotechnik, Softwaretechnik sowie Feinwerktechnik. Durch die interdisziplinäre Zusammensetzung sollte ein unmittelbarer Informationsaustausch über Fachbereichsgrenzen hinweg erreicht werden.

2005 konnte die erste dreijährige Projektphase der Forschergruppe erfolgreich abgeschlossen werden. Am IKFF stand in dieser Phase die Untersuchung der Zuverlässigkeit elektromechanischer Komponenten feinwerktechnischer Antriebe im Vordergrund. Die Ergebnisse wurden in einer Dissertation zusammengefasst /27/, weitere externe Ergebnisse gingen in /30/ ein. Es folgten weitere Dissertationen /35//44/ zur Zuverlässigkeit mechanischer Komponenten feinwerktechnischer Antriebssysteme. Die Dauerversuchsstände zur Ermittlung der Ausfalldaten wurden dann vorzugsweise zur Untersuchung von Kleingetrieben genutzt.

Einige Forschungsarbeiten sollen im Abschnitt 4 noch ausführlicher vorgestellt und zum Teil beispielhaft verdeutlicht werden. Nachfolgend sind zunächst die Arbeitsgebiete nochmals stichpunktartig zusammengefasst.

Feinwerktechnische Aktorik

- Entwicklung alternativer Antriebssysteme auf Basis elektrodynamischer Kraftwirkung bzw. Festkörpereffekten.
- Berechnung derartiger Antriebe, Simulation ihres dynamischen Verhaltens.
- Erarbeitung geeigneter Methoden zur Antriebsentwicklung.
- Entwicklung ein- und mehrsträngiger elektrodynamischer Lineardirektantriebe mit integrierten Wegmesssystemen.
- Entwicklung geeigneter elektronischer Ansteuerungen unter Ausnutzung der integrierten Messsysteme.
- Entwicklung von Luftführungen für Linearantriebe.

Präzisions-Spritzgießtechnologie

- Herstellung von Präzisionsbauteilen und feinen Strukturen bis hin zur Verbindung mit mikromechanischen Bauelementen.
- Ermittlung von Entformungskräften in Abhängigkeit von Oberflächenrauheit, Beschichtung und Kunststoff.
- Untersuchung spezieller Werkstoffe und Beschichtungen im Werkzeugbau.
- Dynamische Formtemperierung durch induktive Beheizung mit externem oder internem Induktor zur Verbesserung des Formfüllverhaltens.

Messtechnik und Sensorik

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

Theorie des Konstruktionsprozesses

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

Zuverlässigkeit feinwerktechnischer Antriebe

- Übertragung und Verifizierung bekannter Zuverlässigkeitstechniken auf feinwerktechnische Antriebe und Aktorik.
- Datensammlung, Dauerlauf-Versuche für Kleinstmotoren und Getriebe.
- Vorausberechnung der Zuverlässigkeit von Systemen aus verschiedenartigen Bestandteilen und Fachgebieten.
- Erarbeitung von Ansätzen für die Ermittlung der Systemzuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen (Konzeptphase).

2.3.3 Der Brand im Pfaffenwaldring 9 im Jahre 2014 und seine Auswirkungen für das IKFF

Zu einem einschneidenden Ereignis für das IKFF kam es im Jahre 2014, nämlich zu einem Brand im Pfaffenwaldring 9. Am Sonntag, den 15.06.2014 wurde innerhalb des 3. Obergeschosses im Pfaffenwaldring 9 ein Brandausbruch festgestellt, also genau unter unseren Institutsräumen. Im 3. Obergeschoss entstand im Ergebnis ein Totalschaden. Aber auch unsere Etage war massiv betroffen. Letztlich mussten fast unser gesamtes bewegliches Inventar, alle Möbel, eine Vielzahl von Geräten und alles Kleinmaterial sowie alle unsere Unterlagen in Papierform einschließlich der kompletten Bibliothek und aller Materialien für die Lehre wegen Rußbelastung entsorgt werden. Verblieben sind lediglich die Großmaschinen in der Werkstatt und im Spritzgussbereich und eine überschaubare Anzahl von Geräten, die nass gereinigt werden konnten.

Das Institut musste ein Interimsquartier im Allmandring 30 beziehen. Dort waren keine experimentellen Arbeiten mehr möglich, lediglich Bürotätigkeiten und Rechnersimulationen. Die Sanierung der Institutsräume im Pfaffenwaldring 9, die Sanierung der Großgeräte und wenigen kleineren Geräte, aber auch die späteren Neubeschaffungen banden dann sehr viel Kapazität des Institutes. Unser Werkstattpersonal war für die gesamte Zeit komplett abgestellt, um den Sanierungsfortschritt zu unterstützen und Maßnahmen zu koordinieren. Die Forschungsarbeit war in dieser Zeit stark eingeschränkt, da kein Zugriff auf Geräte bestand. Auch in der Lehre musste ein Interimskonzept umgesetzt werden.

Der Wiedereinzug in die sanierten Institutsräume erfolgte im Februar 2015. Schritt für Schritt wurden die Neubeschaffungen der Möbel und Geräte, die Wiederinbetriebnahmen der Labore und Maschinen sowie die Wiedereinrichtung der studentischen Arbeits- und Praktikumsplätze abgearbeitet. Zum Jahresende 2015 waren aber alle Labor- und Praktikumsräume wieder voll einsatzbereit. Allerdings sind die Nachwirkungen der vielen materiellen Verluste nach wie vor unverkennbar. Viele Eigenbauten von Versuchsständen, Antrieben und anderen Geräten sind nicht mehr vorhanden, Vorlesungsmodelle nicht mehr existent und jeder Griff nach Kleinmaterial, Werkzeug und Messtechnik offenbart immer wieder neue Lücken. Die Wiederinbetriebnahme zog sich zumindest teilweise noch bis zum Wintersemester 2015/2016 hin, letzte Sanierungsarbeiten sogar bis zum Ende des Jahres 2016. Im 2. Halbjahr des Jahres 2016 gab es erneute Einschränkungen wegen der Sanierung der Decke des 3. OG. Dazu musste unsere Werkstatt erneut mehrere Wochen stillgelegt werden. Das Institut war insgesamt für einen Zeitraum von ca. 18 Monaten durchgehend und danach nochmals über einige Monate hinweg während der Sanierungsarbeiten im 3. OG massiv beeinträchtigt und eingeschränkt, insbesondere hinsichtlich der Forschungsarbeiten und Drittmittelaktivitäten. Auch die Aufrechterhaltung der Lehre erforderte in dieser Zeit erhebliche zusätzliche Anstrengungen.

2.3.4 Jubiläen

Das IKFF beging auch weitere Jubiläen in dieser Zeit. Anlässlich des Jubiläums „30 Jahre IKFF“ fand am 10. April 1997 ein festliches Symposium statt, wozu Kollegen feinwerktechnischer Lehrstühle der Bundesrepublik, ehemalige Doktoranden, Industrievertreter und die Professoren unserer Fakultät eingeladen waren /53/.

In ihren Begrüßungen ordneten der Dekan Prof. Siegert und der Institutsleiter Prof. Schinköthe die 30 Jahre Forschung und Lehre auf den Gebieten von Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik in das Gesamtumfeld feinwerktechnischer Institute ein. Aus einer anfangs doch noch sehr auf Feinmechanik eingeeengten Disziplin entwickelte sich ein breiter Schwerpunkt.

Herr Dr. Lindenmüller umriss die Institutsgeschichte und das Bemühen nun mittlerweile dreier Lehrstuhlinhaber und Institutsdirektoren und ihrer Mitarbeiter, die Feinwerktechnik und die Studien- sowie Forschungsmöglichkeiten in diesem Bereich mit anderen benachbarten Instituten zusammen auf- und auszubauen.

Quasi als eine kleine Zusammenfassung aus 18 Jahren Lehre an diesem Institut hielt Prof. Jung einen Festvortrag zur gestaltbildenden Konstruktion in der Feinwerktechnik aus der Sicht der langjährigen Auseinandersetzung mit dem methodischen Herangehen in der Entwicklung und Konstruktion.

Anschließend stellte Prof. Schinköthe die gegenwärtigen Arbeitsschwerpunkte des Institutes vor. In drei Beiträgen von Institutsmitarbeitern wurden einige Forschungsarbeiten punktuell vertieft und damit eine Momentaufnahme laufender Arbeiten am Institut vermittelt. Weitere Beiträge zu aktuellen Forschungsarbeiten des Institutes wurden in einer Festschrift zusammengestellt.

Zum 70. Geburtstag von Prof. Jung veranstaltete das Institut ein Kolloquium mit gemütlichem Beisammensein und Treffen mit Ehemaligen. Zum Kolloquium stellten die wissenschaftlichen Mitarbeiter den Stand ihrer Forschungsarbeiten vor.

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

Professor Schinköthe stellte die Arbeiten des Instituts zu Temperierkonzepten beim Mikrospritzgießen vor. Wissenschaftliche Mitarbeiter berichteten über neue Konzepte linearer Asynchronmotoren, elektrodynamische Lineardirektantriebe,

Piezoantriebe und Miniaturantriebe in Miniaturfestplattenlaufwerken sowie zum Projekt „Automatisierte Impulsjustage“.

Anlässlich des 35. Jubiläums wurde auch ein Institutsprospekt (farbiger mehrseitiger Prospekt mit inhaltlicher Darstellung zu den Institutsaktivitäten) erarbeitet.

Ende 2006 begann die Vorbereitung zum 40. Jahrestag der Gründung des IKFF /57/. Neben einer Festschrift wurden aus diesem Anlass eine Exkursion gestaltet und das interne Doktorandenkolloquium wiederbelebt. Die Doktoranden stellen hier den Stand ihrer Arbeit beziehungsweise interessante Inhalte daraus den Mitarbeitern des Institutes, interessierten Studenten sowie gezielt eingeladenen Mitarbeitern anderer Institute vor.

In ähnlicher Weise wurde auch die Gestaltung des 50. Jahrestages des Institutes vorbereitet. Hierzu wurde wiederum das Doktorandenkolloquium genutzt, zusätzlich eine Vortragsreihe externer Vortragender, insbesondere ehemaliger IKFF-Assistenten, zu spezifischen Fachthemen initiiert, eine Exkursion ausgeführt sowie diese vorliegende Festschrift gestaltet.

3 Die Lehre am IKFF heute

Nachfolgend seien die derzeitigen Lehrveranstaltungen des IKFF zusammengefasst dargestellt.

Lehrveranstaltungen für Bachelor-Studiengänge

Im **Bachelor** bietet das IKFF heute die zweisemestrigen Vorlesungen und Übungen zur Konstruktionslehre Feinwerktechnik an. Die Vorlesung vermittelt Grundlagen zur Berechnung und Gestaltung der wesentlichsten Maschinenelemente und zum Kombinieren der Maschinenelemente zu Baugruppen und Geräten und damit zum Entwerfen und Konstruieren von Baugruppen und Geräten. Die Lehrveranstaltungen starten mit den mechanischen Funktionsgruppen, wie Achsen und Wellen, Lager, Wälzlager, Gleitlager, Sonderlager, Getriebe, Zahnradgetriebe, Koppelgetriebe, Zugmittelgetriebe, Schraubgetriebe und der Gestaltung ausgewählter Funktionsgruppen. Im Sommersemester folgen Kupplungen, elektromagnetische Funktionsgruppen, Funktionsgruppen der Messtechnik, optische Funktionsgruppen sowie konstruktionsmethodische Aspekte zur Geräteentwicklung.

Zur Konstruktionsmethodik wird eine umfangreiche Baugruppen- bzw. Geräteentwicklung an einer etwas ausgefallenen Aufgabenstellung geübt und die Lösung in Form eines in die Lehrveranstaltung integrierten Konstruktionswettbewerbes auch praktisch umgesetzt und im Wettkampf mit anderen studentischen Lösungen erprobt.

Lehrveranstaltungen für Master-Studiengänge

Im Master bilden unsere Lehrveranstaltungen einerseits die Basis für unser Spezialisierungsfach Feinwerktechnik, stellen gleichzeitig aber auch Kompetenzfelder oder Wahlpflichtfächer dar.

Das **Spezialisierungsfach Feinwerktechnik** wird aus den Kernfächern Gerätekonstruktion und -fertigung der Feinwerktechnik und Aktorik in der Feinwerktechnik gebildet und durch diverse Ergänzungsfächer beispielweise zum Spritzgießen oder zur FEM-Simulation auf einen Umfang von 12 Semesterwochenstunden erweitert.

Die Vorlesung „**Gerätekonstruktion und -fertigung in der Feinwerktechnik**“ behandelt Grundlagen der Entwicklung und Konstruktion feinwerktechnischer Systeme bzw. Geräte. Den Schwerpunkt bilden Themenkreise wie Zuverlässigkeits- und sicherheitsgerechte Konstruktion, Genauigkeit und Fehlverhalten sowie Toleranzrechnung in der Präzisionsgerätetechnik, Lärminderung in der Gerätetechnik oder auch die Beziehungen zwischen Gerät und Umwelt allgemein. Beispielhafte Vertiefungen erfolgen in Übungen und Praktika.

Die Vorlesung „**Aktorik in der Feinwerktechnik - Berechnung, Konstruktion und Anwendung mechatronischer Komponenten**“ beleuchtet feinwerktechnische Antriebssysteme und Aktorik unterschiedlichster Wirkprinzipien und ausgewählte Aspekte der Entwicklung und Konstruktion solcher mechatronischer Komponenten und Systeme der Feinwerktechnik. Den Schwerpunkt bilden elektromagnetische und elektrodynamische Stelltechnik, piezoelektrische und magnetostruktive Stelltechnik, Magnettechnik und -technologie sowie Beispiele zur Realisierung mechatronischer Lösungen in der Feinwerktechnik. In sehr umfangreich angelegten Übungsblöcken zu elektrodynamischen Linearantrieben und zu piezoelektrischen Wanderwellenmotoren sowie zugehörigen Hauptfachpraktika erfolgt eine beispielhafte Vertiefung dazu.

Schwerpunkt der Vorlesung „**Praxis des Spritzgießens in der Gerätetechnik; Verfahren, Prozesskette, Simulation**“ bilden Themen wie Polymerwerkstoffe, Verarbeitungsverfahren, insbesondere das Spritzgießen, die Konstruktion von Spritzgießwerkzeugen und die spritzgussgerechte Konstruktion der Bauteile, die rheologische Auslegung von Teil und Werkzeug, Sonderverfahren sowie die gesamte Prozesskette von der Konstruktion bis zum Fertigungsprozess einschließlich Berechnung und Simulation des Spritzgießprozesses. Der Umgang mit der Simulationssoftware Moldflow und die Bedienung einer Spritzgießmaschine werden in Übungen und Praktika behandelt.

Die Vorlesungen und Rechner-Übungen „**Praktische FEM-Simulation mit ANSYS und MAXWELL**“ behandeln Methoden und Möglichkeiten zur Simulation mit Hilfe der Finiten-Elemente-Methode. Ausgehend von den Grundlagen wird an praktischen Beispielen der Einsatz der Programme ANSYS und MAXWELL in den Vorlesungen und Übungen aufgezeigt. Dieser FEM-Kurs mit insgesamt 10 Doppelstunden soll Studierenden einen schnelleren Zugriff zu rechnergestützten Methoden beim Entwerfen und Gestalten feinwerktechnischer Systeme ermöglichen. Ziel ist eine schnellere Einarbeitung der Studierenden in ANSYS und MAXWELL, die Bereitstellung einer Möglichkeit zur effizienten Vorbereitung auf das Praktikum oder die Lehrveranstaltung selbst und auch eine Unterstützung für Studierende, die unsere Kurse nicht belegt haben, in Studien- und Masterarbeiten aber FEM-Rechnungen ausführen müssen.

Dazu gehören die **Spezialisierungsfachpraktika** Gleichstrommotoren, Lineardirektantriebe, Schrittmotoren, Ultraschallantriebe, Koordinatenmesstechnik, Berührunglose optische 3D-Vermessung, Spritzgießen und FEM-Berechnungen mit ANSYS und MAXWELL. Diese sind vollständig in die Lehrveranstaltungen einbezogen.

Entsprechende Lehrmaterialien, umfangreiche Skripte und separate Unterlagen für die Übungen sowie Powerpoint-Präsentationen sind auf der Instituts-Homepage zur Verfügung gestellt.

Das interimsmäßig übernommene **Spezialisierungsfach Medizingerätekonstruktion** setzt sich zum Teil aus vorhandenen Lehrveranstaltungen zusammen, die inhaltlich dazu passen. Als spezifische Lehrveranstaltung wurde die Vorlesung Medizingerätetechnik I/II neu etabliert.

3.1 Lehre am IKFF im Detail

Lehrveranstaltungen im Bachelor:

Konstruktionslehre (FWT) III

(Schinköthe / Burkard; V 3 / UE 2 im WS)

Mechanische Funktionsgruppen: Achsen und Wellen, Lager, Wälzlager, Gleitlager, Sonderlager, Getriebe, Zahnradgetriebe, Koppelgetriebe, Zugmittelgetriebe, Schraubgetriebe. Gestaltung ausgewählter Funktionsgruppen.

Konstruktionslehre (FWT) IV

(Schinköthe / Burkard; V 3 / UE 1 im SS)

Mechanische Funktionsgruppen: KupplungsbaufORMen und -berechnung; Elektromechanische Funktionsgruppen; Funktionsgruppen der Messtechnik; Optische Funktionsgruppen; Geräteentwicklung und Konstruktionsmethodik. In die Konstruktionsmethodik integriert ist der Konstruktionswettbewerb.

Projektarbeiten

Im Rahmen der Projektarbeiten sollen Gruppen von Studierenden bereits im Bachelor in einem Team ein abgeschlossenes Projekt verschiedenster Art bearbeiten. Dies kann unter anderem auch ein konstruktives Projekt sein. Die Projektarbeiten starten regulär im Wintersemester, aber auch im Sommersemester werden jeweils Aufgaben für Projektarbeiten angeboten. Die Projektarbeiten enden mit Vorträgen am Institut.

Lehrveranstaltungen im Master:

Spezialisierungsfach Feinwerktechnik

Das Spezialisierungsfach Feinwerktechnik wird aus den Kernfächern

- Gerätekonstruktion und -fertigung in der Feinwerktechnik und
- Aktorik in der Feinwerktechnik; Konstruktion, Berechnung und Anwendung mechatronischer Komponenten

gebildet und durch diverse Ergänzungsfächer auf einen Umfang von 12 Semesterwochenstunden erweitert.

Kernfächer

Gerätekonstruktion und -fertigung in der Feinwerktechnik

(Schinköthe / Burkard; V 3 / UE 1 im WS)

Zuverlässigkeits- und sicherheitsgerechte Konstruktion, Genauigkeit, Fehlerverhalten und Toleranzrechnung in der Präzisionsgerätetechnik, Lärminderung in der Gerätetechnik, Beziehungen zwischen Gerät und Umwelt. Beispielhafte Vertiefungen in Übungen und Praktika.

Aktorik in der Feinwerktechnik; Konstruktion, Berechnung und Anwendung mechatronischer Komponenten

(Schinköthe; V 3 / UE 1 im WS und SS)

Magnettechnik und -technologie, elektromagnetische und elektrodynamische Stelltechnik, piezoelektrische und magnetostruktive Stelltechnik, Beispiele zur Realisierung mechatronischer Lösungen in der Feinwerktechnik.

Umfangreiche Übungsblöcke zu elektrodynamischen Linearantrieben und zu piezoelektrischen Wanderwellenmotoren sowie zugehörige Praktika.

Ergänzungsfächer

Ergänzend für beide Schwerpunkte, also Aktorik und Gerätetechnik, werden zwei weitere Lehrveranstaltungen mit hohem eigenständigen Übungsanteil und einem FEM-Praktikum angeboten.

Praktische FEM-Simulation mit ANSYS und MAXWELL

(Schinköthe / u. a.; V 1 / UE 1 im SS)

Einführung in die praktische Nutzung der FEM-Programme ANSYS und MAXWELL zur Berechnung von Strukturmechanik-Aufgaben, thermischen Problemen, Magnetfeldern und Antrieben (Lineardirektantriebe und piezoelektrische Antriebe).

Praxis des Spritzgießens in der Gerätetechnik; Verfahren, Prozesskette, Simulation

(Schinköthe / Burkard; V 1 / UE 1 im SS)

Spritzgießverfahren der Mikro- und Gerätetechnik, Sonderverfahren, Prozesskette, Bauteil-, Werkzeugkonstruktion, Nutzung von Simulationstechniken zur effizienten Entwicklung; mit Praktika am Spritzgießautomaten und am Programm Moldflow.

Spezialisierungsfach- und APMB-Praktika

Die Spezialisierungsfachpraktika Ultraschallantriebe, Lineardirektantriebe, Gleichstrommotoren, Schrittmotoren, Koordinatenmesstechnik, Berührungslose optische 3D-Vermessung, FEM-Berechnung mit ANSYS sowie MAXWELL,

Spritzgießen, Spritzgieß-Simulation mit Moldflow sind in die Lehrveranstaltungen einbezogen.

Mit diesen insgesamt neun Praktika wurde das Angebot zum praktischen Arbeiten für die Studierenden erheblich erweitert. Das FEM-Praktikum zu ANSYS und MAXWELL geht dabei über eine Lehreinheit von drei Terminen à zwei Doppelstunden.

Die Praktika Schrittmotoren, Koordinatenmesstechnik und Berührungslose optische 3D-Vermessung werden dabei auch als Allgemeine Praktika Maschinenbau (APMB) einer breiteren Studierendenzahl auch außerhalb unserer Spezialisierungsfächer angeboten.

Spezialisierungsfach Medizingerätekonstruktion

Das Spezialisierungsfach Medizingerätekonstruktion setzt sich zum Teil aus vorhandenen Lehrveranstaltungen zusammen, die inhaltlich dazu passen. Hinzu kommt als spezifische Lehrveranstaltung die Vorlesung Medizingerätetechnik I/II.

Medizingerätetechnik I/II

(Schinköthe / Frank / Maier; V 4 im WS und SS)

Die Vorlesung Medizingerätekonstruktion wird durch externe Dozenten gehalten, im Wintersemester Medizingerätetechnik I durch Prof. Frank und im Sommersemester Medizingerätetechnik II durch Dr. Maier.

Medizingerätetechnik I

Schwerpunkt der Vorlesung bilden die Themen: Technik für die Intensivmedizin, Monitoring, Technik für die Labormedizin, in-Vitro-Diagnostik, Analysesysteme, Medizintechnik im Alltag, Messsysteme, Atmungsunterstützung, Prothesen, Telemedizin, Krankenhaustechnik.

Medizingerätetechnik II

Schwerpunkt der Vorlesung bilden die Themen: Entwicklungsmethodik und Produktentwicklung, Zulassungsverfahren, Richtlinien und Verordnungen in Europa und USA, Risikomanagement, Entwicklungsdokumentation, Produktbeobachtung, Beispiele von Produktentwicklungen.

Exkursion

Jährlich wird eine Exkursion in feinwerktechnische Firmen für die Hauptfachstudenten organisiert.

Seminar Feinwerktechnik

Im Rahmen des Seminars Feinwerktechnik stellen Studenten die Ergebnisse ihrer Studien-, Bachelor- oder Masterarbeiten vor.

4 Konkrete Forschungsgebiete und Forschungsarbeiten am IKFF

Nachfolgend sollen einige Forschungsarbeiten des IKFF etwas näher vorgestellt werden, vorzugsweise solche der letzten 25 Jahre.

4.1 Aktorik am IKFF - Elektrodynamische Lineardirektantriebe

Seit Prof. Schinköthe dieses Gebiet am Institut etablierte, waren etwa 20 Assistenten/Doktoranden auf diesem Gebiet eingesetzt. Bisher entstanden 15 Dissertationen dazu.

Mit den ersten beiden Assistenten/Doktoranden auf diesem Gebiet (Herr Voss, Dr. Hartrampf) wurden zunächst das Gebiet der elektrodynamischen Lineardirektantriebe aufbereitet, Dimensionierungsgrundlagen geschaffen, Erfahrungen in der Berechnung derartiger Antriebe erlangt und die entsprechenden Lehrunterlagen dazu erstellt, Abb. 8.

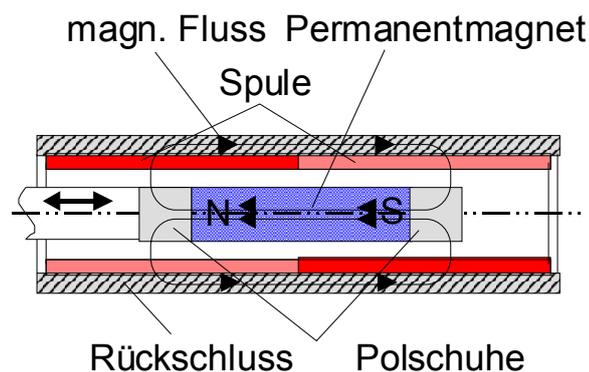


Abb. 8: Lineardirektantrieb mit bewegtem Magneten /60/

Neben den allgemeinen Aspekten der Dimensionierung und Berechnung von derartigen Lineardirektantrieben, die nach dem Gleichstrommotorprinzip arbeiten, rückte dann sehr schnell auch das Gebiet der integrierten Wegmessung in Lineardirektantrieben an eine zentrale Position in der Forschung des Institutes. Die Frage die sich hier auftat war, ob es geeignete interne sensorische Eigenschaften in derartigen Antrieben gibt, die ein äußeres Wegmesssystem entbehrlich machen. Da elektrodynamische Antriebe, also Gleichstrommotoren, für die Anwendung im Positioniersystem einen geschlossenen Regelkreis und damit ein zusätzliches Messsystem benötigen, war die Vermeidung derartiger Messsysteme gerade im Hinblick auf die Miniaturisierung derartiger Antriebe ein interessanter Ansatz.

An das Institut herangetragen wurden diese Anforderungen im Rahmen der Entwicklung eines Miniaturmotors mit 7 mm Außendurchmesser für die distalseitige Anwendung in einem Endoskop, Abb. 9. Andere Messsysteme oder eine geeignete Bildverarbeitung, aus denen sich ein Messsignal generieren lässt, waren damals nicht verfügbar, sodass für den gezielten Einsatz eines derartigen miniaturisierten Lineardirektantriebes im Endoskop, die auch patentiert werden konnte, sich nur eine integrierte Wegsignalerfassung aus dem Motorstromsignal anbot. Insbesondere die Induktivität von Teilspulen kann ein wegproportionales Verhalten zeigen, wenn sich Eisenkomponenten im Inneren dieser Spulen verschieben. Die Aufgabe bestand also zunächst darin, die entsprechenden Motoren so anzupassen, dass ihnen interne sensorische Eigenschaften implementiert werden konnten. Dies gelang vorzugsweise zunächst bei Antrieben mit bewegten Magneten.

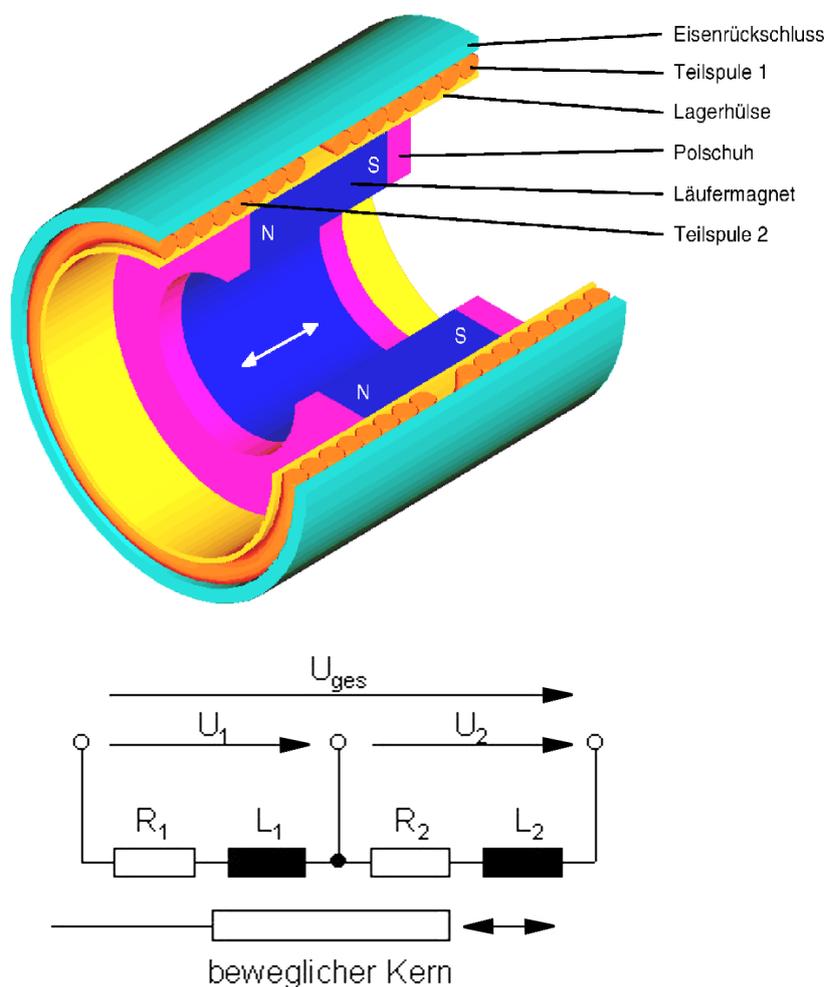


Abb. 9: Lineardirektantrieb mit bewegtem Magneten für ein Endoskop und Prinzip der integrierten Wegmessung /20//61/

Damit begann dann eine interessante Entwicklung, ausgehend von dem genannten Miniaturmotor erfolgte die Realisierung dieser integrierten Wegmessung am Beispiel von Prototypen für Industrieauftraggeber für kleinhubige, zweisträngige Lineardirektantriebe in immer neuen Bauformen (Dr. Hartramph), Abb. 10.

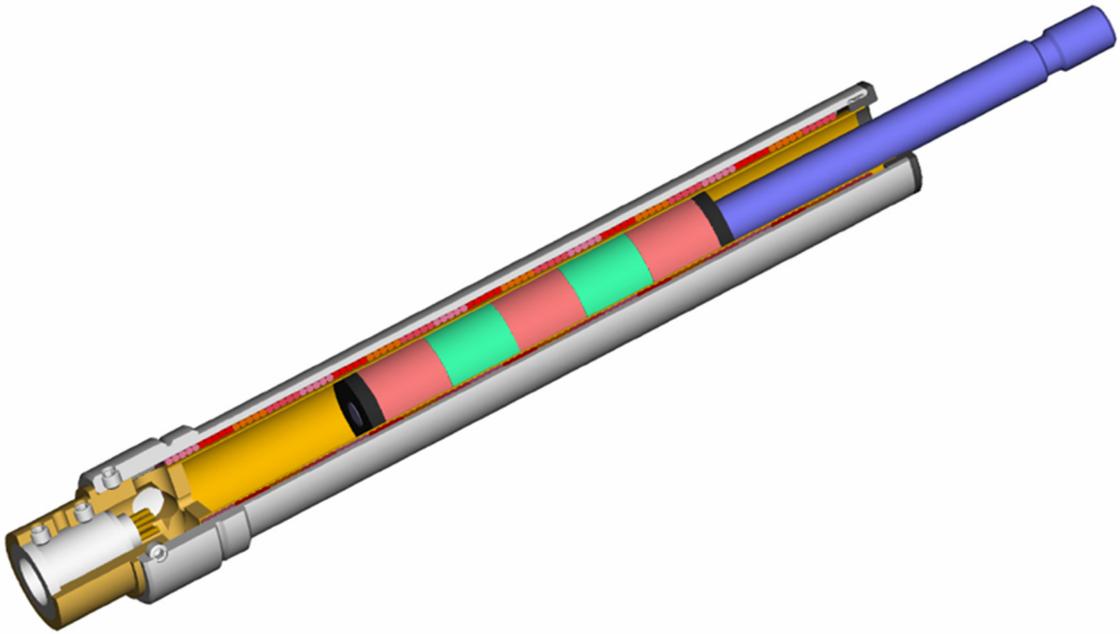


Abb. 10: Zweisträngiger Lineardirektantrieb mit bewegtem Magneten für einen Miniatur-Verschiebetisch mit integrierter Wegmessung /20/

Anfänglich wurde der Induktivitätsverlauf vorzugsweise analog durch Überlagerung einer Messwechselspannung auf das Stromsignal und die Auswertung deren Veränderung entsprechend der Läuferposition ermittelt. Später wurde auch die getaktete pulswidenmodellerte Ansteuerung genutzt, um in einer Taktperiode bzw. in Ansteuerpausen aus der Anstiegsgeschwindigkeit des Stromsignals auf die Läuferposition zu schließen (Dr. Welk), Abb. 11 und 12.

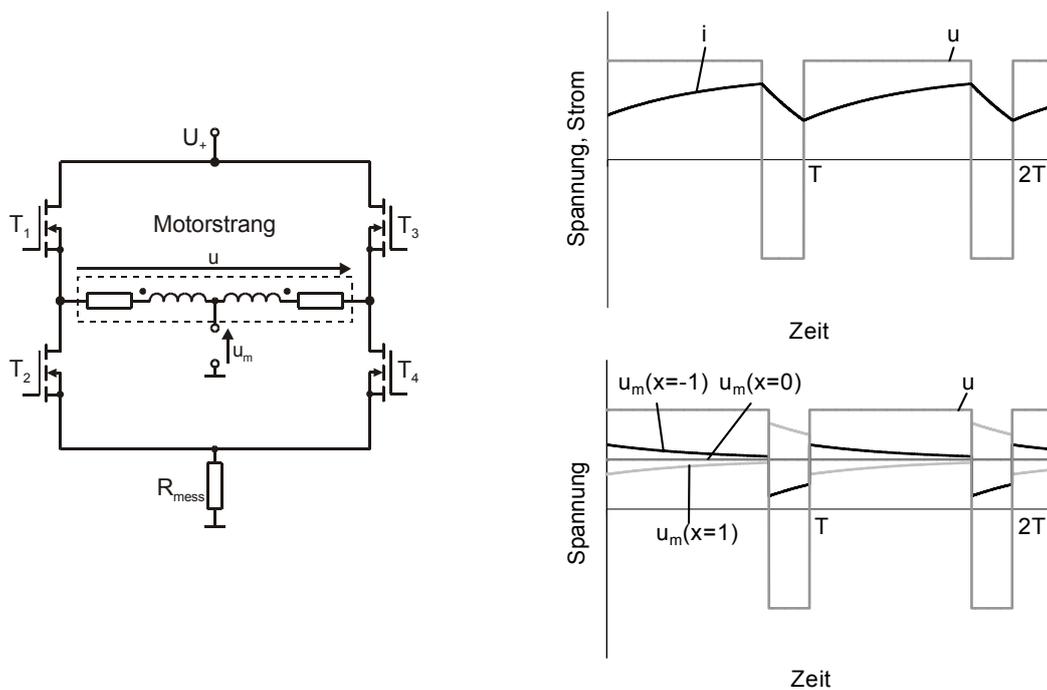


Abb. 11: Prinzip der integrierten Wegmessung bei getakteter Ansteuerung mit PWM, Mittelspannung U_m weist läuferpositionsabhängigen Signalverlauf abhängig vom Weg x auf /26/

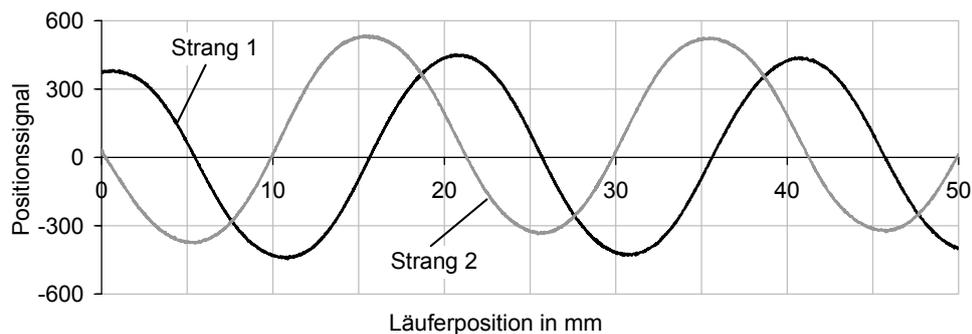


Abb. 12: Positionssignal aus der integrierten Wegmessung in einem zweisträngigen Lineardirektantrieb /26/

Schließlich wurde auch untersucht, ob Antriebe mit bewegten Spulen, beispielsweise Tauchspullinearmotoren, ebenfalls eine Abhängigkeit im Induktivitätsverlauf zeigen, die eine Detektion als interne sensorische Eigenschaft gestatten (Frau Dr. Clauß), Abb. 13.

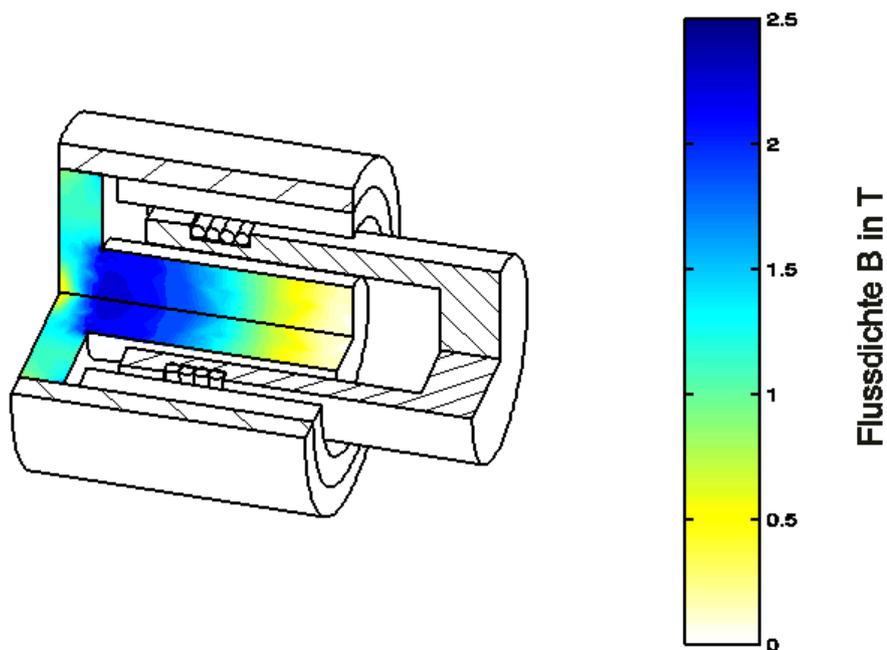


Abb. 13: Flussdichteverlauf als nutzbare sensorische Eigenschaft in einem Tauchspullinearmotor /29/

Auch dies konnte gezeigt werden, sodass insgesamt eine sehr breite Bearbeitung des Themengebietes der integrierten Wegmessung in Lineardirektantrieben nach dem elektrodynamischen Wirkprinzip in drei Dissertationen erfolgte, zwei waren dabei durch die DFG finanziert. 2006 wurden die Untersuchungen zur integrierten Wegmessung in Lineardirektantrieben über interne sensorische Eigenschaften zu einem gewissen Abschluss gebracht. Sowohl Motoren mit bewegten Magnetsystemen als auch Motoren mit Kurzspulen und bewegten eisenlosen Wicklungen können nun mit integrierter Wegmessung versehen werden. Die Ergebnisse wurden 2007 auf der Kleinantriebstagung in Augsburg zusammengefasst vorgestellt.

Parallel dazu wurde die Berechnung, Dimensionierung und Entwicklung anwendungsspezifischer Lineardirektantriebe tiefergehend untersucht (Dr. Gundelsweiler, Dr. Grotz, Dr. Dannemann), Abb. 14 bis 16.

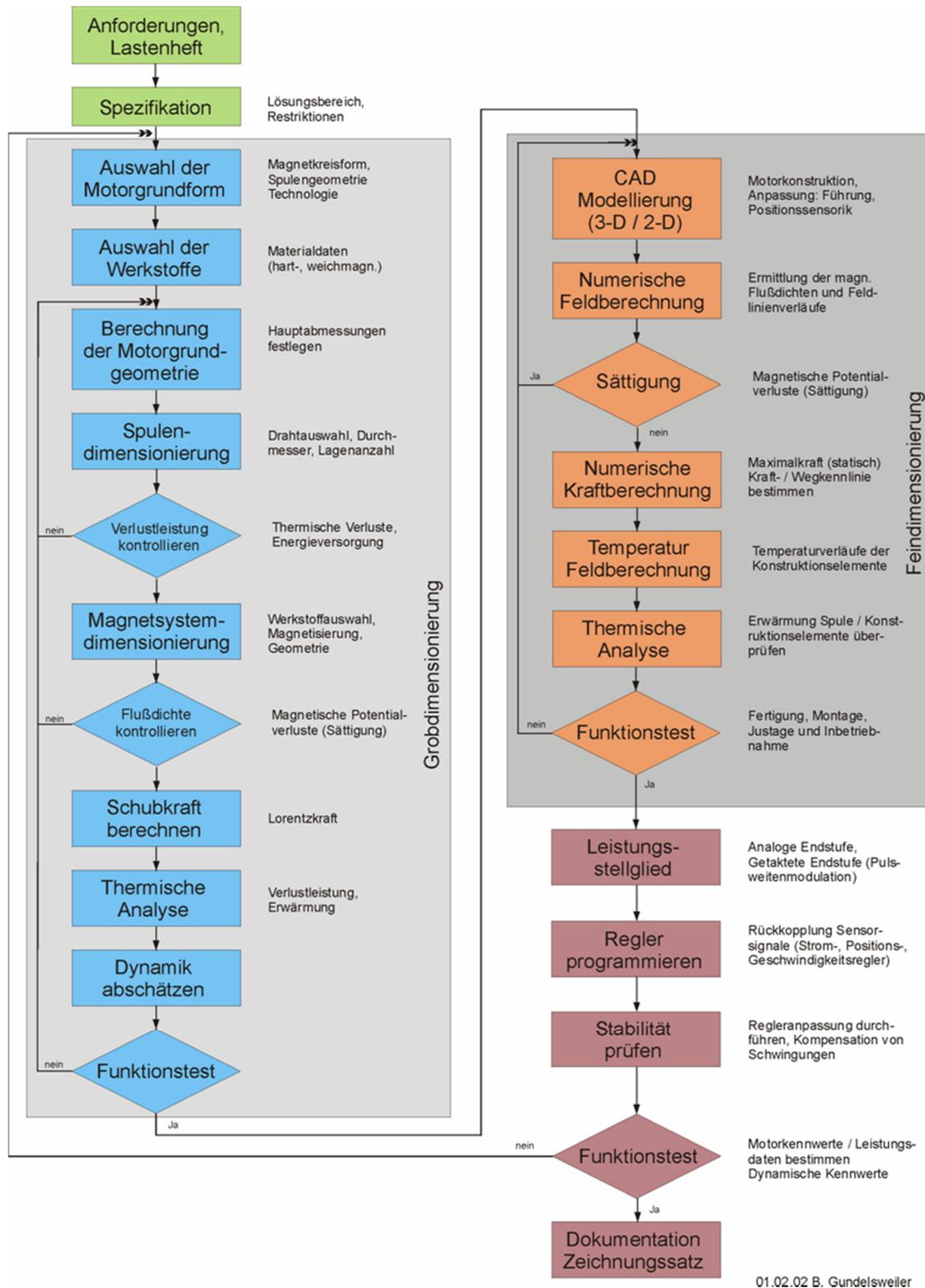


Abb. 14: Dimensionierungsalgorithmus für Lineardirektantriebe /24/

Einen Schwerpunkt bildete die Gestaltung des Magnetkreises, die Realisierung sowohl von Antrieben mit bewegten Spulen als auch mit bewegten Magneten, wobei sowohl miniaturisierte Antriebe als auch Antriebe bis zu einer Baulänge von fast drei Metern entwickelt wurden. Dies war auch häufig Gegenstand von Industriaufträgen.

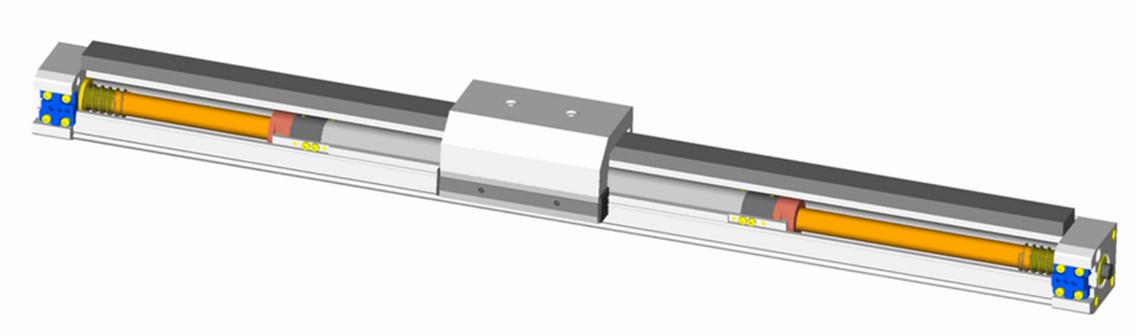


Abb. 15: Dreisträngiger Lineardirektantrieb mit bewegtem Spulensystem /24/

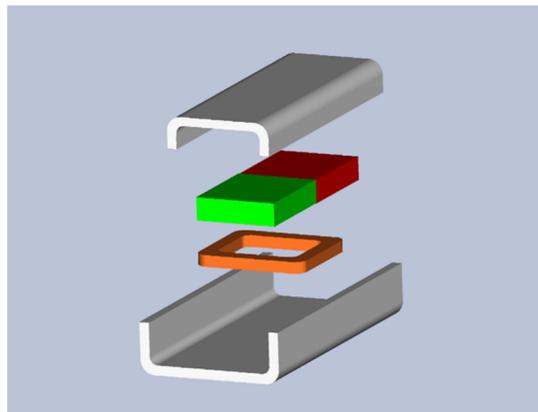
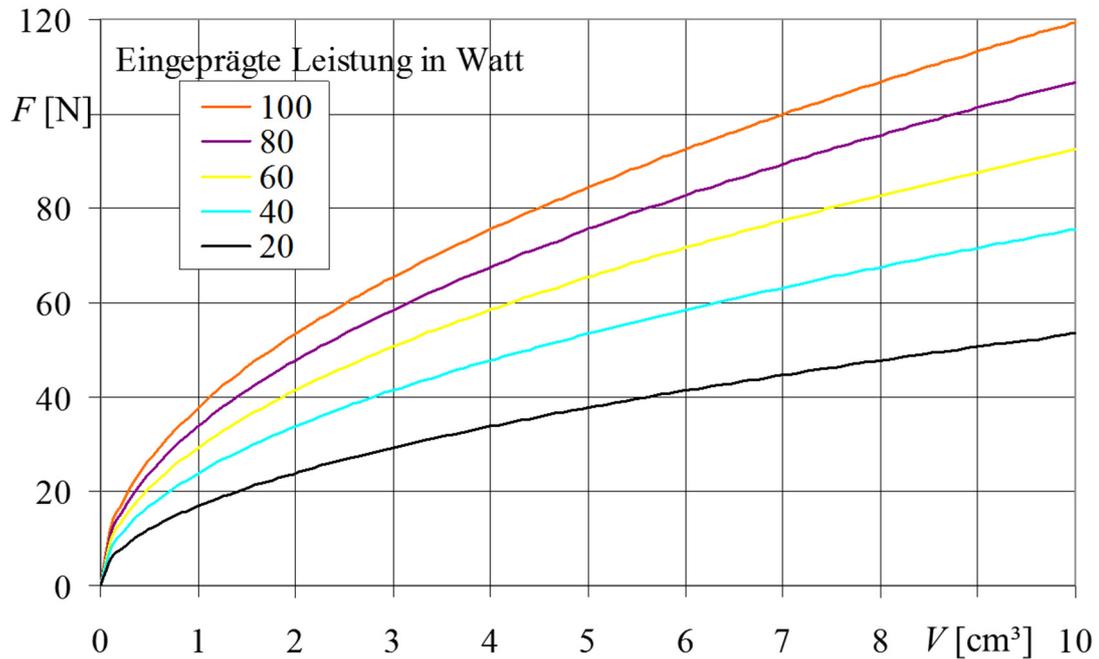


Abb. 16: Kleinantriebe mit bewegten Magneten oder bewegten Spulen /33/

Eine Zusammenfassung fand die Vorgehensweise zur Dimensionierung von derartigen Lineardirektantrieben durch die Entwicklung allgemeingültiger Dimensionierungsgleichungen, die weit vor der konkreten Motorgestaltung greifen (Dr.

Dannemann), Abb.17. Auch verschiedene parasitäre Effekte und Beeinflussungen wurden in die Dimensionierung mit einbezogen.



$$F = -\frac{B^2 \cdot \kappa_{\text{Cu}} \cdot \frac{V_F^2}{V_{\text{ges}}} \cdot v \cdot f}{2} + \sqrt{\left(\frac{B^2 \cdot \kappa_{\text{Cu}} \cdot \frac{V_F^2}{V_{\text{ges}}} \cdot v \cdot f}{2} \right)^2 + B^2 \cdot \kappa_{\text{Cu}} \cdot \frac{V_F^2}{V_{\text{ges}}} \cdot f \cdot P_{\text{el}}}$$

Abb. 17: Dimensionierungsbeziehungen für Lineardirektantriebe /32/

Eine sehr spezielle Entwicklung bildeten miniaturisierte Lineardirektantriebe zur Impulspositionierung. Sie wurden als Stoßantriebe eingesetzt, um vormontierte Baugruppen innerhalb eines Justageprozesses in die Endposition zu bringen. Dies erfolgte durch stoßförmige Aufbringung von kinetischer Energie bei definierter Läufermasse und geregelter Auftreff-Geschwindigkeit (Dr. Pröger-Mühleck), Abb. 18. Hier kam eine integrierte Geschwindigkeitserfassung, ausgehend von der bei Bewegung gegeninduzierten Spannung, zum Einsatz.

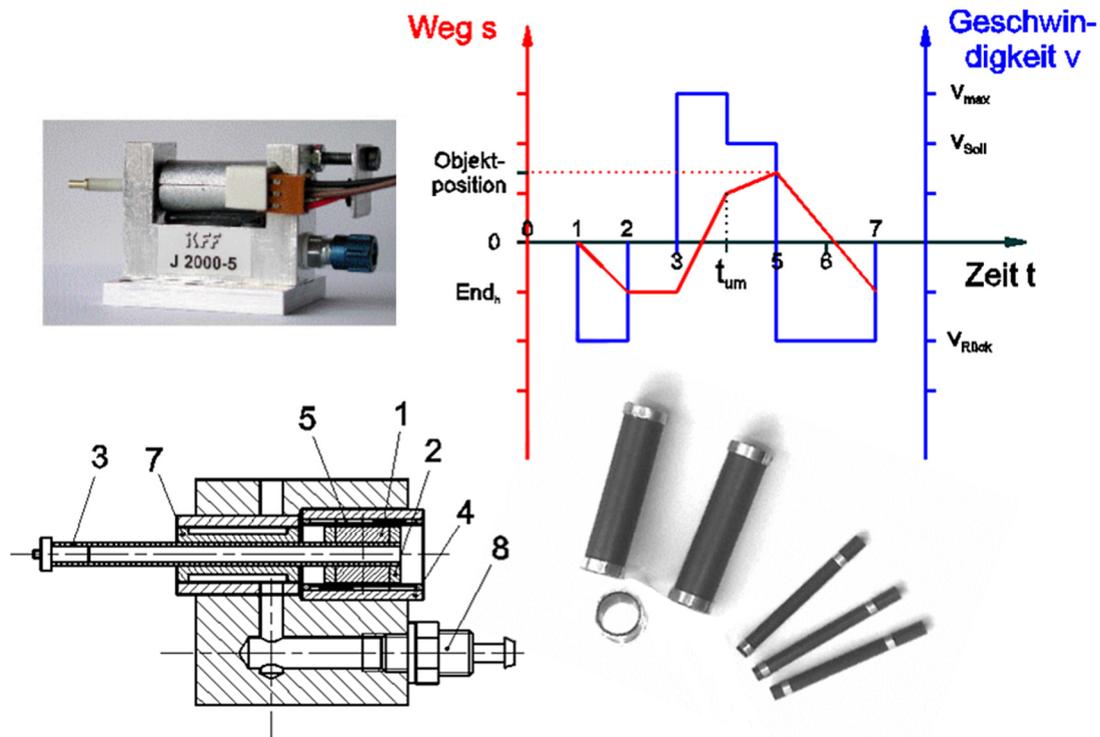


Abb. 18: Linearantriebe für die Stoßjustierung feinwerk- und mikrotechnischer Baugruppen /25/
Schließlich rückte auch die Lagerung von Linear- oder auch Mehrkoordinatenantrieben in den Mittelpunkt von Forschungsarbeiten, beispielsweise die Frage der Luftführung von Ein- und Mehrkoordinatenantrieben (Dipl.-Ing. Mochel, Abb. 19, 20).

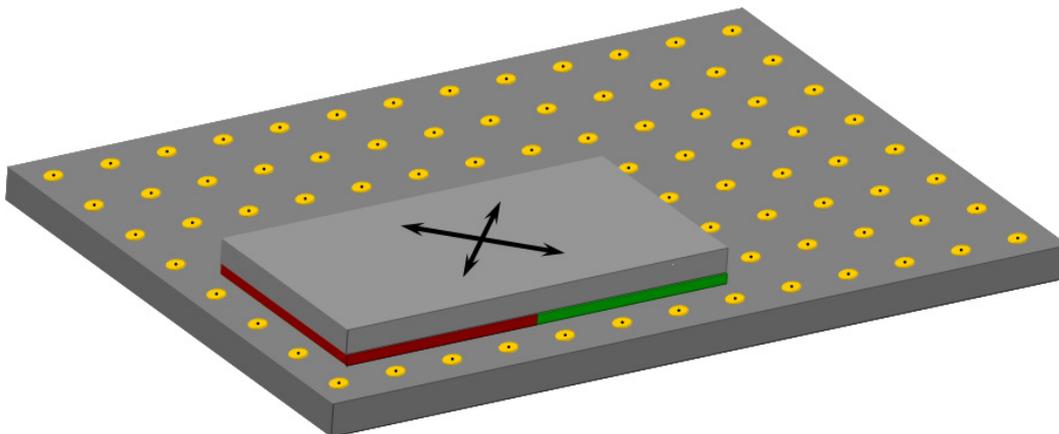


Abb. 19: Prinzip eines luftgeführten Mehrkoordinatenantriebes mit Luftkommutierung /76//83/

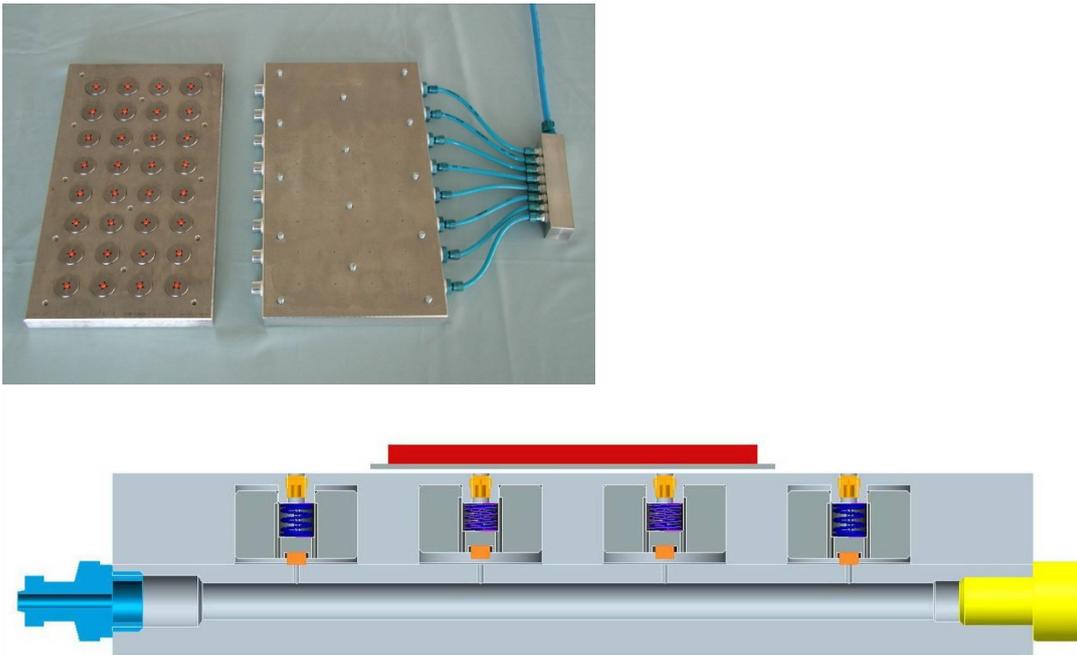


Abb. 20: Stator mit 32 integrierten Ventileinsätzen für einen luftgeführten Linearantrieb /76//83/

Einen anderen Ansatz bildete die Realisierung von magnetisch geführten Antrieben in fünf Freiheitsgraden (Dr. Reutzsch, Abb. 21, 22), der sechste Freiheitsgrad ist die Abtriebsbewegung. Mit derartigen Antrieben konnten neben der Führungsaufgabe auch gezielt Beeinflussungen in den Freiheitsgraden vorgenommen werden, also kleine Nick-, Gier- bzw. Hubbewegungen zusätzlich ausgeführt werden. Dabei wurden zwei verschiedene Schwebeantriebe entwickelt, einerseits mit elektrodynamischen Antriebssystemen und andererseits mit elektromagnetischen Antriebssystemen für die Führungsaufgaben in den fünf Freiheitsgraden. Beide konnten im Vergleich zueinander bewertet und das Potenzial aufgezeigt werden.

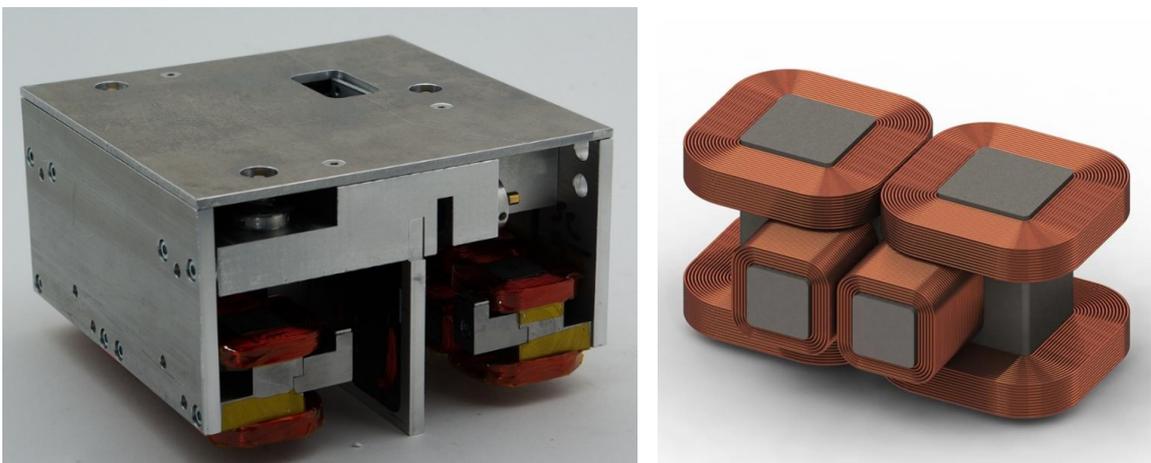


Abb. 21: Läufer eines elektromagnetisch geführten Lineardirektantriebes /45/

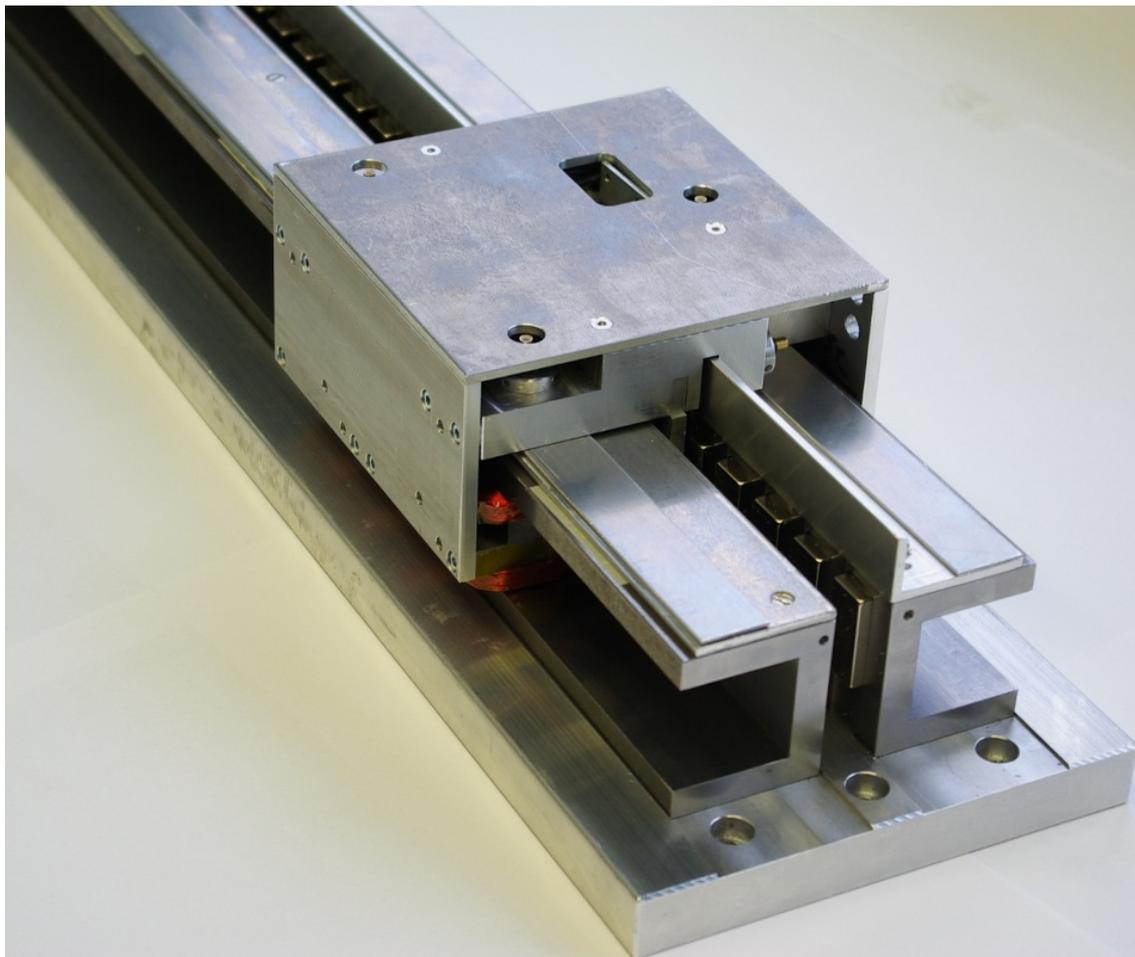


Abb. 22: Elektromagnetisch geführter Lineardirektantrieb /45/

Am Institut wurden bis dahin meistens Lineardirektantriebe mit eisenlosen Läufern in nichtgezahnter Ausführung realisiert. Eisenbehaftete Motoren wurden schließlich auch in die Untersuchungen einbezogen, Zahnspulentechnik kam hier zum Einsatz und der Untersuchungsgegenstand richtete sich insbesondere auf die Frage der Rastkräfte (Dr. Joerges), die in derartigen Antrieben zu erwarten sind bzw. die Rastkraftminimierung durch konstruktive aber auch regelungstechnische Maßnahmen, Abb. 23.

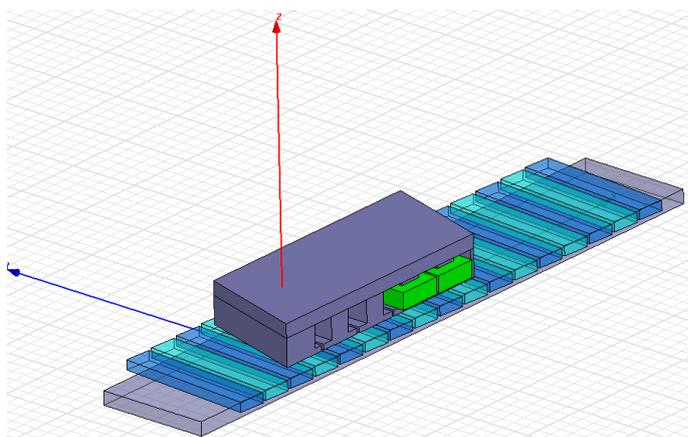


Abb. 23: Rastkraft-Untersuchungen an eisenbehafteten Lineardirektantrieben /37/

Was letztlich verblieb war die thermische Seite derartiger Antriebe (Dr. Ulmer). Hier galt es die Frage der maximal erreichbaren Schubkräfte aus den thermischen Begrenzungen heraus zu beantworten. Schließlich muss gerade im stationären Betrieb bei Aufbringung von Dauerkräften die zugeführte elektrische Leistung vollständig als Wärme abgeführt werden. Die Wärmeabfuhr ist damit ganz entscheidend für die Dimensionierung eines solchen Motors. Dabei kommen Strahlung, Konvektion und Wärmeleitung zum Einsatz. Hier wurden diese Aspekte für die Dimensionierung von Lineardirektantrieben aufbereitet, Abb. 24.

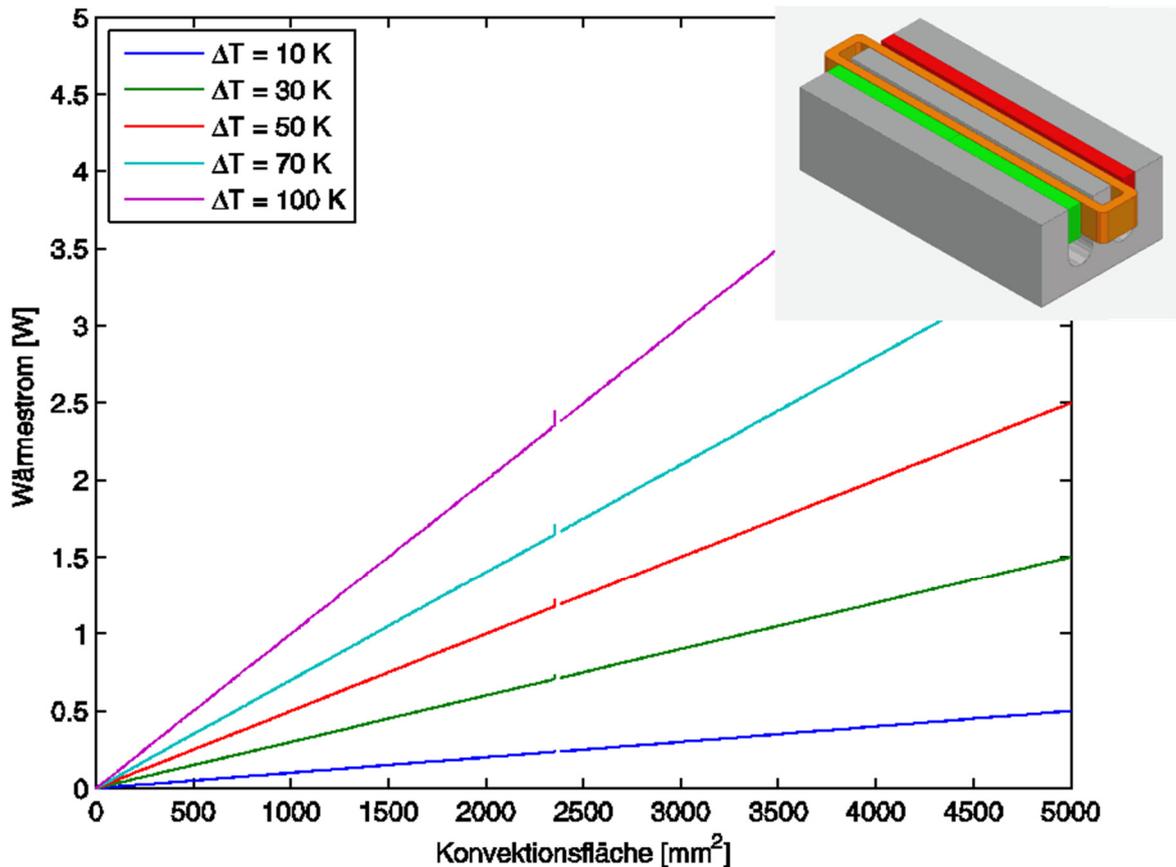


Abb. 24: Wärmeabfuhr durch Konvektion an einem Lineardirektantrieb /40/

Etwas weiter entfernt von den Institutzszielen war die Entwicklung geeigneter externer Messsysteme für miniaturisierte Linearmotoren. Aber auch hier gab es eine interessante Arbeit eines externen Doktoranden (Dr. Wibbing), der aus Beugungsmustern von Gitterstrukturen, die durch geeignete Technologien direkt auf die Abtriebsachse aufgebracht wurden, absolute Positionsinformationen ableitete und ein entsprechendes Messsystem entwickelte, Abb. 25.

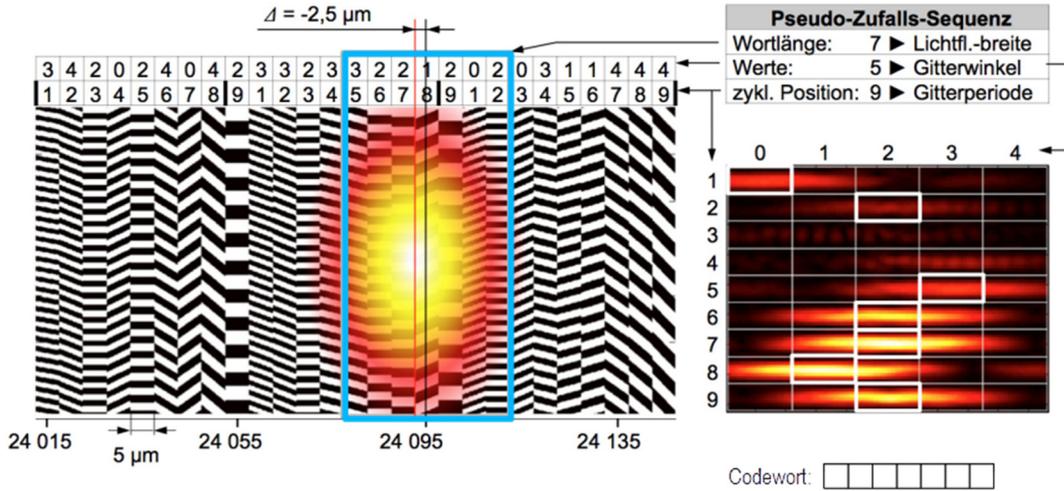


Abb. 25: Absolutkodierung durch Beugungsmuster in einem miniaturisierten Wegmesssystem für Linearantriebe /39/

Die parasitären Effekte in Lineardirektantrieben wurden bereits genannt. Im Rahmen einer Doktorarbeit an der GSaME Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering (Dr. Engel) wurden insbesondere die Ummagnetisierungsverluste (Hystereseverluste) und auch die Wirbelstromverluste in Lineardirektantrieben mit bewegten Magneten untersucht, die ja zusätzlich zur Schubkraft auftreten, Abb. 26 und 27.

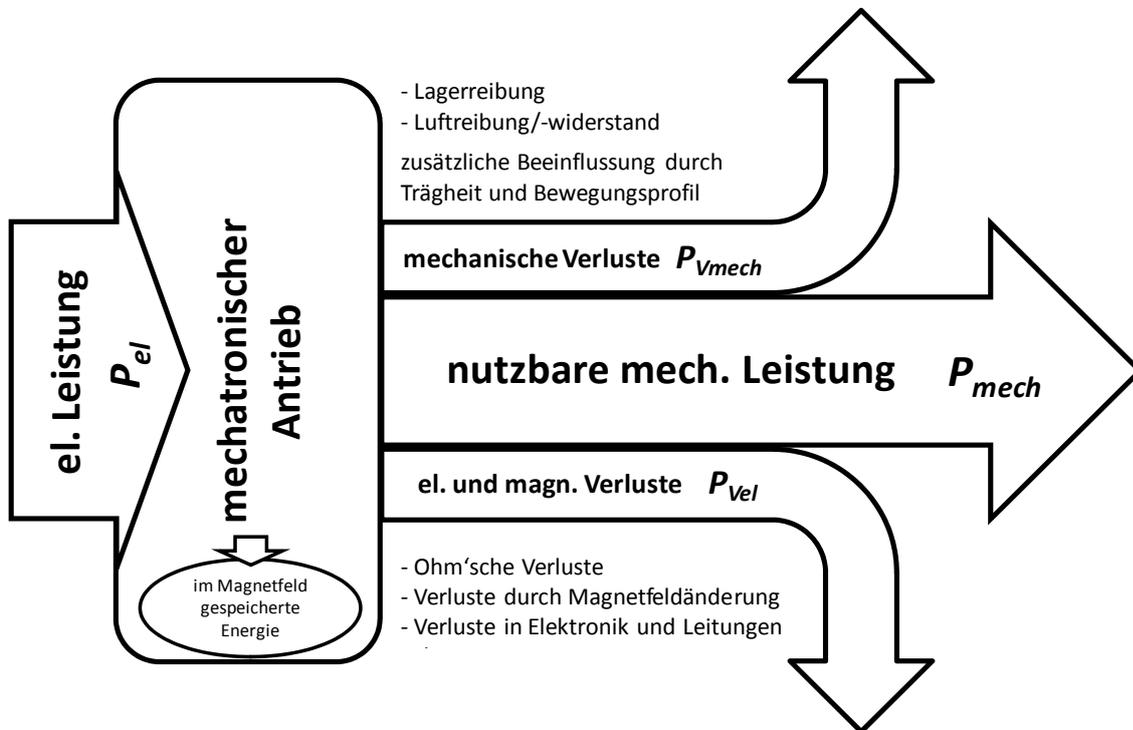


Abb. 26: Verluste in Lineardirektantrieben /41/

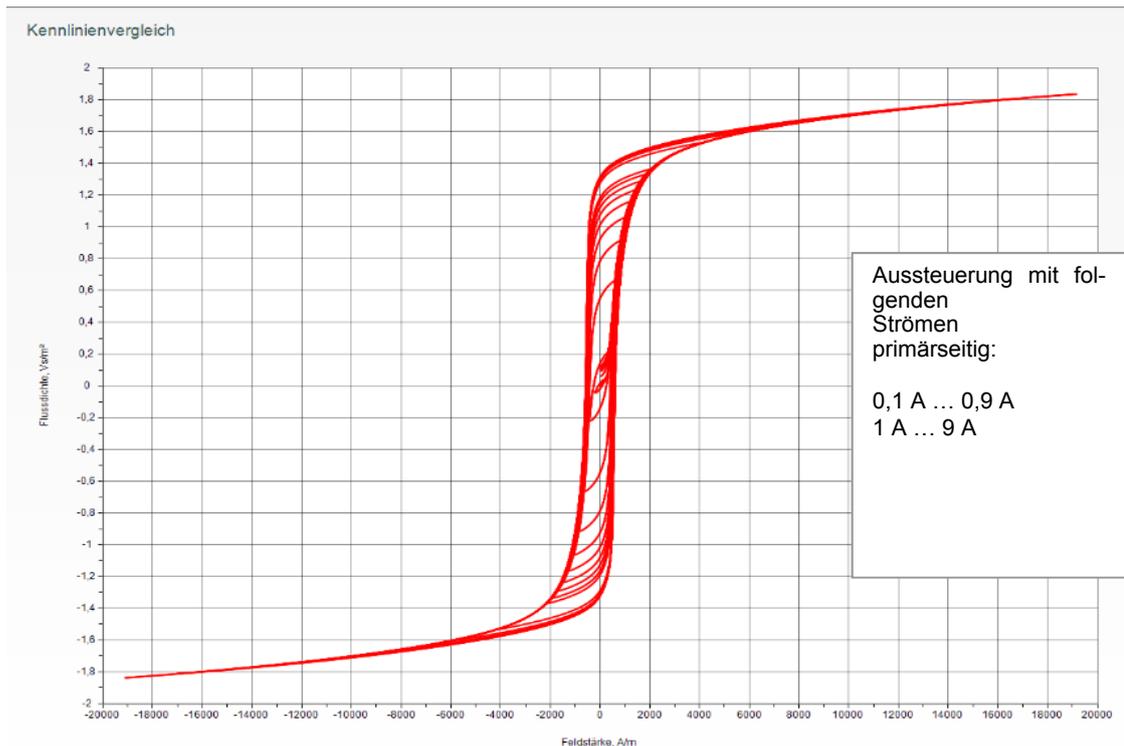


Abb. 27: Hystereseverluste im Rückschluss von Lineardirektantrieben /41/

Eine weitere Industriepromotion galt einem speziellen Antriebssystem mit multiplen Läufern, einem Ovalstatormotor mit 20 und mehr unabhängig voneinander auf diesem Stator sich bewegenden und geregelt geführten Läufern von Lineardirektantrieben (Dr. Voelz), Abb. 28.

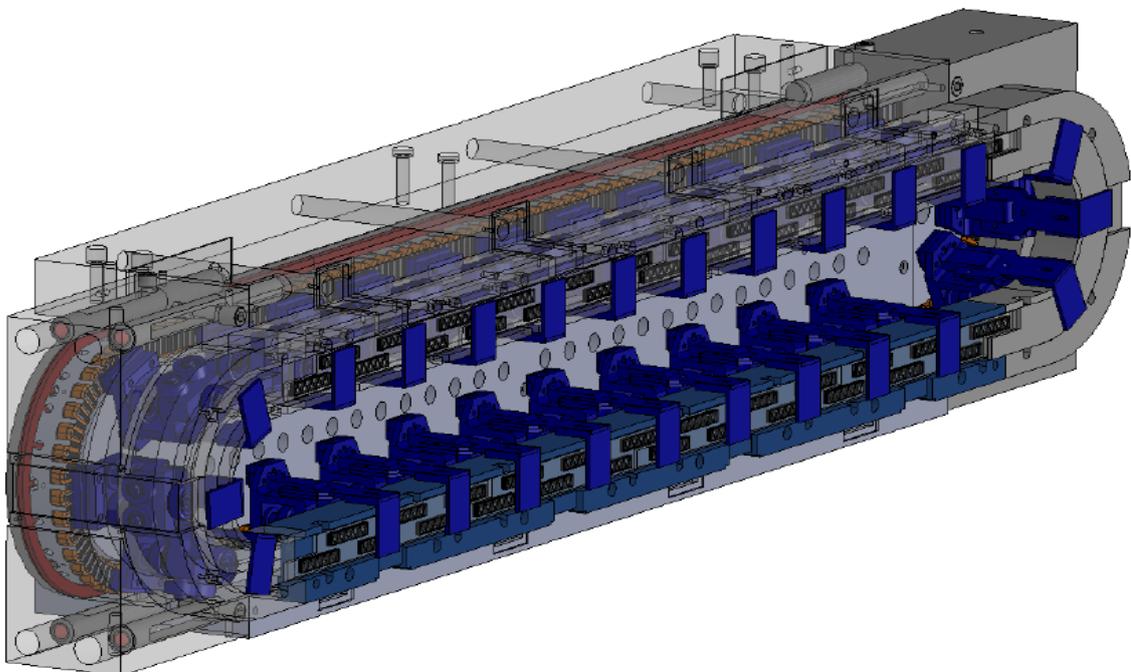


Abb. 28: Ovalstatormotor für die Verpackungstechnik mit einer Vielzahl unabhängig ansteuerbarer Läufer /42/

Dieses System findet in der Verpackungsindustrie Anwendung, um eine Verkettung in einer Transferlinie dahingehend zu realisieren, dass unterschiedliche Abstände am Ausgang eines ersten Prozesses zu einer Abfolge gleichartiger Abstände am Ausgang des Antriebes und damit am Eingang eines zweiten Prozesses umgeformt werden. Schwerpunkt war hier natürlich die aufwendige Regelung von einer Vielzahl derartiger Läufer auf einem gemeinsamen System.

Derzeit laufen weitere Doktorarbeiten auf dem Gebiet elektrodynamischer Lineardirektantriebe, beispielsweise zu thermischen Aspekten, zu Führungsfragen, zur Optimierung und Dimensionierung sowie weiteren Aspekten in Lineardirektantrieben.

4.2 Aktorik am IKFF - Piezoelektrische Antriebe

Einen weiteren Schwerpunkt auf der Antriebsseite bilden die piezoelektrischen Antriebe, dabei speziell die Wanderwellenmotoren und Bimodenschwinger. Seit Beginn der 90er Jahre waren hier sieben Doktorarbeiten zu verzeichnen. Begonnen haben die Arbeiten noch unter Prof. Jung mit der Untersuchung von Wanderwellenmotoren nach dem Shinsei-Prinzip (Dr. Fröschle, Dr. Herzog), die später insbesondere auch durch Simulationen weitergeführt wurden (Dr. Hermann).

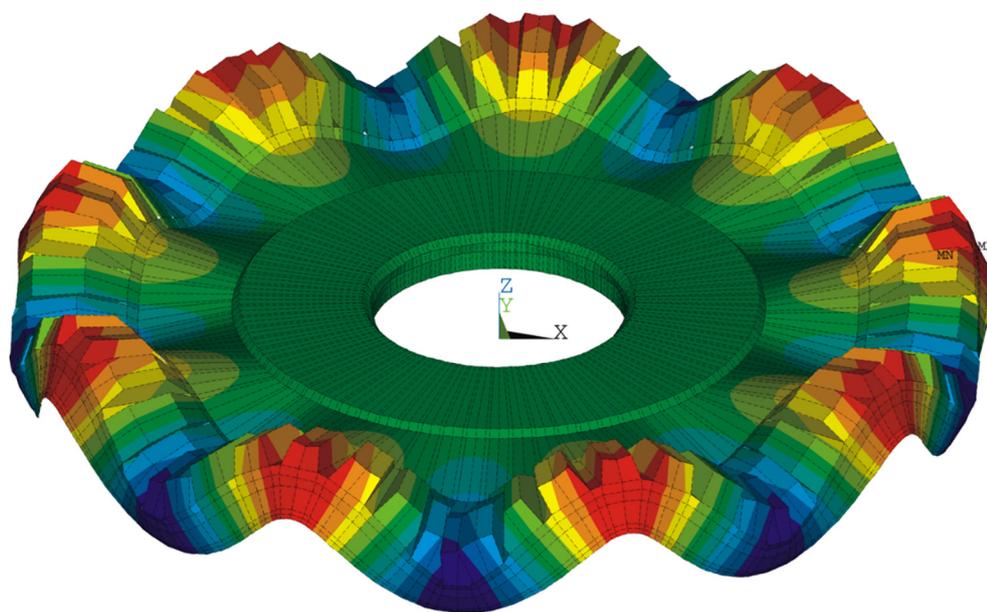


Abb. 29: FEM-Simulation einer Wanderwelle im Shinsei-Motor /16/

Ausgehend von der Untersuchung derartiger kommerziell erhältlicher Antriebe wurde schließlich am Institut die eigenständige Entwicklung piezoelektrisch erregter Wanderwellenmotoren, speziell für lineare Bewegungen, vorangetrieben (Dr. Hermann, Dr. Haug). Dies ging einher auch mit der FEM-Simulation existierender Antriebssysteme mit Biegewellen (Abb. 29) oder Dehnungswellen und schließlich mit der Fragestellung, wie man derartige Wanderwellen auch für lineare Antriebe nutzen kann. Im Gegensatz zu rotatorischen Antrieben besteht hier

ein Problem in der Endlichkeit linearer Strukturen. An den Enden würden fortlaufende Wellen reflektiert und sich mit den ankommenden Wellen überlagern, was auch zur Auslöschung führen kann.

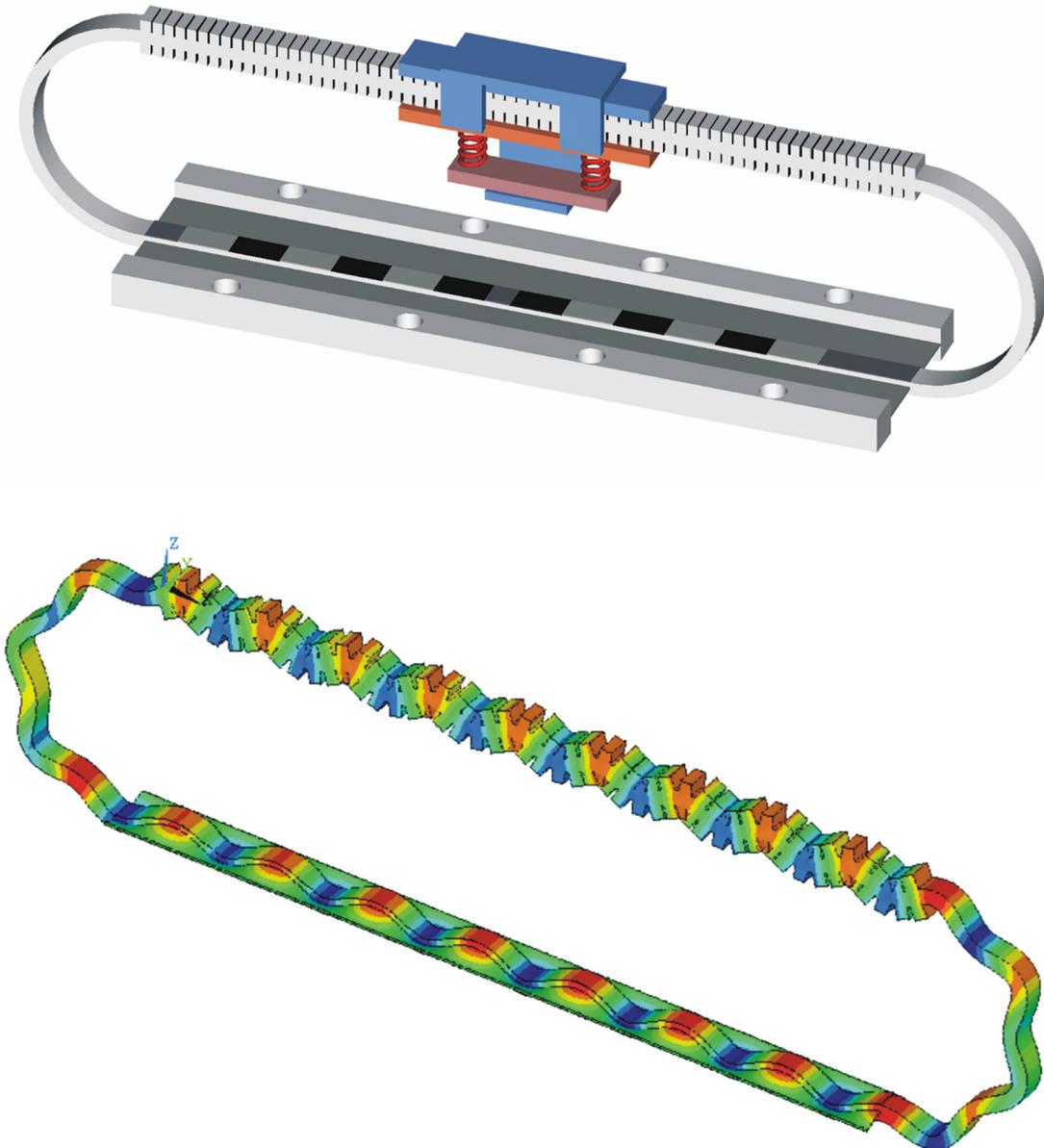


Abb. 30: Konstruktiver Aufbau eines linearen Wanderwellenmotors und FEM-Simulation der Wanderwelle im Stator /16/

Deshalb wurden hier ebenfalls geschlossene Wellenleiter genutzt, die als ovale Bauformen einen Umlauf von Wanderwellen gestatten, Abb. 30 und 31. Genutzt wurden vorzugsweise Biegewellen, die durch Anregung zweier stehender Wellen mit räumlicher und zeitlicher Phasenverschiebung von $\lambda/4$ bzw. $\pi/2$ entstehen. Probleme bei derartigen Strukturen entstehen einerseits in dem Finden geeigneter Eigenmoden. Hier können nicht, wie bei rotatorischen Systemen, durch räumliche Phasenverschiebung erneut gleiche Eigenmoden angeregt werden. So musste beispielsweise für den linearen Wanderwellenmotor die Eigenmoden 98

und 99 am Ovalstator genutzt werden. Die Bewegung wird schließlich reibschlüssig auf den Läufer übertragen, der Läufer ist passiv. Die Anregung erfolgt durch piezoelektrische Erregung einer Biegeschwingung am Stator. Die konkreten Gestaltungen der Anregung, auch aus elektrischer Sicht, waren dann Themen verschiedener Forschungsarbeiten.

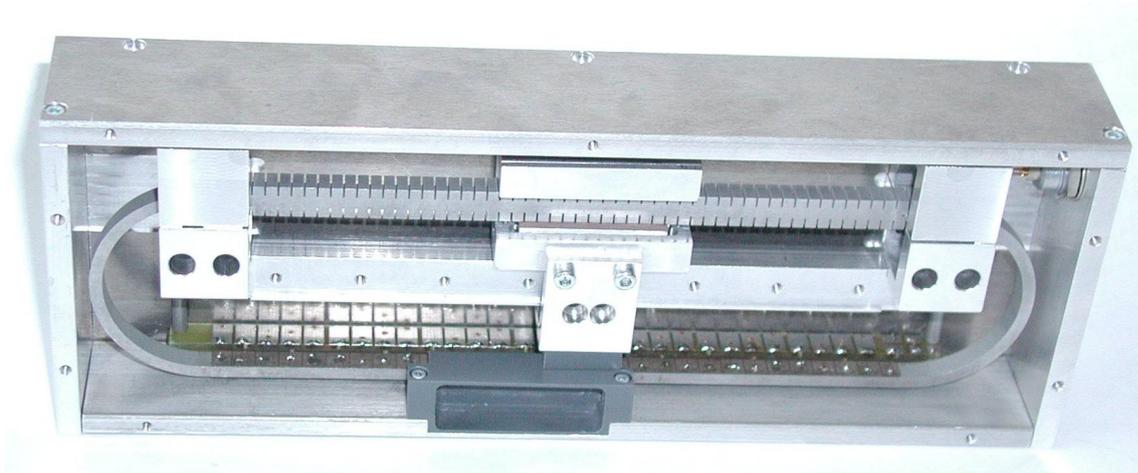


Abb. 31: Realer Aufbau eines linearen Wanderwellenmotors mit beidseitiger Erregerstruktur im Stator /28/

Schließlich wurden die Untersuchungen von piezoelektrischen Antrieben auch auf sogenannte Monomod- oder Bimodenschwinger mit Reibkontakt ausgedehnt. Sowohl ein eigener Doktorand (Dr. Rothenhöfer, Abb. 32) als auch ein externer Doktorand (Dr. Wischnewskij, Abb. 33) untersuchten derartige Antriebe, in den eigenen Untersuchungen vorzugsweise als Bimodenschwinger, bei der externen Doktorarbeit auch als Monomodschwinger sowohl für lineare als auch rotatorische Abtriebe.

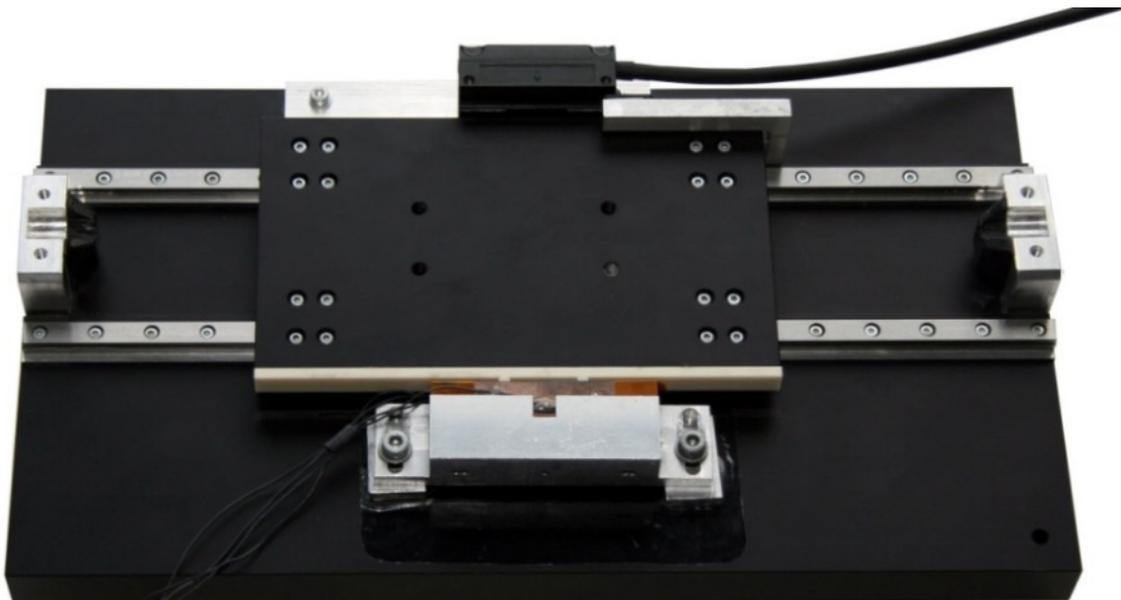


Abb. 32: Realer Aufbau eines piezoelektrischen Linearmotors mit Bimodenschwinger und zwei Reibkontakten /34/

Hier konnten wesentliche Grundlagen für die Entwicklung derartiger Antriebe abgeleitet werden. Komplex ist dabei auch die Frage der messtechnischen Untersuchung derartiger Systeme, da die Schwingungsamplituden der genutzten Wanderwellen oder Bimodenschwinger im Allgemeinen in der Größenordnung zwischen 0,2 und 2 μm liegen. Auch die elektrische Erregung ist eng mit der Entwicklung derartiger Antriebe verbunden und kann nicht losgelöst davon betrachtet werden.

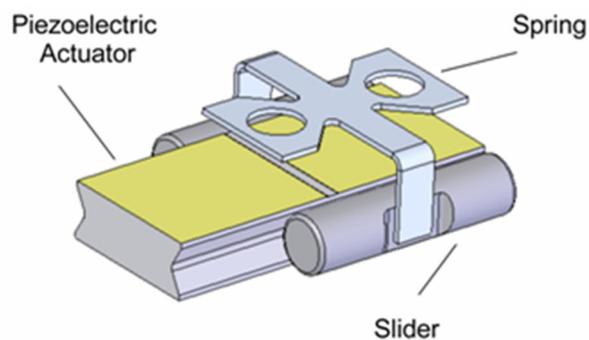
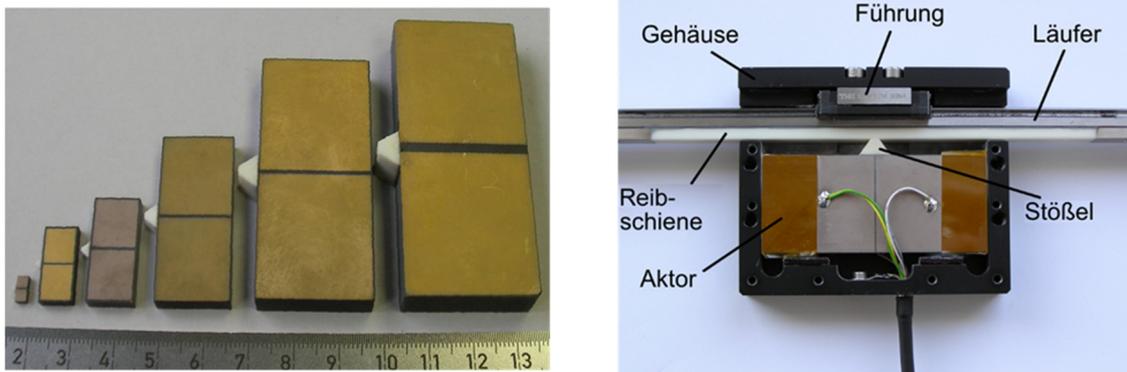


Abb. 33: Aufbau piezoelektrischer Linearmotoren mit Monomodenschwingern und einem Reibkontakt /31/ (Physik Instrumente (PI) Karlsruhe)

Die jüngsten Untersuchungen an piezoelektrischen Antrieben betreffen Mikrostoßantriebe, die mehrere Koordinaten gleichzeitig treiben können. Unter Nutzung piezoelektrischer Gewölbestructuren kann die Bewegung auf einen Abtrieb an der Spitze einer Gewölbestructur in mehreren Dimensionen erfolgen (Dr. Keller), Abb. 34.



Abb. 34: Resonator eines Mehrkoordinatenantriebes mit piezoelektrisch erregter Halbkugelschalen-Geometrie /47/

Dadurch lassen sich sowohl planare Antriebe als auch rotatorisch-lineare Systeme kombiniert betreiben. Diese Arbeiten werden nun weitergeführt, um funktionsfähige Prototypen derartiger Antriebe zu generieren.

4.3 Präzisions-spritzgießen am IKFF - Induktionserwärmung zur variothermen Prozessführung

Einen weiteren großen Schwerpunkt am Institut bildet der Präzisions-spritzguss. Die Arbeiten wurden bereits unter Prof. Jung am Institut etabliert und von Prof. Schinköthe weitergeführt. Seit Beginn der 90er Jahre waren hier 15 Mitarbeiter auf diesem Gebiet tätig und bisher sind 8 Promotionen dazu entstanden.

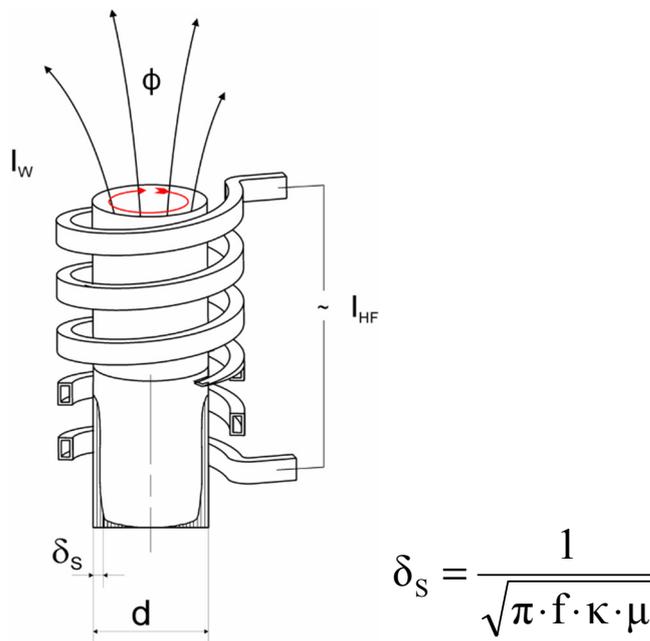


Abb. 35: Prinzip der Induktionserwärmung und Skintiefe /15//22/

Die Idee zur Nutzung der Induktionserwärmung (Abb. 35) zur variothermen Prozessführung kam dabei im Zusammenhang mit dem Abspritzen sehr kleiner Strukturen mit hohen Aspektverhältnissen zwischen Fließweglänge in der Struktur und Wandstärke auf. Beginnend bei Zeigern aus der Uhrenindustrie bis hin zu mikrotechnischen Strukturen auf makroskopischen Bauteilen, gibt es erhebliche Probleme mit der Formfüllung bei hohen Aspektverhältnissen in der Kavität. Die Schmelze erstarrt viel zu früh, ohne die Kavität vollständig auszufüllen, sodass eine variotherme Prozessführung durch eine geeignete Temperaturführung des Werkzeugeinsatzes naheliegend ist.

Eine solche variotherme Prozessführung über Öltemperierung ist der Standardprozess, allerdings für kleine Bauteile wenig geeignet, da wegen des geringen Materialverbrauchs die Schädigung des in der Schnecke verbleibenden Restmaterials durch den so generierten viel zu langen Spritzgusszyklus viel zu groß ist. Es müssen schnellere Technologien gefunden werden. Eine solche schnellere

Erwärmungstechnologie stellt die Induktionserwärmung dar. Durch externe oder ins Werkzeug integrierte Induktoren können die betroffenen Kavitätsbereiche gezielt und extrem schnell erwärmt werden, da die Induktionserwärmung sehr hohe Wärmeübergangsraten ermöglicht, Abb 36.

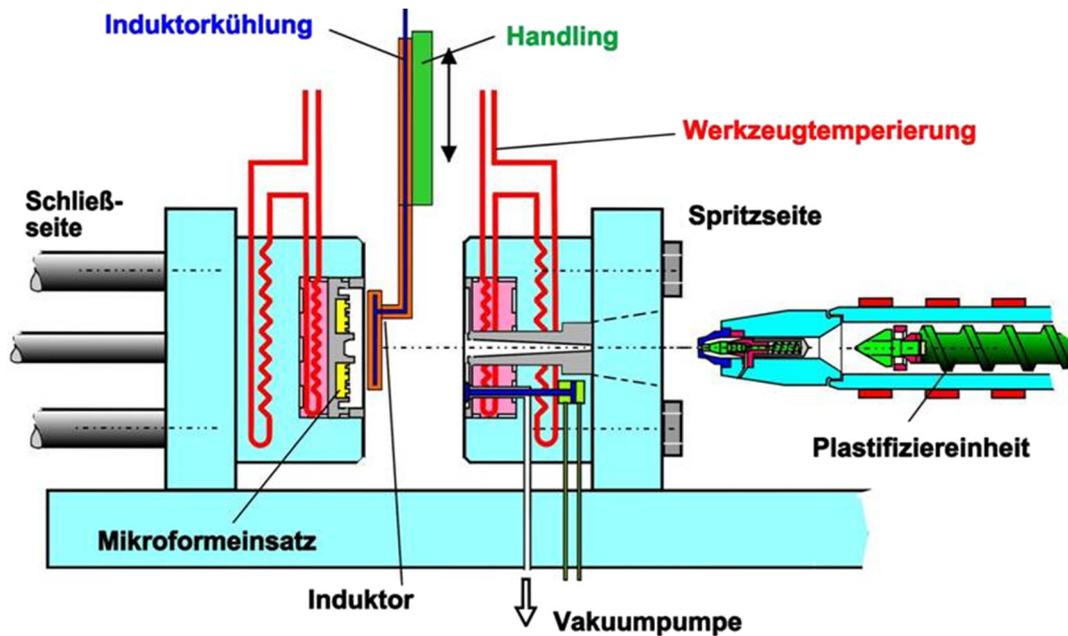


Abb. 36: Prinzip der induktiven Werkzeugtemperierung mit externem Induktor /19//22/

Zunächst wurden dafür sogenannte externe Induktoren untersucht, die unmittelbar vor dem Schließen des Werkzeuges nur die oberste Schicht der Kavität gezielt aufheizen (Dr. Walther, Dr. Tewald, Dipl.-Ing. Laage, Dr. Schaumburg, Dr. Kemmann), Abb. 37.

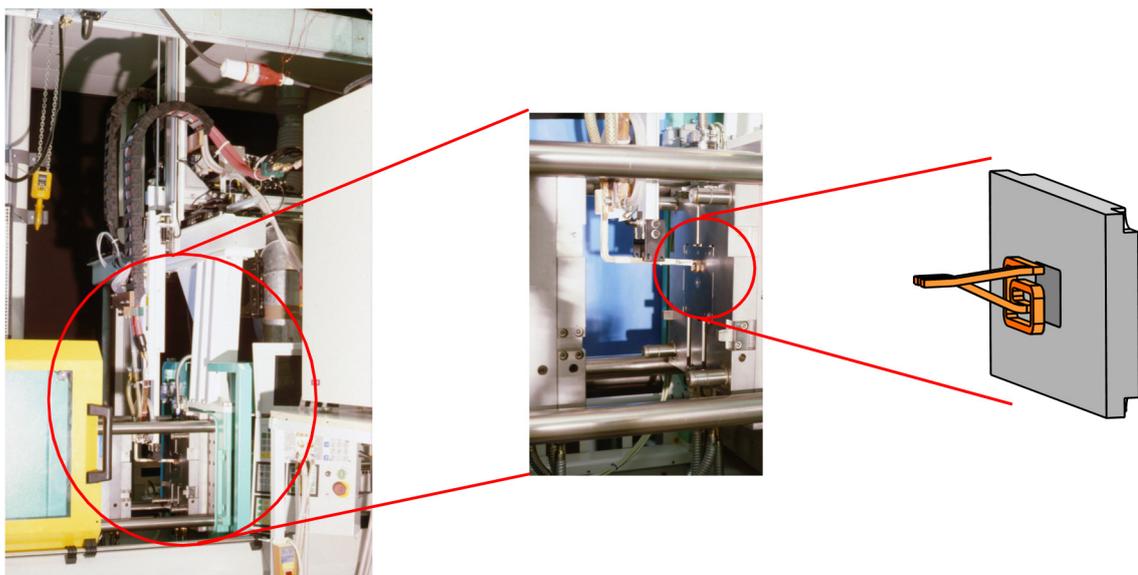


Abb. 37: Gesamtanlage mit externem Induktor, links und Mitte Werkzeugbereich in der Spritzgießmaschine /22//127/

Hier konnten in Zusammenarbeit mit Partnern und auch im Rahmen von DFG-Projekten und eigenen Untersuchungen sehr gute Ergebnisse beispielsweise bei der Abformung von Versuchsbauteilen mit Mikrostrukturen erreicht werden. Strukturen, die nur 5 μm breit sind, konnten bis zu 150 μm tief abgeformt werden, das entspricht einem Aspektverhältnis von 30. Keilradien von 0,5 μm wurden bei 150 μm Höhe erzielt, das entspricht einem Aspektverhältnis von 300, Abb 38.

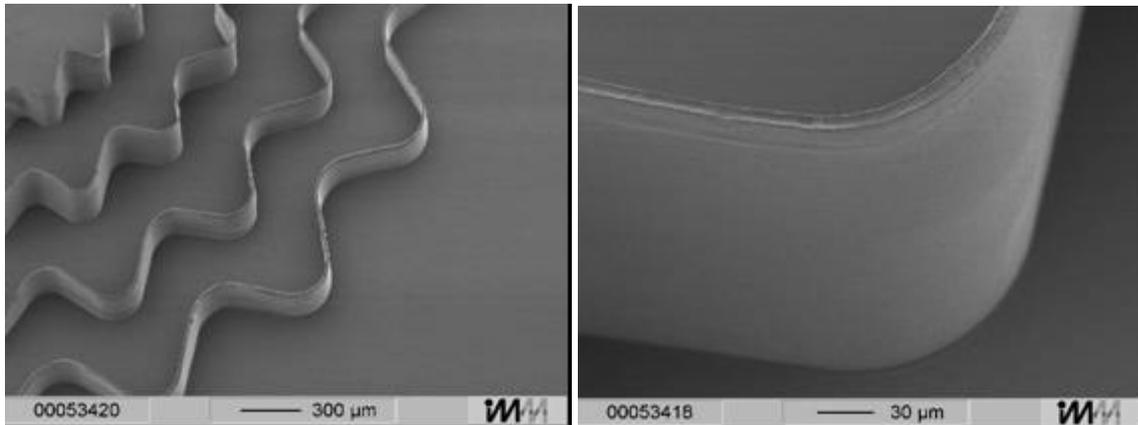


Abb. 38: Induktiv variotherme Abformung von Stegstrukturen, Wandstärken 5...20 μm mit 150 μm Höhe in POM, Bild rechts Stegstruktur 10 μm mit 150 μm Höhe /19//22//127/

Die induktive Temperierung ist dabei unwesentlich langsamer als ein normaler isothermer Spritzgussprozess ohne variotherme Temperierung. Die Zykluszeiten gegenüber einer öl-variothermen Temperierung konnten aber um Faktor 10 verringert werden, Abb. 39.

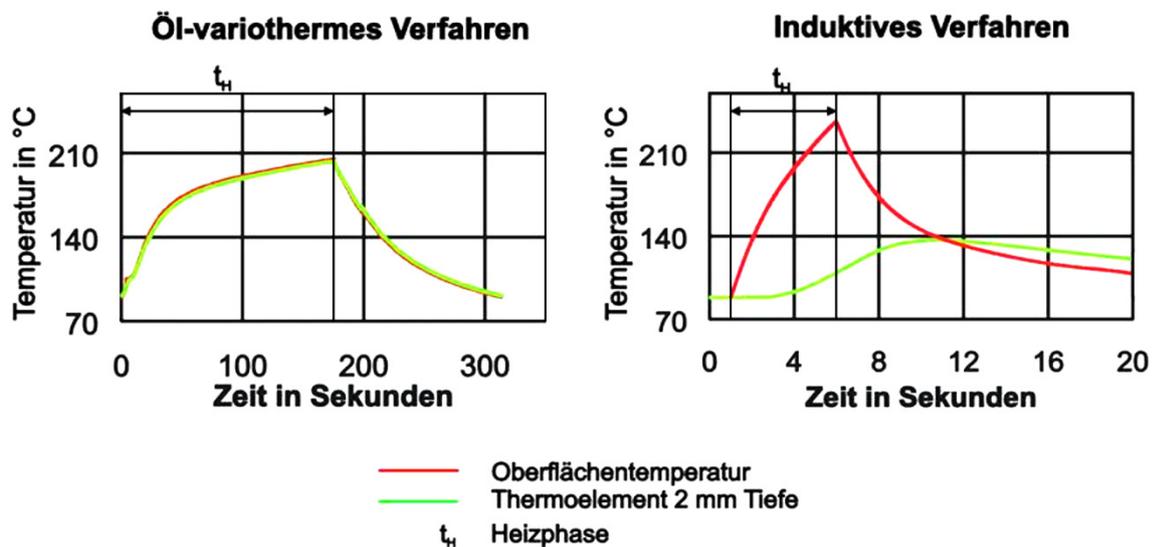


Abb. 39: Zeitvergleich öl-variothermer und induktiver Temperierung (POM) /19//22//127/

Der nächste Schritt war die Integration derartiger Induktoren in das Werkzeug. Dies gestaltet sich wesentlich komplexer, da Kühlsysteme, Auswerfer, Angusskegel und Verteiler im Werkzeug bereits Platz einnehmen. Andererseits gestattet dies aber, während des Spritzgießprozesses weiter zu heizen oder gar Tempe-

raturen zu regeln. Auf diesem Gebiet wurde dann breit geforscht (Dipl.-Ing. Weber, Dr. Zülch, Dr. Zimmermann, Dr. Maier). Vorzugsweise war zu untersuchen, wie eine solche Integration am sinnvollsten zu gestalten ist, Abb. 40 bis 43.

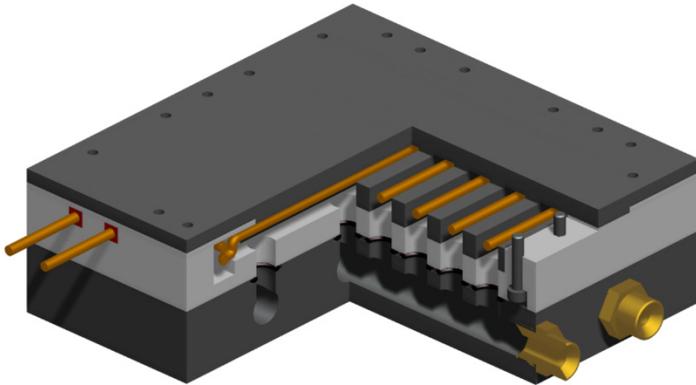


Abb. 40: Anordnungsbeispiel eines voll integrierten Induktors (Nutzung im Zusammenhang mit einem Ausblaskühlgerät) /133/ - /134/

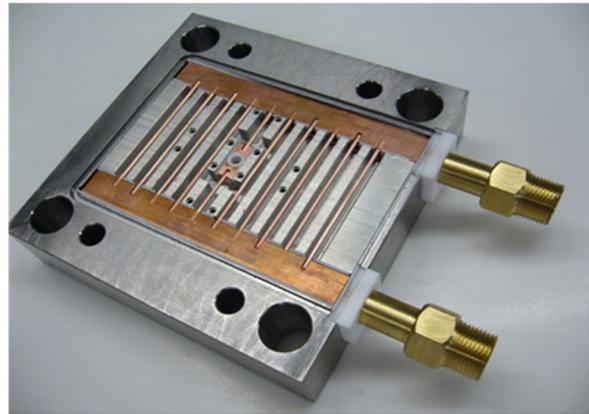
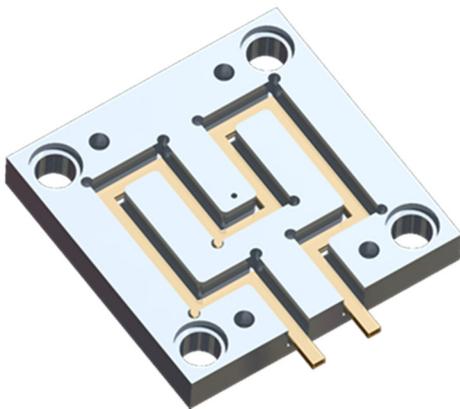


Abb. 41: Weitere Anordnungsbeispiele eines voll integrierten Induktors, Kavitätärückseite /36/

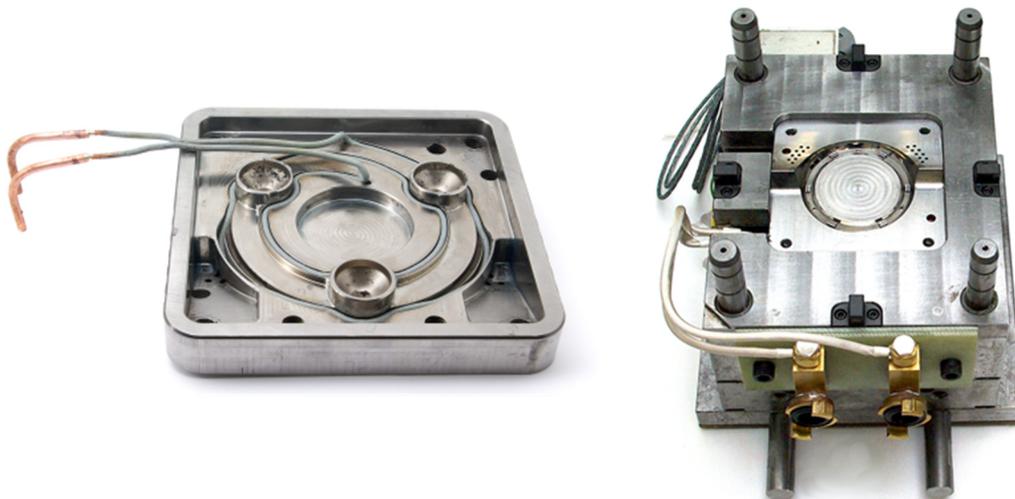


Abb. 42: Durch Strahlschmelzverfahren hergestellter Formeinsatz mit rückseitig integriertem innengekühlten Induktor (TRW-Retrofit), Induktorisolation mittels Pulverbeschichtung /43/

Das Einbringen des Induktors ist dabei nur eine Seite der Medaille, die eingebrachte Wärme, die nun von hinten über Wärmeleitung in die Kavität eingebracht wird, muss auch wieder aus dem Werkzeug herausgeführt werden. Neben der induktiven Erwärmung muss also eine sehr schnelle Abkühlung nach dem Aufheizen und Abspritzen erfolgen. Insgesamt wurde dieses Gebiet sehr breit untersucht und auch hinsichtlich der Simulation aufbereitet (Dr. Zülch, Dr. Zimmermann, Dr. Maier). Auch spezifische Problemstellungen wie das Vermeiden von Bindenähten, das Abformen von problematischen Compounds mit sehr hoher Wärmeleitfähigkeit oder auch das Aufheizen von Einlegeteilen im geschlossenen Werkzeug (Abb. 44) lassen sich mit diesem Verfahren realisieren.

Hier konnten auf breiter Front Neuland betreten und die wissenschaftlichen Voraussetzungen für einen breiten Einsatz aufbereitet werden. Neu im Bereich des Spritzgießens war dabei die Verknüpfung der Spritzgießtechnologie mit dem elektromagnetischen induktiven Erwärmen. Dabei entstanden Fragen an die Materialparameter, die man sonst nur von der Gestaltung magnetischer Kreise her kennt, beispielsweise wie groß ist die Permeabilität des Werkzeugstahls der Formeinsätze.

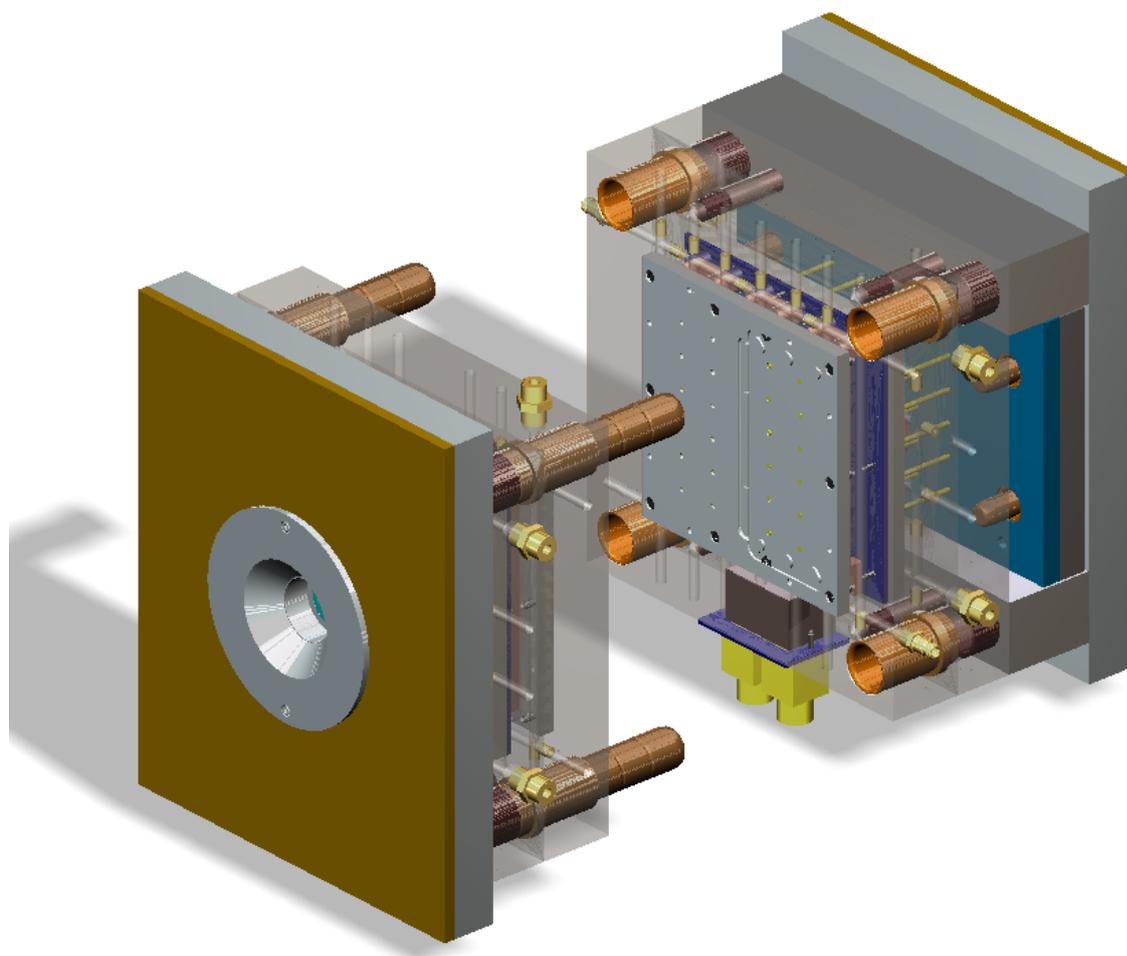


Abb. 43: Vollständiges Werkzeug mit voll integriertem Induktor /38/

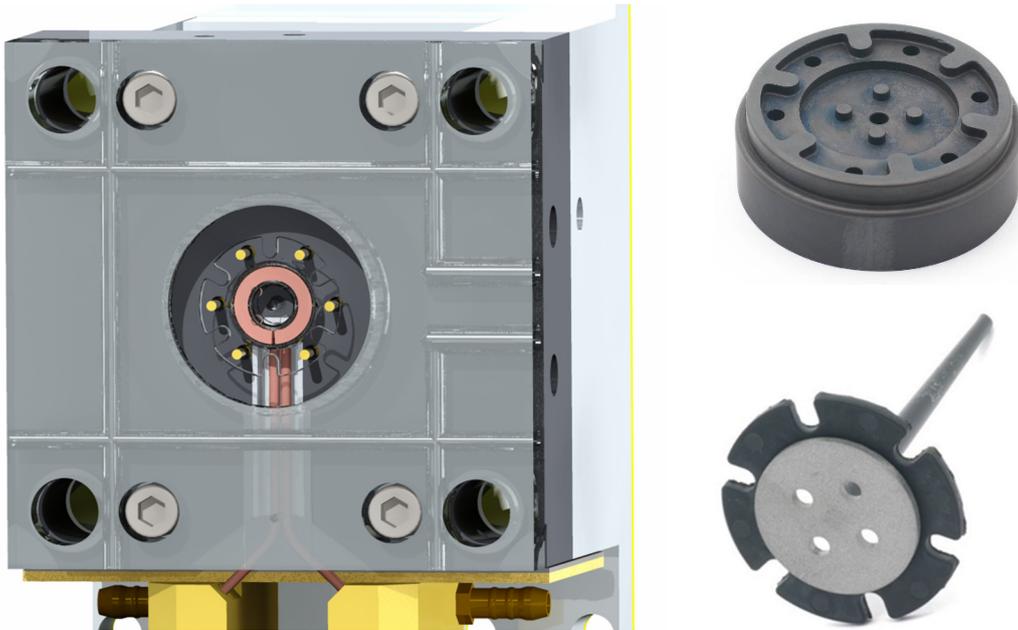


Abb. 44: Werkzeug mit voll integriertem Induktor zum Erwärmen von Einlegeteilen aus Stahl, links Werkzeug ohne Formeinsatz mit Blick auf den Induktor, rechts keramischer Formeinsatz und Demonstrator-Bauteil /43/

In diesem Zusammenhang ist auch ein kleiner Ausflug in die Magnetspritzgießtechnik zu nennen (Dr. Nguyen, Abb. 45), der heute seine Weiterführung im 3D-Druck von Magnetmaterial findet (Dipl.-Ing. Burkard).

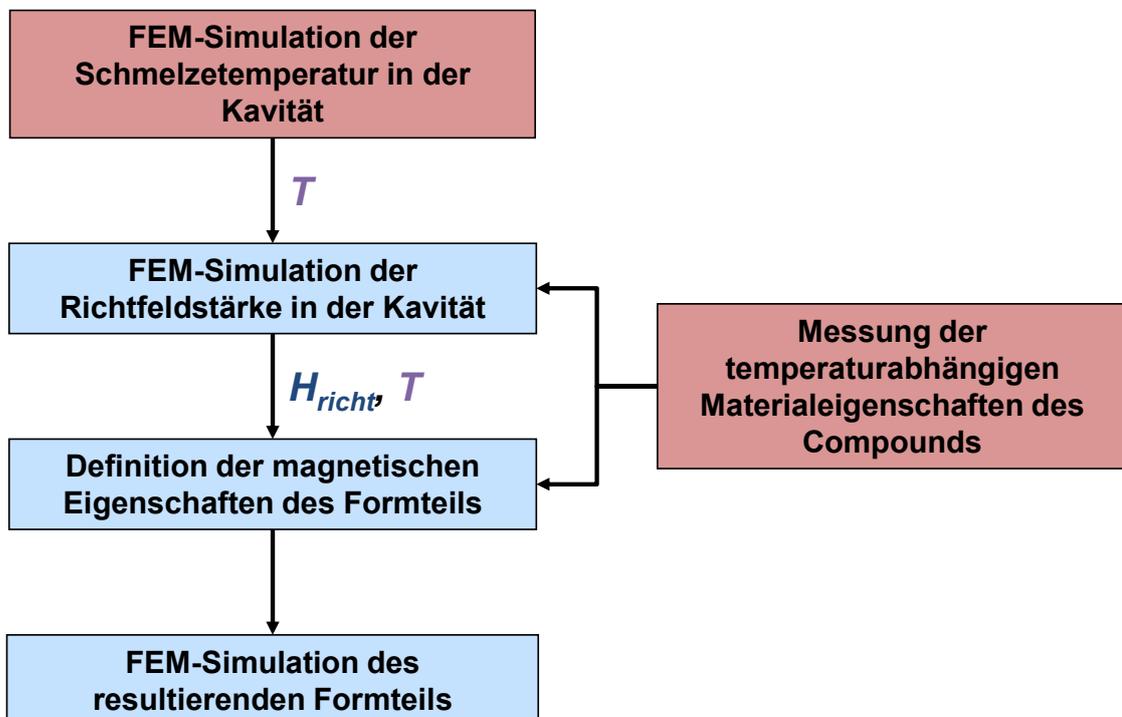


Abb. 45: Erweiterter Simulationsansatz zur Bestimmung der magnetischen Eigenschaften spritzgegossener, im Werkzeug magnetisierter kunststoffgebundener Dauermagnete /46/

Neben dem Abformen von magnetisierbarem Material und dem Aufmagnetisieren während des Spritzgießvorganges unmittelbar im Werkzeug, stand auch die Entwicklung geeigneter Magnetisierungsköpfe für Hochenergiewerkstoffe für die Integration in das Spritzgusswerkzeug als Aufgabe (Dr. Zülch). Immer wieder war hier natürlich auch die Simulation sowohl der Prozesse (Aufmagnetisierung) als auch der Werkzeuge (Magnetisierungsköpfe) ein wichtiges Thema.

4.4 Präzisions-spritzgießen am IKFF - Entformungskraftuntersuchungen

Ein klassisches Themengebiet des Spritzgusses ist die Frage der Entformungskräfte. Dieses Themenfeld hat die Forschung am IKFF schon lange bewegt. Frühzeitig wurden Werkzeuge zur Entformungskraftmessung entwickelt, gebaut und erste Untersuchungen durchgeführt, Abb. 46.

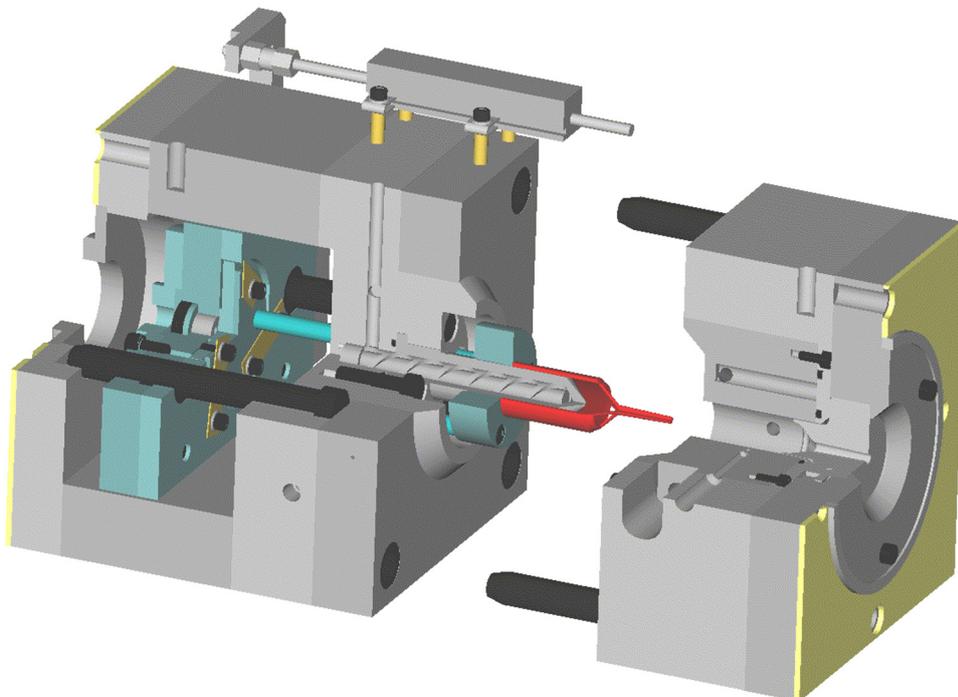


Abb. 46: Werkzeug zur Entformungskraftmessung an hülsenförmigen Bauteilen /160//162/

Das Thema entwickelte sich sehr positiv, sodass eine Dissertation hierzu kurz vor dem Abschluss steht. Zunächst gilt es, die Entformungskräfte schlechthin zu erfassen, anschließend natürlich die Frage nach den verschiedenen Einflussgrößen zu beantworten. Wie verhalten sich unterschiedliche Kunststoffe, welche Beschichtungen und welche Oberflächen im Werkzeug sind günstig. Die Grundlagen zu Haftmechanismen im Kunststoffspritzguss sind aufzubereiten und Möglichkeiten zur Vorabschätzung von Entformungskräften über den Aufbau einer Entformungssimulation zu schaffen. Dazu benötigt man Materialdaten. Danach stellt sich natürlich auch die Frage der Optimierung des Entformungsprozesses. Dies alles ist Gegenstand diverser Untersuchungen auch mit Partnern aus der

Industrie und wird gerade in einer Promotion zusammengefasst (Dipl.-Ing. Schattka), Abb. 47.

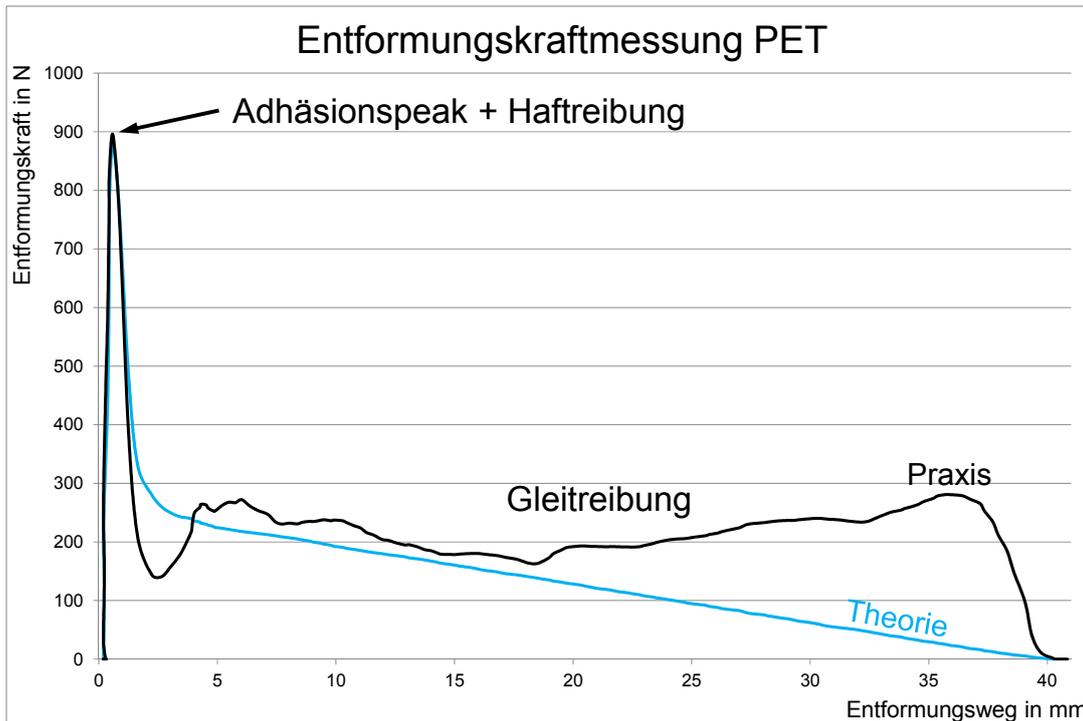


Abb. 47: Prinzipieller Entformungskraft-Verlauf an einem hülsenförmigen Bauteil /166/

Daneben laufen heute weitere Arbeiten auf dem Gebiet des Spritzgießens, beispielsweise auch zur Optimierung der thermischen Seite (Dipl.-Ing. Maucher) oder zu einem exotischeren Thema wie der induktiven Aushärtung von Klebeverbindungen (Dipl.-Ing. Retzbach), was durch magnetisierbare Füllstoffe erreicht werden kann. Dieses Thema steht ebenfalls kurz vor dem Abschluss, Abb. 48.

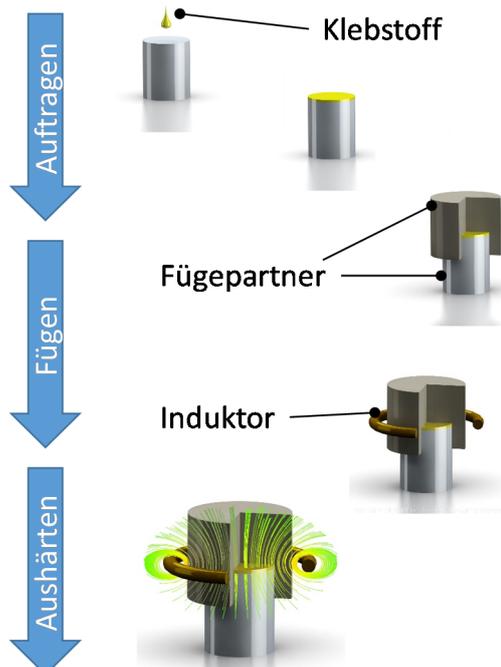


Abb. 48: Prinzipieller Verfahrensablauf des induktiven Klebens /176/

4.5 Zuverlässigkeit feinwerktechnischer mechatronischer Systeme

Das Gebiet Zuverlässigkeit feinwerktechnischer mechatronischer Systeme entstand ab der Jahrtausendwende neu am IKFF. Vier Dissertationen sind auf diesem Gebiet zu verzeichnen. Im Rahmen einer DFG-Forschergruppe hatte unser Institut die Untersuchung von feinwerktechnischen mechatronischen Baugruppen bzw. Systemen übernommen, die klassischerweise aus mechanischen Komponenten wie Getrieben, elektromechanischen Komponenten wie Motoren und elektronischen Komponenten wie der Ansteuerung und der Messtechnik dazu bestehen (Dr. Köder). Zunächst erfolgte eine Konzentration auf die klassische elektromechanische Seite, nämlich die Motoren. Umfangreiche Dauerversuche an Gleichstromkleinstmotoren wurden vorgenommen, um Daten zu generieren, die einen Startpunkt für die Untersuchung der Zuverlässigkeit derartiger Komponenten setzten, Abb. 49.

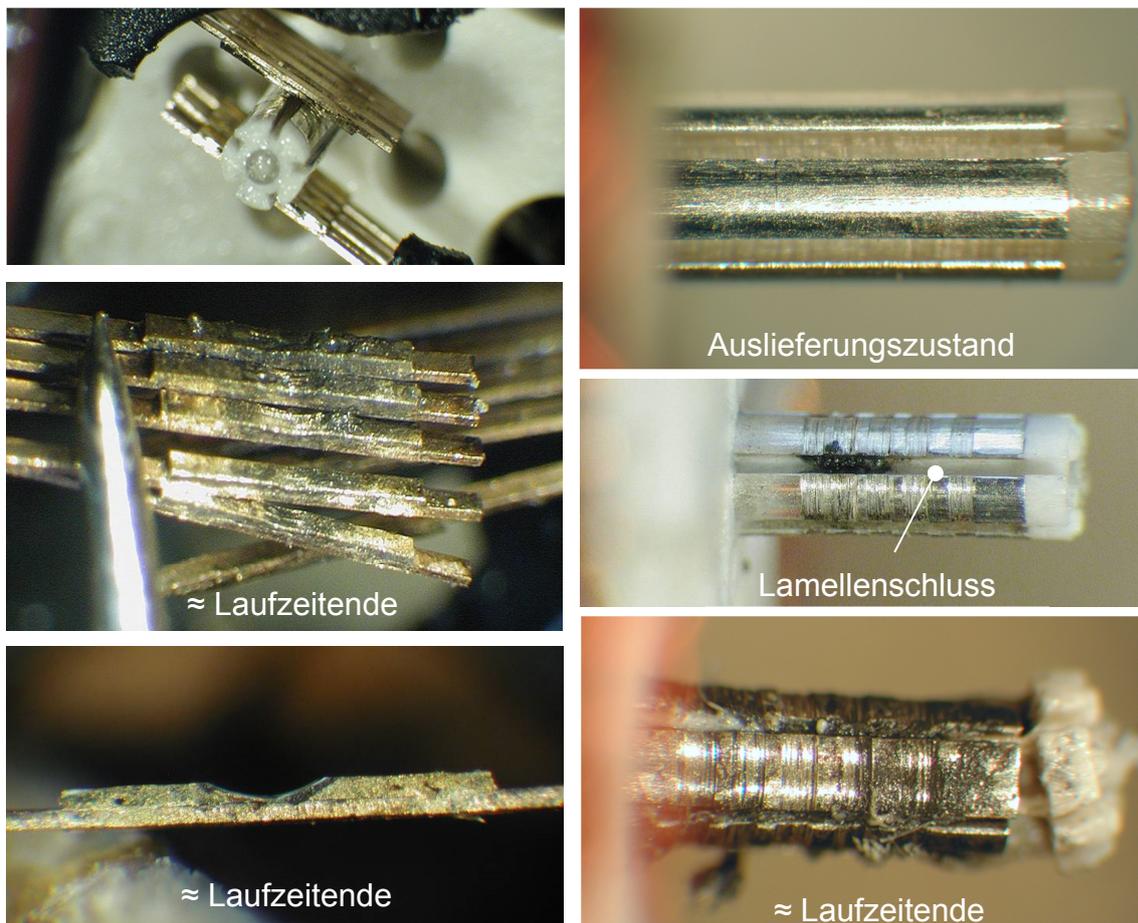


Abb. 49: Bürstenverschleiß und Kollektorschluss als prinzipielle Ausfallursachen von mechanisch kommutierten Gleichstrom-Kleinmotoren /27/

Fortgeführt wurde dies durch Untersuchungen an mechanischen Baugruppen, vorzugsweise an mehrstufigen Planetenradgetrieben (Dr. Beier und als externer Doktorand Dr. Engelbreit), Abb. 50.

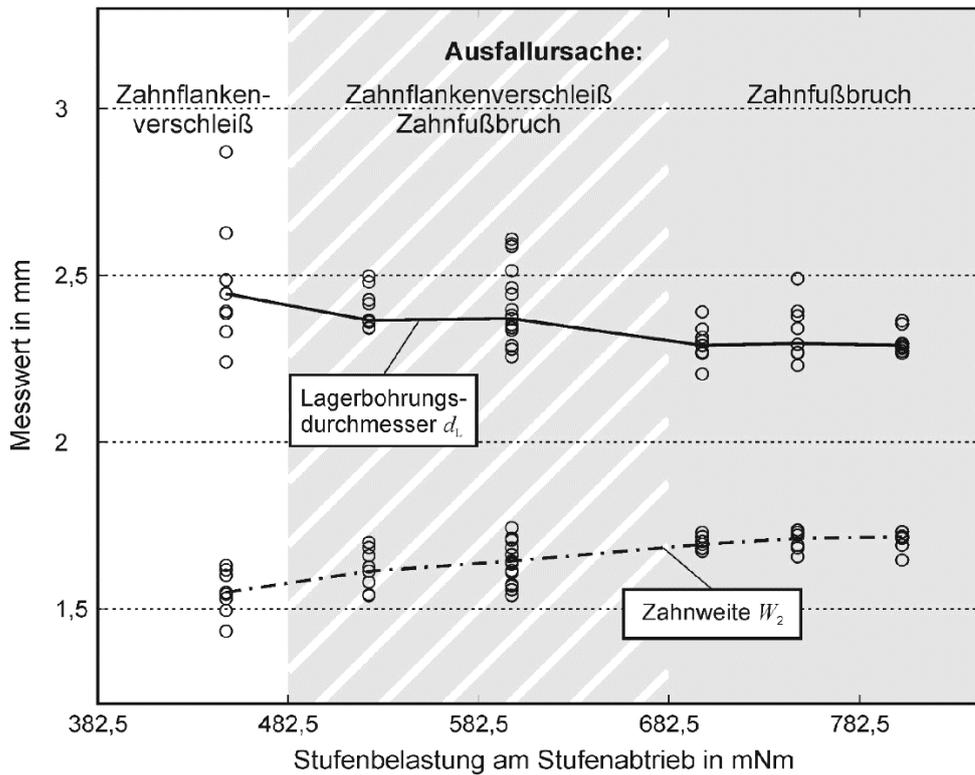


Abb. 50: Ausfallursachen Zahnflankenverschleiß und Zahnfußbruch in Abhängigkeit der Belastung bei Planetenrad-Getrieben von Gleichstrom-Kleinmotoren /35/

Schließlich wurde in einer gemeinsamen Arbeit mit Mathematikern des IAMS der Universität Hohenheim, ein Zuverlässigkeitsprognose-System auf Basis dieser Daten erarbeitet. Zunächst wurden dafür weitere Dauerversuche an Getrieben vorgenommen, um die Datenbasis zu erweitern (Dr. Bobrowski), Abb. 51.



Abb. 51: Getriebe-Prüfplätze /44/

Letztlich entstand ein Programmsystem, was es erlaubt, die Zuverlässigkeit derartiger Komponenten ausgehend von einem Anfangsdatensatz in verschiedenste Richtungen zu prognostizieren, insbesondere auch dann, wenn entsprechende Dauerversuche gar nicht vorgenommen wurden oder entsprechende Baugruppen noch gar nicht existent sind. Es wurde also aus vorhandenen Versuchsdaten auf neu zu konzipierende Baugruppen auch unter neuen Betriebsverhältnissen geschlossen und die Zuverlässigkeit oder die Laufzeit der Baugruppen unter diesen Bedingungen prognostiziert. Die Basis bildete dabei ein Cox-Modell, das aus der Medizintechnik heraus bekannt ist. Hier entstand eine sehr enge Zusammenarbeit mit den Kollegen der Statistik des IAMS der Universität Hohenheim, Abb. 52.

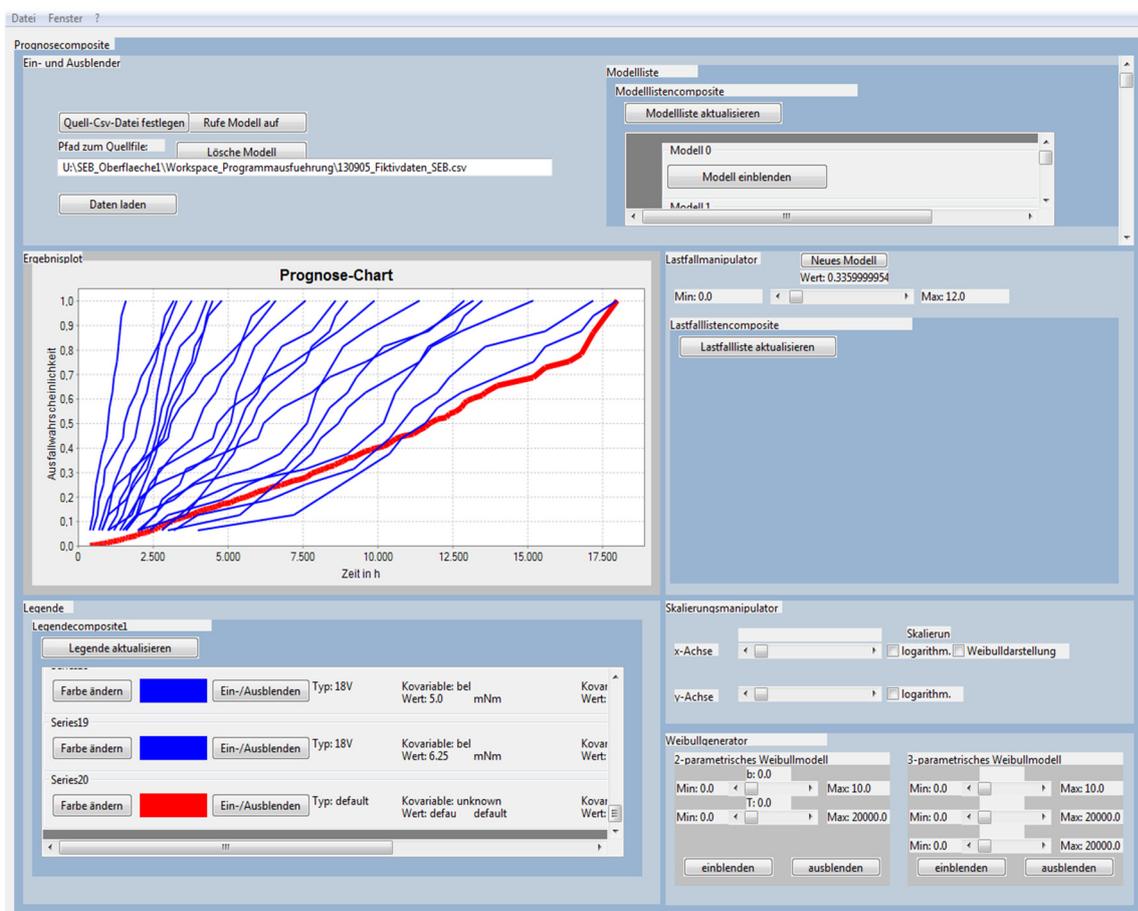


Abb. 52: Bedienoberfläche eines Prognose-Moduls /44/

In der Zusammenfassung soll für alle Forschungsgebiete nicht unerwähnt bleiben, dass einige dieser Projekte durch öffentliche Gelder finanziert wurden, beispielsweise durch die DFG oder das BMWi und andere Projekte auch stark durch industrielle Auftraggeber befruchtet wurden. Dies kann im Einzelnen aus Jahresberichten oder den Dissertationen entnommen werden.

5 Publikationen

5.1 Habilitationen/Dissertationen

Habilitationen seit Institutsgründung:

- /1/ Gerhard, E.: Einflussfaktoren auf den Entscheidungsprozess beim wissenschaftlichen Konstruieren. Dissertation, Universität Stuttgart, 1975.

Dissertationen seit Institutsgründung:

- /2/ Büchel, H.: Beitrag zur Lagerung von Hebel feinwaagen - ein Vergleich von Schneidenlager, Kreuzfedergelenk und Gaslager. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, 1977.
- /3/ Lindenmüller, P.: Längenmessungen mit elektrischen Kontaktfühlern dargestellt am Beispiel der Messung von Bohrungen mit weniger als einem Millimeter Durchmesser. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 1, 1979.
- /4/ Wolf, H.: Ein Beitrag zur Objekterkennung und Formprüfung in drei räumlichen Achsen. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 2, 1983.
- /5/ Kurth, H.: Verbesserung der Sicherheit und der Umweltfreundlichkeit von PKW-Seitentürschlössern. Ein Beitrag zur methodischen Konstruktion. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 3, 1984.
- /6/ Maier, H.-O.: Kontrastierungsverfahren in der Ophthalmologie - Neue Möglichkeit zur Geräteentwicklung. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 4, 1985.
- /7/ Haynold, G.: Untersuchung von Oberflächenmesstastern mit einem Beitrag zur konstruktiven Weiterentwicklung. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 5, 1985.
- /8/ Gäng, L.-A.: Präzisionsspritzteile durch rechnerunterstütztes Optimieren der Prozessparameter basierend auf der gleichzeitigen Temperatur- und Druckmessung im Werkzeug. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 6, 1986.
- /9/ Sawilla, E.: Geometriestruktur technischer Produkte und ihr Informationsgehalt. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 7, 1988.
- /10/ Dagenbach, S.: Konstruktion von Komponenten für miniaturisierte Koordinatenmesstaster - Ein Beitrag zum methodisch unterstützten Konstruieren. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 8, 1991.
- /11/ Kinast, P.: Entwicklung und Herstellung medizinischer Kanülen unter Berücksichtigung des Traumas bei der Punktion. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 9, 1991.
- /12/ Fröschle, A.: Analyse eines Piezo-Wanderwellenmotors. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 10, 1992.
- /13/ Herzog, B.: Entwicklungsgrundlagen für modulare Ultraschallantriebe - Messtechnik, Regelungsprinzipien, Modelle. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 11, 1993.
- /14/ Holzwarth, F.: Entwicklung eines Verfahrens zur berührungslosen Messung der Wasserfilmdicke auf Fahrbahnen. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 12, 1996.

- /15/ Tewald, A.: Entwicklung und Untersuchung eines schnellen Verfahrens zur variothermen Werkzeugtemperierung mittels induktiver Erwärmung. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 13, 1997.
- /16/ Hermann, M.: Entwicklung und Untersuchung piezoelektrisch erregter Wanderwellenmotoren für lineare Bewegungen. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 14, 1998.
- /17/ Langheinrich, P.: Messapparatur zur Bestimmung des Längenausdehnungskoeffizienten von hochschmelzenden Metallen bis zum Schmelzpunkt sowie der Gleichgewichtskonzentration von Eigenfehlstellen. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 15, 1998.
- /18/ Klaiber, J.-A.: Methoden zur Reduzierung der Messobjekteinflüsse bei der Abstandsmessung mit faseroptischen Streulichtsensoren. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 16, 1998.
- /19/ Schaumburg, C.: Mikrospritzgießen mit induktiver Werkzeugtemperierung. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 17, 2001.
- /20/ Hartrampf, R.: Integrierte Wegmessung in feinwerktechnischen elektrodynamischen Lineardirektantrieben. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 18, 2001.
- /21/ Kemmann, O.: Untersuchungen zum Füllverhalten von mikrostrukturierten Formteilen beim Mikrospritzgießen von Polymerschmelzen. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 19, 2002.
- /22/ Walther, T.: Geräte- und Verfahrenstechnik zur induktiven Werkzeugtemperierung beim Mikrospritzgießen. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 20, 2003.
- /23/ Hess, A.: Piezo-hydraulischer Aktor für die Mikrobearbeitung von Metallen. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 21, 2002.
- /24/ Gundelsweiler, B.: Dimensionierung und Konstruktion von feinwerktechnischen elektrodynamischen Lineardirektantrieben. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 22, 2003.
- /25/ Pröger-Mühleck, R.: Lineardirektantriebe für die Stoßjustierung feinwerk- und mikrotechnischer Baugruppen. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 23, 2004.
- /26/ Welk, C.: Detektion interner sensorischer Eigenschaften von elektrodynamischen Lineardirektantrieben. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 24, 2004.
- /27/ Köder, T.: Zuverlässigkeit von mechatronischen Systemen am Beispiel feinwerktechnischer Antriebe. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 25, 2006.
- /28/ Haug, J.: Optimierung eines piezoelektrisch erregten Wanderwellenmotors. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Elektronische Hochschulschriften der Universität Stuttgart, 2006.
- /29/ Clauß, C.: Sensorische Eigenschaften elektrodynamischer Lineardirektantriebe mit Kurzspulsystemen. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 26, 2006.
- /30/ Engelbreit, M.: Finite Schadensakkumulation und Toleranzanalyse zur Zuverlässigkeitsuntersuchung und Leistungssteigerung. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 27, 2007.

- /31/ Wischnewskij, A.: Reversierbare piezoelektrische Ultraschallmotoren auf Basis einphasig angeregter stehender Wellen. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 28, 2008.
- /32/ Dannemann, M.: Dimensionierung und Optimierung feinwerktechnischer Lineardirektantriebe unter Beachtung parasitärer Effekte am Beispiel von Flach- und Tauchspulantrieben. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 29, 2008.
- /33/ Grotz, A.: Vergleichende Untersuchungen hochdynamischer, feinwerktechnischer, elektrodynamischer Lineardirektantriebe mit bewegtem Spulensystem und bewegtem Magnetsystem. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 30, 2008.
- /34/ Rothenhöfer, E.: Entwicklungsgrundlagen für piezoelektrische Ultraschallmotoren am Beispiel eines linearen Antriebs mit gekoppelten Moden. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 31, 2010.
- /35/ Beier, M.: Lebensdaueruntersuchungen an feinwerktechnischen Planetenradgetrieben mit Kunststoffverzahnung. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 32, 2010.
- /36/ Zülch, M.: Temperierung von Spritzgusswerkzeugen durch vollständig integrierte induktive Beheizung. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 33, 2011.
- /37/ Joerges, P.: Rastkräfte und ihre Auswirkungen auf die Positioniergenauigkeit und die Dynamik in Lineardirektantrieben. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 34, 2011.
- /38/ Zimmermann, T.: Auslegung und Konstruktion von Spritzgusswerkzeugen mit induktiver Temperierung. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 35, 2011.
- /39/ Wibbing, D.: Wegmess-System für Miniatur-Linearmotoren (SensMiLi). Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Elektronische Hochschulschriften der Universität Stuttgart, 2012.
- /40/ Ulmer, M.: Einbeziehung des thermischen Teilsystems in die Dimensionierung feinwerktechnischer elektrodynamischer Lineardirektantriebe. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 37, 2014.
- /41/ Engel, M.: Untersuchungen von Wirbelstrom- und Hystereseverlusten an Lineardirektantrieben mit rotationssymmetrischem Querschnitt. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 38, 2014.
- /42/ Voelz, K.: Entwicklung und Untersuchung von Ovalstatormotoren mit multiplen Läufern. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 39, 2014.
- /43/ Maier, M.: Ganzheitlicher Ansatz bei der Auslegung von Induktionserwärmungssystemen zur Anwendung im Kunststoffspritzguss. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 40, 2015.
- /44/ Bobrowski, S.: Zuverlässigkeitsuntersuchungen und Lebensdauerprognose am Beispiel feinwerktechnischer Antriebe. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 41, 2015.
- /45/ Reutzsch, B.: Entwicklung feinwerktechnischer Magnetschwebeantriebe. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 42, 2015.
- /46/ Nguyen, M.: Charakterisierung von Magnetspritzgießprozessen. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 43, 2015.

/47/ Keller, B.: Nutzung piezoelektrischer Gewölbestructuren für multidimensionale Ultraschallmotoren. Dissertation, Universität Stuttgart, IKFF, Institutsbericht Nr. 44, 2016.

5.2 Ausgewählte weitere Publikationen

5.2.1 Veröffentlichungen im Arbeitsgebiet Konstruktionsmethodik und zum IKFF (Auswahl)

Siehe auch Dissertationen /1/ - /7/, /9/ - /11/, /17/, /18/.

/50/ Schinköthe, W.: Abschnitt 3.5. Festigkeitslehre und Abschnitt 11 Kupplungen, in Krause, W.: Konstruktionselemente der Feinmechanik, 2. und 3. stark bearbeitete Auflage. München, Wien: Carl Hanser Verlag 1993 und 2004.

/51/ Schinköthe, W. (Hrsg.): Festschrift anlässlich der Emeritierung von Herrn Prof. Artur Jung. Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik, Stuttgart, März 1995.

/52/ Jung, A.: Die Gestalttheorie und der kreative Denkprozess beim Konstruieren. 41. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TU Ilmenau 1996, Ilmenau 23.-26.09.1996, Reihe Konstruktionstechnik, Tagungsband 2, S. 327-334.

/53/ Schinköthe, W. (Hrsg.): Festschrift 30 Jahre Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik. Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik, Stuttgart April 1997.

/54/ Jung, A.: Spielerisches Experimentieren führte zur Entdeckung eines Lackantriebseffektes - Analyse einer technischen Gestalt. 41. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TU Ilmenau 1999, Ilmenau 20.-23.09.1999, Reihe 1 Konstruktionstechnik, Tagungsband.

/55/ Schinköthe, W. u. a.: Das Cluster Mikro- und Gerätetechnik an der Fakultät Maschinenbau. Transmitter 01/2006, S. 5-19.

/56/ Schinköthe, W. (Hrsg.): Festschrift 40 Jahre IKFF mit Jahresbericht 2007. Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik, Februar 2008.

/57/ Jung, A.: Zur Ausbildung im Konstruieren. Festschrift 40 Jahre IKFF mit Jahresbericht 2007. Universität Stuttgart, IKFF, Februar 2008.

/58/ Schinköthe, W.: Feinwerktechnik misst und treibt an. Jubiläumsausgabe des Magazins der Fakultäten des Stuttgarter Maschinenbaus 150 Jahre mechanische Technologie in Stuttgart, Transmitter 03/2008, S. 37-39.

5.2.2 Veröffentlichungen im Arbeitsgebiet Aktorik - Elektrodynamische Antriebe (Auswahl)

Siehe auch Dissertationen /20/, /23/ - /26/, /29/, /32/, /33/, /37/, /39/ - /42/, /45/.

/60/ Voss, M.; Schinköthe, W.: Miniaturisierte Linearantriebe - Konstruktive Gestaltung, FEM-Berechnung, Anwendung. Tagung Innovative Kleinantriebe, Mainz 09./10.05.1996, VDI-Berichte 1269, S. 105-119.

- /61/ Schinköthe, W.; Hermann, M.; Voss, M.: Lineardirektantriebe erschließen neue Anwendungen. 41. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TU Ilmenau 1996, Ilmenau 23.-26.09.1996, Reihe Mechatronik, Tagungsband 2, S. 51-56.
- /62/ Krause, W.; Schinköthe, W.: Antriebssysteme für Automaten der Kleinteilmontage. Technische Rundschau Bern 89(1997)14, S. 26-30.
- /63/ Hartrampf, R.; Schinköthe, W.: Miniaturlinearantriebe mit integriertem Wegmesssystem. F&M Feinwerktechnik, Mikrotechnik, Mikroelektronik 104(1997)9, S. 634-636.
- /64/ Hartrampf, R.: Elektrodynamische Lineardirektantriebe mit integriertem Wegmesssystem, Drives 97, 8. Int. Fachmesse und Kongress für speicherprogrammierbare Steuerungen, Industrie-PCs und Elektrische Antriebstechnik, Nürnberg 25.-27.11.1997, Tagungsband S. 316 ff.
- /65/ Hartrampf, R.; Schinköthe, W.; Welk, C.: Elektrodynamische Lineardirektantriebe mit integriertem Wegmesssystem. 44. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TU Ilmenau 1999, Ilmenau 20.-23.09.1999, Reihe 6 Mechatronik, Tagungsband S. 63-68.
- /66/ Schinköthe, W.: Abschnitt 6.2. Elektromechanische Funktionsgruppen - Gerätetechnische Aktorik in Krause, W.: Gerätekonstruktion in Feinwerktechnik und Elektronik, 3. Auflage, München, Wien: Carl Hanser Verlag 2000.
- /67/ Pröger-Mühleck, R.; Gebhardt, A.; Guyenot, V.; Schinköthe, W.: DFG-Forschungsvorhaben Automatisierte Justage mit aerostatisch gelagertem Impulsantrieb für die Feinwerk- und Mikrotechnik. Abschlussbericht 2001, Schi 457/4.
- /68/ Schinköthe, W.: Abschnitt 4.2. Elektrodynamische Linear- und Mehrkoordinatenantriebe, in Kallenbach, E.; Stölting, H.- D.; Amrhein, W. (ab 2011): Handbuch Elektrische Kleinantriebe. 1. bis 4. Auflage, Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag 2001, 2002, 2006, 2011.
- /69/ Welk, C.; Gundelsweiler, B.; Schinköthe, W.: Integrierte Wegmessung in Lineardirektantrieben. Tagung Innovative Klein- und Mikroantriebe, Mainz 15./16.05.2001, GMM-Fachberichte 33, S. 33-60.
- /70/ Pröger-Mühleck, R.; Gebhardt, A.; Guyenot, V.; Schinköthe, W.; Siebenhaar, C.: Aerostatisch gelagerter Impulsantrieb zur Präzisionsmontage in der Mikrotechnik. Tagung Innovative Klein- und Mikroantriebe, Mainz 15./16.05.2001, GMM-Fachberichte 33, S. 61-69.
- /71/ Welk, C.; Schinköthe, W.: DFG-Forschungsvorhaben Feinwerktechnische Lineardirektantriebe mit integrierter Wegmessung. Abschlussbericht Oktober 2003, Schi 457/6.
- /72/ Clauß, C.; Schinköthe, W.; Welk, C.: Integrierte Wegmessung in Lineardirektantrieben - Potenziale und Grenzen. Tagung Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik, Darmstadt 03./04.03.2004, ETG-Fachberichte 96, S.117-122.
- /73/ Clauß, C.; Schinköthe, W.: Integrierte Wegmessung in Lineardirektantrieben - Erschließung neuer Anwendungsbereiche durch Detektion der Flusssdichte. VDI-Fachtagung Mechatronik 2005 - Innovative Produktentwicklung, Wiesloch 01./02.06.2005.
- /74/ Clauß, C.; Schinköthe, W.: Integrierte Wegmessung in Lineardirektantrieben - Stand und Ausblick. 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TU Ilmenau 2005, Ilmenau 19.-23.09.2005.
- /75/ Clauß, C.; Schinköthe, W.: DFG-Forschungsvorhaben Integrierte Wegmessung in feinwerktechnischen Lineardirektantrieben durch Detektion der Flusssdichte im flussführenden Eisen. Abschlussbericht April 2006, Schi 457/8.

- /76/ Mochel, F.: Aerostatische Führungen in Direktantrieben. Festschrift 40 Jahre IKFF mit Jahresbericht 2007. Universität Stuttgart, IKFF, Februar 2008.
- /77/ Clauß, C.; Schinköthe, W.: Integrierte Wegmessung in Lineardirektantrieben - Eine Zusammenfassung der Arbeiten am IKFF. Tagung Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik, Augsburg 12./13.06.2007, Tagungsband.
- /78/ Schinköthe, W.: Chapter 4.2. Electrodynamical Linear and Multi-Coordinate Drives, in Amrhein, W.; Kallenbach, E.; Stölting, H.-D.: Handbook of Fractional Horsepower Drives, Berlin: Springer Verlag 2008.
- /79/ Schätzing, W. unter Mitarbeit von Schliesch, T. und Ulmer, M.: FEM für Praktiker - Band 4: Elektrotechnik. 2. Aufl. Renningen: expert verlag 2009.
- /80/ Ulmer, M.; Schinköthe, W.: Thermische Analyse der Antriebsspulen von Lineardirektantrieben mit Maxwell und Ansys. ANSYS Conference & 27th CADFEM Users Meeting 2009, Leipzig 18.-20.11.2009.
- /81/ Joerges, P.; Schinköthe, W.: Rastkräfte bei Lineardirektantrieben. 18. Kleinmaschinenkolloquium, TU Ilmenau 18./19.03.2010.
- /82/ Joerges, P.; Schinköthe, W.: Geometrisch optimierte Rastkräfte bei Lineardirektantrieben. 8. ETG/GMM-Fachtagung Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik, Würzburg 23.09.2010, ETG-Fachbericht 124, S. 105-110.
- /83/ Mochel, F.; Schinköthe, W.: Neuer Gestaltungsansatz bei aerostatisch geführten Ein- und Mehrkoordinatenantrieben. 8. ETG/GMM-Fachtagung Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik, Würzburg 23.09.2010, ETG-Fachbericht 124, S. 111-116.
- /84/ Ulmer, M.; Schinköthe, W.; Brenner, C.: Dreidimensionale transient-thermische Analyse eines Lineardirektantriebs mit Maxwell und Ansys. ANSYS Conference & 28th CADFEM Users Meeting, Aachen 03.-05.11.2010.
- /85/ Ulmer, M.: Magnetische und thermische Auslegung und Dimensionierung eines Lineardirektantriebes. ANSYS-Seminar Simulationsmethoden in der elektrischen Antriebstechnik. München 05.04.2011.
- /86/ Wibbing, D.; Binder, J.; Gachot, C.; Mücklich, F.; Pauly, C.; Schinköthe, W.: SensMiLi: Optical Absolute Position-Encoder by Single-Track, q-ary Pseudo-Random-Sequences for Miniature Linear Motors. Sensor+Test Conference 2011, Nürnberg 07.-09.06.2011.
- /87/ Wibbing, D.; Binder, J.; Schinköthe, W.: SensMiLi: Optisch absolutes Wegmess-System aus einspurigen q-nären Pseudo-Zufalls-Sequenzen für Miniatur-Linearmotoren. 112. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für angewandte Optik (DgaO), Ilmenau 14.-16.06.2011.
- /88/ Hopp, D.; Pruss, C.; Osten, W.; Wibbing, D.; Binder, J.; Schinköthe, W.; Sterns, S.; Seybold, J.; Fritz, K.-P.; Mayer, V.; Kück, H.: A novel diffractive coding principle for absolute optical encoders. Postervortrag, SPIE Optical Metrology 2011 Munich.
- /89/ Ulmer, M.; Schinköthe, W.: Simulationsgestützte Auslegung von Lineardirektantrieben mit MAXWELL®, SIMPLORER® und ANSYS®. ANSYS Conference & 29th CADFEM Users Meeting 2011, ICS Internationales Congresscenter Stuttgart, 19.-21.10.2011.
- /90/ Reutzsch, B.; Schinköthe, W.: Rückschlussfreier eisenloser Lineardirektantrieb mit statorseitigen Halbach-Arrays. Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung 2011, Stuttgart 23./24.11.2011.

- /91/ Ulmer, M.; Schinköthe, W.: Auslegung und Dimensionierung feinwerktechnischer Linearantriebe. Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung 2011, Stuttgart 23./24.11.2011.
- /92/ Wibbing, D.; Binder, J.; Schinköthe, W.; Pauly, C.; Gachot, C.; Mücklich, F.: SensMiLi: Absolutes Wegmess-System aus einer diffraktiven q-nären Pseudo-Zufalls-Sequenz. Zeitschrift tm Technisches Messen 79(2012)1, Seiten 44-51.
- /93/ Ulmer, M.; Schinköthe, W.: Simulationsgestützte Auslegung von Linearantrieben mit Maxwell, Simplorer und Ansys. NEFEMS Deutschsprachige Konferenz 2012, Bamberg 08./09.05.2012, Proceedings S. 69-72.
- /94/ Ulmer, M.; Schinköthe, W.: Ableitung thermischer Randbedingungen für lineare Antriebs-einheiten. ANSYS Conference & 30th CADFEM Users' Meeting 2012, Kassel, October 24-26, 2012.
- /95/ Reutzsch, B.; Schinköthe, W.: Magnetic Levitation System for Linear Direct Drives based on Lorentz Forces. Tagung Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik 2013, Nürnberg 19./20.09.2013. Tagungsband.
- /96/ Reutzsch, B.; Schinköthe, W.: Innovative Magnetschwebeantriebe für feinwerktechnische Stell- und Positionieraufgaben. Forschungsreport für den Maschinenbau in Baden-Württemberg. Public Verlagsgesellschaft 2014, S. 8-11.
- /97/ Kreuzer, D.; Schinköthe, W.: Moderne Methode zur Dimensionierung von Lineardirektantrieben. Ingenieurspiegel 3/2015. Public Verlag Bingen 2015.
- /98/ Kreuzer, D.; Schinköthe, W.: Dimensionierung von Lineardirektantrieben mit automatisierter Optimierung. 5. Ilmenauer Magnettaag. Ilmenau 08.06.2016. Vortrag.
- /99/ Kreuzer, D.: Automatisierte Optimierung von Lineardirektantrieben. 34. CADFEM ANSYS Simulation Conference, Nürnberg 05.-07.10.2016. Vortrag.

5.2.3 Veröffentlichungen im Arbeitsgebiet Aktorik - Piezoelektrische Antriebe (Auswahl)

Siehe auch Dissertationen /12/ - /13/, /16/, /28/, /31/, /34/, /47/.

- /100/ Hermann, M.; Schinköthe, W.: Piezoelektrische Wanderwellenmotoren für lineare Bewegungen. Tagung Innovative Kleinantriebe, Mainz 09./10.05.1996, VDI-Berichte 1269, S. 301-314.
- /101/ Hermann, M.; Schinköthe, W.: Piezoelectric Travelling Wave Motors Generating Direct Linear Motion. Actuator 96, Bremen 26.-28.06.96, Conference Proceedings, S. 200ff.
- /102/ Schinköthe, W.; Hermann, M.: Wanderwellenmotoren - eine Alternative in der Feinwerktechnik. F&M Feinwerktechnik, Mikrotechnik, Mikroelektronik 105(1997)11-12, S. 854-858.
- /103/ Hermann, M.; Schinköthe, W.; Haug, J.: Properties of a Piezoelectric Travelling Wave Motor Generating Direct Linear Motion. Actuator 98, Bremen 17.-19.06.98, Conference Proceedings, S. 238-241.
- /104/ Schinköthe, W.; Hermann, M.: Wanderwellenmotoren - alternative Antriebe in der Feinwerktechnik. DRIVES 98, 24.-26.11.98, Vortrag, Tagungsband, S. 207-216.
- /105/ Schinköthe, W.: Wanderwellenmotoren - Bauformen und Eigenschaften. 44. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TU Ilmenau 1999, Ilmenau 20.-23.09.1999, Reihe 6 Mechatronik, Tagungsband S. 74-79.

- /106/ Haug, J.; Schinköthe, W.: Linearer Wanderwellenmotor - Optimierung und Eigenschaften. 47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TU Ilmenau 2002, Ilmenau 23.-26.09.2002.
- /107/ Haug, J.; Schinköthe, W.: Linearer Wanderwellenmotor - Ergebnisse einer Motoroptimierung. Tagung Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik, Darmstadt 03./04.03.2004, ETG-Fachberichte 96, S. 177-182.
- /108/ Rothenhöfer, E.; Giljum, M.; Schinköthe, W.; Vyshnevskyy, O.; Wischnewskiy, W.: Optimization of a Two-Contact Linear Ultrasonic Motor Using FEM Analysis, Postervortrag Actuator 2006, Bremen.
- /109/ Rothenhöfer, E.; Schinköthe, W.: Halten ohne Energie - Piezomotoren bieten Potenzial für KFZ-Anwendungen. Transmitter 02/2007, S. 14/15.
- /110/ Rothenhöfer, E.; Schinköthe, W.: Piezomotoren - Stand und Potenzial für KFZ-Anwendungen. Vortrag 7. Internationales Stuttgarter Symposium Automobil- und Motorteknik, 20./21.03.2007. Tagungsband 1, S. 573-586.
- /111/ Rothenhöfer, E.; Schinköthe, W.: Piezomotoren – Eine Übersicht über Bauformen und Potenzial. Tagung Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik, Augsburg 12./13.06.2007, Tagungsband.
- /112/ Rothenhöfer, E.; Schinköthe, W.: Design of Ultrasonic Resonators using ANSYS Classic and ANSYS Workbench. ANSYS Conference and 25. CADFEM Users' Meeting, Dresden 21.-23.11.2007.
- /113/ Rothenhöfer, E.; Schinköthe, W.: Modular Test Equipment for the Analysis and Operation of Ultrasonic Motors. Adaptronic Congress 2008, Berlin 20.-21.05.2008, Conference Proceedings.
- /114/ Rothenhöfer, E.; Weckler, D.; Schinköthe, W.: Practical High Power Characterisation of Resonant Piezoelectric Vibrators. Actuator 2008, Bremen 09.-11.06.2008, Conference Proceedings, S. 611-614.
- /115/ Rothenhöfer, E.; Schinköthe, W.; Keck, A.; Keller, B.; Retzbach, A.; Pruell, C.: Control and Excitation of Ultrasonic Motors Using a Test-Bench with Dedicated Electronic Circuits. Proceedings of the euspem International Conference – San Sebastian - June 2009.
- /116/ Schinköthe, W.: Piezoelektrische Motoren als alternative Antriebslösungen in der Gerätetechnik. Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung 2011, Stuttgart 23./24.11.2011.
- /117/ Keller, B.; Schinköthe, W.: Multi-Degree-of-Freedom Ultrasonic Motors using Rotation-Symmetric Piezoelectric Vault Geometries. Tagung Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik 2013, Nürnberg 19./20.09.2013. Tagungsband.
- /118/ Keller, B.; Schinköthe, W.: A new Multi-degree-of-freedom ultrasonic motor using a bell shaped piezoelectric vibrator. Postervortrag, Actuator, International Conference and Exhibition on New Actuators and Drive Systems, Bremen 23.-25.06.2014.

5.2.4 Veröffentlichungen im Arbeitsgebiet Präzisions-spritzgießen - Induktionserwärmung zur variothermen Prozessführung (Auswahl)

Siehe auch Dissertationen /8/, /15/, /19/, /21/, /22/, /36/, /38/, /43/.

- /120/ Tewald, A.; Laage, A.; Thissen, U.: Herstellung langer Kunststoffzeiger durch Spritzgießen. 5ème congrès chronométrie in Besançon, 18.-19. Octobre 1994.

- /121/ Schinköthe, W.; Tewald, A.; Walther, T.: Induction heating as a method for dynamic tempering of injection moulds. 6th international induction heating seminar, Nashville 13.-15. September 1995.
- /122/ Schinköthe, W.; Tewald, A.: Verbundprojekt Neuartige Spritzgießtechnologien. Ergebnisbericht des IKFF, Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik, 31.12.1995.
- /123/ Tewald, A.; Thissen, U.: Angussloses Spritzgießen dünnwandiger Miniaturhülsen. 6ème congrès chronométrie in Biel, 17.–18. Octobre 1996.
- /124/ Tewald, A.; Walther, T.: Induction heating of injection moulds - Experimental results. 7th international induction heating seminar, St. Louis Missouri, 22.-25. April 1997.
- /125/ Tewald, A.; Walther, T.: Simulation der Induktionserwärmung beim Kunststoffspritzguss, 15. CAD-FEM Users' Meeting, Fulda 16.10.1997.
- /126/ Schaumburg, C.; Ehrfeld, W.; Schinköthe W.; Walther, T.; Weber L.: Injection Moulding of Microstructures with Inductive Heating, Proceedings Micro System Technologies 1998 Potsdam, p. 679-681.
- /127/ Schinköthe, W.; Ehrfeld, W.: DFG-Forschungsvorhaben Einfließen von Polymerschmelzen in kleine Kavitäten beim Spritzgießen mit induktiver Werkzeugtemperierung. Abschlussbericht 1999, Schi 457/1.
- /128/ Walther, T.; Schinköthe, W.; Ehrfeld, W.; Schaumburg, C.; Weber, L.: Mikrospritzgießen mit induktiver Werkzeugtemperierung. Vortrag 16. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 10./11.03.1999.
- /129/ Schinköthe, W.; Walther, T.: Zykluszeiten verringern - Eine alternative Werkzeugtemperierung beim Mikrospritzgießen. Kunststoffe 90 (2000) 5, S. 62-68.
- /130/ Schinköthe, W.; Walther, T.: Reducing Cycle Times - Alternative Mould Temperature Control for Microinjection Moulding. Kunststoffe plast europe 90 (2000) 5, S. 17-19.
- /131/ Walther, T.; Schinköthe, W.: Einsatzmöglichkeiten der induktiven Werkzeugtemperierung beim Spritzgießen. Vortrag 17. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 14./15.03.2001.
- /132/ Schinköthe, W.: Temperierkonzepte für das Mikrospritzgießen im Vergleich. Vortrag 18. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 19./20.03.2003. Tagungsband.
- /133/ Weber, A.; Schinköthe, W.: Vollständig integrierte induktive Beheizung und Impulskühlung von Spritzgießwerkzeugen. Vortrag 19. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 09./10.03.2005. Tagungsband.
- /134/ Burkard, E.; Weber, A.; Schinköthe, W.: Induktive Formtemperierung mit integriertem Induktor, Verfahren - Eigenschaften - Einsatzgebiete. Postervortrag 19. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 09./10.03.2005.
- /135/ Burkard, E.; Schinköthe, W.: Induktive Beheizung von Spritzgießwerkzeugen. SKZ-Fachtagung Spritzgießen von Elastomeren, Würzburg 08./09.03.2006.
- /136/ Zülch, M.; Burkard, E.; Schinköthe, W.: Optimierter Energieeinsatz durch induktive Erwärmung von Spritzgießwerkzeugen - FEM unterstützte Auslegung von induktiven Heizungssystemen. Vortrag 20. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 14./15.3.2007. Tagungsband.
- /137/ Schinköthe, W.; Preißner, L.; Witt, G.; Zimmermann, T.; Zülch, M.: Nutzung der variothermen Prozessführung bei der Herstellung von Bipolarplatten. 2. Workshop AiF - Brennstoffzellenallianz. Zentrum für Brennstoffzellentechnik Duisburg, Duisburg 17.02.09.

- /138/ Schinköthe, W.; Zimmermann, T.; Zülch, M.: Anwendungsgebiete der induktiven Erwärmung im Bereich der Kunststoffverarbeitung. Vortrag 21. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 18./19.03.2009. Tagungsband.
- /139/ Zülch, M.; Schinköthe, W.: DFG-Forschungsvorhaben Temperierung von Spritzgusswerkzeugen durch vollständig integrierte induktive Beheizung. Abschlussbericht 2009, SCHI 457/9.
- /140/ Schinköthe, W.; Zimmermann, T.: Induktion und Spritzguss - Neue Möglichkeiten. 1. Produktionstechnisches Kolloquium Brennstoffzelle, Duisburg 01.10.2009.
- /141/ Zülch, M.; Zimmermann, T.; Schinköthe, W.: Application Range of Inductive Heating in Plastics Processing. Micro Technology iNNOVATION fORUM, Villingen-Schwenningen 23.02.2010.
- /142/ Zülch, M.; Zimmermann, T.; Schinköthe, W.: Induktive Erwärmung - Anwendungsgebiete im Bereich der Kunststoffe. GIT Labor-Fachzeitschrift 4/2010, S. 286-287.
- /143/ Zülch, M.; Zimmermann, T.; Schinköthe, W.: Anwendungsgebiete der induktiven Erwärmung im Bereich der Kunststoffverarbeitung. 14. Engelskircher Kunststoff-Technologie-Tag, Lindlar 25.06.2010.
- /144/ Zimmermann, T.; Schinköthe, W.; Zülch, M.: Induktiv-variotherme Prozessführung im Kunststoffspritzguss. *Plastverarbeiter* Jahrgang 61(2010)H.11; S. 42-44.
- /145/ Maier, M.; Schinköthe, W.; Zimmermann, T.: Induktionserwärmung und Kunststoffspritzguss. Vortrag 22. Stuttgarter Kunststoffkolloquium 2011, 16./17.03.2011. Tagungsband, 2V7.
- /146/ Preißner, I.; Schinköthe, W.: Induktive Werkzeugtemperierung zur spritzgusstechnischen Verarbeitung hochgefüllter Thermoplaste. 4. Workshop AiF-Brennstoffzellenallianz, Duisburg 03./04.05.2011.
- /147/ Maier, M.; Schinköthe, W.; Zimmermann, T.: Einfachste Messmittel steuern die variotherme Prozessführung. *Plastverarbeiter* Jahrgang 62(2011)H 5; S. 44-46.
- /148/ Maier, M.; Schinköthe, W.; Zimmermann, T.: Induktiv beheizte Spritzgusswerkzeuge. *Transmitter* Jahrgang 8(2011)H 2; S. 20-22.
- /149/ Maier, M.; Schinköthe, W.; Zimmermann, T.: Variotherm, aber trotzdem schnell - Kurze Zykluszeiten mit konturnaher Kühlung bei induktiv-variothermer Werkzeugtemperierung. *Plastverarbeiter* Jahrgang 62(2011)H 7; S. 42-45.
- /150/ Maier, M.; Schinköthe, W.: New ways of induction heating in the injection moulding process. Micro Technology iNNOVATION fORUM, Villingen-Schwenningen, Febr. 29, 2012.
- /151/ Maier, M.; Landfried, R.; Gadow, R.; Schinköthe, W.: Spritzgusswerkzeuge mit keramischen Formbereichen zur prozessintegrierten induktiven Erwärmung von Einlegeteilen. Vortrag 23. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 06./07.03.2013. Tagungsband, S. 105-110.
- /152/ Schinköthe, W.: Induktive Temperierung zur Effizienzsteigerung beim Spritzgießen. Vortrag GSaME Jahrestagung 2013, Stuttgart 21.03.2013.
- /153/ Maier, M.; Schinköthe, W.: Anwendungspotential der Induktionserwärmung in der Kunststoffverarbeitung. Forschungsreport für den Maschinenbau in Baden-Württemberg. Public Verlagsgesellschaft 2013.
- /154/ Maier, M.; Retzbach, A.; Schinköthe, W.: Induktionserwärmung für die Kunststoffverarbeitung - Ganzheitliche Modellbildung. *Plastverarbeiter*. Jahrgang 64(2013)H 10; S. 134-137.

5.2.5 Veröffentlichungen im Arbeitsgebiet Präzisionsspritzgießen - Entformungskraftuntersuchungen (Auswahl)

- /160/ Walther, T.: Durch Beschichtungen schneller aus der Form. *Plastverarbeiter* 48(1997)11, S. 78-83.
- /161/ Walther, T.: Optimiertes Betriebsverhalten durch Oberflächenveredelung. Seminar Werkzeug-Formenbau, Technische Vereinigung, Würzburg 10.-11. Juni 1997.
- /162/ Burkard, E.; Walther, T.; Schinköthe, W.: Einfluss von Werkzeugbeschichtungen auf das Entformungsverhalten beim Spritzgießen. Vortrag 16. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 10./11.03.1999.
- /163/ Burkard, E.: Einfluss von Werkzeugbeschichtungen auf das Entformungsverhalten beim Spritzgießen. Vortrag Internationale Tagung Werkzeugbau 1999, 27./28.04.1999.
- /164/ Burkard, E.: Verbessertes Entformungsverhalten durch Werkzeugbeschichtungen. *MM (Maschinenmarkt)* 2001 Nr. 22.
- /165/ Burkard, E.; Schinköthe, W.: Einfluss von Werkzeugbeschichtungen auf das Entformungsverhalten beim Spritzgießen. Postervortrag 17. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 14./15.03.2001.
- /166/ Schattka, G.; Burkard, E.; Schinköthe, W.: Entformungskraftuntersuchungen beim Spritzgießen - neuer messtechnischer Ansatz zur Ermittlung der Adhäsions- und Gleitreibungskräfte bei der Entformung. Vortrag 23. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 06./07.03.2013. Tagungsband, S. 111-116, Universität Stuttgart.

5.2.6 Veröffentlichungen im Arbeitsgebiet Präzisionsspritzgießen - Weitere Aspekte (Auswahl)

Siehe auch Dissertationen /46/.

- /170/ Nguyen, T. N.; Geiger, K.; Walther, T.: Das Fließverhalten von LCP-Schmelzen und seine Auswirkungen auf Morphologie und mechanische Eigenschaften von Spritzgießteilen. Vortrag 16. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 10./11.03.1999.
- /171/ Nguyen, M.: Characterization of injection molding processes for magnets (Charakterisierung von Magnetspritzgießprozessen). Poster, Jahresveranstaltung GSaME Innovation und Produktion - Zukunftsfähigkeit durch neue Wege, Stuttgart 11. Februar 2011.
- /172/ Nguyen, M.; Schinköthe, W.: Simulation kunststoffgebundener Dauermagnete unter Berücksichtigung der Schmelztemperatur. ANSYS Conference & 32th CADFEM Users' Meeting 2014, Nürnberg 04.-06. Juni 2014. Vortrag.
- /173/ Nguyen, M.; Maier, M.; Schinkoethe, W.: Proposal for a Simulation-Based Measuring Method of Magnetization Curves Using Finite Element Analysis. *IEEE Transactions on Magnetics*. Vol. 50, No. 9; September 2014.
- /174/ Nguyen, M.; Schinköthe, W.: Simulation of thin-walled injection molded magnets. Vortrag. 4th International Electric Drives Production Conference and Exhibition 2014. September 30th - October 1st, 2014, Proceedings S. 217-224.
- /175/ Nguyen; M.; Schinköthe, W.: Simulation der Magnetisierung spritzgegossener, kunststoffgebundener Dauermagnete. Vortrag 24. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 25./26.02.2015. Tagungsband, IKT, Universität Stuttgart, S. 133-140. IKT Universität Stuttgart.

/176/ Retzbach, A.; Schinköthe, W.: Induktives Schnellhärten von thermisch aktivierbaren Klebstoffen - Simulative Prozessauslegung und Optimierung. Vortrag 24. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 25./26.02.2015. Tagungsband, IKT, Universität Stuttgart, S.141-145.

5.2.7 Veröffentlichungen im Arbeitsgebiet Zuverlässigkeit feinwerktechnischer Antriebe (Auswahl)

Siehe auch Dissertationen /27/, /30/, /35/, /44/.

/180/ Köder, T.; Schinköthe, W.: Untersuchungen zur Zuverlässigkeit und Lebensdauer von DC-Kleinmotoren und Positioniersystemen. 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der TU Ilmenau 2005, Ilmenau 19.-23.09.2005, Proceedings, Reihe 3.1.

/181/ Gandy, A.; Jensen, U.; Köder, T.; Schinköthe, W.: Ausfallverhalten bürstenbehalteter Kleinantriebe. F&M Mechatronik 113(2005)11-12, S. 14-17.

/182/ Köder, T.; Schinköthe, W.: Zuverlässigkeit von elektromechanischen/mechatronischen Systemen am Beispiel feinwerktechnischer Antriebe/Aktorik. Vortrag zum Industrieworkshop der Forschergruppe DFG 460 System-Zuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen, 01.12.2005.

/183/ Köder, T.; Schinköthe, W.: Zuverlässigkeit von elektromechanischen/mechatronischen Systemen am Beispiel feinwerktechnischer Antriebe/Aktorik. Vortrag zum Workshop des SFB 614, Paderborn 19.12.2005.

/184/ Köder, T.; Schinköthe, W.: Zuverlässigkeit von elektromechanischen/mechatronischen Systemen am Beispiel feinwerktechnischer Antriebe/Aktorik. Zwischenbericht 2005 der Forschergruppe DFG 460 System-Zuverlässigkeit in frühen Entwicklungsphasen, Schi 457/7.

/185/ Lütkebohmert, C.; Jensen, U.; Beier, M.; Schinköthe, W.: Wie lange lebt ein Kleinmotor? F&M Mechatronik 115(2007)9, S. 40-43.

/186/ Bertsche, B.; Göhner, P.; Jensen, U.; Schinköthe, W.; Wunderlich, H.-J.: Zuverlässigkeit mechatronischer Systeme - Grundlagen und Bewertung in frühen Entwicklungsphasen. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag 2009.

/187/ Bobrowski, S.; Döring, M.; Jensen, U.; Schinköthe, W.: Zuverlässigkeitsprognose mit dem Cox-Proportional-Hazards-Model. Vortrag Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung 2013. Stuttgart 20.06.2013.

/188/ Bobrowski, S.; Schinköthe, W., Döring, M.; Jensen, U.: Reliability Prediction for Mechatronic Drive Systems. Tagung Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik 2013, Nürnberg 19./20.09.2013. Tagungsband.

/189/ Bobrowski, S.; Schinköthe, W.; Jensen, U.; Döring, M.; Chen, H.: Zuverlässigkeitsprognose mittels statistischer Modelle am Beispiel von Kleinmotoren und Kleingetrieben. Vortrag 22. Kleinmaschinenkolloquium Ilmenau, 13./14.03.2014, Tagungsband.

/190/ Bobrowski, S.; Chen, H.; Döring, M.; Jensen, U.; Schinköthe, W.: Estimation of the lifetime distribution of mechatronic systems in the presence of covariates: A comparison of parametric, semiparametric and nonparametric models. Reliability Engineering & System Safety 139(2015)105-112. Elsevier Verlag 2015.

/191/ Bobrowski, S.; Chen, H.; Döring, M.; Jensen, U.; Schinköthe, W.: Zuverlässigkeitsprognose mechatronischer Systeme mit Hilfe statistischer Modelle am Beispiel feinwerktechnischer Komponenten. DFG-Forschungsvorhaben. Abschlussbericht 2015, SCHI 457/8, Je 162/10.

5.3 Patente

/200/ Schinköthe, W.; Voss, M.: Gleichstromlinearmotor mit integriertem Wegmesssystem. OS DE 196 05 413, 14.02.1996.

/201/ Hartrampf, R.; Schinköthe, W.; Voss, M.: Elektrodynamischer Gleichstromlinearmotor mit aktiver Klemmung. OS DE 196 05 412, 14.02.1996.

/202/ Irion, K.; Schinköthe, W.; Voss, M.: Endoskop. OS DE 196 18 355, 08.05.1996.

/203/ Hartrampf, R.; Schinköthe, W.; Voss, M.: Gleichstromlinearmotor mit integriertem Wegmesssystem. Gebrauchsmuster DE 297 05 315.9, 25.01.1997.

/204/ Hartrampf, R.; Schinköthe, W.: Elektromagnetisches Antriebssystem mit integrierter Wegsignalerzeugung. OS 197 48 647 A1, 04.11.1997.

/205/ Hartrampf, R.; Schinköthe, W.: Electromagnetic drive system with integrated path signal generation. US-Patent US 6 037 739. Erteilt 14.03.2000.

/206/ Schinköthe, W.; Welk, C.: Verfahren zur integrierten Wegsignalerzeugung in Asynchronlinearmotoren. Patentanmeldung, OS 100 25 885.9, 25.05.2000.

/207/ Schinköthe, W.; Welk, C.: Verfahren zur integrierten Wegsignalerzeugung in Induktionslinearmotoren nach Elihu Thomson. Patentanmeldung, OS 100 36 260.5, 26.07.2000.

/208/ Hartrampf, R.; Schinköthe, W.: Elektromagnetisches Antriebssystem mit integrierter Wegsignalerzeugung. Patenterteilung, Patentschrift DE 197 48 647 C2, 27.09.2001.

/209/ Rejman, W.; Schinköthe, W.; Walther, T.: Verfahren zur Kontrastierung von organischen Polymeren für mikroskopische Strukturuntersuchungen. Patentanmeldung, OS 102 03 913.5, 28.01.2002.

/210/ Gundelsweiler, B.; Schinköthe, W.: Verfahren zur integrierten Wegmessung in Gleichstromlinearmotoren mit alternierender Anordnung von Permanentmagneten und Flussführungsteilen. Patentanmeldung, OS 102 29 689.8, 27.06.2002.

/211/ Gundelsweiler, B.; Schinköthe, W.: Verfahren zur integrierten Wegmessung in Gleichstromlinearmotoren unter Ausnutzung von Flusssdichteänderungen im magnetbehafteten Teilsystem. Patentanmeldung, OS 102 29 687.1, 27.06.2002.

/212/ Gundelsweiler, B.; Schinköthe, W.: Hochdynamischer Linearmotor. Patentanmeldung, OS 102 59 601.8, 19.12.2002.

/213/ Irion, K.; Schinköthe, W.; Voss, M.: Endoskop. Patent DE 196 18 355, erteilt am 18.09.2003.

/214/ Grotz, A.; Schinköthe, W.: Linearmotor mit Selbsthemmung. Patentanmeldung, OS 10 2005 039 267.9, 19.08.2005.

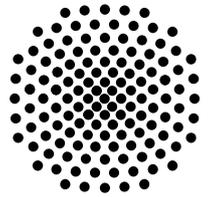
/215/ Clauß, C.; Schinköthe, W.; Welk, C.: Elektrischer Antrieb. OS DE 10 2006 042 707 A1 vom 12.09.2006, offengelegt 27.03.2008.

- /216/ Burkard, E.; Schinköthe, W.; Weber, A.; Zimmermann, T.: Vorrichtung zur Temperierung eines Werkzeuges. OS DE 10 2011 075 107.6 vom 03.05.2011.
- /217/ Keller, B.; Rothenhöfer, E.; Schinköthe, W.: Mehrkoordinatenantrieb mit elektroaktiven Gewölbegeometrien. OS DE 10 2011 113 277.9 vom 06.09.2011.
- /218/ Burkard, E.; Maier, M.; Schinköthe, W.; Zimmermann, T.: Vorrichtung zur Verbindung elektrischer Leitungen. OS DE 10 2011 086 212.9 vom 11.11.2011.
- /219/ Reutzsch, B.; Schinköthe, W.: Linearführung für Schwebeantriebe. OS DE 10 2012 002 266.2 vom 01.02.2012.
- /220/ Burkard, E.; Maier, M.; Schinköthe, W.; Zimmermann, T.: Vorrichtung zur Verbindung elektrischer Leitungen. Patent DE 10 2011 086 212 vom 01.08.2013.
- /221/ Maier, M.; Retzbach, A.: Einrichtung zum induktiven Erwärmen von Schrumpfspannfuttern für Werkzeugmaschinen. Erfindung 2014, Verkauf.
- /222/ Maucher, A.; Retzbach, A.; Schinköthe, W.: Vorrichtung und Verfahren zur Herstellung von Werkstücken aus Kunststoff. Erfindungsmeldung an Uni Stuttgart 2015. OS 10 2016 102 415.5 vom 11.02.2016.

5.4 Umfangreiche, schriftliche Lehrmaterialien

- /230/ Schinköthe, W.: Skript zur Vorlesung Konstruktionslehre Feinwerktechnik III. Universität Stuttgart, IKFF, 6. Aufl. Stuttgart 2016.
- /231/ Schinköthe, W.: Skript zur Vorlesung Konstruktionslehre Feinwerktechnik IV. Universität Stuttgart, IKFF, 7. Aufl. Stuttgart 2014.
- /232/ Burkard, E.; Lindenmüller, P.: Skript zur Vorlesung Konstruktionslehre Feinwerktechnik III - Teil 2 Optische Funktionsgruppen. Universität Stuttgart, IKFF, 2. Aufl., Stuttgart 2010.
- /233/ Schinköthe, W.: Skript zur Vorlesung Aktorik in der Gerätetechnik. Universität Stuttgart, IKFF, Stuttgart.
Teil 1 Vorlesungsskript, 8. Aufl. 2013.
Teil 2 Skript zur Übung und zum Praktikumsversuch Piezosysteme / Ultraschallantriebe, 4. Aufl. 2014.
Teil 3 Skript zur Übung und zum Praktikumsversuch Lineare Antriebssysteme / Lineardirektantriebe, 7. Aufl. 2016.
- /234/ Maucher, A.; Raab, M.; Retzbach, A.; Schiele, F.: Skript Einführung in die FEM mit ANSYS und MAXWELL. Universität Stuttgart, IKFF, 3. Aufl. 2016.
- /235/ Schinköthe, W.: Skript zur Vorlesung Gerätekonstruktion und -fertigung in der Feinwerktechnik. Universität Stuttgart, IKFF, Stuttgart.
Teil 1 Vorlesungsskript, 9. Aufl. 2013.
- /236/ Burkard, E.: Skript zur Vorlesung Praxis des Spritzgießens in der Gerätetechnik. Universität Stuttgart, IKFF, 2. Aufl. 2015.

Zusätzlich diverse Forschungsberichte für öffentlich geförderte AiF-ZIM-Projekte, industriefinanzierte Drittmittelprojekte und jährliche Überarbeitung der Vorlesungsskripte.



**Institut für Konstruktion und
Fertigung in der Feinwerktechnik**

Universität Stuttgart

Pfaffenwaldring 9

70569 Stuttgart

Tel.: +49 (0)711 / 685 66402

Fax: +49 (0)711 / 685 56402

E-Mail: ikff@ikff.uni-stuttgart.de

Internet: www.uni-stuttgart.de/ikff/

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe