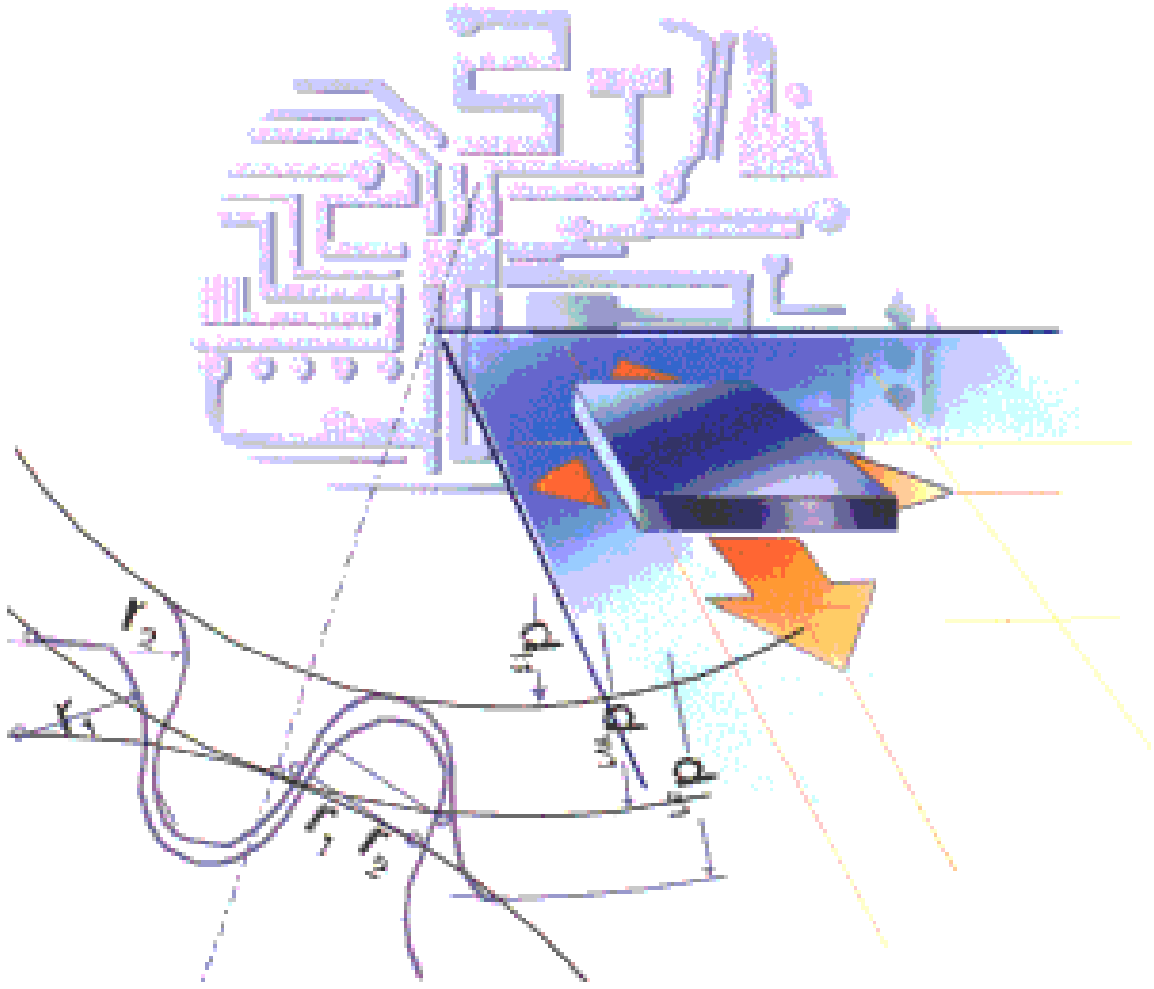
Institut für Mikroelektronik-
und Mechatronik-Systeme gGmbH

IMMS

Jahresbericht

1997



Allgemeine Informationen **3**

Vorwort **4**

Organisationsstruktur **6**

Aufsichtsrat **7**

Wissenschaftlicher Beirat **7**

Forschungs- und Entwicklungsprogramm **8**

Ausgewählte Fachberichte **11**

HF Design/Meßtechnik **37**

Technik zur Schwingungsanalyse und Schallpegelmessungen im IMMS **39**

Projektübersicht 1997 **41**

IMMS: AN-Institut der Technischen Universität Ilmenau **42**

Veröffentlichungen **43**

Mitgliedschaft in Gremien, Verbänden **44**

Institut für Mikroelektronik-und

Mechatronik-Systeme gGmbH

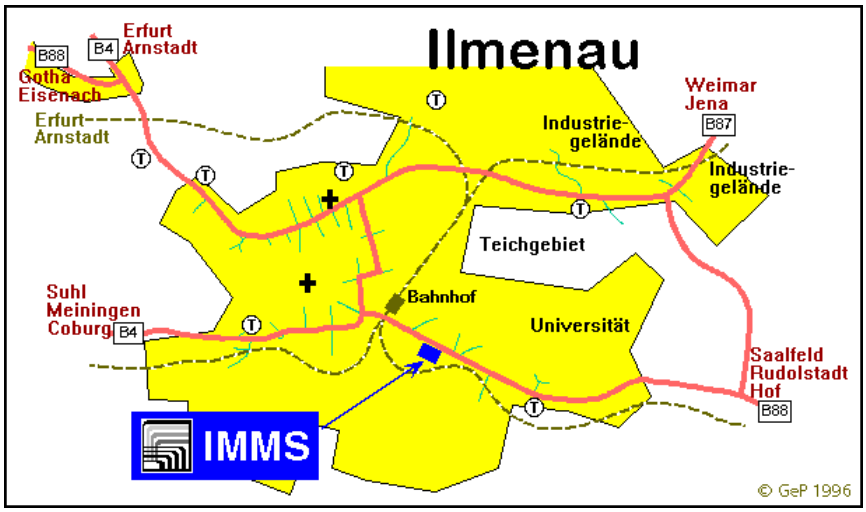
IMMS

Langewiesener Straße 22
98693 Ilmenau

Geschäftsleitung:
Prof. Dr. Gerd Scarbata
Lutz M. Ostermann

Sekretariat:
Monika Schild

Telefon: (03677) 6783-0
Telefax: (03677) 6783-37
e-Mail: imms@imms.de
WWW: http://www.imms.de



Kontakte:

CAD: Karsten Pahnke Tel: (03677) 6783-15
e-Mail: karsten.pahnke@imms.de
S/M: Peter Kornetzky Tel: (03677) 6783-16
e-Mail: peter.kornetzky@imms.de
Mech.: Chr. Schäffel Tel: (03677) 6783-33
e-Mail: christoph.schaeffel@imms.de

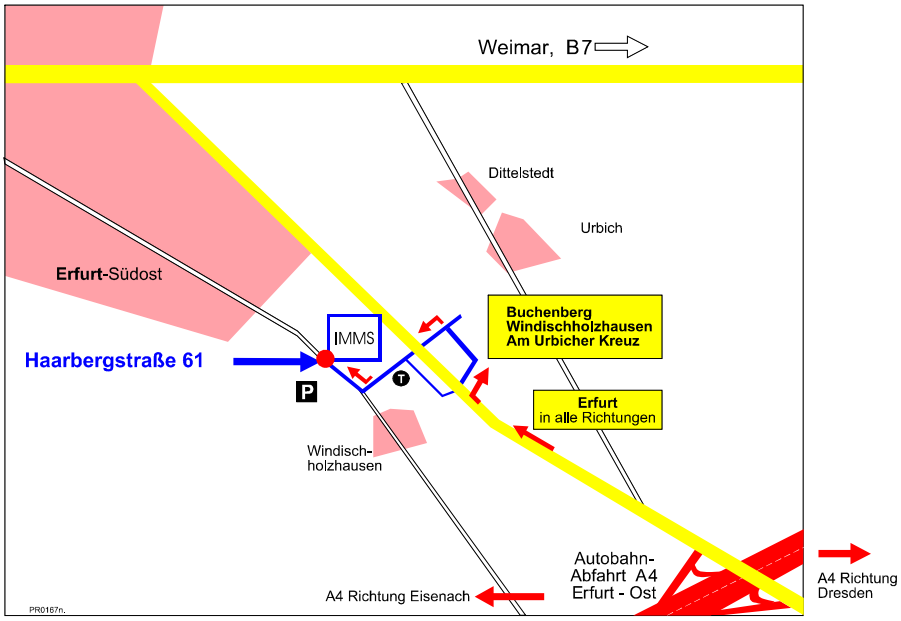
Außenstelle Erfurt:

Haarbergstraße 67
99097 Erfurt

Telefon: (0361) 427-6639
(0361) 427-6601
Telefax: (0361) 427-6631

Kontakt:

Prof. Dr. Franz Rößler
Tel: (0361) 427-6639
e-Mail:
franz.roessler@imms.de



Vorwort

Das Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme (IMMS) ist ein Landesinstitut des Freistaates Thüringen und ein AN-Institut der TU Ilmenau. Es wurde am 19. Dezember 1995 als gemeinnützige GmbH gegründet. Mit seiner Mitte 1996 im Institutsgebäude Ilmenau und Ende 1996 in seiner Betriebsstätte in Erfurt-Südost gestarteten Forschungs- und Entwicklungstätigkeit verwirklicht es zahlreiche regionale, nationale und auch bereits europäische Verbundprojekte mit z. Z. etwa 30 Partnern.
Schwerpunkte der industriellen Grundlagenforschung und der Projekttätigkeiten im vorwettbewerblichen Bereich sind die Entwicklung, Simulation und Erprobung von Labormustern für heterogene Systeme, die ein hochintelligentes Zusammenspiel von mikroelektronischen und mikromechanischen Komponenten realisieren.
Als industrienahe Forschungs- und Entwicklungseinrichtung hat das IMMS vorwiegend die Aufgabe, den kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), vor allem in Thüringen, mit einer anwendungsorientierten industriellen Forschung sowie der Entwicklung von Labormustern für weltmarktfähige Produkte ein leistungsfähiger Partner zu sein.
Zur Durchführung der Forschungsprojekte werden Projektteams speziell für die betreffenden Aufgaben zusammengestellt. Die Teams bestehen aus wissenschaftlichen Mitarbeitern des IMMS, der TU Ilmenau und anderen universitären Einrichtungen sowie aus der Industrie. Darüber hinaus bringen studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte, zahlreiche Praktikanten aus dem In- und Ausland sowie Diplomanden ihre Innovation und Kreativität ein. Erste Auszubildende als Bürokaufmann und Kauffrau für Bürokommunikation - haben in diesem Jahr ihre praktische Ausbildung im IMMS aufgenommen. Weiterhin hat sich das IMMS zur Aufgabe gemacht, junge Menschen an neue Technologien heran zuführen. So wurde ‘97 den Ilmenauer Gymnasien die–Durchführung von Projektwochen angeboten, in denen Schüler die Gelegenheit haben, im Internet praktische Erfahrung auch für den Schulalltag unter fachlicher Anleitung zu sammeln. Solche Veranstaltungen werden auch zukünftig durchgeführt.
Über die fachwissenschaftliche Tätigkeit in Verbundprojekten ist es 1997 zunehmend gelungen, Kernkompetenzen im Bereich der Präzisionsantriebe sowie in der mixed-signal Signalverarbeitung aufzubauen, die eine entscheidende Voraussetzung für die weitere Akquisition von Forschungs- und Entwicklungsaufgaben mit Verbundpartnern sein werden.
Herr Dr. Gerd Schuchardt, Minister für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Thüringen stellte in seiner Ansprache anläßlich der Jahrestagung 1997 der Fraunhofer Gesellschaft in Erfurt fest (Zitat) : „Es ist gelungen, einen intensiven Dialog zwischen Wirtschaft und Wissenschaft zu führen, als dessen Ergebnis wir die Gründung eines Institutes für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme mit den Standorten Ilmenau und Erfurt verzeichnen können. Aufgabe dieses Institutes ist es, For-

Laborarbeitsplatz zur mikroelektronischen Implementierung der USB-Hub-Funktionen in eine PC-Tastatur

schungs- und Entwicklungsleistungen für weltmarktfähige Produkte im Dienst kleiner, mittlerer und großer Unternehmen in Thüringen zu erbringen. Die Resonanz bei den Thüringer Unternehmen ist außerordentlich groß.“

Dieser Jahresbericht gibt einen Überblick über Aktivitäten und die erreichten Ergebnisse des IMMS auch über rein fachwissenschaftliche Belange hinaus.

Die Geschäftsführer bedanken sich auf diesen Weg bei allen Mitarbeitern des IMMS für ihren Fleiß und ihre unermüdliche Einsatzbereitschaft, die zu den hier beschriebenen wissenschaftlichen Ergebnissen in Forschung und Entwicklung geführt haben

Ebenso bedanken wir uns bei allen Mitgliedern des Aufsichtsrats und des Wissenschaftlichen Beirates unseres Institutes für die vertrauensvolle und effektive Zusammenarbeit sowie für die Unterstützung unserer Einrichtung bei den Thüringer Wissenschafts-, Finanz- und Wirtschaftsministerien bei allen Kooperationspartnern im In- und Ausland, verbunden mit dem Wunsch auf eine Fortführung unserer erfolgreichen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in den kommenden Jahren.

Prof. Dr.-Ing. Gerd Scarbata,
Lutz Ostermann

Aufsichtsrat des IMMS

Vorsitz:

Herr Dr. Hamacher
Thüringer Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur

Stellv.:

Herr Lange
Thüringer Wirtschaftsministerium

weitere Mitglieder:

Herr Dr. sc. techn. Hecker
MAZeT GmbH Erfurt

Herr Spaeth
Thüringer Finanzministerium
(bis 30.06.97 Hr. Hohenberger)

Frau Prof. Dr. Schipanski
TU Ilmenau

Herr Straub
Thesys Gesellschaft für Mikroelektronik mbH Erfurt

Herr Prof. Dr. Wilhelmi
Jenoptik Technologie GmbH Jena

Wissenschaftlicher Beirat

Vorsitz:	
Herr Prof. Dr. Kallenbach	TU Ilmenau / Fak. f. Maschinenbau
Stellv.:	
Herr K. Herre	Thesys - Erfurt
Herr W. Groß	Technologiezentrum VDI/VDE Informationstechnik GmbH Teltow
Herr Prof. Dr. Hofmann	CIS Institut für Mikrosensorik Erfurt
Herr Prof. Dr. H.-E. Hoenig	Institut für Physikalische Hochtechnologie e. V. Jena
Herr Prof. Dr. Jäger	TU Ilmenau / Fak. f. Maschinenbau
Herr Dr. Jakob	Technologie- und Gründerzentrum GmbH Ilmenau
Herr Prof. Dr. Karthe	FhG Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik Jena
Herr Prof. Dr. Klocke	FhG Institut für Produktionstechnologie Aachen
Herr Dr.-Ing. M. Kummer	Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Technologie Bonn
Herr Prof. Dr. Puta	TU Ilmenau / Fak. f. Informatik und Automatisierung
Herr Dr. Romberg	SIBET GmbH Hannover
Frau Prof. Dr. Schmitt-Landsiedel	TU München / Fak. f. Elektro- und Informationstechnik
Herr Prof. Dr. Seitzer	FhG Institut für Integrierte Schaltungen Erlangen
Herr L. Siegemund	IHK Südthüringen Suhl
Herr Prof. Dr. Westkämper	FhG Institut für Automatisierung Stuttgart
Herr Dr. Täubig	Thüringer Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur
Herr Dr. Ehrhardt	Thüringer Ministerium für Wirtschaft und Infrastruktur

Forschungs- und Entwicklungsprogramm des IMMS

Die Tätigkeit des IMMS in der industriellen Grundlagenforschung sowie die Entwicklung von Labormustern technischer Systeme im vorwettbewerblichen Bereich ist gekennzeichnet durch eine zunehmende Konzentration auf Kernkompetenzen, wie sie im Bild „Kompetenzbereiche des IMMS“ dargestellt sind. Diese wissenschaftlich-technische Ausrichtung der Projekttätigkeit in unserem Institut folgt damit sowohl den vom Aufsichtsrat gegebenen Empfehlungen als auch den im Wissenschaftlichen Beirat diskutierten Anregungen zur weiteren Profilierung der Forschungs- und Entwicklungstätigkeit des IMMS. Die Kernkompetenzen

- Präzisions-Antriebe und Positionieranordnungen

und die

- Signalverarbeitung im Mixed-Signal-Bereich

sind Gebiete, in denen über die Kooperation des IMMS mit der TU Ilmenau sehr umfangreiche und von hohem wissenschaftlichen Niveau gekennzeichnete Ergebnisse aus jahrelanger erfolgreicher universitärer Grundlagenforschung zur Verfügung stehen.

Ebenso ist nach der Gründung des IMMS vor nunmehr zwei Jahren die Tätigkeitsaufnahme eines auf diesen Gebieten an der TU Ilmenau spezialisiert ausgebildeten wissenschaftlichen Personals erfolgt und damit auch die Voraussetzung gegeben, mit den relevanten Fachgebieten der Universität weiterhin erfolgreich in Verbundprojekten und im Rahmen des bestehenden Kooperationsvertrages tätig zu sein.

Die beiden Kernkompetenzbereiche sind auf das Tätigkeitsprofil des IMMS als industrienahe Forschungseinrichtung zugeschnitten. Sie ermöglichen die Forschung und Entwicklung technischer Systeme mit Mitteln der am Institut vorhandenen Hard- und Softwareausrüstungen und der Fachkompetenz der Mitarbeiter in Form von Labormustern einerseits und fordern die Kooperationen im Technologiebereich mit kompetenten Partnern, mit denen das IMMS bereits enge wirksame Verbindungen innerhalb des Bundesrepublik Deutschland aufgebaut hat bzw. mit Partnern, die noch im Verlaufe der kommenden Jahre auch international zu finden sein werden. Die Konzentration auf diese Kernkompetenzen führt zum Ausbau der Stärken des IMMS und damit zwangsläufig zu vermehrten Kooperationen und strategischen Allianzen.

Die im Bild „Kompetenzbereiche des IMMS“ als Beispiele aufgezählten möglichen Applikationen lassen erwarten, daß unter Nutzung der Systemkompetenz z. B. für Mehrkoordinatenantriebe oder die Anwendung eingebetteter Prozessorsysteme, die architekturvariabel und mit intelligenten DA-Wandler-Interfaces ausgerüstet sind, zunehmend Erzeugnisse mit bedeutender Marktrelevanz entwickelt werden können, entweder über eigene Ausgründungen oder in bereits existierenden Unternehmen in Thüringen. Damit wird auch eine der Zielstellungen der IMMS-Gründung umgesetzt werden können, weitere Arbeitsplätze im Freistaat Thüringen zu initiieren.

Um die beiden angestrebten Kernkompetenzen des IMMS mit den erforderlichen Inhalten zu gestalten, werden die dargestellten System-Komponenten als Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte in den Mittelpunkt der weiteren Projektdefinitionen und –akquisitionen gestellt, um sie mit den erforderlichen Kooperationspartnern praktisch umzusetzen.

Im Bereich der Präzisionsantriebe sind beachtliche Ergebnisse mit dem Einsatz des „Feldgeführten High-Speed Positioniertisches“ (Mehrkoordinatenantrieb) zu erwarten. Durch die Positionierung mittels elektrodynamischer Feldkräfte entfallen mechanische Führungselemente.

Maximale Verfahrbereiche bis 200 mm in x-y -Richtung bei einer Genauigkeit von 0,2 µm und Auflösungen bis zu 20 nm sind Anwendungen für die

- Laserbearbeitung
- Mikromaterialbearbeitung
- High Speed Meßtechnik
- Waferinspektion und -bearbeitung
- Mikromontagesysteme
- Manipulationssysteme

möglich und durch zahlreiche Kunden bereits angefragt.

Die beiden Projekte des IMMS

- Mehrkoordinatenantrieb mit 3D-Laserinterferometer (in Erarbeitung) sowie
- Ionen-Projektionslithographie (IPL)

sind weitere Schritte auf dem Weg der Nutzung dieses High-Tech-Erzeugnisses, dem eine etwa 15jährige Grundlagenforschung und Entwicklung an der TU Ilmenau vorausgeht.

Im IPL-Projekt muß ein ähnliches Positioniersystem senkrecht angeordnet im UHV einsetzbar sein. Bei erfolgreicher Entwicklung wird es Bestandteil von Systemen der zukünftigen Ionen-Lithographie in der Mikroelektronik sein, die 100 nm Strukturbreite unterschreiten. Unterstützend auch in diesem Bereich sind die parallel definierten bzw. bereits in der Realisierung befindlichen Projekte aus dem Komplex „Signalverarbeitung im Mixed-Signal-Bereich“, die Fragen der eingebetteten parametrisierbaren DSP-Kerne zum Inhalt haben. Diese Projekte, wie

- Integrierte universelle Meßsignalvorverarbeitungseinheit für mechatronische Systeme, basierend auf eingebetteten parame-

trisierbaren DSP-Kernen/GEPARD

- SSE: Wiederverwendungsorientierter Entwurf von Hardware- und Software-Komponenten modularer DSP-Systeme,
- Entwicklung und Systematisierung von A/D-Wandlern für die Anwendung in Digitalen Signalverarbeitungssystemen unter Berücksichtigung neuester Technologien, Techniken und Anforderungen
- Entwurfsmethodik für analoge und mixed-signal-ASICs auf der Grundlage eines modularen DSP-Cores und einer A/D-D/A-Wandler-Core-Familie

sind geeignet, in enger Kooperation mit den Wissenschaftlern und Mitarbeitern der Mechatronik-Abteilung des IMMS und den Partnern vorwiegend an der TUI effiziente Steuerungen für die o.g. Antriebssysteme zu realisieren, um in den verschiedenen aufgezählten Bereichen ein jeweils anwendungsspezifisch optimiertes Gesamtsystem zu entwickeln.

Eine ähnlich vorteilhafte Ausgangsbasis für eine erfolgreiche Kooperation zwischen Mechatronik und Mikroelektronik im IMMS mit Thüringer Partnern ist im Bereich der geregelten Präzisionsantriebe (rotatorische, Schrittmotoren, piezo) gegeben.

Die ständig steigenden Anforderungen an Meß-, Montage-, Mikrobearbeitungs- und Manipulationssystemen bezüglich der hier einzusetzenden Präzisionsantriebssysteme läßt den Ausbau der Kooperation des IMMS auch im internationalen Bereich erwarten. Im Bereich der Tribologie, insbesondere der Werkstoffauswahl für Antriebssysteme unter erschwerten Einsatzbedingungen bis zum UHV sind erste gemeinsame Projekte unter Einbeziehung des Schweizer Forschungs- und Entwicklungsinstitutes CSEM in Neuchatel definiert bzw. in der Beantragung.

Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich der mechanischen und mikromechanischen Präzisionssysteme werden durch weitere Projektvorhaben, wie

- Optimierung von Monochromatoranwendnungen
- Modellierung des Zeilenscanners für Laser-TV-Systeme
- Domänenspezifisches Wissen für mechatronische Entwurfssysteme
- Flexible Montage von Komponenten der Mikrosystemtechnik

in Angriff genommen.

Eine weitere wichtige Säule der IMMS-Tätigkeit stellen Forschungsleistungen in den Bereichen der modernen Kommunikationstechnik (USB, Fire Wire) mit Komponenten der drahtlosen Datenübertragung mit den Projekten

- USB-Baukastensystem für Vernetzungskomponenten und Peripheriegeräte im Bereich Multimedia und Kommunikationstechnik
- Realisierungsstudie für Low-Power-Schaltungskonzepte auf der Basis der BiCMOS-Technologie für Anwendungen in der Kommunikationstechnik im Frequenzbereich 40 -2.500 MHz
- Designmethodik für Low-Power-Kommunikationsschaltkreise in fortgeschrittenen IC-Technologien

dar.

Unterstützend für diese Bereiche der mixed-signal-Signalverarbeitung sind technologieorientierte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in der Mikroelektronik, insbesondere in der CAD- und Schaltungs- und Meßtechnik-Abteilungen sowie der Außenstelle Erfurt durchzuführen. Mit Beteiligung an den Projekten

- Entwicklung innovativer Schaltungstechniken und -strukturen unter Berücksichtigung neuester Technologien, Techniken und Anforderungen
- MEDEA: „Options for 0,35 µm CMOS“ als Partner für Siemens/München zur Bauelementecharakterisierung und Analogsimulation
- MEDEA: Modulare SiGe-HBT in CMOS-Technologie für die Kommunikationstechnik
- SSE: Effiziente Layoutentwurfsmethodik für analog /digitale Systeme

wird die Erweiterung der schaltungs- und meßtechnischen Kompetenz des IMMS im Bereich zukunftsorientierte Technologien angestrebt.

1997 forcierte das IMMS den Aufbau des Kompetenzschwerpunktes ADU- Entwicklung. Die erste Etappe war gekennzeichnet durch die Generierung von Forschungsvorhaben, damit schnell und effizient zur praktischen Realisierung moderner Analog-Digital-Umsetzer übergegangen werden kann. So entstanden im wesentlichen drei Projekte (Bild 1), auf deren Inhalt und auf deren Einordnung in das Gesamtziel gesondert eingegangen wird.

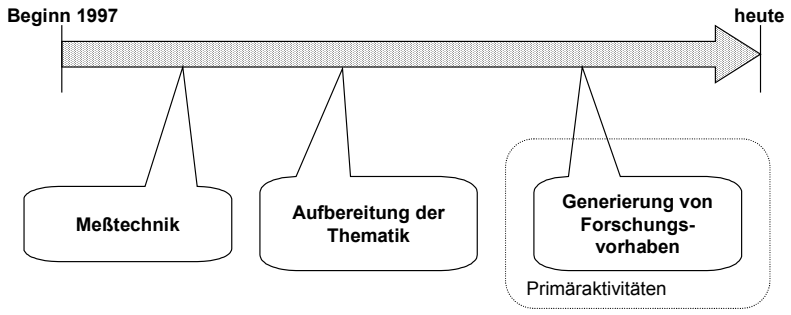


Bild 1: Bisherige Arbeiten am IMMS

1997 war gekennzeichnet durch die Einarbeitung eines neuen Mitarbeiters in die Thematik und den Aufbau von Grundwissen. So entstand eine Studie über den derzeitigen Entwicklungstand von Analog-Digital - Umsetzern und eine Studie zu Untersuchungen von CMOS - Komparatoren hinsichtlich der Parameter Speed, Power und Offset. Diese Studien liegen im IMMS vor und bilden die Grundlage der weiteren Arbeiten.

Ergebnisse:

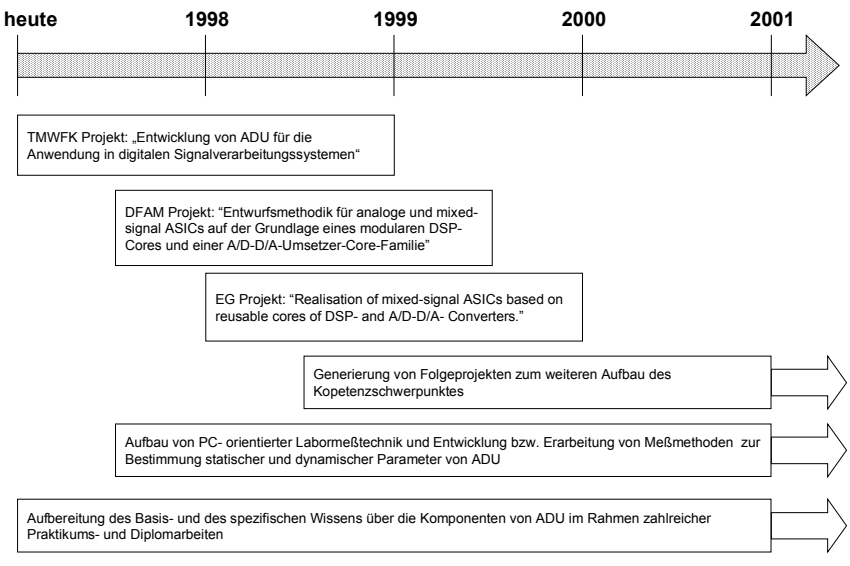
- Technologieumsetzung eines 12 Bit switched capacitor SAR ADC
- Praktikantenbetreuung zum Thema „Komparatorentwicklung in CMOS Technologie unter den Gesichtspunkten Speed, Power, Offset“
- Praktikantenbetreuung zum Thema „Studie zum derzeitigen Entwicklungsstand bei A/D-Umsetzern“

Ein weiterer Schwerpunkt war die Einarbeitung in die Methodik der meßtechnischen Charakterisierung von Analog-Digital-Umsetzern. Basis ist eine im IMMS entstandene Meßplatzkonzeption, auf deren Grundlage ein PC-orientierter Labormeßplatz in der Außenstelle des IMMS in Erfurt eingerichtet werden soll, mit dem in Zukunft verschiedenste Messungen an ADU und deren Teilkomponenten durchgeführt werden können. Es handelt sich dabei um ein Mischkonzept aus GPIB- und VXI- Komponenten, so daß große Flexibilität, problemlose Erweiterbarkeit und Anpaßbarkeit auf neue Meßaufgaben gewährleistet sind. Im Rahmen dieser vorbereitenden Arbeiten entstand weiterhin eine Meßumgebung unter HPVee, mit der schnell und einfach statische Parameter von ADUs bestimmt werden können. Dieses Tool entstand in Zusammenarbeit mit der Meßtechnikabteilung der Thesys GmbH und wird dort erfolgreich eingesetzt.

Als wissenschaftlicher Partner Thüringer kleiner und mittelerer Unternehmen stellt sich das IMMS die Aufgabe, in den kommenden Jahren ein Kompetenzzentrum im Bereich der ADU-Entwicklung für die Kombination mit modularen DSP-Cores zu werden, sowie die Aktivitäten auf dem Gebiet der ADU-Entwicklung in Thüringen in Zukunft zu koordinieren.

Die wichtigste Voraussetzung ist dabei eine enge Zusammenarbeit mit den Thüringer Unternehmen und Thüringer Forschungs- und Bildungseinrichtungen wie der TU Ilmenau. Nur so ist eine am Markt orientierte Entwicklung moderner Analog-Digital-Umsetzer und deren bedarfsspezifische Anpassung an verschiedene Einsatzumgebungen möglich.

Zusammen mit dem Themenschwerpunkt Digital Signal Processing am IMMS zielt der Aufbau des Kompetenzschwerpunktes ADU - Entwicklung auch auf die Entwicklung neuer Methoden zum Entwurf von mixed-signal ASICs. Ziel ist dabei die Realisierung kompletter, für verschiedenste Anwendungen anpaßbarer, integrierter Signalverarbeitungssysteme.



„Untersuchungen zur Realisierung fluidischer Aktorarrays“

Zielstellung des Projektes
Elektroviskose Fluide bieten auf Grund ihrer elektrisch steuerbaren Viskositätsänderung die Möglichkeit zur Schaffung von Mikrohydraulikventilen und damit zur Auslösung mikromechanischer Bewegungen. Da ihre chemischen Eigenschaften eine praktische Verwendung zulassen, liegt der Schwerpunkt der notwendigen Entwicklungen auf den Gebieten der Ansteuerung und der mechanischen Umsetzung in entsprechende Produkte. Das Vorprojekt soll eine umfassende Klärung der Steuerungseigenschaften industrieller Fluide und mechatronische Demonstratoren für die Erzeugung linearer, mikromechanischer Bewegungen erzielen.

Partner
Die Zusammenarbeit erfolgt im Rahmen des vom TMWFK geförderten Projektes mit:

- Physikalisch Technische Systeme GmbH Jena

Bisherige Ergebnisse
Bei den elektroviskosen Flüssigkeiten handelt es sich im wesentlichen um Silikonöle, die durch den Zusatz von Schwebeteilchen in die Lage versetzt werden unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes von 1-6 kV/mm ihre Viskosität zu ändern und dadurch innerhalb von definierten Kanälen eine Ventilwirkung auszuüben. Für die Schaffung einer Teststruktur wurde, bei Kanalweiten von 0.1mm, für einen erzeugbaren Druckunterschied von 1bar, eine notwendige Spannung von etwa 450 V zwischen den Elektroden berechnet. Die Schaltung von Spannungen dieser Größenordnung ist mit diskreten Bipolar- oder MOS-Transistoren möglich. Für künftige Anwendungen stehen die Forderungen der gemeinsamen Integration von Ansteuer- und Schaltelektronik, des geringen Leistungsumsatzes und geringe Leckströme innerhalb der Fluide. Deshalb sollen für den Test der integrierten Varianten zunächst laterale DMOS-Transistoren verwendet werden. Zur Vermeidung von Elektrophoreseeffekten und zur Anpassung an die Reaktionsgeschwindigkeit des Fluides ist eine niederfrequente AC-Ansteuerung im Bereich von 50 bis 100Hz geeignet. Ebenso ergibt sich zur Vermeidung des Materialabtrags und der chemisch/physikalischen Reaktionen die Verwendung von Edelstahlelektroden und Plastwerkstoffen.
Auf Basis einer Literaturrecherche zu Eigenschaften verfügbarer elektrorheologischer Fluide wurde „Rheobay“ der Fa. Bayer für Tests ausgewählt.
Als Beispiel für die Demonstration eines Aktorarrays innerhalb des Projektes ist ein Modul für ein Brailledisplay ausgewählt worden. Bild 1 zeigt die vorgesehene Gesamtkonfiguration aus Hochdruck- (4) und Niederdruckkanal (5) mit Pumpe, einer Ventilmatrix (3), einem steuerbaren Druckvolumen (1) und einer elastischen Membran (2) zur Umsetzung der Druckänderung in eine Höhenbewegung.

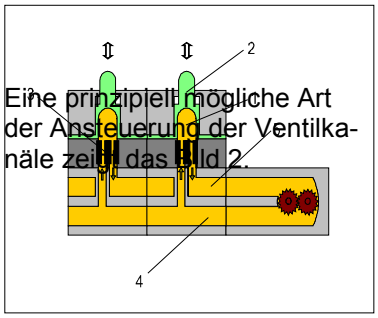


Bild 1: Demonstratoranordnung

Eine prinzipiell mögliche Art der Ansteuerung der Ventilkanäle zeigt das Bild 2.

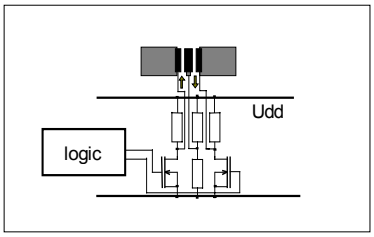


Bild 2: Matrixansteuerung

Weitere Vorhaben

- Erstellung und Test des Beispielmoduls
- Test der Grenzparameter des erzeugten Beispielsystems zur Ermittlung von Randwerten für andere Anwendungen (Güte der Ventilwirkung, erreichbare Druckunterschiede, Systemdynamik, Langzeitstabilität der Fluide, Werkstoffqualität, Systemverhalten)
- Erarbeitung einer Aufgabenstellung für ein Verbundprojekt zur Schaffung eines Brailledisplays als erste Anwendung
- Erstellung eines Anwendungskataloges für fluidische Aktoren, Aktorarrays und elektroviskose Fluide.

Ansprechpartner:
DI Knut Hübner
Tel.: 03677-678317
e-mail: knut.huebner@imms.de

Dr. Peter Kornetzky
Tel.: 03677-678316
e-mail:
peter.kornetzky@imms.de

„Lithium-Ionen-Batterie“

Der Schwerpunkt des jungen Thüringer Technologieunternehmens GAIA Akkumulatorenwerke GmbH liegt in der Entwicklung und Herstellung von Lithium-Ionen-Polymer-Feststoffbatterien für den Einsatz in der Automobilindustrie sowie als Versorgungseinheit von Back-Up-Systemen.
Die Zusammenarbeit mit dem IMMS erstreckt sich dabei auf dem Gebiet von Elektronikkomponenten zur Zustandsanalyse der Batterieanordnungen sowie von leistungselektronischen Komponenten zum Schutz der Batterie vor Überlastzuständen. Darüber hinaus werden Sondermessungen an Labormustern durchgeführt.

Konzeption eines Leistungsschaltmoduls zum Schutz der Batterieanordnung vor Überlast

Unter Berücksichtigung der besonderen Betriebs- und Grenzbedingungen von Starterbatterien in KFZ wurde ein Leistungsschaltmodul konzipiert und als Labormuster aufgebaut, in dem folgende Betriebszustände erfaßt werden, die ggf. zur definierten Abschaltung der Batterie vom Bordnetz führen sollen:

- Normalbetrieb bei laufendem / stehendem Motor
- Startvorgang
- Kurzschluß
- Unter-/Überspannung
- Überstrom

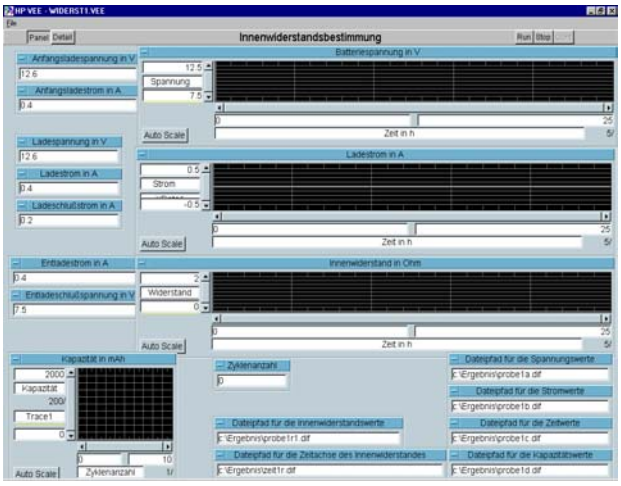


Bild 1: *Eingabemaske zur Innenwiderstandsbestimmung*

(erstellt mit HP-VEE)

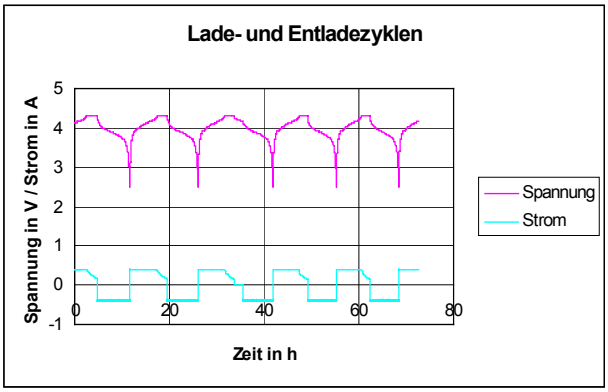


Bild 2: Spannung und Strom in Abhängigkeit von der Zeit während mehrerer Lade- und Entladezyklen

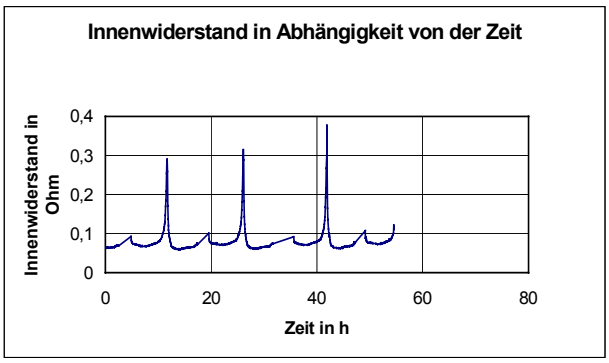


Bild 3: Innenwiderstand der Batterie während mehrerer Lade- und Entladezyklen

Durch den Einsatz von intelligenten Leistungsschaltern vom Typ BTS550P, die freundlicherweise von der Siemens AG München zur Verfügung gestellt wurden, können sogar die mehrere 100 A betragenden Anlaßströme beim Startvorgang des KFZ ohne wesentliche Verluste bewältigt werden. Das Leistungsschaltmodul ist kompatibel zu den meisten gebräuchlichen KFZ- und kann zu Testzwecken auch an herkömmliche zu Bleistarterbatterien angeschlossen werden. Eine in den Fahrgastraum verlegbare Steuereinheit ermöglicht die Überwachung des Modul-Status.

Sondermessungen an Labormustern

Zur reproduzierbaren Erfassung der Batterieparameter

- Spannung
- Strom
- Kapazität
- Innenwiderstand
- Leckstrom

wurden ein PC-gesteuerter Meßplatz aufgebaut und mit der grafischen Programmieroberfläche HP-VEE verschiedene Programme entwikkelt, die einen automatischen Meßablauf sowie Dauermessungen ermöglichen.

Bild 1: zeigt die Bedienoberfläche des Programmoduls zur Bestimmung des Innenwiderstandes während definierter Lade-/Entladezyklen.

Die Bilder 2 und 3 zeigen das Meßergebnis eines entsprechenden Labormusters. Die Ergebnisse dieser Messungen geben wertvolle Hinweise zur Optimierung der Batteriezellen beim Kooperationspartner.

Ansprechpartner:

Dr. Peter Kornetzky
Tel.: 03677-678316
e-mail:
peter.kornetzky@imms.de

Entwurf und Auswertung eines Testchips für die Bewertung eines BiCMOS-Prozesses
Verbund : Smart Fabrication – Quality Management

Die im Juni 1996 begonnene Mitarbeit im Verbundprojekt „Neue Konzepte für die Halb-leiterindustrie - Smart Fabrication“ wurde im Jahre 1997 weitergeführt und beendet. Die am IMMS durchgeführten Arbeiten sind Bestandteil des Arbeitspaketes QM 032. Am Beispiel der 0,8 µm-BiCMOS-Technologie BN08A der Thesys Gesellschaft für Mikro-elektronik Erfurt wurden Testchips für die Bewertung eines BiCMOS-Prozesses hinsichtlich Prozeßstabilität, Qualität und Matching entworfen.

Als Ergebnis entstanden zwei Testchips, die gemeinsam auf einem Wafer präpariert wurden. Im Mittelpunkt der Aktivitäten des IMMS stand das Q-Device TH9035 mit einem CMOS - Teil und einem BiCMOS - Teil. Es enthält komplexe Schaltungsstrukturen. Ein weiterer, von der Thesys Gesellschaft für Mikroelektronik mbH entwickelter Testchip TH9035AD enthält 50 Sonderstrukturen mit primitive devices, Elektromigrations- und Matchingstrukturen, Via- und Kontaktketten. Als Beitrag des IMMS sind 4 Sonderstrukturen mit Vierquadrantenmultiplizierer und Brownschen Dioden in je zwei Layoutvarianten enthalten.

Die Aktivitäten des IMMS in dem Verbundprojekt umfassen Konzeption, Pflichtenhefterstellung, Digitaldesign, Analogdesign und Meßtechnikentwicklung.

Die Inbetriebnahme der Meßtechnik erfolgte auf einem Funktionaltestsystem der Thesys. Am IMMS erfolgte die Meßtechnikentwicklung für das HP82000 Testsystem. So wurden Loadboards für beide Bauformen und Probecards für die Wafermessung aufgebaut.

Während des Projektes gestaltete sich eine enge Zusammenarbeit mit drei Instituten der TU Ilmenau. Weiterhin wurde eine Belegarbeit mit einbezogen und die Betreuung durch das IMMS organisiert. Über das Patentinformationszentrum und Online-Dienste (PATON) der TU Ilmenau wurde eine Patent- und Informationsrecherche zum Stand der Technik durchgeführt.

Zum Abschluß unserer Mitarbeit im September 1997 lagen die ersten acht Wafer und gehäuste Bauelemente TH9035 als CPGA180 vor. Dabei wurde die Funktionstüchtigkeit des CMOS-Teils nachgewiesen. Die Verzögerungszeiten der Delayketten liegen im simulierten Bereich. Bei den Bipolar-Transistor-Arrays wurde die Einhaltung der simulierten Kollektorströme nachgewiesen. Die PECL Delayketten und der VCO konnten wegen eines Maskenfehlers nicht ausgewertet werden.

Durch die Zusammenarbeit mit dem Verbundpartner Thesys entstanden viele Anregungen für den weiteren Ausbau von Design-Flow und Meßtechnik am IMMS. Vieles ist methodisch für weitere Projekte sowie für die Beratung von KMU bei ASIC-Entwicklungen nutzbar.

Ergebnisse und Abschlußbericht wurden der Thesys am 30.10.97 in einem Statusseminar in Erfurt übergeben.

Am IMMS wurden die Ergebnisse am 24.10.97 und innerhalb der Vortragsreihe des IMMS an der TU Ilmenau am 16.12.1997 präsentiert.

Eine weitere öffentliche Vorstellung der Aktivitäten des IMMS ist im Rahmen des Smart Fabrication Workshops am 27./28.01.98 in Erfurt vorgesehen.

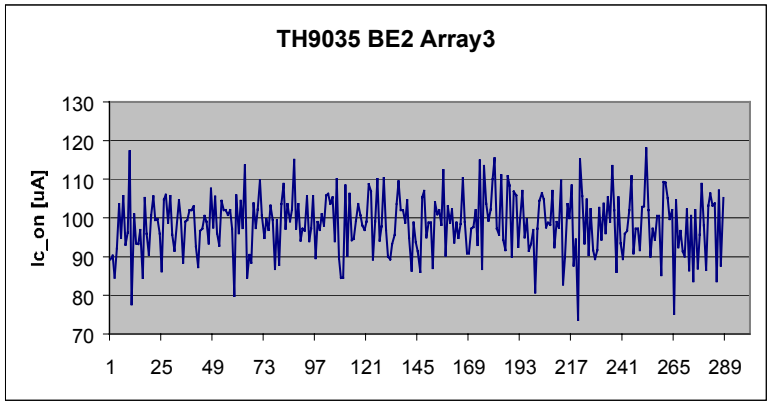


Bild 1 : Kollektorströme der Transistoren des Array 3, Ib=1µA

Ansprechpartner :

Dr. Klaus Förster
Tel.: (03677) 6783-16
e-Mail:
klaus.foerster@imms.de

Dr. Uwe Heiber
Tel.: (03677) 6783-35
e-Mail: uwe.heiber@imms.de

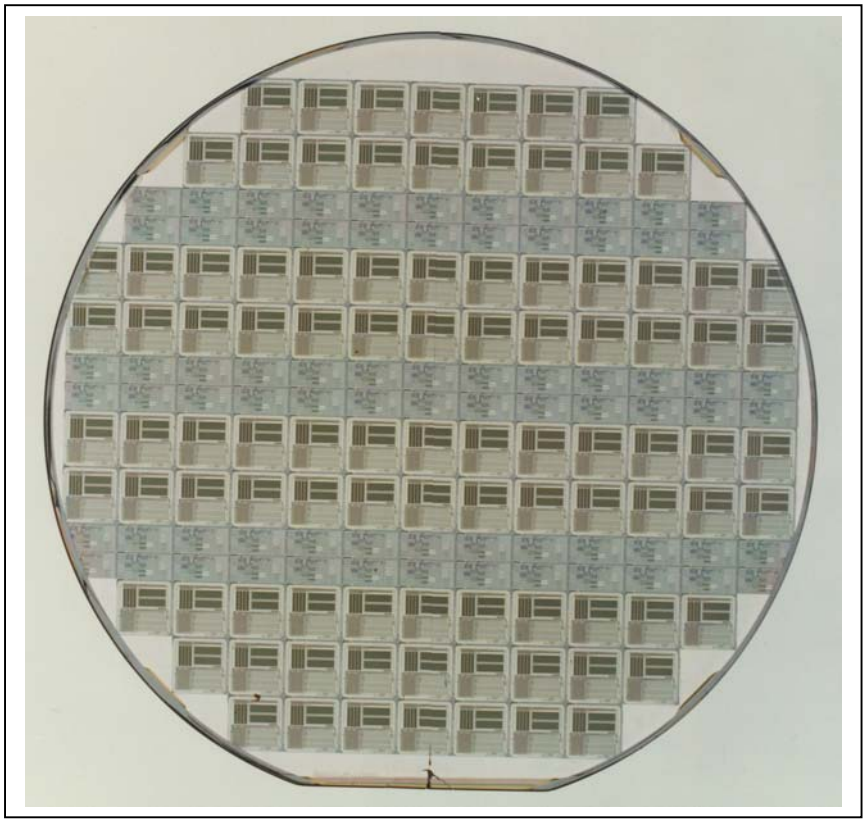


Bild 2: 6“-Wafer mit Testchips TH9035 und TH9035AD

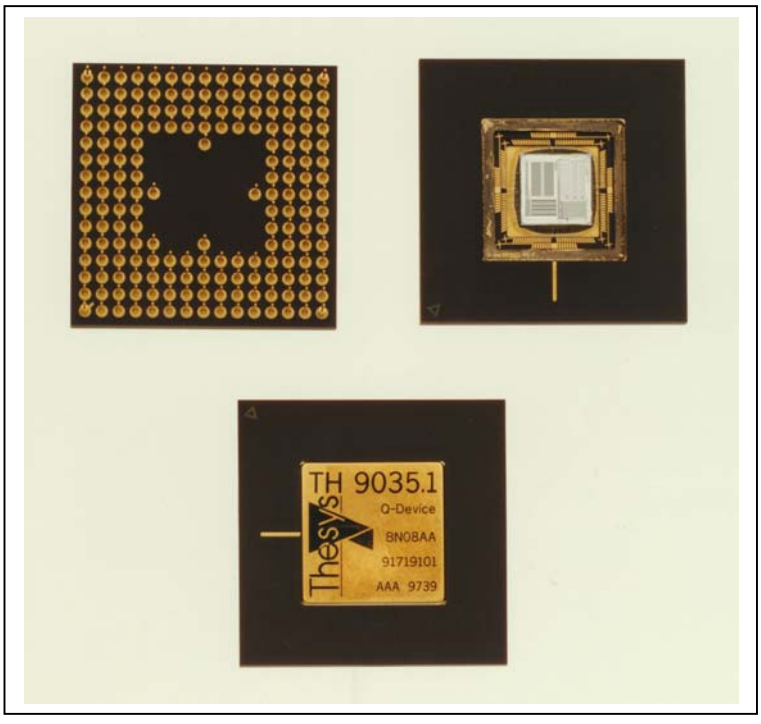


Bild 3: Q-Device TH9035 im Keramikgehäuse CPGA180

„Entwicklung eines USB-Baukastensystems für Vernetzungskomponenten und Peripheriegeräte im Bereich Multimedia und Kommunikationstechnik“

Das Projekt wurde von den Partnern Thesys GmbH, DResearch GmbH, TechnoTrend GmbH, MAZeT GmbH und IMMS gGmbH im Frühjahr 1996 beim TMWFK beantragt. Dieses Projekt war als Vorbereitungsprojekt zu einem Verbundprojekt vorgesehen. Das bedeutet, daß das wesentliche Ziel dieses Projektes neben der Analyse der Machbarkeit und des Applikationsumfeldes die Konzipierung und Beantragung eines Verbundvorhabens insbesonderer Thüringer KMUs zum Thema USB-Baukasten war. Innerhalb des Vorprojektes sollte das eigentliche Verbundvorhaben klar definiert werden. Zum Zwecke dieser Definition und zur Risikoabschätzung waren folgende Teilaufgaben mit den entsprechenden Verantwortlichkeiten vorgesehen worden:

1. Untersuchung des Applikationsmarktes (Thesys GmbH)
2. Anforderungen aus Sicht der Applikationen (DResearch GmbH)
3. Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten in den Bereichen Automatisierungstechnik und Bedienung von Multimedia- und Heimelektronikgeräten (TechnoTrend GmbH)
4. Entwicklung Demonstrator-HUB (IMMS gGmbH)
5. Untersuchung der Realisierbarkeit von Buskonvertern (MAZeT GmbH)
6. Aufwandsabschätzung bezüglich Personal und Werkzeugen (alle)

Die wichtigsten Grundlagen für die Analysen, Untersuchungen und Implementationen innerhalb dieses Projektes bildeten die Dokumente des USB-Implementersforums. Zum Zwecke der Erlangung der aktuellen Informationen sind deshalb auch die Thesys als Halbleiterhersteller und das IMMS als Forschungseinrichtung Mitglied des USB-Implementersforums geworden.

Neben der intensiven Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wurde der Kontakt zu weiteren potentiellen Partnern hergestellt, die innerhalb des geplanten Verbundvorhabens oder als externe Kooperationspartner an der USB - Thematik interessiert waren. Dabei kam es zu folgenden Kooperationen:

- *Siemens Nixdorf Informationssysteme (SNI)*

Neben Konsultationen, die zu verschieden Phasen des Projektes stattfanden, wurde durch SNI Equipment zum Aufbau eines in eine Tastatur integrierten Demonstrator-HUBs bereitgestellt.

- *PREH:*

Mit der Firma Preh wurde gemeinsam eine HUB-lose USB-Tastatur als weiterer Demonstrator entwickelt und auf der CeBit 97 präsentiert. Darüberhinaus entstand aus den Vorarbeiten ein Forschungs- und Entwicklungsprojekt.

Aktuelle Markteinschätzung

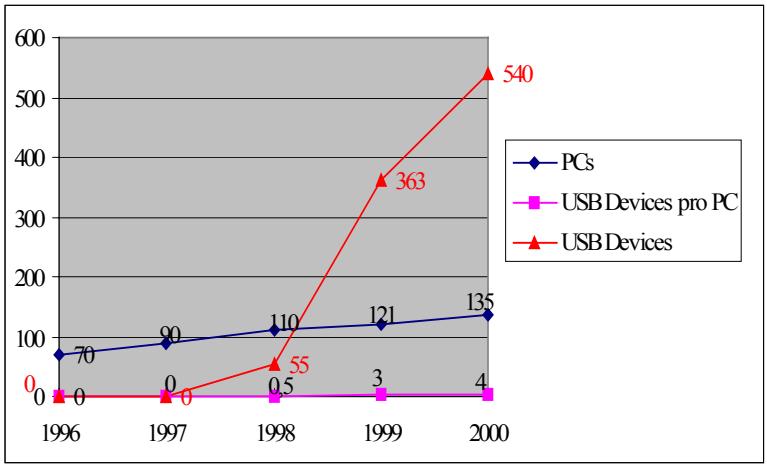


Bild 1: Marktentwicklung PCs/USB Devices (PC Zahlen - Dataquest - März '97; USB Devices pro PC - eigene Schätzung)

Der PC Markt hat sich schneller als vorhergesagt entwickelt. Bereits 1998 oder sogar schon 1997 wird mit der Zahl von 100 Millionen verkauften PCs gerechnet, bei weiterhin hohen Zuwachszahlen. Ein signifikanter Markt für USB Peripheriegeräte wird sich ab Mitte 1998 etablieren, wenn nach Einführung von Windows 98 neben den hardwaremäßigen Voraussetzungen auch die softwaremäßigen geschaffen sind. Die Erfahrungen bei Einführung anderer PC-Standards (PCI) zeigen, daß wenn alle Voraussetzungen erfüllt sind, ein schneller Umbruch des Marktes auf den neuen Standard zu erwarten ist. Bei entsprechender Basis von USB fähigen PCs wird sich auch der Markt für Zusatzgeräte, wie Modems, Lautsprecher u.a. schnell entwickeln, so daß für 1999/2000 mit 3-4 peripheren USB-Geräten pro verkauften PC gerechnet werden kann.

Entwicklung Demonstrator-HUB

Hauptbetätigungsfeld des IMMS waren Untersuchungen zur Aufwandsabschätzung am Beispiel eines Labormusters für einen USB-Hub. Der Hub ist eine der wichtigsten Komponenten im USB-Konzept. Er stellt selbst ein Full-Speed Gerät dar und dient weiterhin der Propagierung und Konzentrierung von USB-Datenströmen für angeschlossene Full Speed / Low Speed Geräte. Auf Grund dieser umfangreichen Funktionalität ist er für Machbarkeitsanalysen und Aufwandsabschätzungen sehr gut geeignet. Als Grundlage für die Demonstratorlösung diente eine „Low Speed Bridge“ der Firma Thesys, welche Verwendung in der ersten USB-Maus von Logitech fand.

Bei der Erweiterung dieser Bridgekomponente wurde besonders großer Wert auf Skalierbarkeit verschiedener Parameter (FIFO-Tiefe, Anzahl zu unterstützender Geräte usw.) gelegt. Erste Ergebnisse unter Verwendung der erweiterten Bridge konnten bereits im Januar 97 auf einem der vom USB-IF regelmäßig veranstalteten Kompatibilitäts - Workshops vorgestellt werden (USB-Full Speed Tastatur).

Im weiteren Verlauf wurde als wichtigste Komponente für die Hub-Funktionalität der Repeater spezifiziert und mit Hilfe des am IMMS aufgebauten Prototypenboards als FPGA-Implementierung evaluiert. Weitere Untersuchungen zielten auf die Skalierung der Bridgekomponente für den Betrieb von mehreren Geräten mit einer Bridge. Ergebnis dieser Arbeiten war das Labormuster für eine Tastatur mit integrierten Hub. Diese Lösung konnte auf der ersten „European Developers Conference“ (Eurobus) im April 97 in London sowie auf der CeBit in Hannover vorgestellt werden.

Alle am IMMS entstandenen Labormuster sind typische Hardware/Software Codesigns und arbeiten mit einem 8 Bit Mikrocontroller der Firma Motorola. Die nötige Firmware wurde innerhalb des Vorprojektes zunächst in Assembler geschrieben, wodurch eine effiziente Speicherausnutzung erreicht wurde.

Insgesamt konnten bei den Arbeiten wichtige Kenntnisse und Erfahrungen für den Aufbau einer Komponentenbibliothek gesammelt werden.

Für eine intelligente Spannungsversorgung weiterer Peripheriegeräte über den Hub wurde im IMMS eine analoge Komponente entwickelt, bei Thesys präpariert und erfolgreich getestet. Die grundlegenden Funktionen des Hubs konnten von Firmware- als auch von Hardwareseite bereits erfolgreich getestet werden. Der entwickelte Hub ermöglicht außerdem die Einbindung einer weiteren USB-Funktion. Zur Demonstration dieser zusätzlichen Funktion diente die Implementierung der oben erwähnten USB-Tastatur.

Zusammenfassung

Zusammenfassend können folgende innovative Ergebnisse der Forschungsgruppe ausgewiesen werden:

- Neuheitsgrad der Arbeiten im internationalen Maßstab (weltweit erste USB-Maus, erste deutsche Tastatur mit USB-Hub, erstes integriertes Power-Management)
- Hohe Komplexität der Forschungsarbeiten (gemeinsame Integration von analogen, digitalen und Power-Elementen, Hardware - Software -Codesign der Tastaturfunktion; rapid Prototyping zur Optimierung der Architektur, embedded Controller-Core)
- Gemeinsames Auftreten des IMMS mit Industrieunternehmen auf internationalen Tagungen und Entwicklerforen (s. Veröffentlichungen)
- Basis-Know-How für die Entwicklung innovativer, USB-basierter Produkte für mittelständische Unternehmen (Technotrend, Thesys, SNI)
- Vermarktung der durch die Forschungsgruppe erreichten USB-Kompetenz
- Rechtzeitige Forschungsarbeit an international trendbestimmenden neuen Konzepten und Bündelung von Kapazitäten in Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen sichert Markterfolg

Ansprechpartner:

DI Karsten Pahnke

Tel.: 03677-678315

e-mail:

karsten.pahnke@imms.de

Zielstellung des Projektes

Im Rahmen dieses Vorprojektes sollen durch umfangreiche Marktanalysen und Machbarkeitsstudien zum Thema "Digitale Videotechnologie" Einsatzgebiete für neue Produkte insbesondere von kleinen und mittleren Thüringer Firmen erschlossen werden. Dabei kann sehr gut auf die durch vorangegangene Arbeiten auf diesem Gebiet gesammelten Erfahrungen der TU Ilmenau aufgebaut werden. Aufgabe des IMMS im Rahmen des Projektes ist es, die technische Machbarkeit neuer Ideen einzuschätzen und verschiedene Teile des Systemkonzeptes in Hardwarekomponenenten umzusetzen.

Partner

Kooperationspartner bei der Bearbeitung des vom TMWFK geförderten Projektes sind dabei:

- TU Ilmenau, Institut für Schaltungstechnik und Elektroniktechnologie, Fachgebiet Elektronische Schaltungstechnik
- mediSYS GmbH Ilmenau
- Südthüringer Multimedia und Information GmbH Heldburg.

Bisherige Ergebnisse

Der Schwerpunkt der innerhalb des Projektes durchgeführten Arbeiten am IMMS liegt in der Untersuchung neuer Übertragungsmedien für datenmengenintensive Applikationen. Als Ergänzung der umfassenden Kenntnisse auf dem Gebiet serieller Übertragungssysteme für kleine und mittlere Datenmengen wird dabei das Hauptaugenmerk auf den seriellen Hochgeschwindigkeitsbus nach IEEE-Standard 1394-1995 gelegt.

Der IEEE 1394 High Speed Serial Bus, welcher auch unter der Bezeichnung FireWire bekannt ist, geht auf eine Entwicklung der Firma Apple zurück und wurde 1995 von der IEEE-Organisation standardisiert. Mit einer Datenübertragungsrate von zur Zeit max. 400 Mbit/s (zukünftige Erweiterungen sehen bis zu 3200 Mbit/s als maximale Datenrate vor) ist dieser Bus sehr gut für die Übertragung großer Datenmengen, wie z.B. digitaler Videodaten geeignet. Durch den seriellen Datentransport kann das Übertragungsmedium preiswert und robust gestaltet werden. Mehrere IEEE-1394-fähige Geräte (bis zu 63) können zu einem strangförmigem Netzwerk zusammengeschaltet werden, welches auch während des laufenden Betriebes erweitert werden kann ("Hot-Plug-&-Play"). Anwendungsgebiete des Bussystems liegen einerseits im Anschluß von PC-Peripheriekomponenten (HDD, CD-ROM, Drucker), darüber hinaus aber auch in der Vernetzung von Heimelektronik-Bestandteilen bis hin zum Aufbau von Home-Networks. Bild 1 zeigt ein typisches IEEE-1394-Netzwerk.

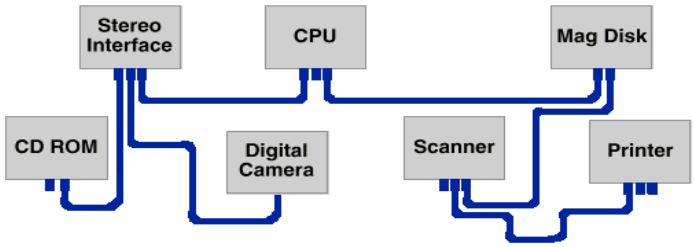


Bild 1: Typischer Aufbau eines IEEE-1394-Netzwerkes

Ein Ziel der Projektarbeit ist es, mit einen Demonstrationsaufbau die Möglichkeit der Übertragung von digitalisierten SVHS-Video-Signalen in hoher Qualität zu verifizieren. Am IMMS wird dazu die Implementation der Schnittstelle zum Übertragungsmedium (IEEE 1394) vorgenommen. Diese Schnittstelle ist dabei erweiterbar gestaltet, und damit leicht in weitere Realisierungen einzubinden. Nach der grundlegenden Einarbeitung in die Thematik und dem Abschätzen von Aufwand und Machbarkeit des Vorhabens werden beim ersten Laboraufbau auf dem Markt verfügbare Schaltkreise der Firma Texas Instruments verwendet, welche grundlegende Protokollfunktionen realisieren. Alle höheren Steuerfunktionen werden durch eine Firmware-Eigenkonzeption mit einer Kombination aus FPGA und Mikrocontroller realisiert. Der Demonstrationsaufbau ist in Bild 2 prinzipiell dargestellt.

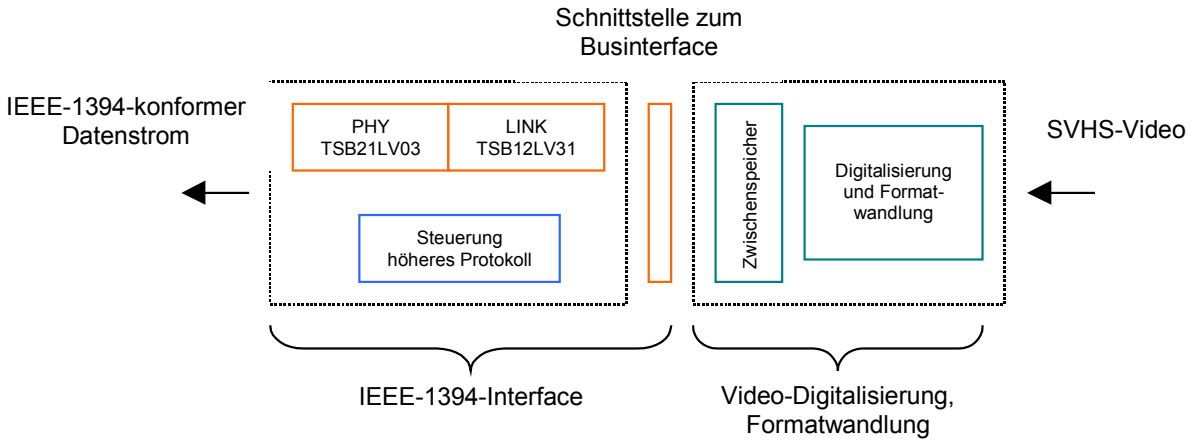


Bild 2: Prinzipdarstellung des Demonstrationsaufbaus

Parallel zum Aufbau dieses Demonstrators wurden der Einsatz des neuen Bussystems auf verschiedenen anderen Gebieten wie z.B. der Gebäude- und Industrieautomatisierung untersucht und Konzepte für solche Anwendungen erstellt.
Die während der Bearbeitung des Projektes erzielten Erkenntnisse wurden im Rahmen verschiedener Entwicklerseminare der Öffentlichkeit in Vorträgen präsentiert.

Weitere Vorhaben

Die umfangreichen erarbeiteten Kenntnisse auf dem Gebiet IEEE 1394 sollen dazu genutzt werden, Firmen vorwiegend aus dem Thüringer Raum dabei zu unterstützen, das enorme Anwendungspotential dieses Bussystems weiter zu erschließen und dadurch neue Produkte zu entwickeln. Dabei wird neben der weiterführenden Arbeit an Videoübertragungssystemen auch an Anwendungen für die Gebäudesystemtechnik oder Automatisierungs- und Messtechnik gearbeitet. Hier wird in einem ersten Schritt die Kopplung der verschiedenen etablierten Bussysteme (unter anderem EIB, LON, CAN, IEEE 488) und die damit verbundene Protokollkonvertierung angestrebt.
Ein anderer Ansatzpunkt für weiterführende Arbeiten ist der Entwurf von Hardwarebeschreibungen der verschiedenen Protokollschichten des IEEE 1394-Standards ähnlich dem ebenfalls am IMMS entstehenden USB-Baukastensystems, um diese interessierten Partnern aus der Industrie zur Verfügung stellen zu können.
Diese genannten Ansätze werden zum Abschluß des Vorprojektes zur Formulierung weiterer Forschungsaufgaben für ein Verbundprojekt auf Bundes- bzw. EU-Ebene genutzt. Außerdem werden die während der Projektbearbeitung gewonnenen Erkenntnisse in geeigneter Form dokumentiert und veröffentlicht.

Ansprechpartner:

DI Frank Senf
Tel.: 03677-678352
e-mail:
frank.senf@imms.de

„Elektrodynamische Mehrkoordinatenantriebe für hochdynamische Präzisionssysteme“

Einführung

Das Forschungsgebiet der elektrodynamischen Mehrkoordinatenantriebe (MKDA) hat eine langjährige Tradition an der TU-Ilmenau und wird seit 1995 in enger Kooperation mit dem IMMS bearbeitet. Bereits 1979 wurde von Furchert (TU-Ilmenau) ein Grundlagenpatent, welches Prinziplösungen für derartige Motoren beschreibt, veröffentlicht. Bis ´96 folgten zahlreiche weitere Patentanmeldungen u.a. von Furchert, Schäffel, Glet, Voß, Feindt und Harnisch, die sich mit der Strukturierung der Magnetkreise und der Meßsignalgewinnung für derartige Systeme auseinandersetzen. Der Entwicklungstrend für kleine bis mittlere Fahrbereiche geht dabei immer mehr in die Richtung, eine *größere Anzahl von Direktantriebsachsen* (2,3,4...) in *einem* Läuferelement zu *integrieren.* Derartige Motoren arbeiten ohne Getriebe (kein Spiel, Hysterese, Verschleiß...) und erreichen prinzipbedingt i.d.R. eine höhere Dynamik und Genauigkeit als konventionelle Antriebslösungen. Aufgrund ihrer integrierten Struktur sind sie für Anwendungen im Hochpräzisionsbereich ideal geeignet.

Ein Schwerpunkt der Arbeiten am IMMS ist die Weiterentwicklung und Umsetzung der am FG Antriebstechnik der TU-Ilmenau gefundenen Antriebsprinzipien in marktfähige Produkte gemeinsam mit Thüringer Unternehmen.

Funktionelle Strukturen

Es muß festgestellt werden, daß die überwiegende Mehrheit heute im Einsatz befindlicher Mehrkoordinatenantriebe aus mehreren seriell angeordneten Achsen besteht (Bild 1).

Die einzelnen Achsen sind dabei in der Regel mit einem rotatorischen Motor (z.B. Gleichstromservomotor oder Schrittmotor) und einem Bewegungsumformer (z.B. Wälzschraubengetriebe) realisiert, wobei in der im Bild 1 dargestellten Variante die y-Achse von der x-Achse mitbewegt werden muß. Neben den dadurch entstehenden unerwünschten Wanderlasten werden die Eigenschaften dieser Mehrkoordinatenantriebe wesentlich durch das Spiel, die Umkehrspanne und die parasitäre Elastizität der funktionsnotwendigen Bewegungsumformer bestimmt. Hinsichtlich der Positioniergeschwindigkeit und -genauigkeit sind diesen Anordnungen - nicht zuletzt wegen der begrenzten Stellgeschwindigkeiten von Motor-Spindel-Anordnungen und der oft relativ großen Massen der Koppel- und Führungselemente zwischen den Einzelachsen - Grenzen gesetzt.

Die Subsitution der Rotationsmotoren mit Rotations-Translations- Wandlern durch Linearantriebe bringt jedoch nur geringe Verbesserungen.

Wegen der Verkopplungen der Linearachsen z.B. in zwei Ebenen mit einer Rahmenkonstruktion treten in der Regel bei hohen Beschleunigungen Schwingungen auf.

Entscheidende Verbesserungen kann man erzielen, wenn durch Ausnutzung des Prinzips der *Funktionenintegration* im Bereich der Mechanik und des Prinzips der *Funktionentrennung* im Bereich der automatischen Steuerung, der Läufer des Mehrkoordinatenantriebs als *multifunktionales Element* ausgebildet wird. Die Kombination mehrerer Einzelachsen zu *einem integrierten Modul* mit einem *Bewegungsfreiheitsgrad des Läufers von F>2* beseitigt die oben genannten Nachteile konventioneller Systeme. Funktionsstruktur und symbolische Darstellung eines solchen Antriebs zeigt Bild 2.

Insbesondere für Antriebssysteme mit kleinem bis mittlerem Fahrbereich (200 x 200 mm²) lassen sich hiermit ökonomisch günstige Antriebslösungen realisieren, die eine sehr einfache mechanische Struktur besitzen und in ihren Systemparametern konventionellen Lösungen überlegen sind.

Eine neue Qualität und neue Eigenschaften können erreicht werden, wenn der Antrieb, wie im Bild 2 dargestellt, ohne mechanische Verdrehsperre zur Verhinderung der Rotation um die z-Achse arbeitet. Eine Möglichkeit zur Eliminierung der mechanischen Verdrehsperre stellt die elektromagnetische Läuferfesselung dar, die zur Erweiterung der Antriebsstruktur um einen Regelkreis zur Azimuthregelung führt. Der Motor muß dann neben den Kräften in den beiden Linearkoordinaten in einem bestimmten Winkelbereich

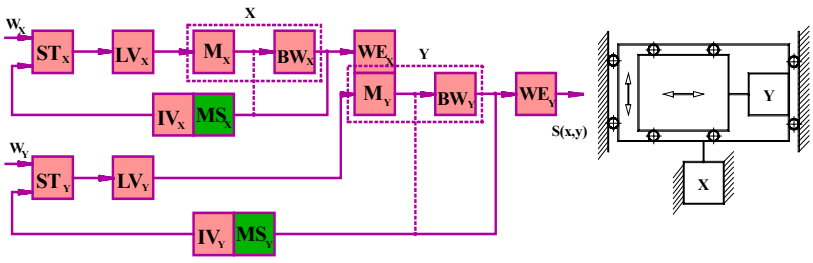


Bild 1: Funktionsstruktur eines Mehrkoordinatenantriebs mit serieller Anordnung der Achsen

ST Steuerung, LV Stellglied, M Motor, BW Bewegungsumformer, WE Wirkelement, MS Meßsystem, IV Meßsignalverarbeitung

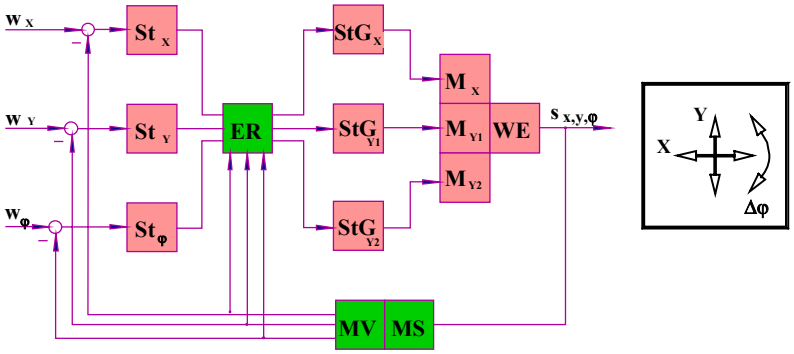


Bild 2: Funktionsstruktur eines Mehrkoordinatenantriebs mit integrierter Anordnung der Achsen

ST Steuerung, LV Stellglied, M Motor, BW Bewegungsumformer, WE Wirkelement, MS Meßsystem, IV Meßsignalverarbeitung, ER Entkopplungsregler

ein Moment um die z-Achse erzeugen können (x-y- -Motor). Weiterhin ist nun ein Mehrkoordinatenmeßsystem zu integrieren, daß neben der Erfassung beider Linearkoordinaten x, y auch in einem gewissen Winkelbereich die Drehung des Läufers erfassen kann und dessen Meßeinheiten für die translatorischen Koordinaten innerhalb dieses Winkelbereiches unempfindlich auf die Drehung reagieren, d.h. diese ohne größere Meßfehler tolerieren können.

Konstruktiver Aufbau

Bild 3 zeigt eine mechanische Struktur eines MKDA's. Ein aerostatisch geführter Läufer (5) trägt symmetrisch angeordnete Magnetkreise (6,7). Jeder Magnetkreis besteht aus zwei NdFeB-Magneten (6) und einem Eisenrückschluß (7) und wird über den Stator (1) aus Eisen geschlossen. Das Konzept bewegter Magnete sichert eine hohe Steifigkeit der Luftführungselemente (2), die auf dem mit hoher Ebenheit gefertigten Stator gleiten.

Die flachen Antriebsspulen sind ebenfalls symmetrisch für die x- (3) und y-Achse (4) angeordnet. Gegenüberliegende Spulenpaare erzeugen eine Kraft in der zur Spulenanordnung senkrechten Richtung. Durch eine unterschiedliche Bestromung gegenüberliegender Spulen kann ein Drehmoment erzeugt und somit die Verdrehung des Läufers um die z-Achse geregelt werden.

Der Läufer trägt außerdem ein Kreuzraster (8), das auf einem justierbaren Rahmen (9) montiert ist. Es wird durch ein integriertes Meßsystem abgetastet, welches sich in der Mitte des Stators unterhalb des Kreuzrasters befindet und die Position in *x*, *y* und φ erfaßt.

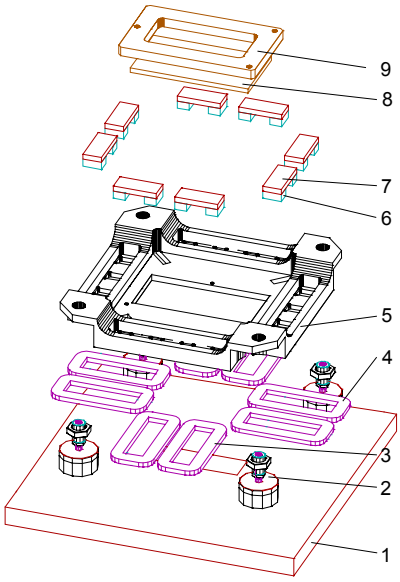


Bild 3: Aufbau eines MKDA für planare Bewegungen

Krafterzeugung

Als Grundstruktur der elektrodynamischen Krafterzeugung wurde das Konzept bewegter Magnete gegenüber dem bewegter Spulen bevorzugt (Bild 3). Es gestattet, sowohl eine anziehende Normalkraft zwischen Läufer und Stator zu generieren als auch ohne störende elektrische Zuleitungen zum Läufer auszukommen.

Durch die Bewegung des Läufers ändert sich der Überdeckungsgrad der einzelnen Spulen-Magnet-Paare, bleibt aber für die gesamte Anordnung annähernd konstant. Durch elektronische Kommutierung und Kalibrierung wird sichergestellt, daß die Antriebskraft im gesamten Bewegungsbereich weniger als 3% schwankt.

Meßsysteme für MKDA's

Bild 4 zeigt den Aufbau eines geeigneten inkrementalen Auflichtmeßsystems, bestehend aus drei fest im Stator angeordneten Abtasteinheiten und einem im Läufer integrierten Kreuzrastermaßstab.

Die beiden Y-Systeme gestatten, auch den Verdrehwinkel φ zu erfassen. Durch eine geeignet gewählte Abtastrastergeometrie bleibt das Sensorsignal bis zu einer Verdrehung von 3° auswertbar, wodurch das Meßsystem unempfindlich gegenüber der Verdrehung ist.

Gegenwärtig wird ein weiterentwickelter Meßkopf gleichen Prinzips mit integrierten Linearabtasteinheiten verwendet, der eine höhere Signalgüte besitzt, jedoch nur 1° Verdrehung erlaubt.

Parallel dazu laufen Arbeiten zur Integration eines Lasermeßsystems für Positioniergenauigkeiten im Nanometerbereich.

Steuerungen für MKDA's

Bild 5 zeigt die Hardwarstruktur eines z.Z. implemtierten Steuerungssystems, das auf einem DSP-System der Firma dSpace basiert. Neben AD/DA-Karten verfügt das System über eine digitale Schnittstelle zu den

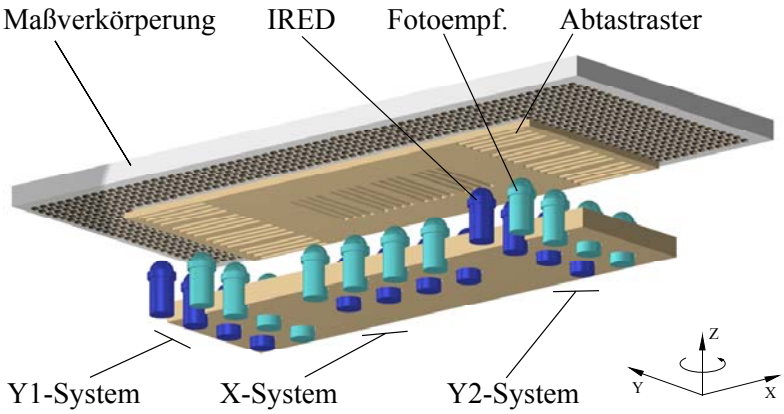


Bild 4: Prinzipdarstellung eines inkrementalen optischen x-y-Δφ-Auflichtmeßsystems

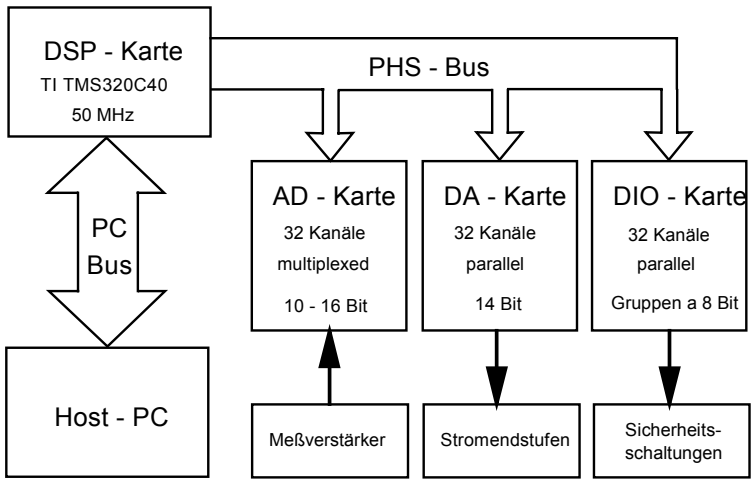


Bild 5: Hardwarestruktur des Steuerungssystems

Sicherheitsschaltungen. Zur Ansteuerung der 8 Antriebsspulen dienen kommerzielle, stromgeregelte, getaktete Endstufen, mit denen ±20A bei wesentlich reduzierter Verlustleistung bereitgestellt werden können.

Software

Bild 6 zeigt die hierarchische Softwarestruktur der Teilprozesse Meßwertverarbeitung, Interpolation, Regelung und Stellwertausgabe. Sie laufen als einzelne Tasks mit den angegebenen Zykluszeiten auf dem DSP. Die Visualisierung und die Nutzer-Interaktion wird asynchron über den PC abgewickelt. Von Vorteil ist hier die Verfügbarkeit aller internen Größen des Programms und die Möglichkeit, diese im Rahmen der Speichermöglichkeiten auch in Echtzeit zu erfassen.

Die Erstellung der Software wurde über die MATLAB / SIMULINK Erweiterung REAL-TIME- WORKSHOP mit dem darauf aufbauenden REAL-TIME-INTERFACE der Firma dSpace vorgenommen. Die Möglichkeit der grafischen Spezifikation (insgesamt ca. 350 SIMULINK-Blöcke) mit anschließender automatischer C-Kodegenerierung ist im gegenwärtigen Entwicklungsstadium die flexibelste Lösung. Die Umsetzung von Ideen, für die vorher Tage oder gar Wochen benötigt wurden, kann so in wenigen Stunden realisiert werden. Da die Spezifikation noch vor der Echtzeitanwendung mittels Simulation getestet werden kann, ist es möglich, praktisch fehlerlosen Kode zu erzeugen. Letztendlich ist eine manuelle Portierung des C-Programms auf die entsprechende Zielhardware vorgesehen.

Das zum Einsatz kommende Steuerungssystem bietet aufgrund seiner Rapid-Prototyping-Funktionalität die Flexibilität, unter Beachtung der vorhandenen und modular erweiterbaren Schnittstellen beliebige Prozesse und Systeme zu steuern. Dies ermöglicht die flexible

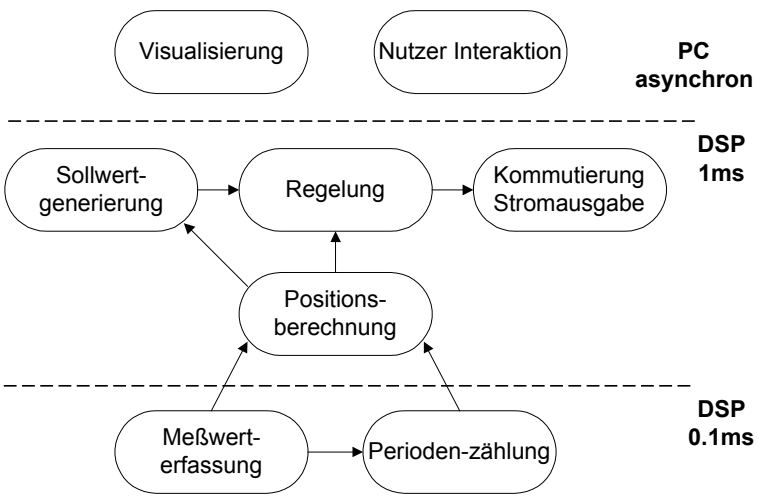


Bild 6: Softwarestruktur des Steuerungssystems

Entwicklung und Testung von Steuerungslösungen unabhängig von der meist noch nicht vorhandenen Zielhardware.
Die Steuerung wurde in enger Kooperation mit dem FG Antriebstechnik der TU-Ilmenau entwickelt.

Vektorregelung

Das verwendete Regelungskonzept vereint die Vorteile der Zustandsregelung mit der Robustheit und der Fähigkeit zur Kompensation stationärer Störungen von klassischen PID-Regelungen.
Es realisiert eine spezielle, zeitdiskrete, linear-quadratische Regelung mit Zustandsschätzung auf der Basis eines inkrementellen Systemmodells, die die durch ihren integralen Anteil bleibende Regelabweichungen eliminiert, wobei auch Stellgrößenbeschränkungen berücksichtigt werden. Ein innovatives Konzept erlaubt es, die kinematischen Parameter der Bewegung direkt zu regeln. Es realisiert eine S-Kurven-Kinematik mit begrenztem Ruck allein durch den Regelkreis, d.h. ohne einen Sollwertgenerator mit inverser Kinematik. Dadurch kann der Bahngenerator samt der nicht trivialen inversen Kinematik eingespart werden und bei einer Veränderung der Systemparameter müssen nur noch die Reglerparameter angepaßt werden.
Auch Bahnbewegungen lassen sich direkt regeln, d.h. ohne mehrachsigen Bahngeneratoren mit inverser Kinematik. Die Idee basiert darauf, daß sich jede Bewegung entlang einer Bahn in Ziel- und Fehlerrichtungen zerlegen läßt. Nach der Regelung im bewegten Koordinatensystem der Bahn werden die erforderlichen Kräfte wieder in das unbewegliche Koordinatensystem des Antriebs zurücktransformiert. Bild 7 zeigt experimentelle Ergebnisse für eine Testbahn aus Geraden und Kreisabschnitten. Trotz Verrundung der Bahn an den Eckpunkten bleibt der maximale Bahnfehler immer kleiner 5 µm und wäre noch kleiner, wenn die Ecken realistisch als Kreise kleiner Radien beschrieben würden. Abgesehen von den Stops an den Referenzpunkten wird die Bahngeschwindigkeit fast ideal eingehalten, unabhängig von Richtung oder Form der Bahn. Während der Fahrt wird ein Fehler kleiner 1 µm erreicht, erreicht, obwohl bei der Bahngeschwindigkeit von 50 mms^{-1} in jedem Abtastschritt des zeitdiskreten Reglers 50 µm zurückgelegt werden - ein Vielfaches des Fehlers.

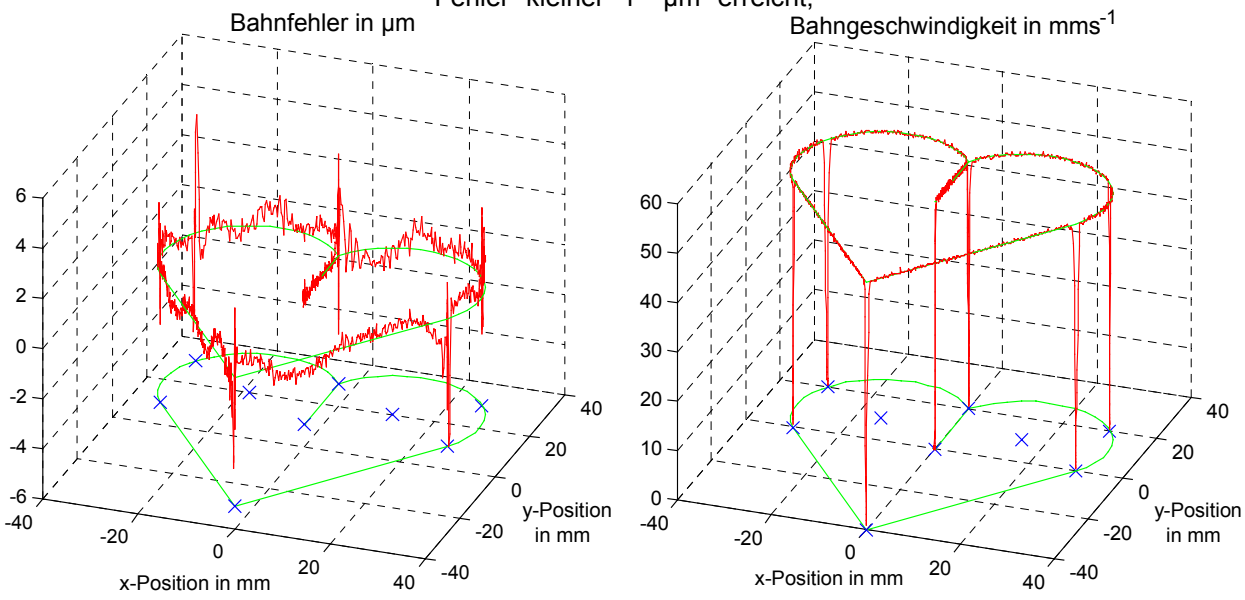


Bild 7: Experimentelle Ergebnisse bei Vektorregelung mit v=50mms^{-1} (a=2.5ms^{-2})

Zusammenfassung

Bisher wurden Prototypen mit 30 x 30 bzw. 104 x 104 mm^2 Verfahrbereich und Antriebskräften zwischen 6 und 70 N erfolgreich aufgebaut (Bild 8). Dabei konnten Beschleunigungen von mehr als 1.5 g, Geschwindigkeiten von 0.6 ms^{-1} und Positioniergenauigkeiten von besser 0.2 µm nachgewiesen werden. Damit erreichen die Antriebe exzellente dynamische und statische Parameter und sind frei von parasitären Effekten wie Haftreibung, Umkehrspanne und Elastizität. Eine Granitbasis hoher Ebenheit (< 5 µm) in Verbindung mit aerostatischen Führungselementen garantiert einen mechanisch und thermisch stabilen Aufbau sowie eine präzise Führung in der Ebene. Durch den integrierten Aufbau als Zweikoordinatenantrieb mit begrenzter Verdrehmöglichkeit werden sowohl die Positionier- als auch die Führungsgenauigkeit in den Antriebsachsen in erster Linie durch das verwendete Meßsystem bestimmt. Der modulare Aufbau und die einfache mechanische Struktur erlauben es, die Antriebe an die Anforderungen der speziellen Anwendung anzupassen und so vollständig in das jeweilige Maschinenkonzept zu integrieren.
Die Anwendung innovativer Konzepte bei der Konstruktion und Steuerung von Mehrkoordinatenantrieben erschließt diesen völlig neue Leistungsparameter.
Dabei sind die vorgestellten Regelungskonzepte nicht auf diese neuartige Antriebsstrukturen beschränkt, sondern auch auf konventionelle Antriebe erfolgreich anwendbar.

Ansprechpartner:

Dr.-Ing. Christoph Schäffel
Tel.: (03677) 678333
e-mail:
christoph.schaeffel@imms.de

Dipl.-Ing. Eugen Saffert
TU Ilmenau, Institut für Mikrosystemtechnik, Mechatronik und Mechanik
Tel.: (03677) 69-2481
e-mail:
e.saffert@maschinenbau.tu-ilmenau.de

Bild 8: Realisierter x-y-$\Delta\varphi$-Planarantrieb (104x104mm²) mit aerostatischer Führung

„Simulation eines Zeilenscanners für Laser-TV-Systeme“

Zielstellung
An der Technischen Universität im Fachgebiet Mikrosystemtechnik wird derzeit ein Zeilenscanner für Laser-TV-Systeme entwickelt, der außergewöhnlichen Anforderungen hinsichtlich Ablenkfrequenz und Genauigkeit genügen muß.
Aus diesem Grunde werden am Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme innerhalb eines vom Thüringer Ministerium für Forschung und Kultur geförderten Projektes Simulationen zum elektromagnetischen, mechanischen und thermodynamischen Verhalten des entworfenen Zeilenscanners durchgeführt.

Prinzipbeschreibung
Ein Laserstrahl von 4mm Durchmesser fällt auf einen flachen, sich um die Mittelachse drehenden Zylinder (Rotor) mit 25 verspiegelten Facetten und wird so entsprechend der Drehzahl mit hoher Frequenz abgelenkt (eindimensional). Aus einer geforderten Ablenkfrequenz von 100kHz ergibt sich eine Drehzahl von 4kHz. Bisher bekannte Polygonscanner waren bei größeren Drehzahlen durch hohe Wärmeverluste und entsprechender Aufheitzung auf Grund der nicht reibungsfreien Lagerung, sowie durch starkes Ausprägen von bzw. Verharren in Resonanzfrequenzen, die aus technisch nicht vermeidbaren Unsymmetrien und Ungenauigkeiten resultieren, gekennzeichnet, vgl. [1].
entsprechend abgewandelt.

Der vom Fachgebiet Mikrosystemtechnik der TU - Ilmenau gewählte Ansatz geht davon aus, daß bei einer nahezu verlustfreien magnetischen Lagerung der Rotors im Vakuum, einem elektromagnetischen Antrieb und einer Fertigung innerhalb der mit der Mikrotechnologie erreichbaren Toleranzen diese Probleme nicht auftreten und somit die geforderten Drehzahlen erreichbar sind. Zu den geforderten Parametern gehören neben der Ablenkfrequenz von 100kHz und dem Strahldurchmesser von 4mm ein Ablenkwinkel von 12°, ein Verhältnis von Vorlauf- und Rücklaufzeit von 5:1, einer Systemtransmission von 98% und die Verwendung von Technologiene, die eine Großserienfertigung gestatten.
Am IMMS soll mittels der Methode der Finiten Elemente eine Simulation des zu entwickelnden Zeilenscanners vorerst getrennt nach mechanischem,
elektromagnetischem und thermischem Verhalten erfolgen, um in einem zweiten Teil ein Gesamtmodell in geeigneter Weise aufzustellen.
Die elektromagnetische Simulation hat in erster Linie die Entwicklung des Antriebes, den Entwurf und die Dimensionierung einer geeigneten Lagerung für den Rotor zum Ziel. Bei der mechanischen Simulation geht es um die Modellierung der Drehbewegung unter Berücksichtigung von Nichtlinearitäten und Inhomogenitäten in den Materialeigenschaften und um die Untersuchung des Es ermöglicht unter den genannten Einschränkungen eine

Systemverhaltens bei auftretenden Resonanzen. Die thermische Simulation soll die Temperaturverteilung sowie die Notwendigkeit einer externen Kühlung abschätzen und gegebenenfalls konstruktive Veränderungen vorschlagen.

Wärmesimulation
In einer ersten Simulation wurde, um eine grobe Abschätzung zu ermöglichen, ein zweidimensionales Modell der Gesamtanordnung aufgestellt, in welches die umgesetzte elektrische Energie und die Laserverlustleistung als Wärmestrom eingeprägt wird. Auf Grund der Symmetrie reicht es aus, eine Hälfte des Schnittes durch die rotationssymmetrische Anordnung zu simulieren. In Bild 1 sind die Elemente der oberen Deckplatte erkennbar sowie eine zugehörige Temperaturverteilung.
Um eine Fehlereinschätzung der FEM-Simulation und eine schnellere Parametervariation zu ermöglichen, wurde parallel dazu eine analytische Berechnung auf der Grundlage thermodynamischer Gleichungen und der elektrotechnischen Analogiebeziehungen durchgeführt. Voraussetzung hierfür ist eine eindimensionale Wärmeleitung innerhalb der Deckplatte von innen nach außen, was einer idealen Isolierung am Rand entspricht. Zur Veranschaulichung und Berechnung wurde ein vorhandenes interaktives Kennlinienmodul

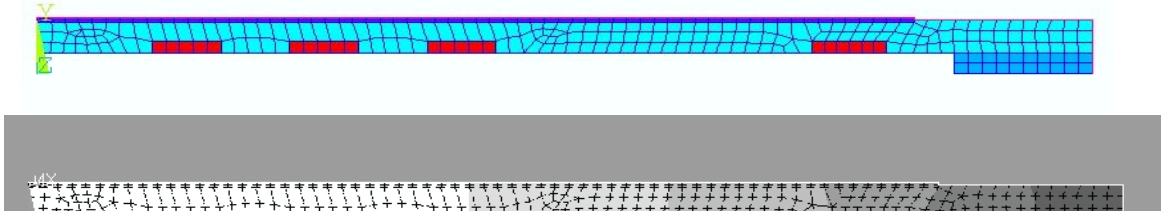


Bild 1: Gesamtanordnung eines Zeilenscannermodells

schnelle Variation interessierender Parameter und Materialeigenschaften, wie Wärmeleitfähigkeit, Strahlungskonstante, Konvektionsfaktor, Verlustleistung, ... und ermittelt die sich an der Oberfläche einstellende Temperatur. Im Diagramm werden die durch Strahlung und Konvektion an die Umgebung abgegebene Leistung (in der gegebenen Anordnung) in Abhängigkeit von der Temperatur aufgetragen. Bei gegebener Wärmeverlustleistung ist die sich an der Oberfläche einstellende Temperatur dann ablesbar.

Bei der punktuellen Rückberechnung dieses vereinfachten Modells mit Hilfe der Finiten Elemente wurden vergleichbare Zahlenwerte erreicht.

Da in beiden Verfahren, der ANSYS-Simulation und der analytischen Berechnungen, die sich einstellende Temperatur in starkem Maße von der umgesetzten elektrischen Leistung und im unteren Temperaturbereich auch entscheidend vom Konvektionsfaktor abhängt und gerade diese beiden Größen schwer abschätzbar sind, wurde eine Wärmemessung an einem ersten in Leiterplatte geätzten Modell der Deckplatte durchgeführt (Bild 2a).

In dem Versuchsmodell waren drei gegeneinander versetzte Antriebsspulen und eine Lagerspule auf einer Leiterplatte angeordnet. Die untersuchten Kupferbahnen sind 300 µm breit, 50 µm stark und gleichmäßig auf der gesamten Oberfläche verteilt. In der Aufnahme der Thermokamera (Bild 2b) ist neben dem Temperaturverlauf eine deutliche Kühlung durch die seitlich angeordneten großflächigen Anschlußkontakte sichtbar. Die Temperaturmessung hat jedoch aufgrund des einfachen Aufbaus und der unbekannten elektrischen Eingangsgrößen bei der praktischen Anwendung nur eine sehr begrenzte Gültigkeit.

Neben einer globalen Abschätzung über die gesamte Erwärmung des Zeilenscanners, sind bei dieser thermischen Simulation insbesondere auch detaillierte Temperaturfeldberechnungen von kritischen Punkten, wie dichte Spulengeometrien oder Überbrückungen der Kupferbahnen von Interesse.

In einer Detailsimulation wurde, die gemessene Leiterplatte in geeigneter Form als FEM-Modell nachgebildet. Bei bekannten Materialeinstellungen, gegebener Wärmeverlustleistung und gemessenen Temperaturen wurden so ein Abgleich der Simulation mit den Meßergebnissen möglich. Die in Bild 2a gezeigte Leiterplatte wurde als 3D-Modell in 30, 45 oder 90° Sektoren simuliert. Beim Aufstellen des Modells mit der ANSYS-Version University - High und später auch mit Research Fakulty traten hier erstmals Probleme auf, da die bis zu 250 Volumina von ANSYS nicht mehr gehandhabt werden konnten. Eine so detallierte

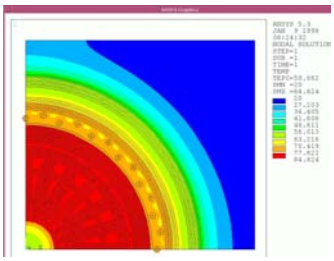


Bild 3: Temperaturverteilung des Spulenmodells

Nachbildung der Kupferpfade schien erstrebenswert, um Orte höherer Temperaturen zu lokalisieren und Rückschlüsse auf den Spulenentwurf ziehen zu können. Der Temperaturverlauf in Bild 3 zeigt dies in anschaulicher Weise, jedoch war eine naturgetreuere Nachbildung von Spulensektoren nicht mehr möglich und auch der Nachweis, der bei der Messung beobachteten Kühlung durch großflächige Kupferanschlüsse scheiterte.

Für die sehr rechenintensiven FEM - Simulationen erwieß es sich für unser Institut als notwendig, speziell angepaßte Hardware zu kaufen. Mit der außerdem erwarteten unlimitierten ANSYS-

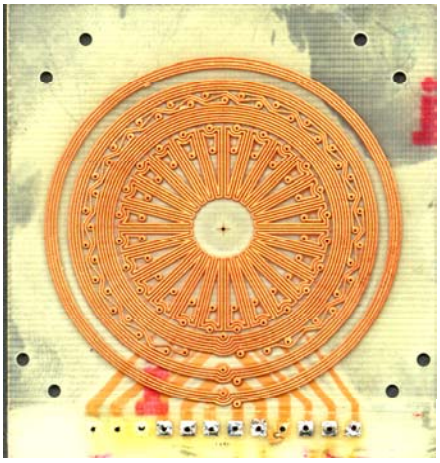


Bild 2a: Spulenleiterplatte

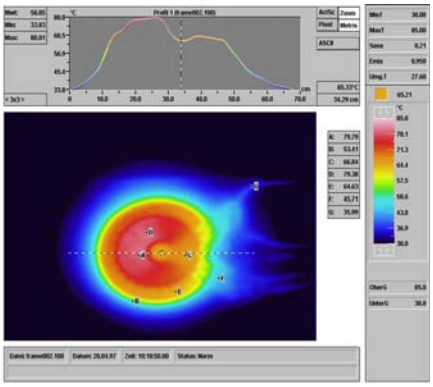


Bild 2b: Wärmebild der Spulenleiterplatte

Version verfügen wir nun über eine außerordentlich gute Ausstattung und sind mit den gewonnen Erfahrungen in der Lage, vielfältige Simulationen aus den unterschiedlichsten Gebieten, insbesondere auch statische oder dynamische Spannungs- und Verbiegungsberechnungen aus der Mechanik, elektromagnetische Feldberechnungen, Strömungsberechnungen etc. durchzuführen.
Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Übereinstimmung der Temperaturvorhersage mittels der FEM-Methode bei der thermischen Simulation in erster Linie von der Genauigkeit der mehr oder weniger gut abschätzbaren Eingangsgrößen, wie Lagerströme, elektrische Verlustleistung, Konvektionsfaktor und Strahlungskoeffizient, Materialeigenschaften und Umgebungsbedingungen, abhängt.
Um die Aussagen der thermischen Modellierung zu konkretisieren, werden weitere Zyklen von Simulationen und Messungen durchgeführt. So ist die elektrische und thermische Vermessung von speziell für die Simulation erzeugten Ätzstrukturen geplant.
Als weitere Aufgaben stellen sich die Überprüfung des Strahlungsaustausches zwischen Rotor und Stator, eine dynamische Modellierung der ersten Beschleunigungsphase sowie die Aufstellung geeigneter gekoppelter Modelle für Zeilenscanner.

Ansprechpartner:

DI Katrin Rettig
Tel: (03677) 678355
e-mail:
katrin.rettig@imms.de

Mechanische Simulation
Es wurde eine mathematische Beschreibung der Bewegungen (Translation und Rotation) des Zeilenscanners vorgenommen. Gesucht waren die Zusammenhänge zwischen den Systemparametern und dem mechanischen Verhalten des Zeilenscanners. Die Ergebnisse der Berechnungen wurden benötigt, um das Verhalten, insbesondere die Stabilität der Bewegungen, durch geeignete Veränderung von Systemparametern gezielt zu beeinflussen. Da das Gesamtsystem hochdimensional und stark nichtlinear ist, war es notwendig, das System in geeignete Teilsysteme zu zerlegen, für die qualitative Aussagen gewonnen werden können. Das die Teilsysteme unter geeigneten Bedingungen tatsächlich getrennt betrachtet werden können, d.h. das sie ausreichend gut entkoppelt sind, wurde durch Simulation des Gesamtsystems gezeigt sowie durch Untersuchungen am realen Modell nachgewiesen. Dieser Vergleich garantierte weiterhin, daß die auf der jeweiligen Entwicklungsstufe des tatsächlichen Zeilenscanners auftretenden Effekte und Probleme jeweils im Modell berücksichtigt wurden.

Das Modell
Betrachtet wurde ein mechanisches Modell, bestehend aus dem Rotor und dem Stator. Diese wurden beide als starre Körper angenommen deren Lage beschrieben wird durch die Lage der Schwerpunkte x_R und x_S bezüglich eines ruhenden, kartesischen Koordinatensystems und die Richtung ihrer jeweils drei Hauptträgheitsachsen bezüglich dieses Koordinatensystems. Um Unwuchten des Rotors simulieren zu können, wurde angenommen, daß sich der geometrische Mittelpunkt des Rotors vom Rotorschwerpunkt unterscheiden kann. Neben den Gewichten wurden als angreifende Kräfte die von der Aufhängung des Stators und den Magnetfeldern zur Lagerung und Antrieb des Rotors verursachten Kräfte berücksichtigt. In die Gleichungen zur Beschreibung der Rotation gingen neben dem antreibenden Drehmoment auch die von den genannten Kräften verursachten (störenden) Drehmomente ein. Für die insgesamt zwölf Freiheitsgrade des Gesamtsystems erhält man ein Differentialgleichungssystem zweiter Ordnung, das das Verhalten des Systems vollständig beschreibt.
Um das Verhalten des Systems berechnen zu können, werden genaue Beschreibungen der einzelnen Kräfte und Momente benötigt. Als sehr aufwendig erwies sich die Bestimmung der im Magnetlager wirkenden sowie der vom Antrieb verursachten (störenden) Kräfte. Ihre genaue Beschreibung zeigte, daß die Kräfte des Magnetlagers durch lineare Kraftgesetze ausreichend genau beschrieben werden können, die vom Antrieb verursachten Kräfte jedoch stark nichtlinear von Auslenkung, Rotationswinkel und Verkippung des Rotors abhängen. Unter vereinfachenden Annahmen ist eine Entkopplung der radial und axial wirkenden Kräfte möglich. Die gestattet die Zerlegung des Gesamtsystems in einfache Teilsysteme, für die qualitative Aussagen gewonnen werden konnten. Diese Ergebnisse wurden durch Berechnungen am Gesamtsystem bzw. durch Messungen verifiziert.

Simulation und Ergebnisse

Die Simulation des Gesamtsystems zeigte, daß die Bewegung der Schwerpunkte in horizontaler und axialer Richtung weitgehend unabhängig voneinander erfolgt. Darüber hinaus ergaben die Berechnungen, daß die äußere Aufhängung das Verhalten des Rotors in vertikaler Richtung nur unwesentlich beeinflußt. Dementsprechend konnten Dämpfung und Steifigkeit der äußeren Aufhängung benutzt werden, um den Einfluß von Rotorunwuchten auf das Systemverhalten zu kontrollieren. Für die vertikale Translation wurde der Zusammenhang zwischen den Parametern der aktiven Lageregelung und der Reaktion auf Störungen (Meßfehler, äußere Anregungen) bestimmt. Im Ergebnis konnten Parametersätze gefunden werden, die stabiles und robustes Verhalten des Gesamtsystems gewährleisten.

Da Rotation und Kippverhalten des Zeilenscanners durch die Translation der Systemkomponenten beeinflußt werden, konnten die entsprechenden Berechnungen nur an einem Gesamtmodell vorgenommen werden. Die Berechnungen zeigen, daß das Kippverhalten des Rotors nur sehr schwach an das Kippverhalten des Stators angekoppelt ist, d.h. Kippschwingungen des Rotors können kaum gedämpft werden. Die Simulationen zur Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den verschiedenen möglichen Anregungen und der entsprechenden Verkippung sind noch nicht abgeschlossen. Eine analytische Behandlung ist auf Grund der starken Nichtlinearität der beschreibenden Gleichung nicht möglich.

Abschließend sei vermerkt, daß als weitere noch offene Aufgabenstellung die genauere Untersuchung möglicher Verformung von Rotor und Stator bleibt. Hier sind besonders die durch Fliehkräfte hervorgerufenen Spannungen an den Materialgrenzen im Rotor von Interesse.

Ansprechpartner:

Michael Katzschmann
Tel.: (03677) 678355
e-mail:
michael.Katzschmann
@imms.de

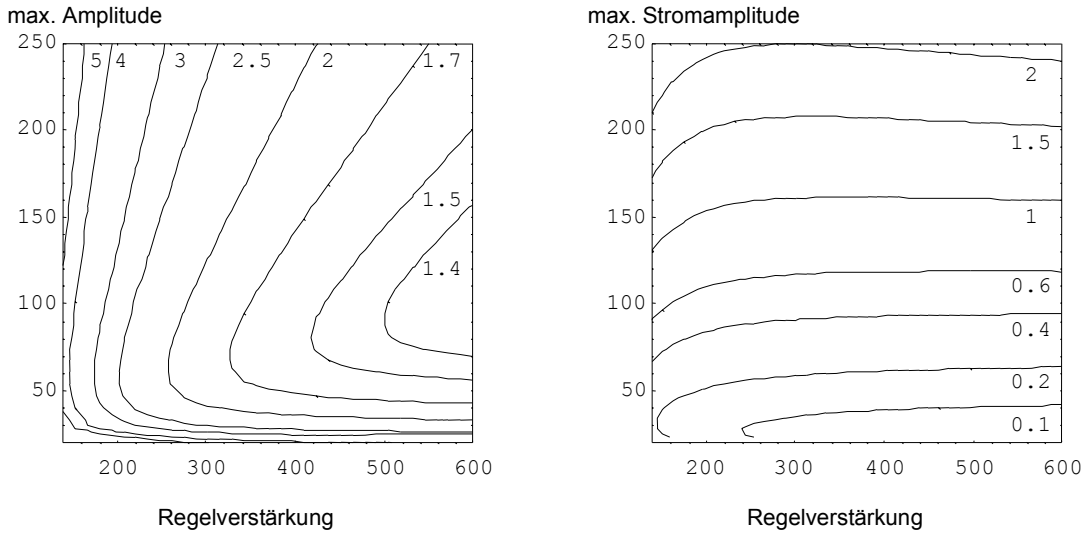


Bild 4: Maximale Amplitude der Antwortschwingung des Rotors und maximal benötigter Regelstrom der aktiven Lageregelung bei Anregung des Zeilenscanners durch einen Meßfehler in Abhängigkeit von Regelverstärkung und einem Tiefpaßparameter.

Elektromagnetische Simulation

Im Rahmen des BMBF-Projektes Laser-TV an der TU Ilmenau wurden bereits Untersuchungen zu Simulation und Entwurf der elektromagnetischen Komponenten der Laserstrahl-Ablenkeinheit vorgenommen, die in der Entwicklung eines statischen Semianalytischen Entwurfssystems für die Magnetlagerung und den planaren Mehrphasenantrieb mündeten. Basierend auf den Ergebnissen der Verifikation der Modellierung mittels eines Funktionsmodells wurde das Entwurfssystem hinsichtlich seiner Genauigkeit verbessert sowie um wesentliche Eigen-

schaften wie eine Empfindlichkeitsanalyse erweitert. Zudem erfolgte eine weitere Optimierung der Einzelkomponenten und der Gesamtanordnung.

Die Modellgrundlage des Entwurfssystems bildet die Modellierung der Permanentmagnete mit geschlossenen Ringströmen in Bereichen konstanter Polarisation entsprechend der Elementarstromtheorie. Auf Grund der relativen Permeabilität des verwendeten Magnetmaterials *FeNdB* von μ_r =1.04 wurde im Inneren der Magneten bisher eine konstante Po-larisation angenommen. Rechnungen mit dem FDM-Programm Maxwell und Messungen am Funktionsmodell ergaben, daß sich bei einzelnen Anordnungen (z. B. zahlreiche dicke wechselseitig magnetisierte Statormagneten) die Einzelfehler nicht aufheben, sondern in der Summation im ungünstigen Fall eine Größe von 100% der interessierenden Lagerkräfte erreichen können.

Daher wurde das Modell auf Magnete mit linearer Polarisation erweitert. Nach der Diskretisierung der Magnete in finite Volumenelemente mit konstanter Polarisation läßt sich die Polarisation jedes Volumenelements mittels eines linearen Gleichungssystems bestimmen. Um eine äquidistante Diskretisierung und die damit einhergehende große Rechenzeit zu vermeiden, erfolgt die Diskretisierung adaptiv. Ausgehend von dem Verlauf der magnetischen Flußdichte bzw. deren Gradienten eines Magneten mit dem angenommenen μ_r=1 wird der Magnet diskretisiert. Bei gleicher Genauigkeit beträgt die Rechenzeit des Entwurfssystems bei der Lagerkraftberechnung 20% im Vergleich zu dem FDM-Programm Maxwell2D. Bei einer 3-dimensionalen Berechnung vergrößert sich die eingesparte Rechenzeit weiter (10% im Vergleich zu Maxwell3D).

Die prinzipielle Lageranordnung gemäß Bild 5 besteht aus einem inneren passiven Radial- und einem äußeren passiven Axiallagersystem, in deren Superposition unter Beachtung der Stabilitätsbedingungen das Lager ein passives Radial- sowie Angularverhalten aufweist. Auf jede einzelne Magnetkante des Rotors wirken Kräfte, die teilweise dem 10-fachen der aus der Superposition resultierenden Gesamtkraft entsprechen. Geringe geometrische Toleranzen eines Magneten können so schon Kraftänderungen in der Größenordnung der Gesamtkraft bewirken. Ausgehend von technologisch sinnvollen Toleranzvorgaben wurde daher eine Empfindlichkeitsanalyse implementiert und daran anschließend die Parameter des Magnetlagers wie Anzahl der Einzellager und deren Lage bzw. Geometrie optimiert.

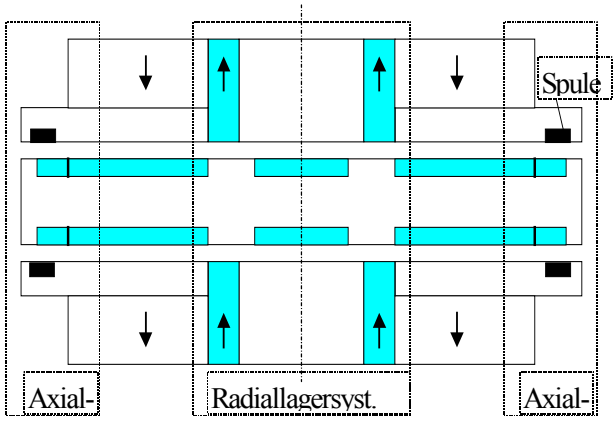


Bild 5: Prinzipielle Lageranordnung

Zwischen Radial- und Axiallagersystem befindet sich der planare Mehrphasenantrieb, realisiert mittels radial strukturierter Rotormagneten und planarer Spulenplatten. Das wirkende Antriebsmoment konnte durch eine Optimierung der Anordnung um 70% verbessert werden. Gegenüber dem bisherigen Antrieb mit ineinander verschränkten Phasensträngen der Antriebsspulen liegen die Phasen nunmehr nebeneinander, was technologisch eine Windungszahl 5 gegenüber 1 im alten Entwurf ermöglicht. Zusammen mit der um 2/3 reduzierten Spulenanzahl ergibt sich dann die Vergrößerung des Antriebsmomentes um 70%.

In Fortführung der Arbeiten werden magnetische Toleranzen in das Entwurfssystem integriert. Messungen an Magneten zeigten Abweichungen von bis zu 30% der Flußdichte über deren Umfang, die Auswirkungen auf die Lagerfunktionalität haben. Ein Schwerpunkt der Arbeiten stellt weiterhin die Verknüpfung der mechanischen, elektromagnetischen und thermischen Simulationswerkzeuge zu einem komplexen Entwurfswerkzeug dar.

Ansprechpartner:

Steffen Michael
Tel.: (03677) 678355
e-mail:
steffen.michael@imms.de

Modellierung und Optimierung frei beweglicher Monochromatoranordnung

1 Projektgegenstand

Aufgabe dieses Projektes war die detaillierte Konzipierung der Entwicklung mehrachsiger Präzisionsantriebe hoher Genauigkeit für den Einsatz unter Ultrahochvakuum oder anderen erschwerten Einsatzbedingungen. Als Anwendungsbeispiel dienten Monochromatoren, Bild 1. Dabei handelt es sich um räumlich angeordnete optische

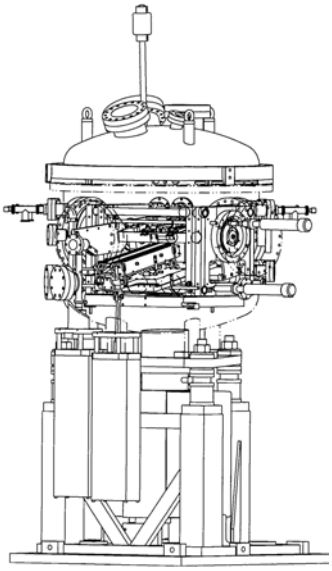


Bild 1: Gesamtansicht des Monochromators (Quelle: Jenoptik Mikrotechnik)

Systeme, mit deren Hilfe aus einer elektromagnetischen Strahlung (z.B. Röntgenstrahlung) ein Spektrum definierter Wellenlänge ausgekoppelt wird. Dazu sind die optischen Baugruppen, Bild 2, relativ zueinander auf räumlichen Bahnkurven zu bewegen.

Für die hochgenauen Positionierbewegungen unter exakt einzuhaltenden Umweltbedingungen ist es notwendig, verschleißarme Anordnungen von Positioniersystemen mit hoher Genauigkeit bzw. Reproduzierbarkeit zu entwickeln. Diese Positioniersysteme sind für den Anwendungsfall zu optimieren, wobei u.a. auch Forderungen hinsichtlich geringem Fertigungs- und Montageaufwand zu berücksichtigen sind. Betrachtungsgegenstand sind auch die Koppelstellen zwischen den mechanischen Baugruppen einschließlich der Führungen und Lagerungen.
Andere Forderungen, wie Temperaturstabilisierung und Umgebungsbedingungen, z.B. Ultrahochvakuum (UHV), schränken die anwendbaren physikalisch - technischen Verfahren, die verwendbaren Werkstoffe und damit die Baugruppenauswahl ein. Die mit Hilfe der Positioniersysteme bewegten hochempfindlichen optischen u. a. Bauelemente sind spannungs- bzw. belastungsfrei oder spannungs- bzw. belastungsarm zu fassen bzw. aufzunehmen, damit keine zusätzlichen Fehler durch Verformung auftreten. Aufgrund dessen ist eine Temperierung der Bauelemente notwendig, die über angebrachte Kühlkörper und einen Kühlmittelkreislauf realisiert wird. Die Auswirkungen der Kühlkörper und des Kühlmittelkreislaufes auf den mechanischen Aufbau, auf Statik, Dynamik, Schwingungsverhalten, Genauigkeit etc., sind zu berücksichtigen.
Die im Rahmen des Projektes durchzuführenden Untersuchungen beinhalteten die meßtechnische Erfassung aller relevanten Parameter der vorliegenden Anordnung, um die einzelnen Fehlerquellen auf den Gesamtfehler ermitteln zu können. Schlußfolgernd aus der meßtechnischen und konstruktiven Analyse wurden Konzepte für die Verbesserung und Optimierung der vorhandenen Anordnung und ihrer Komponenten abgeleitet.
Neben der meßtechnischen und konstruktiven Analyse und der Konstruktionskritik ermöglichte die FEM - Simulation des thermischen Verhaltens von Einzelkomponenten weitere Erkenntnisse. Die daraus resultierenden Forderungen an die Gestalt des mechanischen Aufbaus, Gestellelemente, Koppelstellen usw., flossen in die Anforderungsliste bzw. das Pflichtenheft und die Konzeptionen ein.
Das Pflichtenheft und die abgeleitenten generellen Anforderungen an derartige hochgenaue Positioniersystemanordnungen bilden die Grundlage für zukünftige Entwicklungen.

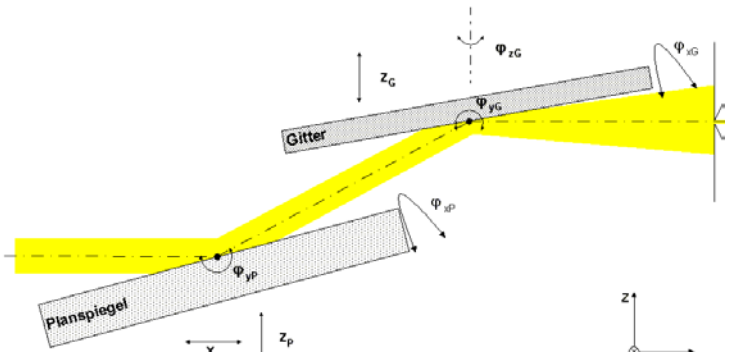


Bild 2: Prinzipieller Aufbau der Monochromatoranordnung

2 IMMS gGmbH

Im Rahmen der Projektbearbeitung im IMMS erfolgte zunächst die Erarbeiten eines Anforderungsprofils für die Antriebsbewegungen und ein Herausarbeiten der Fehlereinflüsse auf die Positioniergenauigkeit. Eine umfassende Analyse der vorhandenen Konstruktionsunterlagen bzw. des Aufbaus, die in Form einer Konstruktionskritik die

Spezifikation notwendiger Änderungs- bzw. Überarbeitungsvorschläge entnungen bzw. Meßverfahren abgeleitet werden, das auch die Konzipierung von Meß- und Untersuchungseinrichtungen beinhaltet. Neben der Untersuchung der Integrationsfähigkeit von fehlerminimierten Meßanordnungen zur Bestimmung der Positionierparameter wurden alternative Konzepte für die Antriebe (physikalisch - technische Prinzipien), die meßtechnische Erfassung der Relativlage der optischen Baugruppen, die Gestaltung der Koppelstellen und die Gestaltung von Fassungen / Aufnahmen optischer Baugruppen erarbeitet.

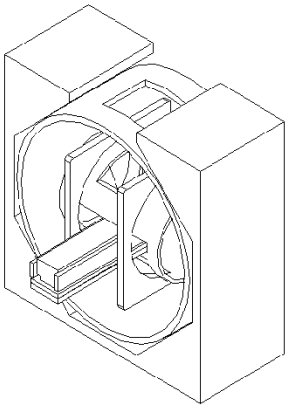


Bild 3: Prinzipdarstellung einer alternativen Anordnung eines Monochromators

Für die Realisierung alternativer Antriebskonzepte, wie z. B. in Bild 3 dargestellt, sind aus heutiger Sicht rotatorische und translatorische Piezoantriebe favorisiert, für die entsprechende Aufgabenstellungen erarbeitet wurden. Die vorgeschlagenen Antriebe enthalten jedoch Bauelemente und Baugruppen, z. B. Wälzlager, deren herkömmliche Gestaltung bzw. Auslegung unter den geforderten Umweltbedingungen die Erreichung der geforderten Genauigkeit verhindern. Die Ursachen liegen zum einen darin, daß im UHV keine herkömmlichen Schmiermittel halten, bilden die Grundlage für die Überarbeitung des bisherigen Pflichtenheftes. verwendet werden können, die parasitäre Effekte, wie stick slip, verhindern. Zum anderen erreichen bisher verwendete Konstruktionswerkstoffe im UHV nicht die Eigenschaften, z.B. Reibungskoeffizient, die sie unter Normalatmosphäre besitzen.

Daraus leiteten sich zwei neue Problemstellungen ab. Zum einen sind für verschiedene Einsatzfälle UHV - taugliche Konstruktionswerkstoffe bzw. Oberflächenbeschichtungen zu finden, die herkömmliche Werkstoffe unter Realisierung gleicher mechanischer Eigenschaften ersetzen bzw. Reib- oder Verschleißschutzschichten bilden. Zum anderen sollten tribologische Untersuchungen Aufschluß darüber geben, inwieweit die bisher bekannten Werkstoffpaarungen bzw. Schichtkombinationen in Lagerungen und Führungen einsetzbar sind, ohne daß parasitäre Effekte auftreten. Dazu wurden mit Unterstützung der TU Ilmenau einige tribologische Untersuchungen unter Normalbedingungen, Bild 4, und Untersuchungen zur Desorption durchgeführt. *(Die Beschichtung der Probekörper erfolgt durch die TU Ilmenau, die Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung (GFE) Schmalkalden, Außenstelle Chemnitz und den PVD Beschichtungsservice Lüdenscheid)* Auf der Grundlage dieser Voruntersuchungen erfolgDavon ausgehend konnte ein Anforderungsprofil für die Meßanordte die Erarbeitung eines ersten Konzeptes für die systematische Untersuchung von Werkstoffen, Schichten und Schichtkombinationen für deren Einsatz im UHV. Voraussetzung dafür ist ein UHV - taugliches Tribometer, das jedoch derzeit nicht kommerziell erhältlich ist. Deshalb wurde in Zusammenarbeit mit der TU Ilmenau und der TETRA GmbH ein Konzept für ein UHV - taugliche Tribometer erstellt.

Für die Simulation des Verhaltens kritischer Baugruppen und Kopplungen wurden gemeinsam mit den Projektpartnern entsprechende Aufgabenstellungen erarbeitet und erste Untersuchungen an ausgewählten Einzelteilen und Baugruppen, z.B. Justierbaugruppen, durchgeführt. In enger Zusammenarbeit mit der TETRA GmbH erfolgte eine Konzipierung angepaßter Sensorkonfigurationen einschließlich der Konzipierung der mechanische Implementierung der faseroptischen Sensoren.

Ausgehend von der Auswertung der Ergebnisse konnten Lösungsvorschläge für ein Folgeprojekt formuliert werden. Hierbei wurde neben der meßtechnischen Erfassung der Relativlage von Baugruppen, alternativen Antriebskonzepten, der Gestaltung der Einzelteile und Baugruppen der Antriebe, der Gestaltung der Koppelstellen

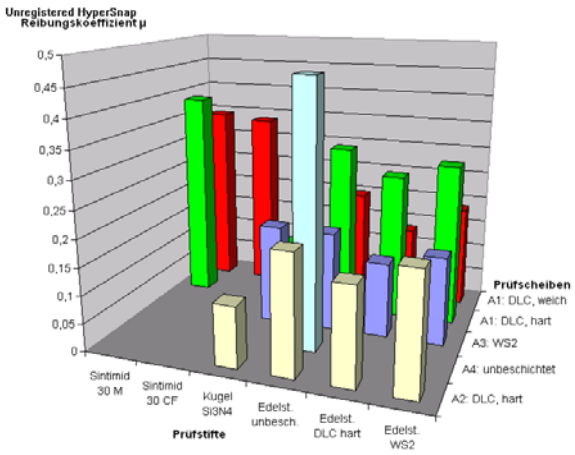


Bild 4: Reibungskoeffiziente verschiedener Werkstoffpaarungen

und der Justierung der optischen Baugruppen vor allem auch die Weiterführung der werkstofftechnischen Untersuchungen berücksichtigt.

3 TETRA GmbH

Die Fa. TETRA GmbH befaßte sich neben der Analyse des vorhandenen Aufbaus und der Konstruktionskritik mit der Untersuchung der Integrationsfähigkeit von fehlerminimierten Meßanordnungen zur Bestimmung der Positionierparameter. Dazu war es notwendig, ausgehend vom Anforderungsprofil der Monochromatoran- ordnung, die Anforderungen für die Meßanordnungen bzw. Meßverfahren abzuleiten, die in ein interns Pflichtenheft für die Konzipierung eines Meßaufbaues auf der Basis von faseroptischen

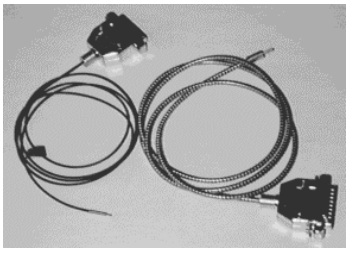
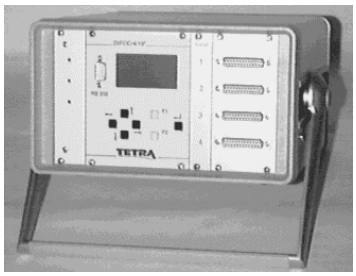


Bild 5: Faseroptische Sensoren für DIFOC (Quelle: TETRA)



Sensoren einfloß.
Ein zweiter Schwerpunkt bestand

Bild 6: Digitaler Faseroptischer Controller DIFOC 4 (Quelle: TETRA)

in der Konzipierung und Entwicklung einer angepaßten Sensorkonfiguration auf der Basis des Produktprogramms der TETRA GmbH, insbesondere für die Messung kleinster Verschiebungen und Verdrehungen im sub - µm - Bereich. Dazu war eine Anpassung der Meßsoftware für den Digitalen - Faseroptischen - Controller (DIFOC), Bild 6, der einschließlich PC - Kopplung für die Meßdatenerfassung und Auswertung verwendet wird, und eine Konzipierung der mechanische Implementierung der faseroptischen Sensoren, Bild 5, notwendig.
Ausgehend von der gemeinsam mit der TU Ilmenau und dem IMMS erarbeiteten Konzeption für ein UHV - taugliches Tribometer entstand ein erster Versuchsaufbau, mit dem die meßtechnische Erfassung der Daten der tribologischen Untersuchungen mittels faseroptischer Sensoren nachgewiesen werden konnte.

4 PI Ceramic GmbH

Ausgehend vom Produktspektrum der Fa. PI Ceramic wurden auf der Grundlage theoretischer Untersuchungen Lösungsvarianten für piezoelektrische Antriebe, Bild 7, in Form von Rotations- und Linearantrieben erarbeitet. Davon ausgehend konnte festgestellt werden, daß beide Lösungsansätze

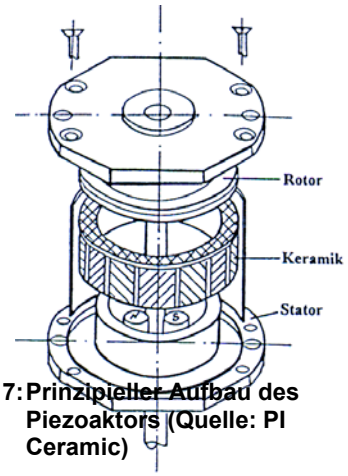


Bild 7: Prinzipieller Aufbau des Piezoaktors (Quelle: PI Ceramic)

erfolgversprechend sind, wobei die derzeit erreichbare Positioniergenauigkeit noch nicht mit den Anforderungen des Pflichtenheftes übereinstimmt.
Deshalb erfolgte die Erarbeitung eines Konzeptes, das die Weiterentwicklung der rotatorischen und translatorischen Piezoaktoren entsprechend den spezifizierten Anforderungen ermöglicht. Außerdem wurde u.a. eine umfassende Recherche zu Werkstoffen, die in piezokeramischen Aktoren zum Einsatz kommen können, begonnen, wobei sowohl die Funktionalität des Antriebselementes als auch die UHV - Tauglichkeit berücksichtigt wurde.

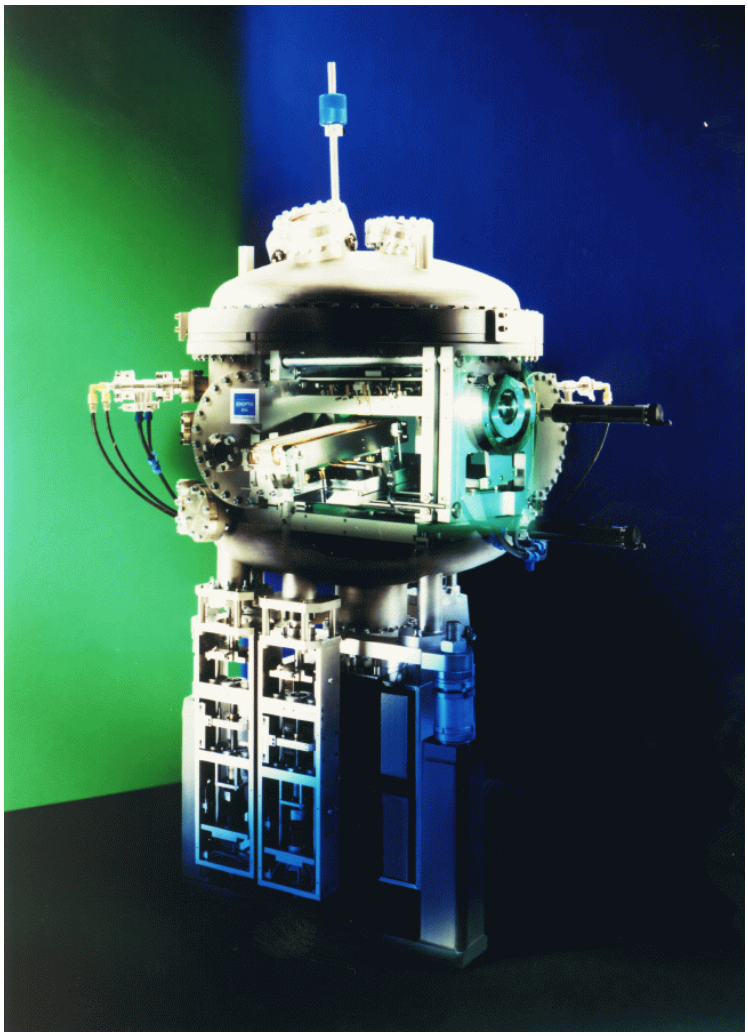
5 Jenoptik Mikrotechnik GmbH

Bei der Jenoptik Mikrotechnik GmbH wurde eine erste Monochromatoranordnung, Bild 8, realisiert, die einer gründlichen Analyse, Vermessung und Konstruktionskritik unterzogen wurde. Daraus ableitend konnten notwendige Änderungen und Überarbeitungen näher spezifiziert werden, die zunächst vor allem der Überarbeitung des Justierkonzeptes dienen. Auf der Grundlage der am IMMS durchgeführten werkstofftechnischen Untersuchungen konnten einige problembehaftete Baugruppen optimiert werden.
In Zusammenarbeit mit dem IMMS und der TETRA GmbH konnten eine Reihe von Konzepten für Baugruppen und Komponenten und die Gesamtanordnung erarbeitet werden. Außerdem wurden die Anforderungen an den Piezoantrieb und die meßtechnische Erfassung der räumlichen Lage der zu positionierenden Baugruppen spezifiziert
Des weiteren erfolgten mit dem IMMS die Erarbeitung einer Konzeption für die Verbesse-

rung der Justierstellen innerhalb des Gerätes und der zu Anwendung kommenden Justiermittel.

6 Schlußfolgerungen

Gegenstand des Projektes war die Untersuchung einer



Monochromatoranordung, in im UHV einsetzbaren

Bild 8: Monochromator (Quelle: Jenoptik Mikrotechnik)

deren Ergebnis Konzepte zur Überarbeitung des konstruktiven Aufbaus von Baugruppen und der Gesamtanordnung entstanden. Hierzu zählen vor allem das Antriebsprinzip, die verwendeten Fassungen für die optischen Komponenten einschließlich der Justierungen und Justiermittel. Daraus ableitend wird es notwendig, andere Antriebs-, Übertragungs- und Koppelelemente sowie Lagerungen und Führungen einzusetzen, für die geeignete Vorschläge vorliegen. Die Umsetzung dieser Vorschläge bedingt die Untersuchung der Werkstoffe und Werkstoffpaarungen hinsichtlich ihrer Eignung, da Erkenntisse über deren Verhalten im UHV nach derzeitigem Stand der Recherche nicht vorliegen. Ausgehend von den begonnenen werkstofftechnischen Untersuchungen, die unter Normalatmosphäre erfolgten, konnte ein Konzept für umfassendere Untersuchungen erarbeitet werden. Voraussetzung dafür ist u.a. ein Tribometer, mit dem diese Untersuchungen im UHV durchgeführt werden können. Da diese Tribometer nicht kommerziell verfügbar sind, entstand auf der Grundlage verschiedener Vorversuche, in denen prinzipielle Fragen der meßtechnischen Erfassung notwendiger Parameter geklärt wurden, ein Konzept für das UHV - Tribometer.
Somit liegen mit Abschluß dieses Projektes für alle Problemstellungen Konzepte und Lösungsvorschläge vor, die mit prinzipiellen Untersuchungen und Vorversuchen untermauert sind.

Ansprechpartner:
DI Frank Spiller
Tel.: (03677) 678326
e-mail: frank.spiller@imms.de

DI Frank Fux
Tel.: (03677) 678319
e-mail: frank.fux@imms.de

„Vorbereitung eines Verbundprojektes zum Thema: Nichtlineare Regelung von Schrittmotoren mit Lageerfassung über Sensoren und Fehlererkennungsalgorithmen“

Zielstellung des Projektes
Eine am Markt stark ansteigende Nachfrage nach Produkten, deren Parameter entscheidend von der *Dynamik* und *Präzision* der *Positioniersysteme* bestimmt werden, machen eine Untersuchung *neuartiger Regelungsalgorithmen* für *Schrittantriebe* erforderlich. Aufgabe dieses abgeschlossenen Vorhabens war deshalb die *Vorbereitung* eines *innovativen Verbundprojektes*, welches die Umsetzung eines *neuartigen Regelungskonzeptes* in marktfähige Produkte zum Ziel hat.
Nachteilig für die Verbreitung der *Schrittmotoren* ist der Umstand, daß bei höheren Genauigkeitsforderungen *Lagesensoren* an den Antrieb gekoppelt werden müssen, die die *Position des Läufers* mit einer *hohen Auflösung* erfassen und deren Ausgangsinformation (= Istposition) in umfangreiche *Regelungsalgorithmen* einfließen.
Bei *Schrittmotoren* mit konventioneller Ansteuerung besitzt die *Motorkraft*- bzw. das *Motordrehmoment* nur in bestimmten Stellungen des *Läufers* einen Maximalwert. Das *Beschleunigungsvermögen* und die *Maximalgeschwindigkeit* können aber wesentlich erhöht werden, wenn in jeder *Läuferstellung* die maximale *Kraft* bzw. das maximale *Drehmoment* wirken. Auch diese Eigenschaft der *Schrittantriebe* spricht für eine *Rückkopplung* der *Läuferposition*, z.B. über einen *Lagesensor*, zwecks *Regelung* der *Wicklungsströme*. Durch die *Regelung* entstehen Antriebe mit wesentlich verbesserten Eigenschaften.

Partner
Im Rahmen des vom TMWFK geförderten Projektes wurde mit folgenden Kooperationspartnern eng zusammengearbeitet:
Partner in der Industrie:
- MICROSTEP GmbH Sömmerda
- PASIM Mikrosystemtechnik GmbH Suhl bzw. DPS Präzisionssysteme GmbH & Co. Suhl

Partner in Forschungseinrichtungen:
- TU Ilmenau, Institut für Mikrosystemtechnik, Mechatronik und Mechanik
- TU Ilmenau, Institut für Automatisierung- und Systemtechnik

Bisherige Ergebnisse
Voraussetzung für die optimale *Reglerauswahl* und –*dimensionierung* war eine umfassende Analyse der eingesetzten *Schrittmotoren*, d.h. die Bestimmung der *statischen* und *dynamischen Eigenschaften* der *Antriebssysteme*. Deshalb wurde eine *universelle Meßeinrichtung* für *rotatorische Schrittmotoren* aufgebaut, mit deren Hilfe die für die spätere *nichtlineare Regelung* notwendigen Kenngrößen gemessen werden konnten. Die wichtigsten Baugruppen sind der *rotatorische Drehfeldmotor* (Prüfling), ein *Gleichstrom - Glockenläufermotor „3557/012C“*, ein *inkrementales Winkelmeßsystem „IGR-M2“* mit Auswerteeinheit, eine *spannungsgesteuerte Stromquelle „PU-2“* und ein *IBM-kompatibler AT-Rechner* mit Steuerungssoftware und den erforderlichen Interfacebaugruppen.
Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen mit dem *universellen Versuchsstand* sind z.B. der *Drehwinkel-Zeit-Verlauf* und die *Drehmoment-Drehwinkel-Kennlinie* des vorhandenen *Drehfeldmotors „DFM 2/4-1202“* (Bild 1 bzw. Bild 2). Der *Drehfeldmotor „DFM 2/4-1202“* der Fa. MICROSTEP ist ein *zweiphasiger PM-Schrittmotor* mit großem *axialen Luftspalt* und einem räumlich getrennten *Rotor*. Man erkennt, daß sich die *Einschwingzeit* mit zunehmenden Abstand zwischen *Stator* und *Rotor* verkleinert. Ursache dieser Erscheinung ist die geringere *magnetische Feldstärke* bei größeren Abständen. Aus den Diagrammen läßt sich eine *Überschwingweite* von ca. 70 % und eine *Einschwingzeit* von ca. 1000 ms ablesen. Die *Frequenz* der *gedämpften Schwingung* lag im Bereich von 6 bis 8 Hz.

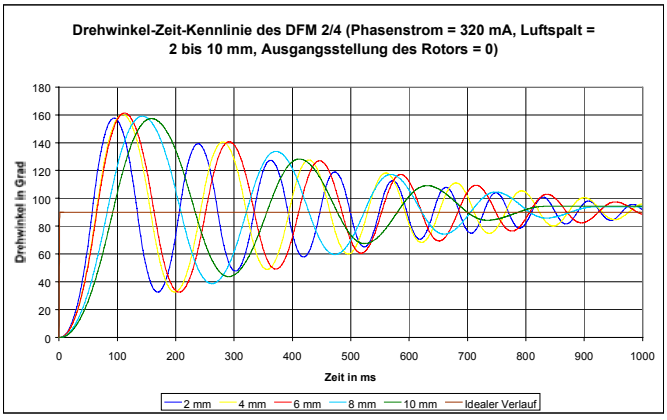


Bild 1: Drehwinkel-Zeit-Verlauf des Drehfeldmotors „DFM 2/4-1202“ in Abhängigkeit vom Luftspalt

Aus Bild 2 erkennt man sehr deutlich die Abweichung der *Drehmoment - Drehwinkel-Kennlinie* von ihrer *sinusförmigen Idealform*. Die starken Einbuchtungen sind auf das *Magnetfeld* des im *Rotor* vorhandenen Dauermagneten zurückzuführen.
Erwartungsgemäß sank das *Kippmoment* und die *magnetische Federsteifigkeit* mit zunehmenden Abstand zwischen *Rotor* und *Stator* (im Bild nicht erkennbar). Die Größe des *Kippmomentes* lag im Bereich von 1 bis 2,6 Ncm.

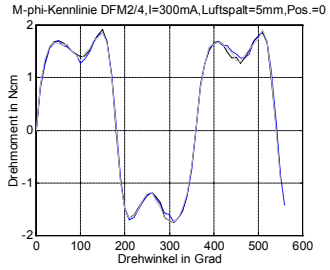


Bild 2: Drehmoment-Drehwinkel-Kennlinie beim Nennstrom von 300 mA, Luftspalt von 5 mm

Neben den *meßtechnischen Untersuchungen* bildeten die *Meßsysteme* zur Aufnahme der *aktuellen Läuferposition* einen zweiten Aufgabenschwerpunkt. Die *Positionserfassung* ist Voraussetzung für den Aufbau und den Betrieb von *geregelten Schrittantrieben*. Im Rahmen des Projektes wurde auf einen Antrieb mit *direkter Positionsrückführung* orientiert. Aufgrund ihrer günstigen spezifischen Eigenschaften kamen Magnetfeldsensoren zum Einsatz.
Die Versuche wurden ebenfalls mit Hilfe der *universellen Meßeinrichtung* durchgeführt. Dazu wurde dieser Versuchsstand um die (je nach Sensortyp spezifischen!) Baugruppen „*Magnetfeldsensor*“, „*Meßsignal-Verarbeitung (Auswertung und Aufbereitung)*“, „*Spannungsversorgung*“ und/oder „*Oszillograph*“ erweitert. Eine Prinzipskizze

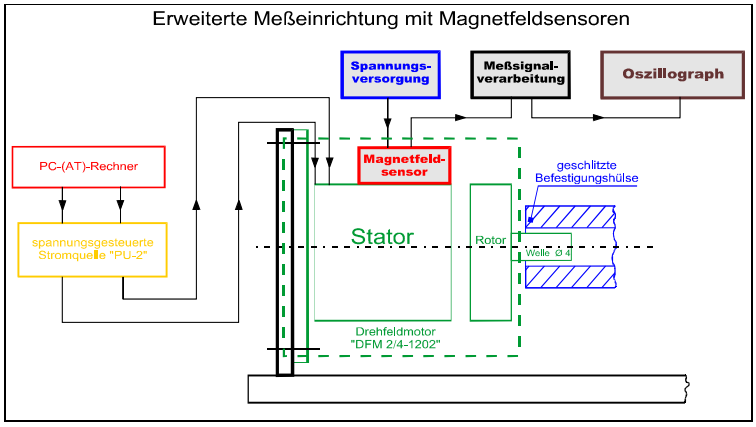


Bild 3: Aufbau der erweiterten Meßeinrichtung für die Magnetfeldsensoren

dieser Erweiterung ist in Bild 3 dargestellt.
Besonders vielversprechend sind die Meßergebnisse mit dem *hochgenauen, linearen CMOS-Hallsensors „HAL 400“*. Dessen *Ausgangsspannung* ist proportional der *magnetischen Flußdichte*, senkrecht zum *„sensitiven Bereich des Sensors“*. Dabei wurden *Signalamplituden* bis 100 mV gemessen. Bild 4 zeigt einen typischen Signalverlauf dieses

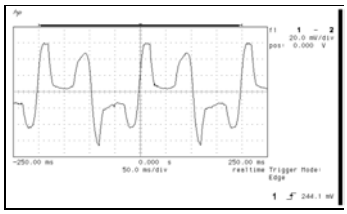


Bild 4: Signalverlauf „HAL 400“ bei eingeschalteten Drehfeldmotor

Sensors.
Mit diesem gemessenen Signalverlauf konnte am *Institut für Automatisierungs- und Systemtechnik* eine *nichtlineare Regelung* für Schrittantriebe am Beispiel des *rotatorischen Sondermotors „DFM 2/4 – 1202“* aufgebaut und getestet werden.

Weitere Vorhaben
Um eine Nutzung der bisherigen Ergebnisse zu gewährleisten, müssen die Arbeiten fortgeführt werden hin zu einer ausgereiften Lösung, die eine Serienproduktion ermöglicht. Speziell muß eine kostengünstige (vielseitig einsetzbare) *„Magnetsensor-Baugruppe“* (zur Gewinnung / Aufbereitung der aktuellen *Läuferposition*) konzipiert oder geeignete Zulieferer dafür ermittelt werden. Diese Baugruppe kann dann als *Low-Cost-Variante* in die bestehenden *Mikrocontroller-Steuerungen* der Schrittmotorhersteller integriert werden.
Im Ergebnis der Arbeiten aller beteiligten Partner wurde ein *Verbundprojekt* mit der Laufzeit von 2,5 Jahren vorbereitet und im November 1997 beim *Projektträger* des *BMBF-Fachprogramms „Produktion 2000“* zur Genehmigung eingereicht.

Ansprechpartner:

Dipl. -Ing. Michael Carl
Tel.: (03677) 6783-19
e-Mail:
michael.carl@imms.de

HF Design/Meßtechnik

Neben der Bearbeitung von Projekten lag der Schwerpunkt der Arbeiten in der Vervollkommnung der Meßtechnik, der Erprobung und Verifikation neuer Kalibrier- und Meßverfahren, der Aktualisierung der Software und dem Erstellen von Routinen zur Meßwertverarbeitung bzw. grafischen Dokumentation.

Meßtechnik

Basierend auf dem Networkanalyzer HP8510 wurde der HF-Meßplatz in seiner jetzigen Konfiguration aufgebaut. Die räumliche Anordnung der einzelnen Komponenten wurde so gewählt, daß neben den rechnergesteuerten Messungen auch die manuelle Bedienung problemlos möglich ist. Es wurden unterschiedliche Meßspitzen (ACP 40 und 50 ,100 / 150 µm sowie DC-Nadeln) an den Meßplatz adapiert.
Die HF-Verkabelung wurde für Messungen in Koax-Systemen vorbereitet.
Das Rauschparameter-Meßsystem (Tunersystem mit Steuergerät der Firma ATN Microwave und HP8970/71 Noise Figur Meter) wurde durch Installation von rechnergesteuerten HF-Koax- und HPIB-Bus Umschaltern in den Meßplatz eingebunden.
Für optische und optisch / elektrische Messungen wurde das Lightwave-Testset HP83420 installiert. Hiermit steht eine bis in den GHz-Bereich modulierbare Laserquelle im Infrarotbereich zur Verfügung und ermöglicht die meßtechnische Charakterisierung von optoelektronischen Bauelementen.

Meßverfahren

Zur Messung von S-Parametern wurden neben dem klassischen SOLT-Kalibrierverfahren neue alternative Techniken erprobt. Die Grenzen und Einschränkungen der einzelnen Verfahren wurden betrachtet und so die prinzipiellen Anwendungen herausgearbeitet. Außerdem wurden Meßanordungen zur Verifikation der Kalibrierungen aufgebaut und hiermit die Kennwerte der Kalibrierstandards optimiert.
Für Rauschparametermessungen wurde das ATN-System NP5 in Betrieb genommen. Die hier sehr umfangreiche Kalibrierung wurde auf Toleranzen in den einzelnen Schritten untersucht. Durch Messungen an bekannten Standards wurde die Qualität, Reproduzierbarkeit und Stabilität der Kalibrierung untersucht. Damit ließen sich die Grenzen der Meßmöglichkeiten mit dem vorhandenen Aufbau und Tunersystem ableiten. Desweiteren wurde der Einfluß der Umgebungsbedingungen auf die Meßgenauigkeit untersucht und die Eignung der installierten Klimaanlage nachgewiesen.

Software

Die Parameterextraktionssoftware ICCAP wurde auf die Version 5.0 aktualisiert. Es wurden Anpassungen vorgenommen, um den Grafik- und Datentransfer für Dokumentation und Export zu realisieren. Da die neue Programmversion noch einige Einschränkungen mit sich bringt, wurde Wert darauf gelegt, die Version 4.40 weiterhin benutzen zu können. Dies garantiert auch die Kompatibilität zu unseren Kooperationspartnern.
Für das Deembedding der parasitären Elemente wurden umfangreiche Routinen erstellt.
Die Software zur Steuerung des Rauschmeßsystems wurde an die konkreten Gegebenheiten des Meßplatzes angepaßt. So ist es nun möglich, die Meßdaten in ein von Anwendern vorgegebenes Format zu exportieren.
Auch bei den Softwarepaketen MDS (HF-Design und Simulation) und HFSS (Feldsimulation) sind die neuesten Versionen verfügbar.

Bearbeitete Projekte / Meßaufgaben

Die nachfolgende Aufzählung ist ein Auszug aus den bearbeiteten Projekten / Meßaufgaben:

- S-Parameter Transimpedanzverstärker (TU Ilmenau)
- S-Parameter, f_t und f_{max} an HBTs (IHP/TU Ilmenau)
- f_t und f_{max} an SiGe-HBTs (Temic/TU Ilmenau)
- S-Parameter und f_t an SiGe HBTs (IHP)
- DC-, S-Parameter, f_t, Parameterextraktion an BICMOS (Thesys)
- DC-Messungen an A/D-Wandlern (IMMS)
- DC-, S- und Rauschparameter an IMST GaAs-FETs (TU Ilmenau)
- S-Parameter an passiven Komponenten auf Keramiksubstraten (TU Ilmenau)
- S-Parameter an BICMOS Transistoren (Thesys)
- S- und Rauschparameter an SiGe HBTs (Temic)
- Rauschparameter an HBTs (IHP)
- Rauschparameter an BICMOS (Thesys)
- S-Parameter und Rauschmessungen an Transimpedanzverstärker (CIS)
- optisch/elektrische Messungen an Foto-Dioden mit Verstärker (CIS)
- Impulsantwort, time domain an SAW Filtern (TU Ilmenau)

Die Messungen wurden zumeist on wafer durchgeführt.

In den Abb. 1 und 2 sind einige Meßergebnisse im Frequenzbereich von 2...50 GHz dargestellt.
Die Funktionstüchtigkeit des Gesamtsystems einschließlich der Designsoftware konnte im Rahmen des Verbundvorhabens **Charakterisierung, Optimierung und Anwendung von BiCMOS-Schaltungen in Telekommunikationssysteme n** anhand von VCO und Verstärkerstrukturen nachgewiesen werden.
Im Dezember wurden die Designarbeiten für HF Teststrukturen abgeschlossen, die zur Charakterisierung einer neuen 0,35µm Technologie im Hause Siemens durchgeführt wurden. Neben den Designarbeiten sind in dem Projekt **Integration von nichtflüchtigen Speichern und Analogfunktionen in den Logik CMOS Prozess (INSAF)** noch die meßtechnische Auswertung / Parameterextraktion präparierter Grundstrukturen sowie die Erweiterung von Simulationsmodellen um Parameter zur Beschreibung von Degradationserscheinungen geplant.

Dr. Uwe Baumann
☎ (03677) 678317
e-mail:
uwe.baumann@imms.de

Dipl.-Ing. Björn Bieske
☎ (03677) 678336
e-mail:
bjoern.bieske@imms.de

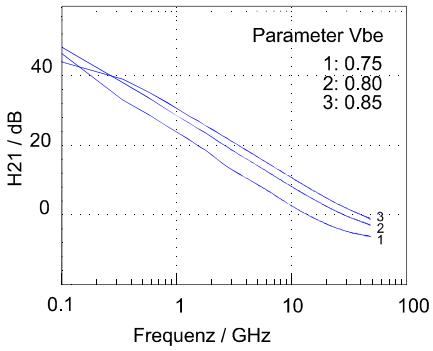


Bild 1: gemessene Verstärkung h_{21} an einem Heterobipolartransistor

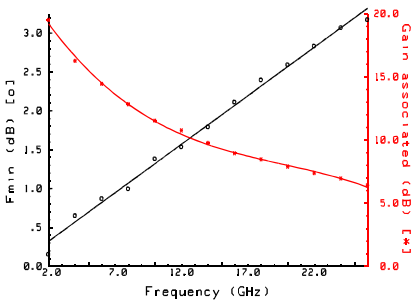


Bild 2: gemessene Rauschparameter an einem GaAs Transistor

Ansprechpartner:

Technik zur Schwingungsanalyse und Schallpegelmessungen im IMMS

Geht es Ihnen auch so, Sie haben eine zündende Idee jedoch nicht genügend Forschungs- und Entwickungskapazität im eigenen Hause, der Prototyp steht, aber es gibt Probleme mit Vibrationen, Stabilität, Lebensdauer oder Geräuschemission?

Wo immer die Problemstellung liegen mag, bei uns im IMMS steht, jederzeit verfügbar für Sie, ein zuverlässiges und vollständiges Prüfsysteme, das Sie mit hoher Effektivität in Anspruch nehmen können, um somit die Qualität und Zuverlässigkeit sowie das Design ihrer Produkte zu verbessern, Testzeiten zu verkürzen und letztendlich Entwicklungs- und Produktionskosten zu reduzieren. Wir konzentrieren unsere Bemühungen darauf, unseren Auftraggebern zu mehr Produktivität zu verhelfen.

Mit dem tragbaren Mehrkanal-Dynamik-Signalanalysator sind wir in der Lage Geräusch-, Vibrations- und Signalanalysen nicht nur unter Laborbedingungen, sondern auch vor Ort durchzuführen.
Dieser FFT-Analysator ermöglicht es, sowohl stationäre als auch dynamische Signale in der Zeit- und Frequenzebene (Frequenzgang 31.25 mHz bis 50 MHz) zu analysieren.
Elektrodynamische Schwingprüfsysteme der Fa. LDS (Ling Dynamic Systems Ltd.) für Modal- und Strukturanalyse, zur Aufnehmerkalibrierung, Trennung und Verdichtung von Stoffen oder zum Test von kleinen Baugruppen erlauben uns, Sinus-

Kraftvektoren bis zu 2000 N bei maximal zulässigen Schwingwegen von 25.4mm, Sinus- Beschleunigungen bis 91 g, Arbeitsfrequenzen zwischen 5 Hz und 13 kHz und Prüflingsmassen bis zu 50 kg zu erzeugen.
Alle Schwingerreger sind mit entsprechenden Leistungsverstärkern ausgestattet und werden über einen Digital-Sinus-Generator angesteuert, der ein Frequenz-Sweepen im Bereich von 1Hz bis 10kHz gestattet. Diese Rampenprogrammierung kann sowohl uni-direktional als auch bi-direktional, unabhängig von der Frequenz- und Amplitudeneinstellungen, erfolgen.

Sensoren

Für die Durchführung von Messungen mechanischer Schwingungen und Stöße, Schwingungsanalysen und –überwachungen,
Produktionsüberwachung und Qualitätssicherung etc. verfügen wir über leistungsfähige Sensorik (PCB Piezotronics, Inc.) und Softwaretools (Modalys, Matlab, Diadem und Akustec 7695) die eine Erfassung von Drücken, Kräften, dynamischen Beanspruchungen, Aufschlagkräften, Vibrationen, Schwinggeschwindigkeiten, Schwingwegen an Maschinen und Geräten, linearen Beschleunigungen bzw. Bremsverzögerungen für Sicherheits- und Komfortuntersuchungen an Antrieben und Geräten etc. komfortabel in weiten Bereichen ermöglichen.
Für eine regelmäßige Kalibrierung ihrer Beschleunigungsaufnehmer

können Sie sich bitte auch direkt an uns wenden.
Für Schallmessungen und Frequenzanalyse verfügen wir über einen integrierenden Präzisions-Schallpegelmesser (Brüel & Kjær) mit Oktavfilter

(31.5 Hz bis 8 kHz) für online Schallmessungen im Umwelt- und Arbeitsschutz, Frequenzanalyse an Schallquellen etc. (Meßbereich 20 bis 140 dB Eff. in fünf 80 dB Bereichen). Das ist ein Dienst, bei dem man schneller und zuverlässiger an Lärmmeßergebnisse kommen kann, als man die mathematischen und meßtechnischen Funktionen verstanden hat.
Ein besonderer Vorzug ist auch die parallele Bestimmung von Effektiv- und Spitzenwert mit unabhängiger Frequenzbewertung, sowie die vor-Ort-Bestimmung der Häufigkeitsverteilung und Summenhäufigkeit.
Unser Equipment eignet sich somit u.a. für:

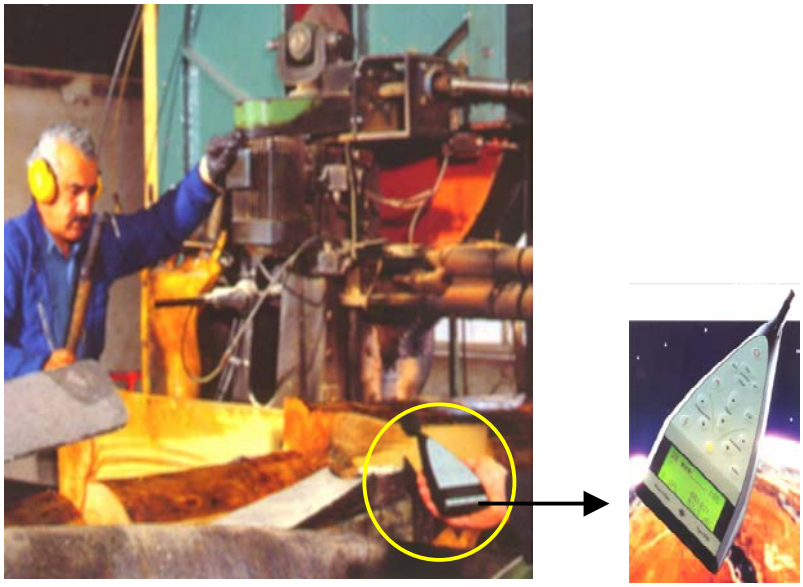
- Akustik- und Schwingungsuntersuchungen zur Verbesserung der Eigenschaften von Geräten
- Erhöhung der Lebensdauer von Geräten durch Schwingungsminimierung
- Minimierung des Geräuschpegels von Geräten, Langzeituntersuchungen, Umweltverträglichkeitsuntersuchungen etc.

Für die Marktfähigkeit ihrer Produkte ist auch die Erfüllung der nationalen und internationalen Normen für Umgebungs- und Industrielärm mitentscheidend.

Unsere kompetenten und engagierten Mitarbeiter freuen sich darauf, Ihre anspruchsvolle Problemstellung zur Lösung zu bringen.

Ansprechpartner:

Herr González
Tel.: 03677/678340
e-mail:
jorge.gonzalez@imms.de



IMMS : AN-Institut der TU Ilmenau

Zwischen der IMMS gGmbH und der Technischen Universität Ilmenau wurde ein Kooperationsvertrag über die Zusammenarbeit in Forschung und Lehre unter Berücksichtigung der verschiedenen Aufgaben und Rechtsformen im Geiste eines fruchtbaren Miteinanders abgeschlossen.
Der Senat der TU Ilmenau hat in seiner Sitzung am 02. Juli 1996 dem Antrag des IMMS zugestimmt, ihm den Status „Institut an der TU Ilmenau“ (AN-Institut) zu verleihen.
Die enge Kooperation beider Partner hat sich bereits für den Aufbau und die Inbetriebnahme des Instituts als sehr nützlich erwiesen.
Sie ist langfristig angelegt, um die hier den Partnern verfügbaren Personal- und Sachmittel in den Bereichen Forschung, Aus- und Weiterbildung sowie der Lehre in bestmöglicher Weise zu nutzen und zugleich den Wissenschaftsstandort Ilmenau zu stärken.
Zur Zusammenarbeit gehören auch gemeinsame Berufungen, die Erteilung von Lehraufträgen, Gastvorlesungen, gemeinsame wissenschaftliche Veranstaltungen und die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Bereits im Jahre 1996 ist eine enge Kooperation von Wissenschaftlern beider Einrichtungen sowie kleiner und mittlerer Unternehmen Thüringens entstanden, die sich in Ergebnissen zahlreicher Verbundprojekte ausdrückt.
Ebenso sind im IMMS Hilfsassistenten, Praktikanten, Diplomanden und Doktoranden der TU Ilmenau tätig und nutzen die hier zur Verfügung stehenden Mittel und Möglichkeiten in Form von Arbeits- und Laborplätzen sowie Stipendien für Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten im vorwettbewerblichen Bereich.
Der Wunsch nach einer engen Kooperation des IMMS mit der TU Ilmenau kommt auch darin zum Ausdruck, daß der wissenschaftliche Geschäftsführer nach einem gemeinsamen Berufungsverfahren gleichzeitig eine C4-Professur an der TU Ilmenau bekleiden wird.

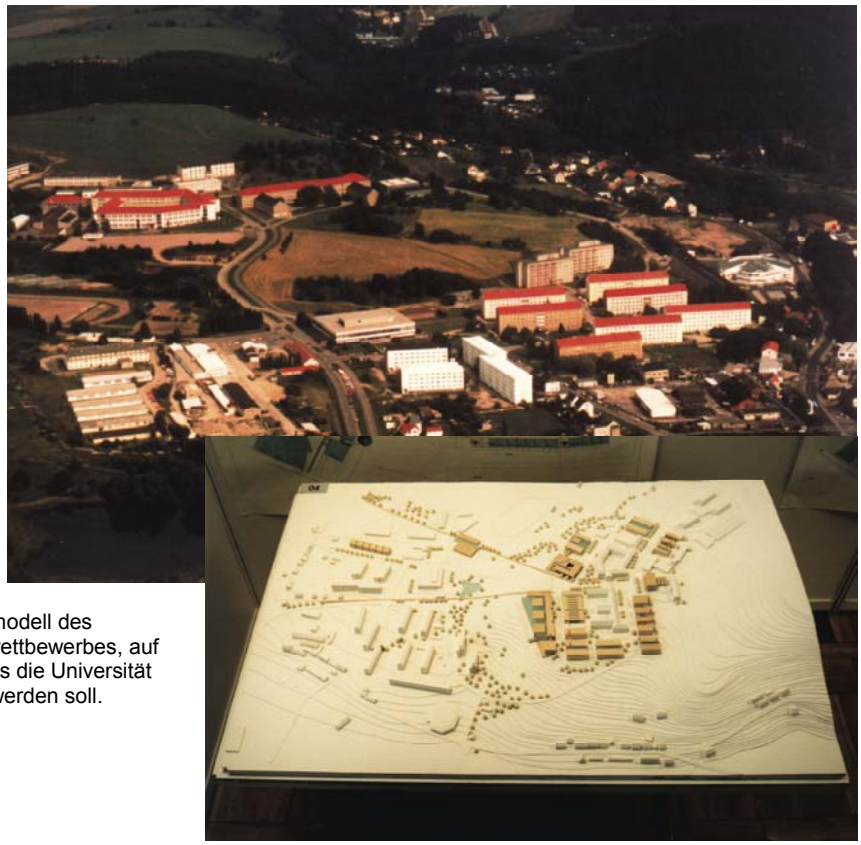


Bild 1: Das Siegermodell des Architekturwettbewerbes, auf dessen Basis die Universität ausgebaut werden soll.

Vorträge, Poster, Veröffentlichungen

- Schulze, St.; Heise, M.; Otto, M.; Pahnke, K.:
  „USB Activities of IMMS“
  (Vortrag/Poster)
  USB Developers Conference, Carlsbad, CA, 22.-23.01.1997

- Scarbata, G.:
  „Ergebnisse von Forschungs- und Entwicklungsaufgaben zum Entwurf analog-digitaler Mikroelektronik“ *(Vortrag)*
  VDI/VDE Veranstaltung des Thüringer Bezirksvereins e.V., F. Schiller Uni Jena, 23.01.1997

- Schäffel, Chr.;
  „Integrierte Mehrkoordinatenantriebe für innovative Produkte, Praxisorientierte Verbundforschung – Chance für kleine und mittelständische Unternehmen in Thüringen, Erfurt, 25. Februar 1997

- Handrich, K.; Heiber, U.; Lehmkuhl, D.; Ludwig, F.:
  „Asymetrische Teilchen als neue BROWNsche Motoren“
  (Vortrag)
  Tagung d. AK FK Physik der DPG, Münster, 17.-21.03.1997

- Förster, K.:
  "Anforderungen an den Entwurf von elektronischen Leistungsstellgliedern kleiner Leistungen" (Votrag)
  Beitrag zum Konzept Design Cluster "Mikrosystemtechnik/Mechatronik", STIFT, Erfurt, Juli 1997

- Saffert, E.; Schäffel, Ch.; Kallenbach, E..:
  „Steuerungssystem für integrierte Mehrkoordinatenantriebs“
  (Vortrag)
  42. Intern. Wiss. Kolloquium der TU Ilmenau, Ilmenau 23.09.1997

- Handrich, K.; Heiber, U.; Lehmkuhl, D.; Ludwig, F.:
  "Systematische Bewegung aus dem Chaos" (Poster)
  42. Intern. Wiss. Kolloquium der TU Ilmenau, Ilmenau 23.09.1997

- Schulze, St.:
  "Wiederverwendbare Hardware- und Firmware-Makros für die schnelle Entwicklung von USB - Applikationen" (Vortrag)
  USB-FireWire - Roadshow Nürnberg/Köln, (Organisation: Fachzeitschrift "elektronik" und IMMS)
  29.09.-02.10.1997

- Otto, M.:
  "USB - HUB with integrated Keyboard-Function" (Vortrag)
  USB-FireWire - Roadshow Nürnberg/Köln (Organisation: Fachzeitschrift "elektronik" und IMMS)
  29.09.-02.10.1997

- Senf, F.:
  "IEEE 1394 – Übertragungsmedium für Video- und Audiodaten" (Vortrag)
  USB-FireWire - Roadshow Nürnberg/Köln (Organisation: Fachzeitschrift "elektronik" und IMMS)
  29.09.-02.10.1997

- Kallenbach, E.; Maißer, P.; Lückel, J.; Saffert, E.; Schäffel, C.; Freudenberg, H.; Kuhlbusch,W.: **„Mechatronic Analysis and Design of High-Precision Drives“**
  ASPE 1997, Annual Meeting, Oct 5-10, 1997, Norfolk, Virginia, Proc. P 507-510, Oct 5-10, 1997

- S. Michael, G. Scheinert, H. Uhlmann:
  "Design and Stability
  Investigation of an Electromagnetic Levitated and Drived Disk"
  Japanese-Czech-Slovak Joint Seminar on Applied Electromagnetics, Stara Lesna 1997

- Förster, K.; Heiber, U.:
  "Das Q-Device TH9035 -Der Beitrag des IMMS innerhalb des Verbundprojektes Smart Fabrication / Quality Management" (Vortrag)
  IMMS / TU Ilmenau, Ilmenau, 24.10.1997

- Rettig, K.:
  „Wärmesimulation in der Mikromechanik – Simulation eines Zeilenscanners für Laser-TV-Systeme“
  15.CAD-FEM Users Meeting, Fulda,15.-17.10. 1997

- Senf, F.:
  „IEEE 1394 High Speed Serial Bus - Vernetzung von Computersystemen und Heimelektronik" (Vortrag)
  USB/IEEE 1394 (FireWire) Seminar in Villach / Kaernten /Oesterreich
  28.10.1997

- Schäffel, Chr.; Saffert, E.; Kallenbach, E:
  "Ausgezeichneter Antrieb"
  Konstruktion & Engineering 1997, Heft Nr. 4, April 1997

- Schäffel, Chr.:
  „Untersuchungen zur Gestaltung integrierter Mehrkoordinatenantriebe“
  ISBN 3-932633-03-2

Mitgliedschaft in Verbänden, Fachgruppen etc.

- **GMM, GI, ITG Fachgruppe:**
  „Entwurf des Layouts von Schaltungen“
  Dipl.-Ing. K. Pahnke - Mitglied des Leitungsgremiums
- **GMM, GI, ITG Fachgruppe:**
  „Hardwarebeschreibungs-sprachen und Model-lierungsparadigmen“
  Dipl.-Ing. K. Pahnke - Mitglied der Arbeitsgruppe
- **TZAI (Thüringer Zentrum für angewandte Informatik e.V.):**
  Dipl.-Ing. K. Pahnke - Mitglied des Vorstandes
- **USB – Implementers Forum**
- **Technologiecluster Mikrosensorik - Thüringen:**
  Dipl.-Ing. F. Spiller
- **Designcluster Mikrotechnik / Mechatronik - Thüringen**
  Dipl.-Ing. F. Spiller
- **GMM – Beirat:**
  Prof. Dr. G. Scarbata - Arbeitsgruppe 1.5 Transfer
- **ITG Fachgruppe:**
  „CAE für den Analog-schaltungsentwurf“
  Prof. Dr. G. Scarbata
- **TZM Erfurt**
  Prof. Dr. G. Scarbata – Mitglied des Vorstandes
- **Frauenhofer Gesellschaft / IOF Jena**
  Prof. Dr. G. Scarbata – Mitglied des Kuratoriums
- **EIBA**
- **DFAM**
  Prof. Dr. G. Scarbata
- **EUROPRACTICE**
- **American Society for Precision Engineering**
  Dr. Ch. Schäffel