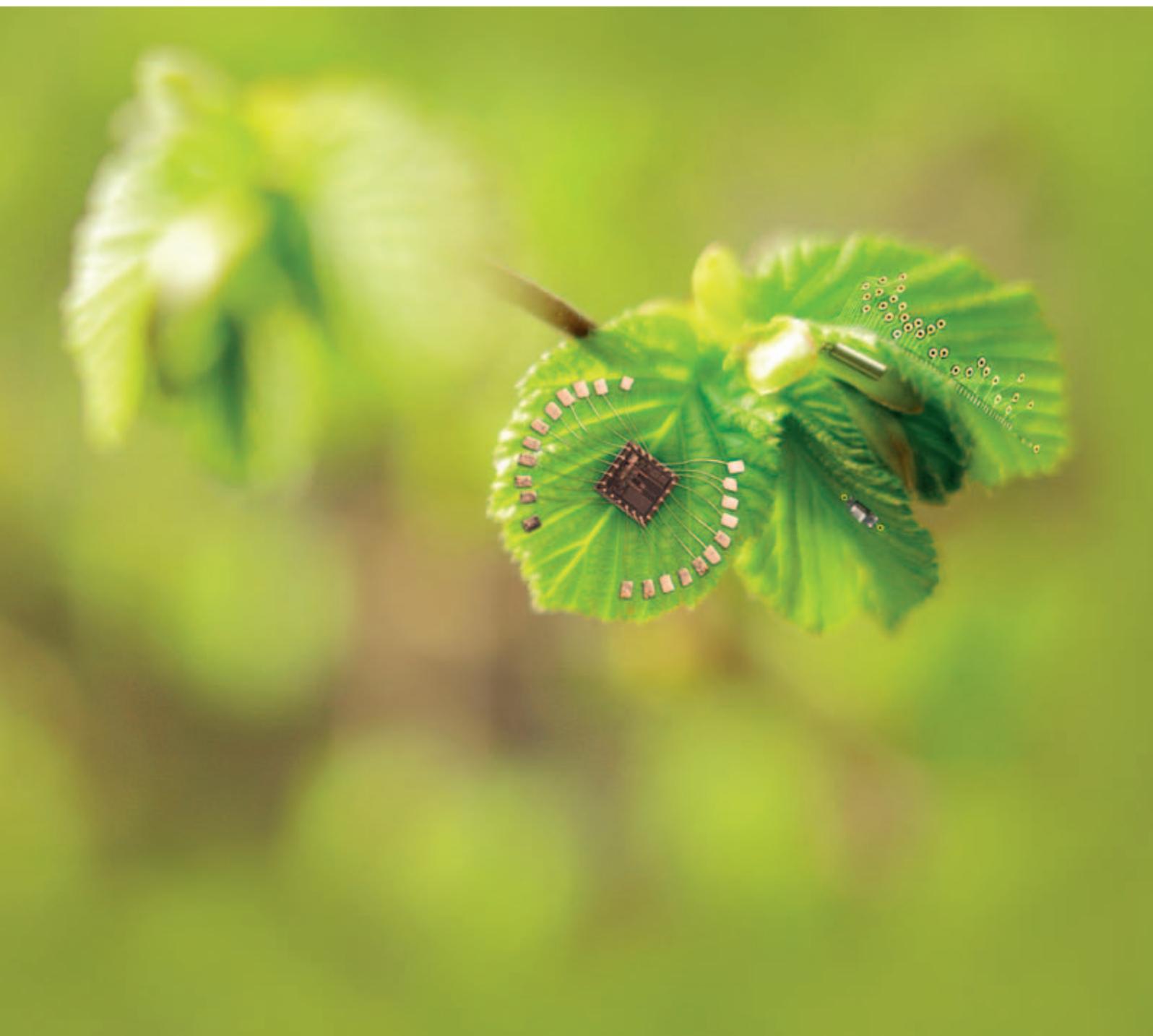




IMMS

JAHRESBERICHT

2013



Impressum

Herausgeber

IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH

Ehrenbergstraße 27
98693 Ilmenau
Germany

+49.3677.6955.00 *Telefon*
+49.3677.6955.15 *Fax*
imms@imms.de
www.imms.de

Lektorat

Prof. Dr.-Ing. Ralf Sommer
Dipl.-Ing. Hans-Joachim Kelm
Dipl.-Hdl. Dipl.-Des. Beate Hövelmans

Übersetzung

Susan Kubitz Sprachdienst

Gestaltung, Satz und Fotografie

Dipl.-Hdl. Dipl.-Des. Beate Hövelmans

Grafik

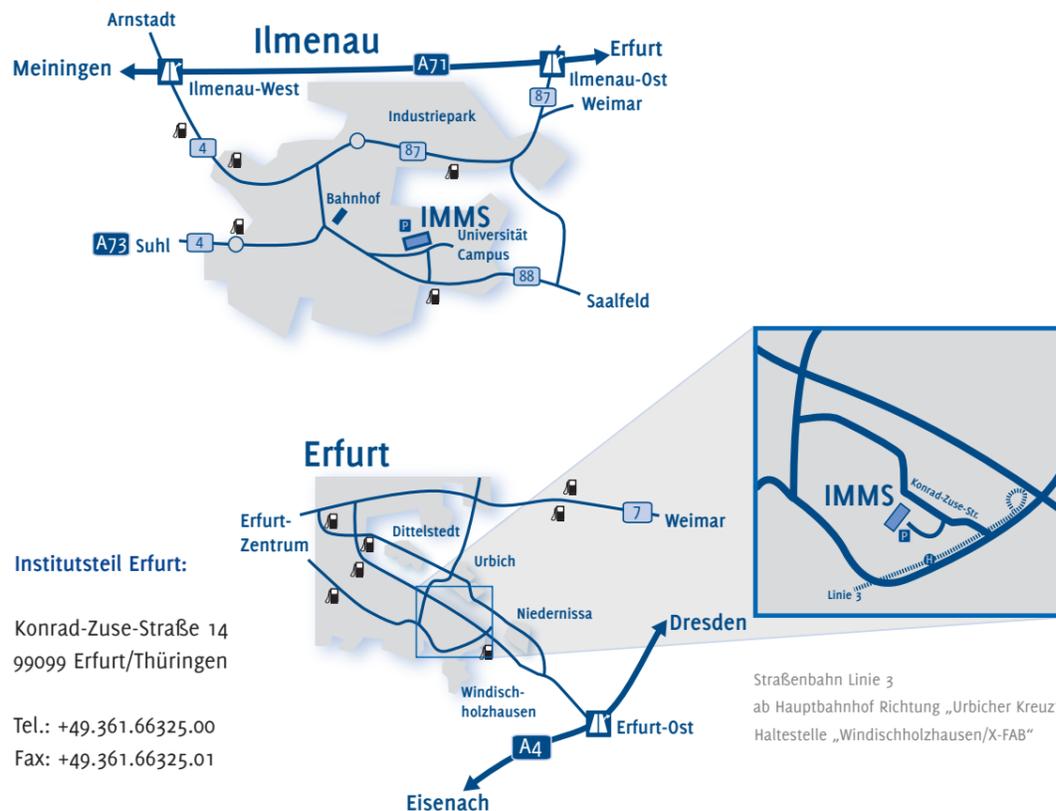
Dipl.-Hdl. Dipl.-Des. Beate Hövelmans
Danielle Warnecke, B.A.

Druck

Brandtdruck e.K., www.brandtdruck.de

Alle Rechte sind vorbehalten. Vervielfältigung und Veröffentlichung nur mit Genehmigung der IMMS GmbH.

Redaktionsschluss: 25. April 2014



Institutsteil Erfurt:

Konrad-Zuse-Straße 14
99099 Erfurt/Thüringen

Tel.: +49.361.66325.00
Fax: +49.361.66325.01

Straßenbahn Linie 3
ab Hauptbahnhof Richtung „Urbicher Kreuz“
Haltestelle „Windischholzhausen/X-FAB“

Inhalt

4	Vorwort
6	Forschungsstrategie des IMMS
8	Kooperation mit der Technischen Universität Ilmenau

Referenzen

9	Nachwuchs, Events und Meilensteine
14	Nachwuchsförderung am IMMS
18	Events und Meilensteine
24	Messen, Konferenzen und Workshops mit IMMS-Beiträgen

Mitarbeiter präsentieren ihre Arbeiten:

26	3DNeuroN Bidirektionales 3D-Interface zum Gehirn
29	GreenSense Grundlagentechnologien für ressourcen- und energieeffiziente intelligente Sensornetzwerke
32	EFSUES Energieeffizientere Flughäfen
35	ANUBIS Lösungen für eine energieeffiziente Produktion
38	Qualitätssicherung von MEMS
41	SFB 622 Dem Nanometer auf der Spur
44	MEMS-T-Lab Testlabor für MEMS-basierte Mikrosysteme

Zahlen, Strukturen und Belege

48	IMMS in Zahlen
49	Organigramm
50	Wissenschaftlicher Beirat
50	Aufsichtsrat
51	Lehrveranstaltungen
51	Publikationen 2013

Abkürzungen

- ADC Analog-to-Digital-Converter (Analog-Digital-Wandler)
- ASIC Application-specific integrated circuit (Applikationsspezifische integrierte Schaltung)
- AVT Aufbau- und Verbindungstechnik
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung
- BMWi Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
- BVMW Bundesverband mittelständischer Wirtschaft
- CMOS Complementary metal-oxide-semiconductor (Komplementärer Metall-Oxid-Halbleiter)
- DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft
- DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
- EDA Electronic Design Automation (Rechnergestützte Entwurfsmethodik)
- EFRE Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
- EMV Elektromagnetische Verträglichkeit
- EnOcean Internationaler Standard zur energiearmen Funkübertragung
- FE Finite Elemente
- FTE Full-time equivalent (Vollzeitäquivalent)
- FTSP Flooding Time Synchronisation Protocol (Zeitsynchronisationsprotokoll)
- HF Hochfrequenz
- IC Integrated Circuit (Integrierte Schaltung)
- IKT Informations- und Kommunikationstechnologien
- ISO Internationale Organisation für Standardisierung
- KMU Kleine und mittelständische Unternehmen
- KNX Feldbus, weltweiter Standard für die Gebäudeautomation
- LNA Low Noise Amplifier (Rauscharmer Verstärker)
- MEMS Mikroelektromechanische Systeme
- MINT Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik
- NPMM Nanopositionier- und Nanomessmaschinen
- OLED Organic light-emitting diode (Organische Leuchtdioden)
- QI Inductive power standard (Induktive Energieübertragung)
- RFID Radio-frequency identification (Hochfrequenz-Identifikationsverfahren)
- RMS Root Mean Square (Quadratischer Mittelwert)
- RWTH Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
- SFB Sonderforschungsbereich der DFG
- TERENO Terrestrial Environmental Observatories (Europäische Umweltdatenbank)
- TU Technische Universität
- VDI Verein Deutscher Ingenieure
- VGA Variable Gain Amplifier (Verstärker mit variablem Verstärkungsfaktor)
- wM-Bus Wireless Meter-Bus, drahtloser Feldbus für die Verbrauchsdatenerfassung
- ZigBee Industriestandard für Funknetze



Das IMMS spannt als Forschungspartner der Wissenschaft den Bogen von den Grundlagen zu verschiedenen neuen Anwendungen. Der Industrie und insbesondere kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) stellt es als strategischer Partner anwendungsorientierte Vorlaufforschung für die Entwicklung von Erzeugnissen der Mikroelektronik, Systemtechnik und Mechatronik zur Verfügung. Um ein wissenschaftliches Forschungsergebnis in die Serienfertigung von Produkten zu überführen, vergehen in der Regel fünf bis zehn Jahre. Diese wichtige Aufgabe kann nicht von der reinen, an Universitäten betriebenen Grundlagenforschung wahrgenommen werden. Sie ist jedoch essentiell, um eine Idee zu einer Innovation und bis zur Marktreife zu führen. Diesen aufwands- und personalintensiven Transfer unterstützt das IMMS und schlägt so eine Brücke zwischen Wissenschaft und Wirtschaft. Diese festigt das Institut durch enge Kooperation mit der Technischen Universität Ilmenau und mit Industriepartnern, durch das Engagement in Netzwerken und Kompetenzclustern sowie durch konsequente Nachwuchsförderung. Gemeinsam werden Lösungen erarbeitet, die später in neuartige Produkte münden und einen Vorsprung im Wettbewerb verschaffen. Besonders KMU können einen solchen Transfer in der Regel nicht aus eigener Kraft leisten, da ihnen sowohl die notwendigen Forschungskapazitäten als auch das finanzielle Potenzial für eine solche enorme Aufgabe in der Regel fehlen. Eine solche Brückenfunktion wird im Trendatlas 2020 und in der Forschungsstrategie Thüringens als einer der zentralen Punkte herausgestellt und mit Handlungsfeldern untersetzt. Das IMMS leistet hierfür im Rahmen seiner Wirkungsbereiche wichtige Beiträge, um insbesondere für die Wirtschaft Thüringens die Wettbewerbsfähigkeit zu fördern, die Vernetzung zu stärken und den Nachwuchs zu sichern.

Um diesem Anspruch gerecht zu werden, hat das Institut unter dem Leitgedanken „Wir verbinden die IT mit der realen Welt“ seine im ersten Kapitel die-

ses Jahresberichts beschriebene **Forschungsstrategie** 2013 weiter geschärft und mit der Durchführung entsprechender Projekte gestaltet. Das IMMS verfügt über ein breites Erfahrungs- und Wissensspektrum und baut dieses systematisch aus. Dieses Spektrum verbindet Theorie und Praxis und ist ein wesentliches Fundament, auf dessen Basis das IMMS heute und vor allem in der Zukunft seinen Auftrag erfüllt. Mit diesem Know-how und auf der Basis interdisziplinärer Zusammenarbeit liefert das IMMS Beiträge für die Erforschung und die Entwicklung hochpräziser und energieeffizienter Gesamtsysteme für Medizintechnik und Life Science, Automatisierungs-, Umwelt- und Verkehrstechnik sowie die Halbleiterfertigung. Das IMMS ist ein unverzichtbarer Partner bei der Entwicklung von Anwendungen auf der Grundlage von branchenübergreifenden Basistechnologien: Kommunikationstechnik, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik sowie Mikro- und Nanotechnologien. Für diese Anwendungsfelder erarbeitet das Institut Gesamtlösungen entlang der Wertschöpfungskette von der Idee bis hin zur Fertigungsüberleitung. Dies deckt sich mit den Anforderungen international relevanter Zukunftsstrategien, die u.a. auch die Bundesregierung in ihrer Hightech-Strategie formuliert und die vielfältige Kompetenzen erfordern, komplexe Systeme zu beherrschen (siehe Forschungsstrategie). Auch durch sein Engagement im Programm IKT2020 baut das IMMS seine Systemkompetenz weiter aus und erschließt Partnern und insbesondere Thüringer KMUs hierfür den Zugang. Gleichzeitig erreicht das IMMS eine hohe Übereinstimmung seiner Forschungsstrategie mit den Schwerpunkten der Thüringer Wissenschafts- und Wirtschaftspolitik. Mit seinen Forschungsarbeiten, die aktuell in den auch in diesem Bericht vorgestellten Projekten GreenSense, ANUBIS und EFSUES verfolgt werden, leistet das Institut wichtige Beiträge unter anderem für energieeffiziente „grüne“ Produktionstechniken und Verbrauchsprozesse. Diese werden beispielweise auch im Förderprogramm „Thüringen

GreenTech“ unter den Stichworten Energieeffizienz sowie Rohstoff- und Materialeffizienz gefordert.

Die Hauptsäulen von **Partnerschaften** bilden die vielen Anwendungs- und Industriepartner, die nationale und internationale Forschungslandschaft und die Technische Universität Ilmenau. Das IMMS ist An-Institut der TU Ilmenau und kooperiert gegenwärtig mit 28 Fachgebieten. In gemeinsamen Forschungsprojekten, wie MUSIK, GreenSense, KOMPASSION und 3DNeuroN, und im Sonderforschungsbereich SFB 622 „Nanopositionier- und Nanomessmaschinen“ bündelten auch 2013 beide Partner technologische Kompetenzen und gaben sich wertvolle Impulse. Das Institut bindet, wo immer möglich, regional verfügbare Technologien in die Forschungsarbeiten ein und trägt so zu der auch im Thüringer Trendatlas angeregten Vernetzung von Unternehmen bei, mit der das Innovationspotenzial von KMU ausgeschöpft werden soll. Das Institut wirkt seit Jahren aktiv an der Initiierung und Gestaltung von regionalen und überregionalen sowie branchenübergreifenden Clustern mit. In Thüringen sind es Initiativen wie u.a. ELMUG (Elektronische Mess- und Gerätetechnik in Thüringen), MNT (Mikro-Nanotechnologie Thüringen), OLAB (OLED-Industrielichtanwendungen) und OptoNet Thüringen. Über Thüringen hinaus setzt sich das IMMS u.a. im AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V. für Sensorikthemen ein. Hierfür bietet das Institut regelmäßig Workshops an und hat als Mitglied des Wissenschaftsrates die Studie „Sensor-Trends 2014“ mit erarbeitet. Im Silicon Saxony e.V. bringt sich das IMMS in anwendungsorientierte Arbeitskreise ein, wie z.B. „Cyber-physikalische Systeme“, an dessen Gründung es maßgeblich beteiligt war. Als Mitglied des edacentrums engagiert sich das Institut für die Entwurfsautomatisierung (Electronic Design Automation, EDA). Es entwickelt und nutzt sie als Schlüssel zur Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik. Mit der TU Ilmenau nimmt das IMMS im internationalen Cadence Academic Network die Rolle einer Lead Institution ein, wobei Cadence einer der weltweit führenden EDA-Software-Entwickler bzw. -Anbieter ist.

Das IMMS nimmt seinen Auftrag zur Förderung des **wissenschaftlichen Nachwuchses** sehr engagiert wahr. Die in diesem Bericht dargestellten Werdegänge junger Akademiker sind Beispiele dafür, wie das Institut in Kooperation mit der TU Ilmenau und weiteren deutschen und internationalen Hochschulen Promovenden, Praktikanten, Bachelor- und Master-Studenten sowie studentische Hilfskräfte betreut.

Neue Ideen und **Projekte** wurden 2013 von den 87 Mitarbeitern des IMMS vorangebracht, um anwendungsorientierte Vorlaufforschung zu betreiben und

für die Industrie innovative Ansätze zur Marktreife zu führen. Die Forscher des IMMS haben mikroelektronische Sensorik und Aktorik erforscht, mit deren Hilfe künftig die Heilung von geschädigtem Zellgewebe des zentralen Nervensystems gezielt gesteuert werden kann. Das IMMS hat weiterhin drahtlose Sensornetzwerke sowie Lösungen für energieeffiziente und energieautarke Sensorsysteme entwickelt, um Industrieprozesse zu optimieren und damit umweltschonender zu gestalten sowie Flughäfen sicherer und energieeffizienter zu betreiben. Um künftig nanometeregenau Halbleiter, Life-Science- und Biotech-Produkte herstellen zu können, hat das Institut hochpräzise Antriebe entwickelt. Das IMMS hat seine Infrastruktur ausgebaut, um Entwicklungen von mikroelektromechanischen Systemen (MEMS) besser testen und charakterisieren zu können. Darüber hinaus hat das Institut ein selbstentwickeltes Verfahren verfeinert, mit dem die Funktionalität und die Qualität von MEMS zuverlässig über den gesamten Fertigungsprozess kontrolliert werden kann. Welche Forschungsarbeiten dafür und für zahlreiche andere Entwicklungen des IMMS notwendig waren, illustriert der vorliegende Bericht.

Doch zunächst möchten wir im Namen des IMMS-Teams dem Freistaat Thüringen **danken**, durch dessen Förderung unsere Arbeit erst möglich wird. Dem Aufsichtsrat und dem Wissenschaftlichen Beirat des IMMS danken wir dafür, dass sie uns in allen Fragen fördernd und beratend zur Seite stehen. Bei der TU Ilmenau bedanken wir uns für die hervorragende Zusammenarbeit, die nicht nur eine enorme Bereicherung für unser Schaffen bedeutet, sondern durch die Verbindung der Forschungsthemen beider Einrichtungen über verschiedene Wissenschaftsdisziplinen hinweg Synergieeffekte hervorbringt. Unser Dank gilt auch allen Geschäftspartnern und Förderern, Freunden und Menschen, die uns in unserem Tun bestärken. Am wichtigsten sind aber unsere kreativen und engagierten Köpfe. Bei ihnen, unseren Mitarbeitern und unseren Studenten, bedanken wir uns dafür, dass sie mit fachlicher Expertise und persönlichen Kompetenzen, konstruktiver und vertrauensvoller Zusammenarbeit unser Institut voranbringen und unsere gemeinsame Zukunft gestalten.

Dipl.-Ing.
Hans-Joachim Kelm

Prof. Dr.-Ing.
Ralf Sommer

Forschungsstrategie des IMMS:

„Wir verbinden die IT ...

... mit der realen Welt.“

IT-Systeme

Das IMMS verbindet IT und reale Welt:



Reale Welt (physikalische Prozesse)

Um die mehrjährige Lücke zwischen wissenschaftlicher Forschung und der praktischen Verwertung durch die Wirtschaft zu schließen und damit die nationale und internationale Wettbewerbsfähigkeit kleiner und mittelständischer Unternehmen zu stärken, richtet das IMMS sein Handeln kontinuierlich an aktuellen globalen Forschungs- und Entwicklungstrends und Applikationen aus und hat seine Forschungsstrategie 2013 weiter geschärft. Besonders hohes Innovationspotenzial haben die Bereiche Energie, Automobil, Transport, Logistik, Medizintechnik und Maschinenbau. Wesentliche Treiber sind dabei gesellschaftliche Fragen des Umweltschutzes, der Gesundheit, Sicherheit, Mobilität, Kommunikation und der Automatisierung. Der Leitgedanke „Wir verbinden die IT mit der realen Welt“ fasst die Arbeiten des IMMS zusammen, mit denen das Institut Beiträge in den Schlüsseltechnologien Informations- und Kommunikationstechnologien, Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie sowie u.a. für die Zukunftsprojekte Industrie 4.0 und individualisierte Medizin liefert.

„Wir verbinden die IT mit der realen Welt“

Das bedeutet Lösungen zu entwickeln, die informatische und softwaretechnische Komponenten mit mechanischen und elektronischen Teilen vereinen und über eine Dateninfrastruktur kommunizieren, wie z. B. das Internet. Die Mitarbeiter des Instituts analysieren physikalische Bedingungen und Prozesse künftiger Systeme, wie Geräte oder Industrieanlagen, und

bilden diese auf die IT-Applikationen ab. Die Ergebnisse fließen in jeden Systementwurf ein, auf dessen Basis das Institut seine Partner unterstützt, ein Gesamtsystem zu entwickeln und zu optimieren. Das IMMS begleitet seine Partner von der Idee bis hin zur Fertigungsüberleitung. Um reale Welt und IT zu verbinden, erforscht und entwickelt das IMMS Sensor- und Aktorsysteme, Signalverarbeitungs-, Steuerungs- und Regelungssysteme und übernimmt die Systemintegration sowie die Anbindung zur Informationsverarbeitung und Umgebung. Das Institut entwickelt und optimiert die einzelnen Systemkomponenten, Baugruppen und Schaltungen sowie die Kommunikation zwischen allen Systemelementen und zwischen System und Umwelt.

Hierfür forscht und entwickelt das IMMS an den folgenden Themenschwerpunkten:

Sensor- und Aktorsysteme:

- energieeffiziente Sensor- und Aktorsysteme
- mikroelektronische und mikromechanische Sensor- und Aktorsysteme
- bioanalytische und biomedizinische Elektronik
- Hochtemperatur-Elektronik
- MEMS

mechatronische Aktorsysteme

Steuerungen und Regelungen:

- applikationsspezifische Steuerungen und Regelungen
- Echtzeitsteuerungssysteme

Kommunikationslösungen:

- energieeffiziente drahtlose Sensor-Aktor-Netzwerke

Signalverarbeitungen:

- eingebettete Hardware/Software-Plattformen
- Sensorsignalverarbeitungssysteme mit hoher Verarbeitungsleistung

Systemintegration:

- Optimierung von Open-Source-Software und Betriebssystemen für den industriellen Einsatz
- Zuverlässigkeit und Robustheit sichert das IMMS dabei simulativ und messtechnisch von der integrierten Schaltung bis zum Gesamtsystem ab.

Die über Jahre systematisch erarbeiteten Kompetenzen auf den genannten Gebieten illustrieren die Fachartikel dieses Jahresberichts. So hat das IMMS mit den im Sonderforschungsbereich SFB 622 realisierten mechatronischen Aktorsystemen inklusive Steuerung und Regelung neue Maßstäbe für Antriebssysteme für die Nanotechnologie gesetzt. Signalverarbeitungs-, Kommunikations- und Systemintegrationslösungen werden in den Artikeln zu ANUBIS und EFSUES vorgestellt. In den ebenfalls beschriebenen Projekten GreenSense und 3DNeuroN kam unter anderem das Know-how im Entwurf mikroelektronischer Sensordaten zum Tragen. Die messtechnische Überprüfung der am IMMS entwickelten Methoden und Prototypen thematisieren die Beiträge zu MEMS-T-Lab und zur Qualitätssicherung von MEMS mit Hilfe der Vibrometrie.

Anwendungsorientierte Vorlauftforschung – Beispiel Biotechnologie

Medizintechnik und Life Science als Wachstumsfeld und Megatrend stellen ein strategisch bedeutsames Anwendungsgebiet dar, für das das IMMS seine Forschung künftig weiter ausbauen wird. Das Institut bringt hier u.a. sein über Jahre erarbeitetes Know-how im Bereich Optoelektronik und Analog/Mixed-Signal-Schaltungsentwurf ein, um integrierte Systemlösungen für optisch detektierbare Biosignale sowie biokompatible Elektronik zu entwickeln, wie beispielsweise einen in dem bereits 2011 abgeschlossenen Forschungsprojekt entworfenen und realisierten ASIC für ein Retina-Implantat.

Ein Ziel des IMMS ist es, In-Vitro-Diagnostik und personalisierte Medizin durch mikroelektronische Lösungen künftig einfacher, schneller und kostengünstiger zu gestalten. Hierfür müssen neue Wege gefunden werden, die die Vorteile der Mikroelektronik, Mechatronik und Systemtechnik mit den aktuellen Methoden der bioanalytischen Verfahren verbinden helfen. Insbesondere sollen die vorhandenen Analysemöglichkeiten der Forschungspartner erweitert und kontinuierliche bzw. massivparallele Tests möglich werden.

Hierfür hat das IMMS neues Personal aufgebaut, das seine Kompetenzen in der Biosignalverarbeitung und Biomedizintechnik einbringt, um das am Institut vorhandene Know-how konsequent für dieses Anwendungsfeld auszubauen.

Kooperation mit der Technischen Universität Ilmenau

Das IMMS profitiert durch seine Stellung als An-Institut der TU Ilmenau, die Universität durch die Industriennähe des Instituts von der wissenschaftlichen Vernetzung beider Partner.

Im Jahr 2013 hat das IMMS mit 28 Fachgebieten in den Bereichen Elektro- und Informationstechnik, Maschinenbau, Informatik und Automatisierung, Mathematik sowie Medien- und Kommunikationswissenschaften wissenschaftliche Projekte bearbeitet, unter anderem in den Bereichen hochpräzise Positionier- und Messmaschinen, Biomedizintechnik, Sensorik zur Überwachung von Prozessen im Hochtemperaturbereich und Hochfrequenztechnik für die Satellitennavigation. Gleichzeitig ist das Institut stark mit der Industrie vernetzt. In den Branchen Fahrzeugtechnik, Mikrotechnik, Mikroelektronik und Optik ist es ebenso in regionale und nationale Innovationsnetzwerke eingebunden wie in industrielle Cluster. Die Nutzung und Bündelung technologischer Kompetenzen und die Entwicklung gemeinsamer Marktstrategien liefern für die Forschungstätigkeit des Instituts und der TU Ilmenau wertvolle Praxisimpulse.

Gemeinsame Forschungsprojekte

Das IMMS hat u.a. im Sonderforschungsbereich SFB 622 „Nanopositionier- und Nanomessmaschinen“ und in den Projekten „GreenSense“ und „3DNeuroN“ eng mit der TU Ilmenau zusammengearbeitet. Die Beiträge des Instituts zu diesen Forschungsthemen werden in den Fachartikeln dieses Jahresberichts im Detail beleuchtet. Eine enge Kooperation gibt es auch mit der Forschergruppe Powertrain/radio train (PORT) im Rahmen des Thüringer Innovationszentrums Mobilität (ThIMo), die ebenso wie „GreenSense“ wichtige Beiträge zum Aufbau „grüner“ Produktionstechniken und Verbrauchsprozesse leistet.

Im DFG-Projekt „MUSIK“ erforschen Wissenschaftler des IMMS mit Partnern der TU Ilmenau die verstärkenden, steuernden, oszillierenden und schaltenden Eigenschaften von mikroelektromechanischen Systemen (MEMS), um sie zusammen mit der Elektronik für komplexe Hochfrequenz-Schaltungen und Systeme zu entwerfen. Ziel ist es, mit einer universellen Designmethodik die technologische Diskrepanz zwi-

schen der herkömmlichen MEMS- und der modernen modellbasierten, rechnergestützten Methodik des Entwurfs für applikationsspezifische integrierte Schaltungen (ASICs) zu beseitigen.

Im Projekt „KOMPASSION“ haben IMMS und TU Ilmenau eine Empfangseinheit entwickelt, die nur ein Viertel so groß ist wie eine konventionelle adaptive Gruppenantenne mit gleicher Anzahl an Einzelelementen. Für diese Antenne hat das IMMS die Empfänger-Frontend-Schaltung entworfen und realisiert. Im dreijährigen Folgeprojekt „KOSERNA“ wird ab 2014 ein industrieller Prototyp mit einer noch robusteren und genaueren Empfangseinheit entwickelt, für den das IMMS im Unterauftrag der TU Ilmenau die Frontend-Schaltungen erweitert und die neuen Konzepte auf ein zweites Frequenzband überträgt.

Gemeinsame Nachwuchsförderung

Das IMMS ergänzt nicht nur die Lehre an der TU durch umfangreiche, im Kapitel Nachwuchsförderung beschriebene Praxisangebote. Auch einige Lehrveranstaltungen werden durch IMMS-Mitarbeiter abgedeckt. Darüber hinaus engagiert sich Prof. Sommer sowohl als Lehrender der AG Lehre, als auch gemeinsam mit dem IMMS in der von der TU Ilmenau etablierten Basic Engineering School. Diese soll die Ingenieurausbildung mit Hilfe innovativer Lehr- und Lernformen und einer besseren Verzahnung der Lehre sowie der Integration praktischer Tätigkeiten attraktiver gestalten. Das Konzept sieht vor allem eine bessere Verankerung des Ingenieurgrundwissens bei den Studierenden, eine Verbesserung der Studienmotivation und dadurch die Reduzierung der Abbrecher-Quote vor. Das IMMS fördert die Motivation und Ausbildung der Studierenden durch seine praktischen und industrienahe Angebote, wie z.B. durch Besichtigungstouren und zahlreiche Themen für Praktika.

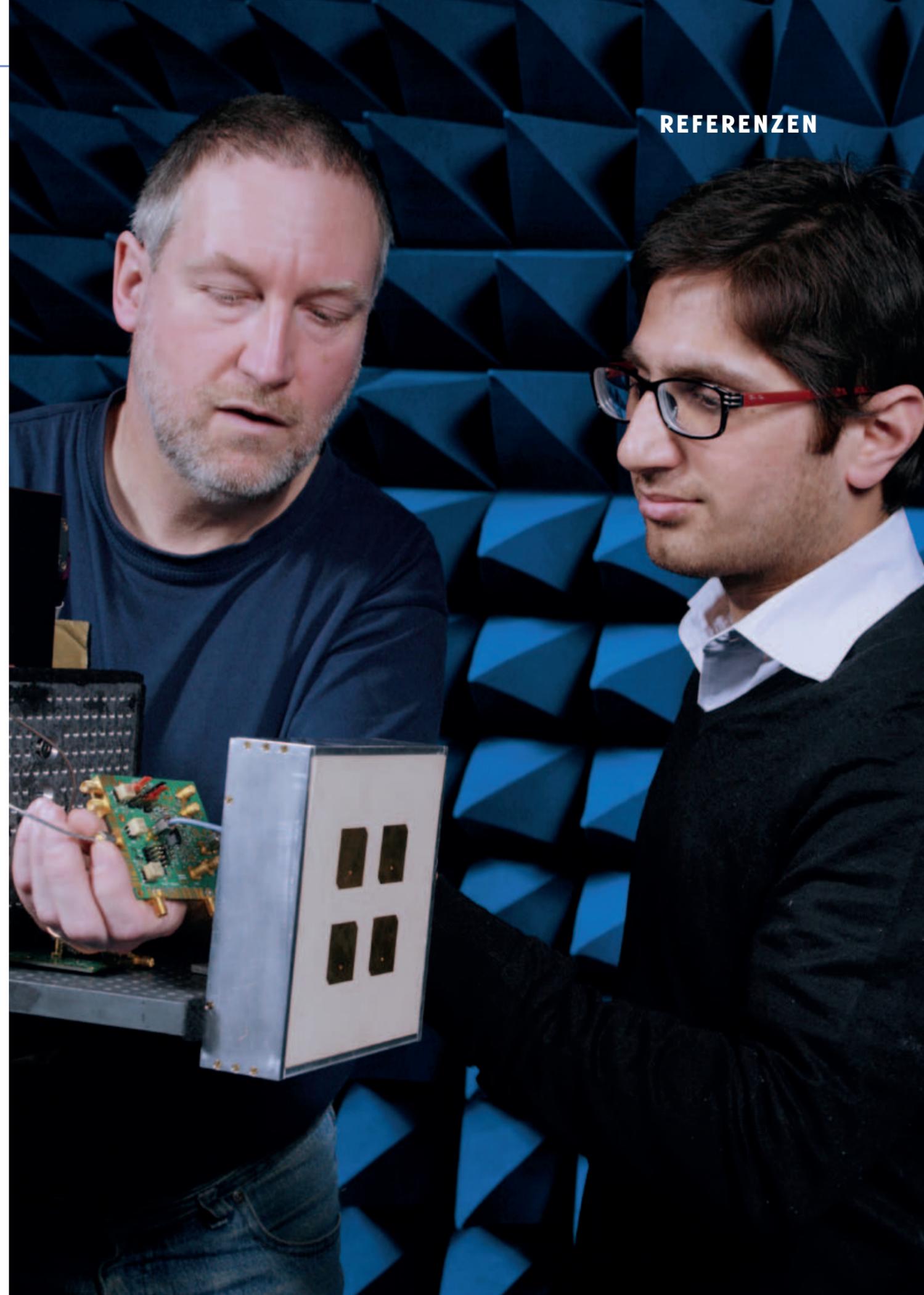
Auch dem kleinen Nachwuchs hat sich das IMMS gemeinsam mit der TU Ilmenau in Veranstaltungen zur Kinderuni gewidmet. In einer Vorlesung mit dem Titel „Der Musik auf der Spur – Vom Grammophon zum MP3-Player“ demonstrierte das Institut über 650 Schülern im Alter von 8–12 Jahren praktisch und in vielen interaktiven Spielen, wie man Musik und Signale analog und digital speichern und verarbeiten kann.

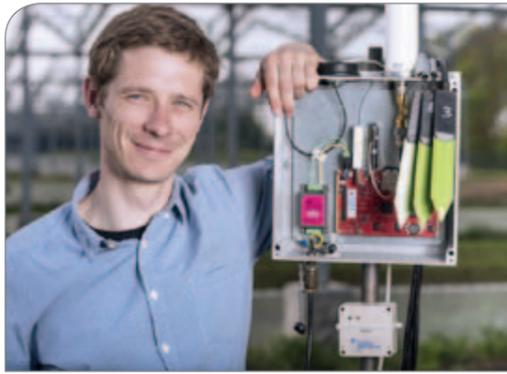
Bild rechts:

Projektmitarbeiter des Projekts „KOMPASSION“ des Fachgebiets Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik der TU Ilmenau und des IMMS bei der Vorbereitung von Messungen der Störunterdrückung im Antennenmesslabor des Instituts für Informationstechnik der TU Ilmenau. Foto: IMMS.

Gefördert von der Raumfahrt-Agentur des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. mit den Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 50 NA 1009.

REFERENZEN





Dr.-Ing. Jan Bumberger, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ. Foto: André Künzelmann, UFZ.

Dr.-Ing. Jan Bumberger, UFZ

„Für das Forschungsprojekt Global Change Environmental Facility (GCEF) brauchten wir eine Lösung, mit der wir möglichst preiswert und mit geringem Installationsaufwand Daten über Boden- und Luftfeuchte, Temperatur und Licht großflächig erheben können. Die langjährigen Erfahrungen des IMMS für drahtlose Sensornetzwerke haben uns dabei entscheidend vorangebracht. Das Institut hat für uns eine Sensorplattform weiterentwickelt, mit der wir nicht nur die genannten Daten wie gefordert an die Europäische Umweltdatenbank TERENO übertragen können. Wir haben gemeinsam Lösungen erarbeitet, die speziell für Langzeitmessungen im Freien wichtig sind. Die Technik muss zum einen witterungsbeständig sein. Die Sensorknoten müssen zum anderen auch richtig platziert, langfristig und flexibel mit Strom versorgt sowie energieeffizient betrieben werden. Das IMMS hat die Entwicklungen problemlos an unsere Vorgaben angepasst, die sich durch den Erkenntnisgewinn im Projekt verändert hatten, und darüber hinaus auch zusätzliche Anforderungen eingearbeitet. So erlaubt beispielsweise eines der im Projekt entwickelten Aufsteckmodule die Standortbestimmung via GPS und ein in die Sensoren integrierter Speicher sichert die Daten bei einem Kommunikationsausfall. Wir sind mit dem Ergebnis sehr zufrieden und können die Plattform flexibel für verschiedene Einsatzzwecke nutzen. Darüber hinaus war es eine engagierte und tolle Zusammenarbeit, die wir bei nächster Gelegenheit sehr gern fortsetzen möchten.“

www.ufz.de



Dr. Joachim Metter, Geschäftsführer der SMI GmbH. Foto: Flughafen Erfurt-Weimar.

Dr. Joachim Metter, SMI

„Im Projekt EFSUES haben wir mit dem IMMS ein neues Überwachungssystem entwickelt, mit dem Flugzeuge, Fahrzeuge und Personen auf dem Vorfeld kleinerer und mittlerer Flughäfen so sicher detektiert werden, dass bei jeder Wetterlage und unabhängig von den Sichtverhältnissen ein effizienter Flugbetrieb stattfinden kann. Das IMMS war nicht nur dank seines Know-hows in drahtloser Kommunikation bei 868 MHz und der Expertise für anwendungsnahe Entwicklungen der ideale Partner für uns. Es verfügte darüber hinaus über eine Kommunikationsplattform, die den Ausgangspunkt für neue Lösungen bildete. Das Institut hat mit den Sensorknoten für das drahtlose Netzwerk und mit dem Empfängermodul für unsere neu entwickelten Antennenarrays sehr gute Prototypen erarbeitet, die nah am marktfähigen Produkt liegen. So sind die neuen Sensorknoten klein und leicht und erreichen eine lange Laufzeit. Sie erfüllen damit vollends alle Anforderungen, die für Kunden eine große Rolle spielen.“

Die IMMS-Kollegen haben außerordentlich gut mit uns zusammengearbeitet, auf unsere Anfragen stets schnell reagiert und mit ihren Ideen die Lösungen immer weiter verbessert. Wir blicken daher zuversichtlich auf die nach dem Projektabschluss 2014 auf Flughäfen in der Ukraine und Polen geplanten Tests. Wir erwarten, dass diese positiv verlaufen und sich die Produktentwicklung direkt anschließen wird. Darüber hinaus streben wir eine weitere Zusammenarbeit mit dem IMMS auf dem Gebiet der Sensornetze im Bereich Ambient Assisted Living an.“

www.smi-online.de



Dr.-Ing. Ralf Stephan, Akademischer Oberrat im Fachgebiet Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik des Instituts für Informationstechnik der Technischen Universität Ilmenau. Foto: TU Ilmenau.

Dr.-Ing. Ralf Stephan, TU Ilmenau

„Das Fachgebiet Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik der Technischen Universität Ilmenau hat mit dem IMMS gemeinsam an einem Projekt zur Entwicklung kompakter Satellitennavigations-Empfänger hoher Zuverlässigkeit gearbeitet. In dem Vorhaben mit dem Akronym KOMPASSION ging es um neue Konzepte und Technologien auf der Basis von adaptiv steuerbaren Gruppenantennen mit eng benachbarten Einzelelementen. Die entwickelte Empfangseinheit ist nur ein Viertel so groß wie eine konventionelle Gruppenantenne bei gleicher Anzahl an Strahlern und demonstriert die Anwendbarkeit der gemeinsam entwickelten Antennen- und Empfängerkonzepte. Das IMMS hat das mehrkanalige rauscharme analoge Frontend entwickelt, das das Bindeglied zwischen der Gruppenantenne und der digitalen Auswertelektronik bildet.“

Besonders wichtig war dabei die Expertise des IMMS im HF-Schaltungsentwurf, der praktischen Realisierung der Anwendungsschaltung und der messtechnischen Kontrolle der HF-Eigenschaften. Unsere Partner zeigten eine zielgerichtete Arbeitsweise mit einem weitreichenden Verständnis für das Gesamtsystem über den von ihnen entwickelten ASIC hinaus. Besonders hilfreich erwiesen sich auch die effektiven persönlichen Verständigungen zwischen den auf beiden Seiten beteiligten Wissenschaftlern. Im Ergebnis konnte nicht nur die Demonstration des Satellitennavigations-Empfängersystems erfolgreich abgeschlossen werden, sondern in Fortsetzung der Arbeiten hat die TU Ilmenau dem IMMS den Zuschlag zur Durchführung eines Unterauftrags im Projekt KOSERNA erteilt, der sich einer weiteren Verbesserung und industrietauglichen Entwicklung des Konzepts widmet.“

www.tu-ilmenau.de/it-hmt/



Dr.-Ing. Gotthard Weißflog, Projektmanager des OLED-Netzwerks OLAB in Jena. Foto: Lutz Prager.

Dr.-Ing. Gotthard Weißflog, OLAB

„Organische Leuchtdioden (OLED) sind der Schlüssel zu Beleuchtungslösungen, die von starren Leuchtkörpern unabhängig sind, sich in Farbe und Helligkeit steuern lassen, robust sind und mit sehr geringer Einbautiefe und Wärmeentwicklung punkten. Noch sind OLEDs aufgrund ihrer hohen Kosten und des Optimierungspotenzials bezüglich ihrer Energieeffizienz ein Nischenmarkt. Das IMMS engagiert sich im OLAB-Netzwerk, das aus insgesamt 13 Thüringer Unternehmen besteht und dessen Ziel es ist, die OLED-Technologie für Massenmärkte zu erschließen. Die Partner arbeiten an neuen OLED-Lichtanwendungen für die Industrie mit den Schwerpunkten Bildverarbeitung, Mikroskopie, Medizintechnik und Beleuchtung. OLEDs eröffnen auch in der Automobilbranche sowie in der Architektur und im Möbeldesign neue Perspektiven. Das IMMS war maßgeblich daran beteiligt, das Projekt EROLEDT ins Leben zu rufen, in dem das Institut mit drei weiteren Netzwerkpartnern an einer energie- und kosteneffizienten OLED-Systemlösung arbeitet. Das IMMS bringt die OLED-Technologie nicht zuletzt durch seine exzellente Expertise und langjährige Erfahrung in der Entwicklung von ASICs für optische Anwendungen einen entscheidenden Schritt voran: Mit dem vom Institut entwickelten mikroelektronischen Treiber werden die OLEDs effizient mit elektrischer Energie ohne ein externes Netzteil versorgt. Zudem erlaubt der Treiber die Steuerung der Helligkeit und die Vernetzung mit einer zentralen Steuerungseinheit. Das IMMS ist für uns ein wichtiger Partner, um unserem Ziel näher zu kommen, in Thüringen eine erste Produktionsstätte für diesen zukünftigen Wachstumsmarkt zu errichten.“

www.oled-olab.net



Dr. Olaf Brodersen, Leiter des Geschäftsfeldes AMOS, CIS Forschungsinstitut für Mikrosensorik und Photovoltaik GmbH, Foto: CIS.

Dr. Olaf Brodersen, CiS

„Im BMBF-Verbundprojekt ‚KD Optimi‘ hat das IMMS im Unterauftrag drei anwendungsspezifische integrierte Schaltkreise entwickelt, mit denen wir unser Angebot am CiS Forschungsinstitut im Bereich optoelektronische Mikrosysteme für industrielle Anwendungen perspektivisch ausbauen werden. Mit dem auf die Fotodioden vom CiS angepassten integrierten Transimpedanzverstärker hat das IMMS einen IC realisiert, der Ströme einzelner Fotodioden oder kleiner Arrays auswertet und damit für verschiedene Applikationen einsetzbar ist. Der vom IMMS entwickelte LED-Treiber-ASIC erweitert unsere Möglichkeiten, Helligkeiten von LEDs zu stabilisieren und zu regeln. Mit dem dritten Schaltkreis des IMMS, einem Auswerte-IC für einen Silicon Photomultiplier, sollen sehr geringe Lichtsignale bis hinunter zu Einzelphotonen ausgewertet werden.“

Die Zusammenarbeit mit dem IMMS verlief reibungslos. Die Kollegen haben sehr zielorientiert und effizient gearbeitet. So haben sie die Designs für die beiden ersten ICs binnen kürzester Zeit erstellt und in die Fertigung übergeben. Die produzierten ASICs funktionierten im ersten Entwurf spezifikationsgemäß, was durch die Messungen am IMMS bestätigt wurde. Beide ASICs werden bereits bei uns eingesetzt, arbeiten zuverlässig und wurden von uns auf Messen wie der COMPAMED 2013 dem Fachpublikum präsentiert. Den jüngsten Optimi-IC hat das IMMS Ende 2013 in Angriff genommen und Anfang 2014 in die Fertigung eingesteuert. Wir erwarten aufgrund des positiven bisherigen Projektverlaufs, dass auch dieser ASIC an die Erfolge der beiden anderen Entwicklungen anknüpfen wird und streben künftig eine verstärkte Kooperation mit dem IMMS an.“

www.cismst.org



Dr.-Ing. Jens Kobow, Vorstandsassistent, Supracon AG Jena. Foto: Gebhardt.

Dr.-Ing. Jens Kobow, Supracon

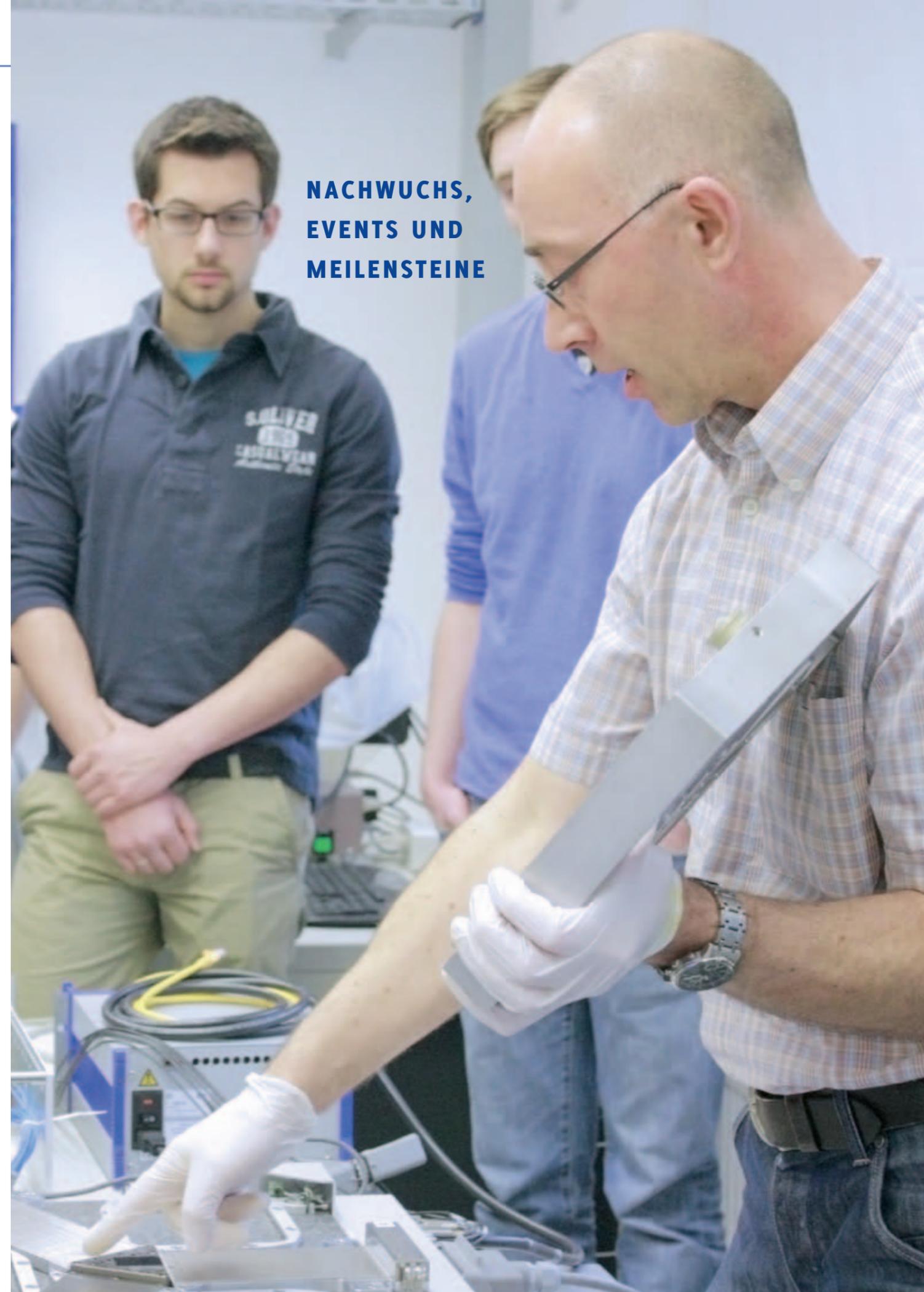
„Wir bedanken uns sehr für die erfolgreiche Bearbeitung des Projektes TESCA. Im Projekt wurde gemeinsam mit dem IMMS und dem Institut KVB eine Abtastvorrichtung für eine Terahertz-Kamera der nächsten Generation entwickelt. Mit dieser Technik ist es möglich, Sicherheitskontrollen auch über größere Distanzen (5 – 40 m) durchzuführen. Die an Flughäfen eingesetzten bekannten Lösungen funktionieren ausschließlich auf kürzeren Distanzen.“

Das IMMS hat für das untersuchte System einen Antrieb realisiert, der ein spezielles Tauchspulnantriebsdesign, einen Energiespeicher mittels magnetisch abstoßender Federn und eine adaptive Regelung beinhaltet. Die langjährigen Erfahrungen des IMMS bei der Entwicklung hocheffizienter Antriebssysteme haben unsere Kompetenzen zur Lösung dieser sehr anspruchsvollen Aufgabenstellung sehr gut ergänzt. Zurzeit erfolgen die Abstimmungen zur Implementierung unserer Entwicklung in ein Kundensystem, das eine Adaption der Antriebslösung erforderlich macht. Wir streben eine Fortsetzung der bisher sehr effizienten und zielgerichteten Zusammenarbeit mit dem IMMS an.“

www.supracon.com

Bild rechts:
Dr. Christoph Schäffel, Leiter des Themenbereichs Mechatronik, führt Besucher der Basic Engineering School durch die Mechatronik-Labors des IMMS. Foto: IMMS.

WIR VERBINDEN DIE IT MIT DER REALEN WELT.



NACHWUCHS,
EVENTS UND
MEILENSTEINE



Nachwuchsförderung am IMMS

Wissenschaftlicher Nachwuchs hat am IMMS höchste Priorität. Auch 2013 haben sich die Forscher des Instituts hier stark engagiert und vor allem Studenten gefördert. Doch auch Schüler erhielten bei Events und Praktika Einblicke in die Arbeiten des IMMS oder wurden von den Wissenschaftlern bei Facharbeiten betreut. Am Institut wird vor allem den Studenten der TU Ilmenau, aber auch anderer Hochschulen aus dem In- und Ausland, theoretisch fundiertes Methodenwissen vermittelt und dieses frühzeitig mit der praktischen Umsetzung in Anwendungen verknüpft. Angehende Ingenieure der Fachrichtungen Biomedizintechnik, Elektrotechnik, Fahrzeugtechnik, Ingenieur-Informatik, Maschinenbau, Mathematik, Mechatronik und Physik können am IMMS attraktive wissenschaftliche Aufgabenstellungen bearbeiten und werden individuell betreut. Zudem bietet das Institut Trainingskurse und Firmenbesichtigungen an. 2013 arbeiteten insgesamt 17 Studenten als Praktikanten oder studentische Hilfskräfte am IMMS oder sie schrieben hier ihre Bachelor-, Master- oder Diplomarbeiten. Für den Nachwuchs bietet die Vernetzung des Instituts mit der Industrie die Chance auf praxisnahe Themen und ergebnisorientiertes Arbeiten.

Das IMMS verfügt über eine international wettbewerbsfähige Infrastruktur nach industriellem Standard in den Bereichen Entwurfsunterstützung und Labortechnik für elektronische und mechatronische Systeme, die für die Forschungsarbeiten und die dafür im Vorfeld notwendigen Qualifizierungsmaß-

nahmen bereit gestellt werden. Der hohe Anteil von Studenten der TU Ilmenau zeigt, dass die intensiven Bemühungen im Bereich der Grundlagenausbildung Früchte tragen. So finden hochmotivierte Studenten mit hervorragenden Leistungen den Weg ans IMMS, was uns besonders freut. Um den wissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern und zu fordern, findet unter anderem ein regelmäßiges „Scientific Seminar“ statt. Dort stellen Studenten und Promovenden ihre Arbeiten und Probleme vor, die dann intensiv diskutiert werden. Der dadurch initiierte, rege inhaltliche Austausch geht über die fachlichen Grenzen der eigenen Arbeitsgebiete hinaus und fördert so neue Verknüpfungen und Ideen.

Dipl.-Math. Yulia Lapteva, M.Sc. – erste russische Doppel-Masterabsolventin

Mit ihrer am IMMS betreuten Abschlussarbeit „Modellierung und Simulation von Ausbreitungsbedingungen drahtloser Sensornetzwerke im Fahrzeugumfeld“ hat Frau Lapteva 2013 als erste Absolventin den Doppel-Master der „SPITSE“-Partnerschaft erlangt. In dieser strategischen Allianz kooperieren die ingenieurwissenschaftlichen Fakultäten der TU Ilmenau mit der Staatlichen Elektrotechnischen Universität Sankt Petersburg und dem Moskauer Energetischen Institut (TU). Während ihres Studiums an der TU Ilmenau

war Frau Lapteva knapp ein Jahr am IMMS tätig, davon vier Monate als Praktikantin und sechs Monate als Masterstudentin. Am IMMS war sie in Aktivitäten eingebunden, die die zentralen Forschungsthemen Industrie 4.0 und Elektromobilität am Institut voranbringen.

Frau Lapteva beschäftigte sich während ihres Praktikums am IMMS eingehend damit, wie drahtlose Sensornetzwerke im technischen und zumeist metallischen Umfeld arbeiten. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse flossen unter anderem in laufende Forschungsprojekte ein, um Sensorknoten in Abhängigkeit des Ausbreitungsverhaltens in diesen Netzwerken im metallischen Bereichen optimal und damit ressourcenschonend für die Erfassung von Umgebungsparametern zu platzieren. Die Ergebnisse bildeten darüber hinaus die Grundlage für ihre Masterarbeit, in der Frau Lapteva ein Simulationsmodell in Castalia erarbeitet hat, einem Simulator für drahtlose Sensornetzwerke, der auf der OMNeT++ Plattform aufsetzt. Das Modell beschreibt das Ausbreitungsverhalten von Funkwellen in besagtem Umfeld und wurde von ihr mit Messungen validiert. Damit steht dem Institut ein Modell für zukünftige Anwendungen von Sensornetzwerken im Automobil für neue Forschungs- und Entwicklungsprojekte zur Verfügung. Die Masterarbeit wurde nicht nur durch die wissenschaftlichen Mitarbeiter des Instituts intensiv betreut. Frau Lapteva konnte hierfür auf die gesamte Infrastruktur des IMMS und insbesondere auf die hier entwickelten Sensorknoten sowie auf Programme für Messaufgaben und einen eigenen Arbeitsplatz zurückgreifen.

Derzeit ist Frau Lapteva als Doktorandin am Helmholtz Zentrum für Umweltforschung UFZ in Leipzig tätig. Das UFZ arbeitet mit Lösungen für drahtlose Sensornetzwerke, die das IMMS entwickelt hat. Frau Lapteva nutzt diese für ihr Engagement im Bereich Umwelt-Monitoring und knüpft an ihre am IMMS erworbenen Kenntnisse an.

Raiko Pevgonen, M.Sc.

Nach einem Jahr Erasmus-Studium an der Hochschule Furtwangen im Studiengang „Microsystems Engineering“ und dem Bachelor an der Technischen Universität Tallinn, Estland, suchte ich nach einem praxisnahen Thema für meine Masterarbeit, mit dem ich mich auf Neuland begeben und das mich wieder nach Deutschland führen konnte. Bei meiner Recherche stieß ich schnell auf das IMMS. Hier wurde ich Mitglied des Forscherteams, das zu dieser Zeit im Projekt „KOMPASSION“ an neuen mikroelektronischen Lösungen arbeitete, um adaptive Gruppenantennen



Raiko Pevgonen, M.Sc., wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Mikroelektronik, Team Sensor- und Aktorelektronik. Foto: IMMS.

zur störungsfreien Satellitennavigation kompakter zu gestalten und so für mobile Anwendungen nutzbar zu machen. Ich bin stolz, dass meine Masterarbeit „Design of a Mixer for a GPS/Galileo Receiver“ ein Teil dieses 2013 sehr erfolgreich abgeschlossenen Projekts ist. In dem in „KOMPASSION“ entwickelten ASIC steckt eine Mischerschaltung zur Frequenzumsetzung des Satellitensignals, die ich entworfen habe. Und das, obwohl ich zu Beginn der Arbeit kaum Erfahrung mit Hochfrequenzschaltungstechnik hatte. Mir wurde genug Raum gegeben, um in dieses Thema einzutauchen – was natürlich viel Arbeit bedeutete – und eigene Ideen zu entwickeln. Gleichzeitig wurde ich an die Hand genommen, um all die Anforderungen des Schaltungsentwurfs und die Termine zu erfüllen. Das war eine spannende Zeit, in der ich viel gelernt habe.

Nachdem ich bei der Alpha Microelectronics GmbH in Frankfurt/Oder als Design-Ingenieur Erfahrungen gesammelt hatte, ergriff ich 2013 die Chance, ans IMMS zurückzukehren. Das Institut suchte Verstärkung für den Entwurf von integrierter Sensorik und Aktorik – für genau das Thema, das ich in Furtwangen vertieft hatte. Mittlerweile arbeite ich im Projekt „MEMS2015“, in dem eine kohärente Entwurfsmethodik für mikroelektronische und mikromechanische Komponenten entwickelt wird. Momentan bin ich in diesem Projekt am Entwurf eines Cantilever-Frontends beteiligt und arbeite an der Auswerteelektronik für einen Beschleunigungssensor.

Wie von Anfang an macht mir die Suche nach neuen Lösungen und die Möglichkeit, den Stand der Technik weiterdrehen zu können, unheimlich viel Spaß. Darüber hinaus kommen mir die flexiblen Arbeitszeiten entgegen, mit denen ich in kreativen Phasen produktiv sein kann. Nicht zuletzt fühle ich mich – wie schon als Student – gut aufgehoben in einem Umfeld, in dem man unabhängig von Hierarchien gemeinsam Ideen voranbringt und in dem schon einige Kollegen zu Freunden geworden sind.



Georg Gläser, M.Sc., wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Mikroelektronik, Team Hochtemperaturrelektronik. Foto: IMMS.

Georg Gläser, M. Sc.

Die ersten Kontakte zum IMMS hatte ich in Vorlesungen von Prof. Sommer, Prof. Töpfer und Dr. Hennig, die ich in meinem Studium der Elektro- und Informationstechnik an der TU Ilmenau besuchte. Direkte Verbindungen zum Institut ergaben sich in meinen Hauptseminaren sowohl im Bachelor- als auch im Master-Studium. In denen hatte ich mich mit einem Multiplexer-Konzept für den Terahertz-Scanner beschäftigt, für den das IMMS das Antriebssystem entwickelt hat. Die Ausrichtung des Instituts auf Systeme von analogen Komponenten im ASIC bis hin zur Software kommt mir sehr entgegen, da ich Signalverarbeitung und Theoretische Elektrotechnik studiert habe und dabei der Schaltungstechnik treu geblieben bin. Bei meinem sehr gut betreuten Fachpraktikum am IMMS im Bereich Mikroelektronik war ich in ein Forschungsprojekt eingebunden, in dem ein Hochtemperatur-Messsystem mit digitaler Signalverarbeitung erstellt wurde. So war es für mich der richtige Schritt, hier auch beide Abschlussarbeiten zu verfolgen. Das Thema meiner Masterarbeit baut direkt auf dem meiner Bachelorarbeit auf. Hier konnte ich eine eigene Idee zur Verbesserung von SystemC-Simulationen auf Transaktionsebene in allen Schritten selbst erarbeiten und umsetzen. Die Ergebnisse meiner Arbeiten sind direkt in das Forschungsprojekt GreenSense eingeflossen und werden nun im Projekt EROLEDT weiterverwendet.

Dank der regelmäßigen Diskussion mit meinen späteren Kollegen und der Präsentation meiner Zwischenergebnisse im „Scientific Seminar“ konnte ich die theoretischen Grundlagen vor konkreten Anwendungen reflektieren und praktische Erfahrungen sammeln. Darüber hinaus hat mir Prof. Sommer die Ge-

legenheit gegeben, mich in sein Lehrangebot an der TU Ilmenau einzubringen und Seminare in der Schaltungstechnik zu halten. Das hat mir nicht nur viel Spaß gemacht, ich habe neben einigen persönlichen Erfahrungen auch fachlich viel gelernt, was ich am IMMS gut nutzen kann.

Nach meinem Master konnte ich am Institut bleiben und arbeite derzeit im Bereich Mikroelektronik vor allem an Systemarchitekturen und deren Evaluation. Hier kann ich genau das weiterentwickeln, wofür ich in meinen bisherigen Arbeiten die Basis geschaffen habe. Darüber hinaus kann ich mit den Erkenntnissen meine Promotion im Bereich „Analog Coverage“ voranbringen.

Für mich war das IMMS nicht nur inhaltlich, sondern auch persönlich eine gute Wahl. Die Atmosphäre im Team, das internationale Umfeld und die konstruktiven Gespräche bringen mich fachlich und persönlich weiter. Am IMMS bin ich gern tätig und würde mich wieder für diese Arbeitsstelle entscheiden.

Vom IMMS unterstützte Nachwuchsevents

Girls' Day

Drei Forscherinnen des IMMS begleiteten zum Girls' Day am 25. April 2013 die Entdeckungsreise von Schülerinnen aus den fünften Klassen Ilmenauer Gymnasien durch das Institut. Anhand von Spielen und eigenen Versuchen konnten die Mädchen erfahren, welche Arten von Schwingungen es gibt, wie sie sichtbar gemacht werden können, wo sie uns nutzen und wo sie Schaden anrichten. Außerdem bekamen sie bei Laborführungen einen Einblick, wie die Arbeiten der Forscher unseren Alltag gestalten.

Ringvorlesung an der Technischen Universität Ilmenau

An der Technischen Universität Ilmenau werden auf Initiative der Vereine sci e. V. und ProWiWi e. V. in jedem Sommersemester im Rahmen der Ringvorlesung Vorträge zu Themen aus dem wirtschaftlichen Alltag von Vertretern Thüringer Unternehmen gehalten. Die Veranstaltungen bieten den Studenten Einblicke in die Praxis und ermöglichen den Wissensaustausch von Professoren, Studenten und Referenten. Auch in diesem Jahr unterstützte das IMMS diese Initiative. Der Vortrag von Dr. Wolfgang Sinn, Leiter für Strategisches Marketing, „Industrie 4.0 und die Zukunft der Produktionsarbeit“ gab Einblicke in die Zusammenarbeit zwischen Forschung und industrieller Produktion und lieferte Impulse für Diskussionen zu innovativen Unternehmen im Spannungsfeld zwi-



MINT-Schülerinnen der Nano-Orientierungsakademie beim Besuch im IMMS während der Sommeruniversität der Technischen Universität Ilmenau. Foto: IMMS.



Schülerinnen testen Sensoren zum Girls' Day am IMMS. Foto: IMMS.

schen Komplexität und Kernkompetenz sowie zu den Herausforderungen und Chancen der wirtschaftspolitischen Zukunftsfelder.

Sommeruniversität am IMMS: MINT-Schülerinnen auf Perspektivensuche

Am 22.07.2013 bot das IMMS 16 Teilnehmerinnen der Sommeruniversität der Technischen Universität Ilmenau Einblicke in die Forschungs- und Arbeitswelt des Instituts. Die aus ganz Deutschland angereisten Mädchen im Alter von 16 bis 19 Jahren spezialisieren sich in der Abiturstufe auf Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT). Sie informierten sich im Rahmen der Nano-Orientierungsakademie über die Anknüpfungspunkte des IMMS zur Nanotechnologie und die beruflichen Perspektiven auf diesem Gebiet. In Vorträgen und Laborführungen gingen die Gymnasiastinnen auf Entdeckungsreise in die Halbleiterwelt mit dem Trend zu immer größeren Wafer-Durchmessern und immer kleineren Bauelementen. Es wurde anschaulich demonstriert, wie mit einem Laser-Doppler-Vibrometer kleinste Strukturen hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften berührungsfrei untersucht werden können. Der Besuch im Antriebslabor machte deutlich, welche Herausforderungen anzugehen sind, um Antriebe für nanometeregenau arbeitende Maschinen zu entwickeln. In der Diskussionsrunde nutzten die Besucherinnen die Gelegenheit, mit den Gastgebern ins Gespräch zu kommen und mehr über den Arbeitsalltag als Forscherin zu erfahren.

Basic Engineering School und Kinderuni

Prof. Sommer engagiert sich sowohl als Lehrender der AG Lehre, als auch gemeinsam mit dem IMMS in der von der TU Ilmenau etablierten Basic Engineering

School. Diese soll die Ingenieurausbildung mit Hilfe innovativer Lehr- und Lernformen attraktiver gestalten. Das Konzept sieht vor allem eine bessere Verankerung des Ingenieurgrundwissens bei den Studierenden, eine Verbesserung der Studienmotivation und die Reduzierung der Abbrecher-Quote vor. Das IMMS fördert die Motivation und Ausbildung der Studierenden durch seine praktischen und industrienahen Angebote, beispielsweise durch Besichtigungstouren wie im April 2013 und zahlreiche Themen für Praktika.

Auch dem kleinen Nachwuchs hat sich das IMMS gemeinsam mit der TU Ilmenau in Veranstaltungen zur Kinderuni im November 2013 gewidmet. In einer Vorlesung mit dem Titel „Der Musik auf der Spur – Vom Grammophon zum MP3-Player“ wurde vor über 650 Schülern im Alter von 8–12 Jahren praktisch und in vielen interaktiven Spielen demonstriert, wie man Musik und Signale analog und digital speichern und verarbeiten kann.

Betreuung von Seminarfacharbeiten

Forscher des IMMS haben Seminarfacharbeiten von Schülerinnen und Schülern der Abiturstufe des mathematischen und naturwissenschaftlichen Spezialschulteils des Albert-Schweizer-Gymnasiums Erfurt betreut. Die Gymnasiasten haben sich in ihren Arbeiten mit der Funkwellenausbreitung im 630m-Band beschäftigt und hierfür eine Sende- und Empfangsstation entwickelt. Mit ihrem Projekt verfolgten sie das Ziel, nachrichtentechnische Anwendungsfelder zu erschließen und die Besonderheiten und Vorteile gewinnbringend zu nutzen, die der untere Mittelwellenbereich für die Funkkommunikation bietet. Die Ergebnisse haben die Schülerinnen und Schüler bei „Jugend forscht“ eingereicht.

Events und Meilensteine

Projekt-Highlights

BMBF-Projekt „MEMS 2015“ mit positivem Review fortgeführt

Ein Schlüssel zu Innovationen im Geräte- und Anlagenbau und damit Teil des Zukunftsprojekts „Industrie 4.0“ sind mikroelektromechanische Systeme (MEMS). Um moderne und leistungsfähige Sensor- und Aktorsysteme für die Industrie entwickeln zu können, müssen neue Methoden für den Entwurf von MEMS erarbeitet werden. Hierfür bringt sich das IMMS in das industrielle BMBF-Forschungsprojekt „MEMS2015“ ein. Das Projekt vereint die Halbleiterproduzenten, EDA-Anbieter und Anwender Bosch, X-FAB, Cadence, TETRA, Carl Zeiss und Coventor sowie die Hochschulen Technische Universität München und die Universität Bremen sowie unser Forschungsinstitut. Die Akteure sollen nicht nur Prozesse und Prozessdaten für MEMS bereitstellen. Die wesentlichen Herausforderungen liegen darin, die Entwurfsabläufe für mikroelektronische Schaltungen und mikromechanische Strukturen zu einem durchgängigen Entwurfssystem für Sensor- und Aktorsysteme zusammenzuführen. Zudem sollen MEMS für die Entwicklung des Endprodukts modelliert und dabei Lücken zwischen der Halbleiter- und Sensorfertigung und der Endanwendung geschlossen werden, die bisher einer breiten MEMS-Anwendung im professionellen und sicherheitsrelevanten Umfeld im Wege standen.

Hierfür soll das bewährte Baukastenprinzip aus der mikroelektronischen Entwurfsmethodik auf mechanische Systeme und MEMS übertragen werden, um zu einem systematischen heterogenen Gesamtsystementwurf zu kommen. So soll die Entwurfszeit um 30% verkürzt und das MEMS-Marktpotenzial um bis zu 50% gesteigert werden. Die neue Gesamtmethodik soll mit Beispielen aus der Anwendung validiert werden. Um die zu entwickelnde Vorgehensweise für das neue Entwurfssystem hinsichtlich verschiedenster Anwendungen zu hinterfragen, wurden zahlreiche Workshops u.a. mit Bosch, Zeiss und Cadence geführt. Für TETRA hat das IMMS bereits einen Mikrochip für ein MEMS-Bauteil entwickelt und dazu erste Erkenntnisse für die neue Methodik einfließen lassen. Der ASIC dient dazu, Kraftmessungen eines Cantilevers im Nanonewton-Bereich auszulesen und zu verstärken. Die IMMS-Entwicklung ist für die Anforderungen des Cantilevers optimiert und beinhaltet eine Offset-Kompensation sowie eine automatische Fehlerdetektion.



Abschlusskolloquium des SFB 622. Foto: Bettina Wegner.

Die Zwischenergebnisse aus MEMS 2015 wurden in einem Review des BMBF im Oktober 2013 sehr positiv bewertet.

IMMS und TU Ilmenau schließen SFB 622 erfolgreich ab

Das Institut engagierte sich gemeinsam mit der Technischen Universität Ilmenau im Sonderforschungsbereich „SFB 622 – Nanopositionier- und Nanomessmaschinen“, der nach elf Jahren intensiver Forschungsarbeit im Juni 2013 erfolgreich abgeschlossen wurde. Die Projektinhalte und -ergebnisse wurden unter anderem während der Hannover Messe auf dem Gemeinschaftsstand „Forschung für die Zukunft“ präsentiert und in Vorträgen im Rahmen des Abschlusskolloquiums dargelegt. Im SFB 622 wurden die wissenschaftlich-technischen Grundlagen zum Entwurf und zur Realisierung hochpräziser Nanopositionier- und Nanomessmaschinen erarbeitet. Das IMMS war an der Entwicklung neuartiger Präzisionsantriebe beteiligt und hat Lösungen vorgebracht, mit denen trotz der großen Dimensionen und Massen, die große Verfahrbereiche mit sich bringen, Positioniertische nicht nur nanometergenau bewegt, sondern Positionen entsprechend stabil gehalten werden können.

Das im Juli 2013 ins Leben gerufene „Kompetenzzentrum Nanopositionier- und Nanomessmaschinen“ soll die Verwertung und Weiterentwicklung der im SFB 622 entstandenen Forschungsergebnisse fördern. Die Zusammenarbeit der SFB-Akteure einschließlich des IMMS soll im Bereich der Grundlagen- und angewandten Forschung fortgeführt werden sowie die Umsetzung der Forschungsergebnisse in neue Applikationen, Produkte und Dienstleistungen beinhalten. Das Kompetenzzentrum bietet den Partnern die Möglichkeit, zukünftige gemeinsame Aktivitäten zu koordinieren, die nationale und internationale Sichtbarkeit der Ilmenauer Forschungskompetenz auf dem Gebiet der Nanopositionier- und Nanomessmaschinen zu festigen und auszubauen sowie die Verbindung zwischen Wissenschaft und wirtschaftlicher Anwendung zu intensivieren.

Bereits zur Statuspräsentation am 10.09.2013 hat das sMobility-Konsortium nach knapp einem Jahr Projektlaufzeit ein Funktionsmuster vorgestellt. Foto: IMMS.



BMBF-Forschungsprojekt „HoTSens“ gestartet

Am 1. Juni 2013 begannen die KS-Sensortechnik GmbH Schorndorf, die Siegert Thinfilm Technology GmbH Hermsdorf und das IMMS die Arbeiten für das BMBF-Forschungsprojekt „HoTSens“. Dessen Ziel ist es, eine integrierte Systemlösung für Sensorik und Elektronik zu entwickeln, die bei hohen Temperaturen bis zu 300 °C, unter hohem Druck und bei außergewöhnlichen klimatischen Bedingungen in Industrieanlagen und Maschinen zuverlässig arbeiten kann. Für derartige Extrembedingungen erforschen und entwickeln die Projektpartner die Grundlagen, auf deren Basis die notwendigen statisch und dynamisch messenden Sensoren mit einer normierten elektronischen Standardschnittstelle später gefertigt werden können. Das Institut bringt in das Projekt zehn Jahre Erfahrung in der Entwicklung von Hochtemperaturelektronik ein. Bislang sind spezielle, für den Hochtemperatureinsatz ausgelegte integrierte Schaltungen für eine maximale Betriebstemperatur von bis zu 225 °C erhältlich. Das für 300 °C auszulegende neue Sensorsystemmodul mit integrierter Hochtemperaturelektronik soll die primären Signale eines kombinierten Druck- und Temperatursensors verstärken, kalibrieren und standardisieren, um mögliche Fehler des Drucksignals ausgleichen zu können. Damit wird erstmals eine Systemlösung geschaffen, die austauschbare und standardisierte Sensormodule für den Einsatz unter den genannten extremen Bedingungen bereitstellt. Hauptanwendungen liegen in der präzisen Prozesskontrolle beim Kunststoff-Spritzguss, der Effizienzoptimierung von Verbrennungsprozessen in Großdieselmotoren und perspektivisch auch im Bereich der Luftfahrttechnik sowie in der Offshore- und Tiefbohrtechnik.

Projekt „Smart Mobility in Thüringen“ erhält in Rekordzeit grünes Licht für die Fortsetzung

Nur drei Tage nach der Statuspräsentation am 10. September 2013 wurden die zehn vorwiegend in Thüringen angesiedelten Unternehmen und Forschungs- einrichtungen des „sMobility“-Konsortiums schrift-

lich darüber informiert, dass sie die Fördermittelgeber überzeugen konnten, sich in dem Projekt weiter zu engagieren. Seit Oktober 2012 arbeiten die Partner an einer IT-Lösung, die die Elektromobilität unterstützen wird. Sie stellten Förderern und Presse bereits ein Funktionsmuster vor, welches erste Entwicklungsergebnisse veranschaulicht. Dazu gehört zum Beispiel das gesteuerte Laden von Elektromobilen in Abhängigkeit von Angebot und Last im Netz und den Wünschen der Nutzer. Das präsentierte Navigationssystem wird künftig helfen, die Reichweite eines Elektrofahrzeuges abhängig von der aktuellen Verkehrslage zu optimieren. Als einer der zehn Projektpartner erforscht und entwickelt das IMMS ein neuartiges Sensorsystem, das Fahrzeugdaten, wie Anzahl, Fahrzeugklasse oder Geschwindigkeit, in der „taktile Straße“ erfasst. Zudem etabliert das Institut eine sichere Übertragung der Daten an das Verkehrslage- und -managementsystem, stellt die Verkehrsinformationen an der Schnittstelle zum Verkehrslagesystem bereit und entwickelt ein drahtloses Umweltsensorsystem.

Projekterfolge in KOMPASSION stellen die Weichen für das Anschlussprojekt KOSERNA

Am 30.09.2013 wurde das dreijährige Forschungsprojekt „KOMPASSION“ erfolgreich abgeschlossen. In diesem Projekt haben das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), die TU Ilmenau, die RWTH Aachen und das IMMS neue Konzepte, Technologien und Algorithmen erforscht, um adaptive Gruppenantennen zur störungsfreien Satellitennavigation kompakter zu gestalten. Solche Antennen erfüllen sehr hohe Anforderungen bezüglich der Störsicherheit, die beispielsweise für sicherheitskritische Szenarien mit autonomen Fluggeräten gelten. Bislang sind diese Antennen jedoch für einen Einsatz in kleinen Robotern und Mobilgeräten zu groß und zu schwer. Die entwickelte Empfangseinheit ist nur ein Viertel so groß ist wie eine konventionelle Gruppenantenne mit gleicher Anzahl an Einzelelementen und demonstriert die Anwendbarkeit der entwickelten Verfahren. Das IMMS



Inbetriebnahme und Test der im Projekt KOMPASSION entwickelten Empfangseinheit auf dem Campus der TU Ilmenau. Foto: B. Bieske, IMMS.

hat die Empfänger-Frontend-Schaltung entwickelt, die das Bindeglied zwischen der Gruppenantenne und der digitalen Auswerteelektronik bildet. Das Institut hat sich zudem in das in KOMPASSION bearbeitete und auf der European Microwave Conference 2013 in Nürnberg präsentierte Thema „Impact of Polarization Impurity on Compact Antenna Array Receiver for Satellite Navigation Systems“ eingebracht, das für den Best Paper Award nominiert wurde. Die Ergebnisse aus KOMPASSION bilden die Basis für weitere gemeinsame Aktivitäten. Seit Februar 2014 ist das IMMS im Unterauftrag der TU Ilmenau Teil des dreijährigen Anschlussprojekts „Kompakte Satellitenempfangssysteme für robuste Navigationsanwendungen – KOSERNA“. Im Projekt sollen eine noch robustere und genauere Empfangseinheit entwickelt und ein industrieller Prototyp aufgebaut werden. Das IMMS erweitert dafür die Frontend-Schaltungen und überträgt die neuen Konzepte auf ein zweites Frequenzband.

Workshops und Netzwerkevents

Das IMMS möchte mit seinen Workshop-Angeboten Know-how weitergeben und somit einen Wissenstransfer zu Netzwerkpartnern und der Industrie schaffen. Zudem bieten die Veranstaltungen eine Plattform, um neue Kontakte zu knüpfen und direkt mit dem Institut ins Gespräch zu kommen. Anhand von Anwendungsbeispielen aus der Praxis können die Teilnehmer die Kompetenzen des IMMS kennenlernen. Bestehende Verbindungen mit Industrie- und Netzwerkpartnern werden durch die Angebote weiter gestärkt.



Teilnehmer bei dem im Juni 2013 mit OSADL ausgerichteten Embedded-Linux-Workshop am IMMS. Foto: IMMS.

AMA: Weiterbildungsseminar des IMMS

Unter der wissenschaftlichen Leitung von Prof. Dr.-Ing. habil. Hannes Töpfer fand im Februar 2013 das Weiterbildungsseminar „Eingebettete Systeme – Auf dem Weg zum Smarten Sensor“ in Stuttgart statt. Es gehört seit Jahren zum festen Weiterbildungsangebot des AMA Fachverbandes für Sensorik e.V. In der Veranstaltung wird grundlegend auf den Aufbau, Inbetriebnahme und Programmierung eingebetteter Systeme und auf Open-Source-Ansätze eingegangen und gezeigt, wie diese Systeme mit bestehender PC-Infrastruktur programmiert und getestet werden können. Die Umsetzung in realistische Szenarien und die Einbindung in Sensornetzwerke über gebräuchliche Busse bzw. Nahbereichsfunktechnik werden anhand unterschiedlicher Praxisbeispiele erläutert. Die Teilnehmer erhielten viele neue Kenntnisse und Anregungen und bewerteten die Veranstaltung mit hervorragenden Noten.

OSADL: Workshop Embedded Linux am IMMS

Gemeinsam mit der Open Source Automation Development Lab e.G. (OSADL) richtete das IMMS einen Workshop der Reihe „Embedded Linux“ aus. Mit dem Thema „Chancen, praktische Lösungsansätze und rechtliche Aspekte von Open Source“, das am 12. und 13. Juni 2013 mit internationaler Beteiligung bearbeitet wurde, erfuhr die Reihe eine erfolgreiche Fortsetzung. In fachlich fundierten Vorträgen über Chancen, praktische Lösungsansätze und rechtliche Aspekte von Open Source und in einem praktischen Teil erhielten die Teilnehmer Einblicke in die Programmierung mit echtzeitfähigem Embedded Linux auf einem eingebetteten System. Dies bildete die Basis,



Dr. Christoph Schäffel, Leiter des Themenbereichs Mechatronik, führt VDI-Mitglieder durch das Antriebslabor des IMMS. Foto: IMMS.

um selbst erste echtzeitfähige Applikationen für ein industrielles eingebettetes System zu erstellen. Besonders die praktischen Beispiele und Übungen, aber auch die Vorträge wurden von den Teilnehmern außerordentlich positiv aufgenommen. Aufgrund der großen Nachfrage hat das IMMS einen zusätzlichen Embedded-Linux-Workshop zu praktischen Lösungsansätzen am 10. und 11. Dezember 2013 durchgeführt.

VDI-Vortragsveranstaltung im IMMS

Auf Einladung des Arbeitskreises Entwicklung, Konstruktion, Vertrieb und der VDI-Bezirksgruppe Ilmenau/Meinungen stellten am 7. Mai 2013 Geschäftsführer und Wissenschaftler in den Räumen des IMMS den VDI-Mitgliedern neueste Forschungsergebnisse zu magnetischen Präzisionsantrieben und zu energieeffizienten intelligenten Sensornetzwerken vor.

Das präsentierte, vollständig magnetisch angetriebene und geführte Direktantriebssystem kann eine Last präzise in sechs Koordinaten bewegen. Gemeinsam mit der Firma Physik Instrumente (PI) aus Karlsruhe und der Technischen Universität Ilmenau entwickelte das IMMS die Basistechnologie, die das Prinzip der Magnetschwebbahn nutzt und mit der die Industrie künftig in molekularem Maßstab im Vakuum fertigen kann. Das ist beispielsweise für die Herstellung von Mikrochips, für Prozesse der Materialforschung und Oberflächenmesstechnik sowie im Life-Science- und Biotech-Sektor notwendig.

Den Gästen wurden außerdem Energy-Harvesting-Lösungen zum energieautarken Betrieb drahtloser Sensoren an schwer zugänglichen Stellen und für kostensensitive Applikationen präsentiert, die einen Schwerpunkt des Projekts „GreenSense“ bilden. Im



Das IMMS präsentierte auf der „embedded world“ mit der BAsE-Box das energieeffizienteste Board der Messe. Foto: IMMS.

Fokus stehen Anwendungsszenarien, bei denen niederfrequente Bewegungen im einstelligen Hz-Bereich auftreten, wie beispielsweise Brücken- und Windradüberwachungen, aber auch Systeme im Automotive-Bereich. Die Forscher des IMMS entwickeln mechanisch-elektrische Wandlerysteme mit mikro- bis mesoskopischen Abmessungen, welche effektiv die niederfrequenten kinetischen Anregungen in elektrische Ausgangsleistungen von einigen Mikrowatt wandeln.

Messen und Ausstellungen

BAsE-Box energieeffizientestes Board der „embedded world“

Das IMMS präsentierte auf der „embedded world 2013“, der weltweit größten Fachmesse für eingebettete Systeme, die gemeinsam mit der Bischoff Elektronik GmbH entwickelte BAsE-Box für die Gebäudeautomation. Diese extrem energieeffizient arbeitende Hard- und Softwareplattform verbraucht unter Volllast inklusive Netzwerkschnittstelle nur 1,7 Watt und ist auch für echtzeitkritische Anwendungen im Mikrokundenbereich ausgelegt. Das eingebettete System ist universell einsetzbar und wird mit dem eigens vom IMMS optimierten Open-Source-Betriebssystem Linux betrieben. Das Institut hat zudem umfangreiche Software entwickelt, damit Entwickler das Potenzial der BAsE-Box voll ausschöpfen können. Sie ist sowohl zur Steuerung von KNX-Komponenten als auch im Smart-Metering-Bereich zur drahtlosen Abfrage von WM-Bus-, ZigBee- oder EnOcean-Endgeräten geeignet.

Die BASE-Box wurde aus der Motivation heraus entwickelt, individualisierbare, für jedes Lebensalter geeignete, energieverbrauchsarme und mit der Welt vernetzte Wohnungen zu ermöglichen. Sie ist der Kern eines Gesamtsystems für alle wohnungswirtschaftlichen Anwendungen und wurde im Netzwerk „Smart Home Services“ (SHS) in dem von der Thüringer Aufbaubank geförderten Projekt „SHS: Facility“ erarbeitet. Die an das Internet angebundene BASEBox stellt eine gemeinsame Kommunikationsinfrastruktur für alle beteiligten Sensoren, Aktoren und Verarbeitungseinheiten für Home-Automation-Lösungen, Schließsysteme, Brandmelder und Haustechniküberwachung bereit. Sie erfüllt damit Anforderungen, die in ihrer Summe bislang noch nicht von einem Gesamtsystem geleistet wurden.



Der vom IMMS entwickelte Antrieb für den Terahertz-Scanner wurde zu den Langen Nacht der Technik in Ilmenau und zur Langen Nacht der Wissenschaft in Erfurt präsentiert. Foto: IMMS.

IMMS auf der Hannover Messe und der Biotechnica vertreten

Das Institut präsentierte während der Hannover Messe auf dem Gemeinschaftsstand „Forschung für die Zukunft“ gemeinsam mit der Technischen Universität Ilmenau Projektinhalte und -ergebnisse, die im Sonderforschungsbereich „SFB 622 – Nanopositionier- und Nanomessmaschinen“, erarbeitet wurden. Das Konsortium „Smart Mobility in Thüringen“, in das sich das IMMS mit neun weiteren Akteuren einbringt, stellte bereits sechs Monate nach dem Projektstart erste Ergebnisse auf dem Gemeinschaftsstand der Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung auf derselben Messe vor. Auf der Messe Biotechnica knüpfte das Institut auf dem Gemeinschaftsstand „Forschung für die Zukunft“ auf Basis erster Projektergebnisse aus „3DNeuroN“ Kontakte zu Biotech-Unternehmen und initiierte die Mitgliedschaft im Netzwerk Diagnostik Berlin-Brandenburg, in dem das IMMS seit Januar 2014 aktiv ist.

Lange Nächte in Ilmenau, Erfurt und Jena

Das IMMS lieferte in drei Langen Nächten der Technik und Wissenschaften am 25. Mai, am 8. und 29. November 2013 zahlreichen großen und kleinen interessierten Gästen vielfältige Einblicke in Forschungs- und Entwicklungsthemen des Instituts. In Ilmenau und Erfurt öffnete das IMMS seine Labore, in Jena war das Institut mit einem Stand beim Netzwerkpartner OLAB vertreten.

In allen drei Thüringer Städten erregte der präsentierte Elektrogrill Aufmerksamkeit, auf dem anstelle von Bratwürsten ein im Betrieb befindliches Hochtempe-

ratursystem inklusive Sensoren und Auswerteelektronik gebraten wurde. Dieses Exponat zeigte, dass die am IMMS entwickelten Schaltungen auch an solchen Stellen Temperaturen auswerten, wo es richtig heiß wird und gängige, temperaturempfindliche Mikrochips nicht eingesetzt werden können, z.B. in unmittelbarer Nähe von Kraftwerksturbinen oder Automotoren.

In den ausgebuchten Führungen durch die IMMS-Testlabore bekamen die Besucher einen Eindruck, welche Herausforderungen durch die rasante Entwicklung der Mikroelektronik mit dem Trend zu immer größeren Wafer-Durchmessern und immer kleineren Bauelementen zu meistern sind. In Erfurt nahm das Institut erstmals zu einer Wissenschaftsnacht Gäste mit in sein Reinraum-Testlabor. Dort charakterisiert und testet das IMMS integrierte Schaltungen und untersucht die Zuverlässigkeit elektronischer Baugruppen und Systeme nach internationalen Qualitätsstandards.

Sowohl in Ilmenau als auch in Erfurt waren Demonstratoren aus Forschungs- und Entwicklungsprojekten des Instituts zu sehen, die auf unkonventionelle Weise Lösungen für Systeme aus der Mikroelektronik und der Mechatronik veranschaulichten. So zeigte ein Exponat das Prinzip von Sicherheitskontrollen im Vorbeigehen, die mit Terahertz-Scannern realisiert werden, für die das IMMS den Antrieb entwickelt hat. Beim Funksensorentest konnten Gäste Temperatur, CO₂-Gehalt und Lichteinfall beeinflussen und beobachten, wie die Sensoren darauf reagieren. Mit diesem Exponat und beim Geschicklichkeitsspiel Light-Shooter konnten die Besucher Module ausprobieren, die das IMMS für den



Das IMMS-Team zum Unternehmenslauf in Erfurt. Foto: Katrin Pleß.

Einsatz in energieeffizienten drahtlosen Sensornetzwerken erforscht und optimiert. Den Gästen wurde außerdem demonstriert, wie es gelingt, durch haargenaues Messen und Positionieren die Zähne in ein Zahnrad für eine Schweizer Uhr bekommen. Der präsentierte Direktantrieb ist ein vollständig magnetisch geführtes Positioniersystem, um eine Last präzise in sechs Koordinaten zu bewegen.

In Ilmenau konnten die Besucher des IMMS außerdem einen Wettlauf mit Sensortechnik absolvieren, erfahren, wie das intelligente Laden von E-Mobilen realisiert werden kann, mit Elektromobilen fahren, Musik in Super-Stereo lauschen und die Vorlesung „Klänge und Schwingungen – wir sehen und verändern Musik und Stimmen“ besuchen.

Das Fazit: Drei gelungene „Lange Nächte“ mit hohem Besucherandrang an allen Stationen, vielen neugierigen Gästen und interessanten Gesprächen.

Institutsleben

Unternehmenslauf

Das IMMS war zum vierten Mal in Folge am Thüringer Unternehmenslauf beteiligt und schickte acht Mitarbeiter ins Rennen. Die IMMS-Läufer flitzten am Abend des 5. Juni 2013 mit den 5168 Teilnehmern aus 364 Firmen im fünf Kilometer langen Zickzackkurs bei bestem Laufwetter durch die Erfurter Altstadt. Nicht nur Kollegen standen an der Strecke und hielten die Daumen, auch der kaufmännische Geschäftsführer feuerte die beiden IMMS-Mannschaften beim Start auf dem Erfurter Domplatz kräftig an. Mit guter Laune



Die IMMS-Mannschaft beim BVMW-Rodel-Cup in Ilmenau. Foto: Stefan Leistriz.

und bestens motiviert lieferten die Läufer des IMMS eine tolle Leistung ab. So verbesserte sich das Männerteam deutlich in den Zeiten und bei der Platzierung und kam auf Rang 150. Außerdem gelang es in diesem Jahr erstmals, ein gemischtes Team zu bilden und in der Einzelwertung unter die besten zehn Prozent zu kommen. Insgesamt war der Abend ein toller Erfolg und bot jede Menge Spaß.

Rodelcup

Beim fünften BVMW-Rodel-Cup am 30. August 2013 auf der Rennschlittenbahn „Wolfram Fiedler“ haben die IMMS-Damen ihren Titel vom letzten Jahr verteidigt und belegten die beiden vorderen Plätze in der Einzelwertung der Frauen. Für das IMMS führen zu dem vom Bundesverband mittelständischer Wirtschaft (BVMW) organisierten Rennen zwei gemischte Mannschaften knapp am Siegerpodest vorbei auf die Plätze vier und fünf. Die Junioren-Weltmeisterin Dajana Eitberger betreute als Rodelpatin jeden einzelnen der insgesamt über 40 Rodler aus sieben Thüringer Unternehmen, die am Freizeitstart der Trainingsstrecke ihre Schussfahrten antraten. Bei bestem Sommerodelwetter kamen der Spaß und die Gespräche zwischen Rodelprofi und Greenhorn, Kollege und Partner sowie Wettkämpfer und Zuschauer nicht zu kurz. Das Fazit für das IMMS: Ein erfolgreicher und unterhaltsamer Abend!

Messen

embedded world 2013 Messe für Hersteller und Entwickler von Hard- und Software, Tools und Dienstleistungen im embedded Bereich, Nürnberg, Februar 2013

Hannover Messe weltweit bedeutendste Industriemesse, März 2013

Biotechnica Europäische Leitmesse für Biotechnologie, Life Sciences und Labortechnik, Hannover, Oktober 2013

Konferenzen und Workshops mit IMMS-Beiträgen

VDI/VDE-GMM FA „MNI“ Tagung des VDI/VDE-GMM Fachausschusses 4.7 Mikro-Nano-Integration, Ilmenau, Februar 2013

TuZ: 25. GI/GMM/ITG Workshop Testmethoden und Zuverlässigkeit von Schaltungen und Systemen, Dresden, Februar 2013

Analog: 13. ITG/GMM-Fachtagung Entwicklung von Analogschaltungen mit CAE-Methoden, Aachen, März 2013

EuCAP 6th European Conference on Antennas and Propagation, Gothenburg, Sweden, April 2013

FVEE-/AMA-Sensorik-Workshop Sensorik für erneuerbare Energie und Energieeffizienz, Berlin, März 2013

DASS Dresdener Arbeitstagung Schaltungs- und Systementwurf, Dresden, April 2013

AquaConSoil 12th International UFZ-Deltares Conference on Groundwater-Soil Systems and Water Resource Management, Barcelona, Spain, April 2013

SiSax-CPS Arbeitskreis Cyber-physikalische Systeme des Silicon Saxony, Dresden, Mai 2013

edaWorkshop Design Technology Conference, Dresden, Mai 2013

CDNLive! EMEA Cadence Designer Network Conference, München, Mai 2013

ATE-Technologietag Trends, Herausforderungen und Lösungen im Bereich automatisierte Testsysteme, Radolfzell, Mai 2013

Silicon Saxony Day Fachforum „Smart City“, 8. Silicon Saxony Day, Dresden, Juni 2013

elmug4future Technologiekonferenz des Thüringer Clusters für „Elektronische Mess- und Gerätetechnik“, Suhl, Juli 2013

9. VDI/VDE-GMM/ETG Fachtagung Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik 2013, Nürnberg, September 2013

MST-Kongress Mikrosystemtechnik-Kongress, Aachen, Oktober 2013

IEEE ETFA 18th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Cagliari, Italien, September 2013

Jahrestagung der TFG Jahrestagung der Thüringer Forschergruppen, Ilmenau, September 2013

SoftCOM 21th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks, Split-Primosten, Kroatien, September 2013

DASIP Conference on Design & Architectures for Signal & Image Processing, Cagliari, Italien, Oktober 2013

MunEDA-Workshop MunEDA User Group Meeting, München, Oktober 2013

MEMUNITY Workshop, Dresden, Oktober 2013

EuMC 43rd European Microwave Conference, Nürnberg, Oktober 2013

IEEE IECON 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Wien, Österreich, November 2013

PowerMems 13th International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications, London, Großbritannien, Dezember 2013

MITARBEITER PRÄSENTIEREN IHRE ARBEITEN

Zu den Langen Nächten der Technik bzw. Wissenschaften in Ilmenau, Erfurt und Jena präsentierten die Forscher des IMMS einem breiten Publikum die Ergebnisse ihrer Arbeiten anhand von anschaulichen Demonstratoren. Foto: IMMS.



3DNeuron Bidirektionales 3D-Interface zum Gehirn

Motivation

Bei oberflächlichen Blessuren an Armen oder Beinen kann der Körper zerstörte Abschnitte von Nervenverbindungen des peripheren Nervensystems regenerieren. Verletzungen an Kopf und Rückenmark oder Krankheiten wie Multiple Sklerose und Parkinson schädigen dagegen das zentrale Nervensystem und führen zu permanenten Beeinträchtigungen wie Lähmungen und Blindheit. Forscher rund um die Welt sind auf der Suche nach der Antwort auf die Frage, ob die Selbstheilungskräfte des peripheren Nervensystems auch für das zentrale Nervensystem existieren und arbeiten an Lösungen, wie man solche Kräfte aktivieren und steuern kann. Einen Ansatz verfolgt das von der EU unter dem Kennzeichen 296590 geförderte Projekt „3DNeuron“. Unter der Leitung der Technischen Universität Tampere, Finnland, erforschen die Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, das Fraunhofer IDMT und die Technische Universität Ilmenau in Zusammenarbeit mit dem IMMS die dreidimensionale Kommunikation von Nervenzellen, um daraus Erkenntnisse für neue Therapien zu gewinnen. Das Projekt „3DNeuron“ soll Impulse für die Forschung und Entwicklung in der Neurologie und Neuroprothetik geben und Unternehmen adressieren, die im Bereich des neuronalen Funktionsersatzes und der Therapie an Lösungen für Innenohr- und Netzhaut-Implantate sowie für die Tiefenstimulation der Hirnrinde arbeiten.

Der vom IMMS entwickelte mikroelektronische Chip ist Teil eines Systems, mit dem neuronale Aktivitäten dreidimensional detektiert und stimuliert werden sollen. Das Bild zeigt die Probecard für den Testaufbau zur Prüfung der 3DNeuron-Chips auf Waferebene. Foto: IMMS.

Gemeinsam mit dem Institut für Biomedizinische Technik und Informatik der Technischen Universität Ilmenau entwickeln die Forscher des IMMS ein neues dreidimensionales verlustleistungs- und rauscharmes 3D-Multi-Sensor-Aktor-Array-System. Mit einer solchen Lösung soll es künftig möglich sein, die Heilung von durch Krankheit oder Verletzung geschädigtem Zellgewebe des zentralen Nervensystems gezielt zu steuern. Bei dem Array handelt es sich um eine we-

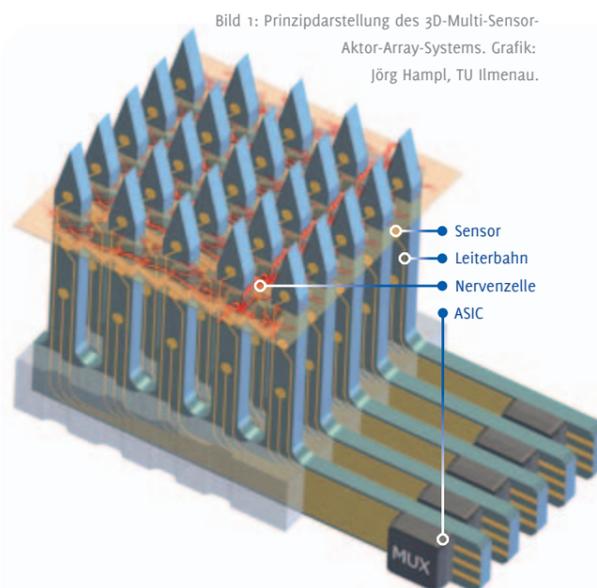


Bild 1: Prinzipdarstellung des 3D-Multi-Sensor-Aktor-Array-Systems. Grafik: Jörg Hampl, TU Ilmenau.

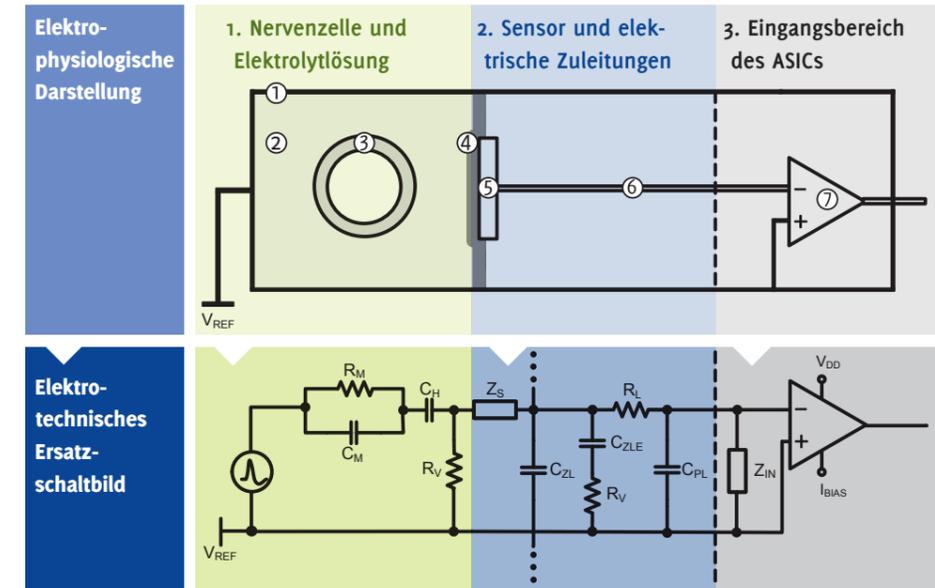


Bild 2:
Modellierung der biologischen Umgebung und der Anbindung des ASICs:

- 1 Gehäuse
- 2 Elektrolyt
- 3 Neuron
- 4 Passivierung
- 5 Elektrode
- 6 Leiterbahn
- 7 Eingangsverstärker

Grafik: IMMS.

nige mm³ kleine Stapelung von zehn kammförmigen Einheiten, die jeweils 80 Sensoren beinhalten (Bild 1). Von den insgesamt 800 Sensoren arbeiten 100 auch als Aktoren. Jeder Finger der Matrix verfügt über acht Sensoren, deren Sensorleiterbahnen zu den Kontaktpads des zugehörigen mikroelektronischen Chips führen. Auf jedem der zehn Käme sitzt eine Auswertungs- und Steuerungselektronik, die das IMMS entwickelt hat. Die TU Ilmenau erarbeitet die kapazitive Sensorschnittstelle zwischen Biologie und Elektronik sowie den Aufbau der Kammstrukturen.

Das Array soll die zunächst im Labor kultivierten Nervenzell-Netzwerke in ihrer räumlichen Anordnung und ihrem elektrophysiologischen Verhalten in drei Dimensionen sowohl detektieren als auch stimulieren. In dieser neuen räumlichen Matrixstruktur der Sensoren können Nervenzellen in einer nahezu natürlichen Umgebung wachsen. Bisherige Arrays ermöglichen nur flächiges Wachstum. Erstmals wird die Verbindung zwischen einem solchen dreidimensionalen Sensoraufbau und biologischem Gewebe kapazitiv statt galvanisch hergestellt. So werden ungewollte elektrische Ströme verhindert und die Biokompatibilität des Arrays gesichert.

Lösung des IMMS

Die 800 Sensoren sind auf engstem Raum angeordnet, um künftige Implantate möglichst kompakt halten zu können. Als Auswertungs- und Steuerungselektronik darf pro Kamm daher ein maximal 3,8 mm breiter mikroelektronischer Chip eingesetzt werden, auf dem die Leiterbahnen von 80 Sensoren Platz finden müssen. Zudem muss dieser Chip nahezu ohne Wärmeentwicklung arbeiten, um Nervenzellen nicht

irreversibel zu schädigen. Für diese bislang in einer solchen Kombination noch nie gestellten Anforderungen hat das IMMS im Unterauftrag der TU Ilmenau die Entwicklung und die Herstellung von 80-kanaligen Sensor- und Aktor-Mikrochips übernommen, die die Sensorsignale auswerten und die Aktoren ansteuern sollen. Mit zehn dieser anwendungsspezifischen integrierten Schaltungen (ASICs) wird es möglich, die Signale aller 800 Sensoren gleichzeitig und kontinuierlich auszulesen und rauscharm zu verstärken sowie das Gewebe bei äußerst geringer Leistungsaufnahme und folglich minimaler Wärmeentwicklung anzuregen.

Modellierung

Die Basis für die ASIC-Entwicklung und den entscheidenden Anteil der Arbeiten bildeten Überlegungen, wie die biologische Umgebung in rein elektrischen Signalverläufen abgebildet und wie die Auswertelektronik an dieses Umfeld angebunden werden kann, um die Bio-Signale zu verarbeiten. Ergebnis dieser Vorarbeit ist ein Modell oder ein sogenanntes Eingangnetzwerk, das in Bild 2 dargestellt ist. Es unterteilt sich in die drei Bereiche Nervenzelle und Elektrolytlösung, Sensor und elektrische Zuleitungen sowie Eingangsbereich des ASICs.

Der erste Bereich beschreibt die Umgebung des Sensors aus Neuronen und Elektrolytlösung mittels elektrischer Bauelemente und die Interaktionen des ASICs mit dieser Umgebung mittels elektrischer Signale. Mithilfe dieses ersten Netzwerkabschnitts können verschiedene Nervenzellgrößen und Abstände zwischen Neuron und Sensor sowie unterschiedliche Umgebungsmedien modelliert werden. Diese Parameter wirken sich auf die Stärke der elektrischen Signale aus und können anwendungsbezogen eingestellt

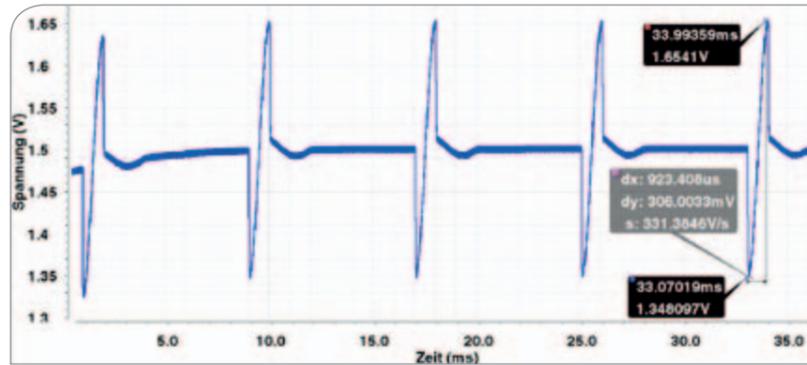


Bild 4:
Es zeigt das um den Faktor 1.000 verstärkte Aktionspotential am Chipausgang für eine Samplerate von 30 kHz. Es hebt sich mit ca. 300 mV deutlich vom Hintergrundrauschen ab. Grafik: IMMS.

werden. Die Ausmaße der Nervenzelle werden für die Modellierung in Membrankapazität C_M und Membranwiderstand R_M übersetzt. Der Abstand zwischen Nervenzelle und Sensor wird mit dem Widerstand R_V im Modell abgebildet.

Mit dem **zweiten Netzwerkschnitt** können unterschiedliche Sensor- und Leiterbahngrößen bzw. -materialien modelliert werden, die die Qualität der Signalaufnahme beeinflussen. In diesem Bereich wurde das Systemmodell entsprechend der realen Applikation so aufgebaut, dass keinesfalls Strom vom ASIC in die Nervenzellen fließen und diese schädigen kann. Zentrales Element dieser Modellierungslösung ist daher die Sensorimpedanz Z_S . Diese wird von der Passivierungskapazität und dem Elektrodenwiderstand beeinflusst. Die Passivierung isoliert den elektronischen Bereich und sichert damit die Trennung von der biophysikalischen Umgebung. Darüber hinaus wurden weitere Netzwerkkomponenten modelliert, wie z.B. die Kapazität C_{ZL} zwischen solchen Sensorleiterbahnen, die konstruktiv bedingt nicht abgeschirmt werden können.

Der **dritte Bereich** stellt die Anbindung des ASICs an die Umgebung mit der Eingangsimpedanz Z_{IN} und die erste Verstärkerstruktur auf dem Mikrochip dar.

ASIC-Entwurf

Um die 800 Sensoren parallel und kontinuierlich auslesen zu können, wurde im Schaltungsentwurf die Signalerfassungsstruktur in Aufbau und Anzahl entsprechend entwickelt. Die Hauptkriterien für das Design des ASICs waren eine geringe Wärmeabgabe durch geringe Leistungsaufnahme und eine rauscharme Verstärkung. Die Wahl der Verstärkung musste auf die Interaktionen im Nervenzellnetzwerk und zwischen kapazitiv gekoppelter Sensorik und Gewebe ausgerichtet werden, da diese die Signalform und -größe beeinflussen.

Um die genannten Kriterien zu erfüllen, wurde als Eingangsschaltungsblock ein bereits in der Literatur

bekannter, jedoch kommerziell nicht verfügbarer kapazitiv gekoppelter rausch- und energiearmer Verstärker LNA (Low Noise Amplifier) ausgewählt. Dieser speziell für Biosignale entwickelte LNA wurde vom IMMS eigens für das System angepasst und verstärkt das Eingangssignal um den Faktor 100. Diesem LNA folgt ein Verstärker mit variablem Verstärkungsfaktor VGA (Variable Gain Amplifier), der diese Verstärkung vom Faktor 100 auf wahlweise 1.000 oder 10.000 erhöht.

Damit ist es möglich, dass am ASIC eintreffende und nahe der Rauschgrenze befindliche Signale von beispielsweise 300 μV zu einem klar verwertbaren Signal verstärkt werden können (Bild 4).

Das IMMS hat den $3,8 \times 4,2 \text{ mm}^2$ kleinen ASIC so entworfen, dass er trotz hoher Leiterbahndichte ein Übersprechen oder Signalverluste minimiert. Zudem ist der ASIC in seinen elektrischen Eigenschaften robust gegenüber mechanischem Stress, der bei der Montage oder beim Einsetzen der künftigen Implantate entstehen kann. Die Größe der Pads wurde entsprechend ausgelegt und deren Anzahl erweitert, sodass Anwender Testsignale ihrer Wahl über den ASIC in das Nervenzellmedium einspeisen und die Stimulationsfunktion nutzen können.

Ausblick

Das IMMS hat damit einen ASIC entwickelt, der über die Anwendung in 3DNeuroN hinaus für EEG-, EKG- oder andere Biosignale anpassbar ist. Zudem sind weiterführende Arbeiten in der Überlegung, die z.B. die Chip-interne Digitalisierung der Analogsignale durch einen Analog-Digital-Umsetzer, die drahtlose Datenübertragung oder die Energieversorgung über Telemetrie beinhalten.

Kontakt:

Alexander Hofmann, M.Sc.
alexander.hofmann@imms.de



GreenSense

Grundlagentechnologien für ressourcen- und energieeffiziente intelligente Sensornetzwerke

Vorbereitung vibrometrischer Untersuchungen im Mechatronik-Labor des IMMS für die am Institut entwickelten Energy-Harvesting-Lösungen, die in den Sensornetzwerken eingesetzt werden sollen. Foto: IMMS.

Neben der Erschließung regenerativer Energiequellen gehört ein schonender Umgang mit heute verfügbaren Energien, Rohstoffen und Umweltressourcen zu den bedeutendsten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Alle Formen von Produktions-, Transport- oder Betriebsprozessen in der Industrie wie auch im privaten Bereich verbrauchen Rohstoffe und Energie, benötigen Investitionsgüter inklusive Wartung und verursachen unerwünschte Emissionen – häufig noch immer in erheblich höherem Maße als nötig. Um unsere Umwelt und heutige Lebensqualität zu erhalten, ist es erforderlich, solche Prozesse so zu optimieren und zu regeln, dass unnötiger Ressourcenverbrauch minimiert wird. Für eine optimale Regelung müssen alle Prozessparameter im laufenden Betrieb kontinuierlich erfasst werden. Je detaillierter dies erfolgt, umso genauer lässt sich der Prozess bedarfsgerecht steuern und damit sicherstellen, dass Rohstoffe und Energie nur im erforderlichen Maße eingesetzt und Emissionen reduziert werden. Hierzu bedarf es des umfangreichen Einsatzes räumlich fein verteilter, vernetzter Sensoren.

Je mehr Sensoren für den Aufbau eines solchen engmaschigen Sensornetzwerks verwendet werden, umso mehr fallen Kosten, Material und Raumbedarf für Hardware und Netzanbindung pro Sensoreinheit ins Gewicht. Entsprechendes gilt für die zum Betrieb einer Sensoreinheit benötigte elektrische Energie. Daher ist es erforderlich, energieeffiziente Sensoren zu sehr niedrigen Stückkosten herstellen zu können, zu miniaturisieren und materialsparende sowie leicht um zusätzliche Anschlusspunkte erweiterbare Übertragungsmedien zu verwenden.

Stückkosten, Raum- und Energiebedarf lassen sich erheblich reduzieren, indem für die Herstellung der Sensorelektronik wie auch für die Sensoren selbst Standardfertigungsprozesse der Halbleitertechnik verwendet werden. Für die Netzwerkinfrastruktur sind in vielen Fällen drahtlose Lösungen wie Funkkommunikation oder RFID-Verfahren vorteilhaft, da das Übertragungsmedium Luft weder Materialkosten noch Installationsaufwand verursacht.

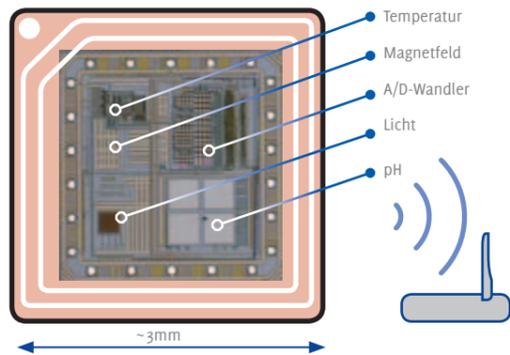


Abbildung 1: Forschungsziel: Multiparametrischer RFID-Mikrosensor. Grafik: IMMS.

Im Forschergruppenprojekt „GreenSense“ verfolgt das IMMS das Ziel, mikroelektronisch integrierte Sensor-komponenten für diverse physikalische Messgrößen inklusive der Auswerteelektronik weitestgehend auf der Basis kostengünstiger CMOS-Fertigungsprozesse zu entwickeln und in Bezug auf ihren Energiebedarf zu optimieren. Eine einzelne Messgröße, wie z.B. die Temperatur, soll lediglich mit einer elektrischen Leistung von deutlich weniger als 10 μ W erfasst und digitalisiert werden. Damit könnte ein entsprechender Sensor aus einer Mignon-Batterie zelle mit einer typischen Kapazität von 1000 mAh mehr als 10 Jahre lang kontinuierlich betrieben werden. Darauf aufbauend werden Lösungen für neue monolithisch integrierte Multisensoren erforscht, die mehrere Messgrößen in einem einzigen Bauelement gleichzeitig erfassen, digitalisieren und kontaktlos per RFID-Kommunikation übertragen können.

Abbildung 1 illustriert das Forschungsziel eines multiparametrischen, passiven RFID-Mikrosensors für zukünftige Anwendungen im Bereich der Automatisierung von Analyse- und Produktionsprozessen in der Bio- und Umwelttechnik. Der Sensor-Chip soll physikalische und chemische Parameter wie pH-Wert-Änderungen und Temperatur wässriger Lösungen in Reaktionsbehältern kontaminierungsfrei messen. Im Verbund mit weiteren Sensoren des gleichen Typs soll

er die Bildung einer dichten Matrix zur räumlich fein verteilten Erfassung und drahtlosen Übertragung der Messdaten ermöglichen.

Dazu hat das IMMS die Komponenten des RFID-Sensors erarbeitet und hierfür u.a. ein neues schaltungstechnisches Konzept für einen digitalen Temperatursensor entwickelt und in einer 0,35- μ m-CMOS-Technologie implementiert. Mit dem in Abbildung 2 dargestellten Temperatursensor-Testchip konnte die angestrebte absolute Messgenauigkeit von $\pm 0,25$ $^{\circ}$ C in dem für die Analyse wässriger Lösungen relevanten Temperaturbereich von 0 bis 100 $^{\circ}$ C erfolgreich nachgewiesen werden. Die elektrische Leistungsaufnahme der Sensorschaltung beträgt dabei weniger als 3 μ W.

Aufgrund seines niedrigen Energiebedarfs ist der Temperatursensor geeignet für den Einsatz in energieautarken Sensorknoten, die nicht über elektrische Versorgungsleitungen oder aus Batterien betrieben werden, sondern Energie unmittelbar aus ihrer Umgebung gewinnen können. Für solche selbstversorgenden Sensorsysteme werden in „GreenSense“ daher auch Technologien zur Fertigung miniaturisierter Energy-Harvesting-Module auf der Basis mikromechanischer Vibrationswandler und verlustleistungsarmer integrierter Spannungswandler-Schaltungen erforscht (Abbildung 3). Entwicklungsziel ist ein elektrostatischer Mikro-Harvester mit einer kontinuierlichen elektrischen Ausgangsleistung von mindestens 10 μ W bei sehr niederfrequenter, breitbandiger Anregung im einstelligen Hz-Bereich. Für diese Randbedingungen, die für mehrere relevante Anwendungsfälle wie z.B. der Reifendruckkontrolle in Fahrzeugen typisch sind, besteht international hoher Forschungsbedarf.

In Kooperation mit dem Institut für Mikro- und Nanotechnologien MacroNano[®] der Technischen Universität Ilmenau wurden Grundstrukturen und ein Fertigungsprozess für mikromechanische Kamm- und Federelemente entwickelt, auf deren Grundlage sich elektrostatische „Out-of-plane“-MEMS-Harvester-Module konstruieren und herstellen lassen (Abbildung 4).

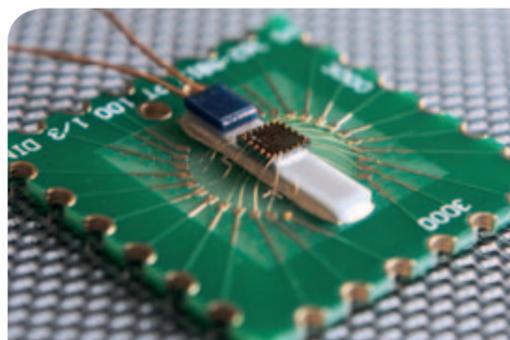


Abbildung 2: Low-Power-CMOS-Temperatursensor-Chip mit Pt1000-Referenzsensor (links) und Messergebnissen (unten). Foto: Jun Tan, IMMS. Grafik: IMMS.

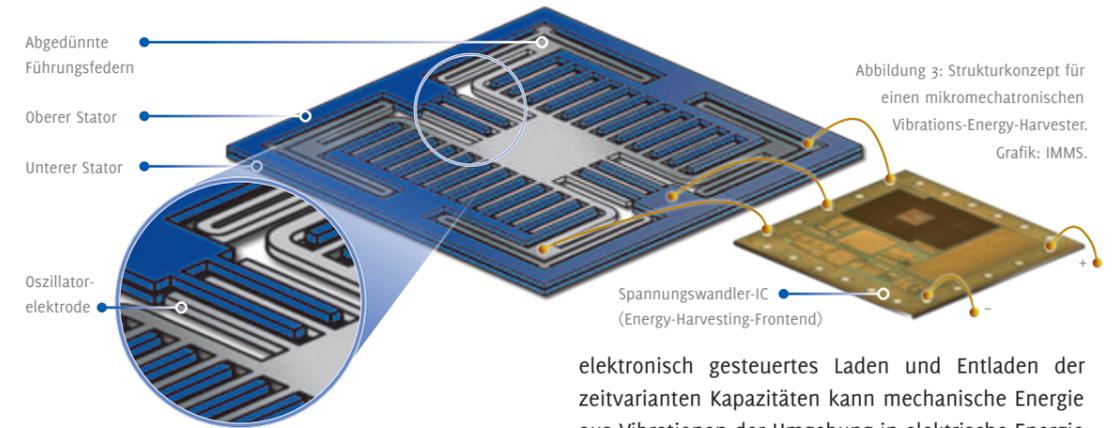
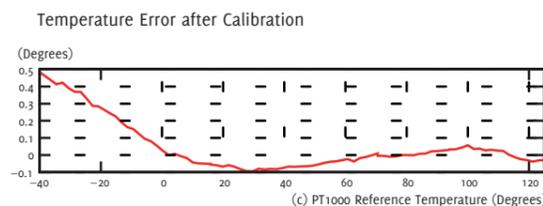


Abbildung 3: Strukturkonzept für einen mikromechanischen Vibrations-Energy-Harvester. Grafik: IMMS.

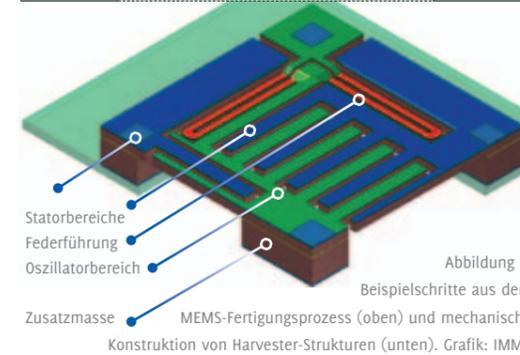
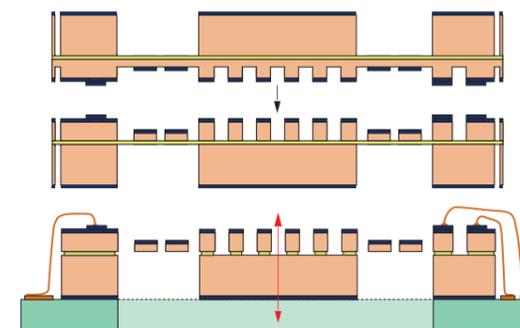


Abbildung 4: Beispielschritte aus dem MEMS-Fertigungsprozess (oben) und mechanische Konstruktion von Harvester-Strukturen (unten). Grafik: IMMS.

Hierbei handelt es sich um im Wafer-Verbund gefertigte mechanische Oszillatoren, deren Zentralmassen aus der Wafer-Ebene heraus schwingen und dabei eine periodische Änderung der elektrischen Kapazität zwischen den Oszillator- und Statorkämmen bewirken. Durch mit den Schwingungen synchronisiertes,

elektronisch gesteuertes Laden und Entladen der zeitvarianten Kapazitäten kann mechanische Energie aus Vibrationen der Umgebung in elektrische Energie überführt werden.

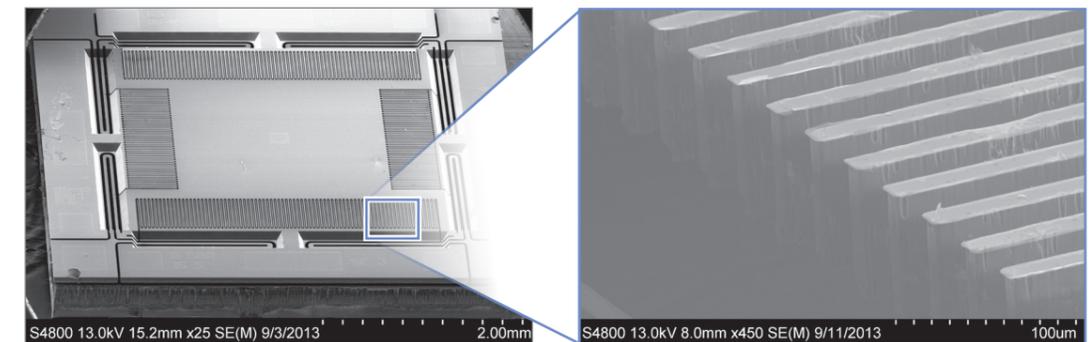
Abbildung 5 zeigt Mikroskop-Aufnahmen erster Harvester-Teststrukturen, die bei der anwendungsspezifischen MEMS-Prozessentwicklung zu Prüfzwecken gefertigt wurden. Wesentliche technologische Zwischenziele im Projekt, wie die Realisierung von mechanisch stabilen, abgedünnten Führungsfedern, die Freistellung von bis zu 100 μ m hohen Kammstrukturen mit Luftspaltbreiten im Bereich von nur 3 – 5 μ m sowie der Nachweis der Schwingfähigkeit des Oszillators, wurden mit diesen Testmustern bereits erreicht. Ziel der Arbeiten bis zum Projektabschluss ist es, die grundsätzliche Fähigkeit des vorgeschlagenen mikromechanischen Harvester-Konzepts einen positiven Energieertrag liefern zu können, experimentell zu demonstrieren.

Das Projekt wird vom Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds (ESF) unter dem Kennzeichen 2011 FGR 0121 gefördert.

Kontakt:
Dr. Eckhard Hennig, eckhard.hennig@imms.de

Literatur:
Zum Thema des Projekts hat das IMMS Beiträge veröffentlicht, vgl. Nr. 4, 10, 12, 23, 28, 35, 39 und 40 in der Publikationsliste von 2013 ab S. 51 ff.

Abbildung 5: Mikroskop-Aufnahmen gefertigter Harvester-Teststrukturen. Quelle: IMMS/TU Ilmenau.





EFSUES Energieeffizientere Flughäfen

Partner des IMMS und des Flughafens Erfurt-Weimar mit den im Projekt EFSUES entwickelten Sensorknoten. Mit diesen soll künftig auf dem Flughafenvorfeld sicherer und effizienter gearbeitet werden. Foto: IMMS.

Motivation

Wartet man als Passagier auf einen verspäteten Flug, ist das ärgerlich und nicht selten mit zusätzlichen Ausgaben für den Einzelnen verbunden. Für große Flughäfen belaufen sich die jährlichen Kosten durch zu lange Standzeiten der Flugzeuge auf mehrere Millionen, für kleinere Flughäfen auf mehrere Hunderttausend Euro. Viele verschiedene Spezialfahrzeuge, die oft jeweils nur in geringen Stückzahlen auf einem Flughafen vorhanden sind, müssen ebenso wie das entsprechend geschulte Personal im richtigen Takt zum richtigen Ort wechseln. Um solche Einsätze punktgenau koordinieren zu können, müssen stets Orte und Bewegungsmuster von Flugzeugen, Fahrzeugen und Personal bekannt sein. Unterstellplätze für Spezialfahrzeuge verhindern jedoch eine permanente Ortung via GPS. Bodenradarsysteme sind gerade bei kleineren Flughäfen oft nicht im Einsatz, da sie sehr energieaufwändig und teuer sind. Bei Nebel können Kollisionen auf Rollwegen aufgrund schlechter Sicht meist nicht ausgeschlossen werden, was oft zur kostenintensiven Schließung eines Flughafens führt. Der ein oder andere Reisende mag vielleicht seinen Flug in der persönlichen Co₂-Bilanz verbuchen, die energetischen Auswirkungen von Verzögerungen oder

Umleitungen dürften den meisten Passagieren nicht bewusst sein. Falschfahrten und unnötige Leerfahrten von Spezialfahrzeugen, Flugzeuge, die auf die Landung und oft lange mit laufenden Triebwerken auf die Startfreigabe warten sowie Umwege zu offenen Flughäfen und Alternativtransporte für die Passagiere lassen den Treibstoff- bzw. Energieverbrauch und die Abgasemissionen drastisch ansteigen.

Gesamtsystemlösung

Das IMMS war im Projekt EFSUES an der Entwicklung eines Prototyps für ein neues Überwachungssystem beteiligt, mit dem künftig das Flughafenvorfeld auf kleineren und mittleren Flughäfen abgesichert und energie- sowie kosteneffizienter betrieben werden kann. Mit diesem System werden Flugzeuge, Fahrzeuge und Personen so sicher detektiert, dass unabhängig von der Wetterlage und von den Sichtverhältnissen der Flugbetrieb gewährleistet ist. Künftig sollen auf Basis der Entwicklungsergebnisse Spezialfahrzeuge effizient und sicher eingesetzt, Standzeiten der Flugzeuge minimiert und die Verkehrssicherheit auf dem Vorfeld erhöht werden. Die Kompetenzen



Abbildung 1: Lokalisierungssystem für das Flughafenvorfeld (die Systemelemente sind nicht maßstabgerecht abgebildet). Fotos: IMMS.

des IMMS für drahtlose Sensornetze sind in die intelligenten und energieoptimierten Sender eingeflossen, die zur Ortung von Fahrzeugen und Personen herangezogen werden. Die Flugzeugpositionen werden mit Hilfe von Spezialkameras von Honeywell aus Prag festgestellt und mit den Funkdaten verbunden. Die SMI GmbH war für die Antennenarrays und die Integration der Informationen in die Flughafensoftware verantwortlich. Der Flughafen Erfurt-Weimar stellte seine Infrastruktur, Personal und Testmöglichkeiten im realen Flugbetrieb zur Verfügung.

Für dieses Überwachungssystem ist die Ortung von Fahrzeugen und Personen auf dem Vorfeld ein zentraler Baustein. Hierfür hat das IMMS Sensorknoten entwickelt, die ein effizientes Energiemanagement beinhalten. Das ist notwendig, da gängige Ortungssysteme selbst Fahrzeugbatterien relativ schnell an ihre Leistungsgrenzen stoßen lassen. Jede Person und jedes Fahrzeug ist mit einem solchen Sensorknoten ausgestattet, einem aktiven Transponder. Dieser sendet periodisch Funkpakete aus, die von Empfängermodulen aufgenommen und erkannt werden. Die Module identifizieren darüber hinaus den Sender, stoßen den Lokalisierungsprozess an und geben die Daten an das übergeordnete System weiter. Das IMMS hat diese Empfängermodule entwickelt und Hardware- und Software-technisch an die Antennenarrays der SMI GmbH angeschlossen, die über die Berechnung des Signaleinfallswinkels die Lokalisierung für den betreffenden Sender ausführen. Durch die Richtungsinformationen von mehreren Antennenarrays wird die Position des Sensorknotens festgestellt und an das übergeordnete System für die Prozessoptimierung weitergegeben.

Entwicklung der Sensorknoten

Die Transponder sollten möglichst klein und handlich sein, da sie auch von Personen getragen werden. Zudem sollten sie über die gesamte Arbeitszeit eines Mitarbeiters funktionieren und ein einfaches Laden der Akkus ermöglichen. Für diese Anforderungen hat das IMMS einen neuen, sehr kompakten Funksensorknoten entwickelt. Aufgrund der vorgegebenen Maße des Transponders mussten entsprechend kleine Akkus verwendet werden, die allerdings die Laufzeit des Knotens verringern. Daher bildeten Lösungen für einen energieoptimierten Betrieb der Sensorknoten einen entscheidenden Schwerpunkt in dem Projekt.

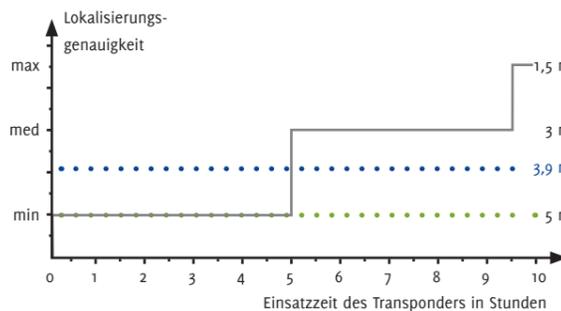
Ein Problem beim Energiemanagement stellen die Teilkomponenten des Systems dar, wie z.B. Sensoren, Funkmodul und Messschaltungen. Da diese häufig fest mit der Stromversorgung verdrahtet sind, verbrauchen sie auch ununterbrochen Energie. Zwar haben die meisten Komponenten einen Ruhe- oder Stromsparmodus, trotz alledem fließt permanent ein Ruhestrom. Das IMMS hat daher eine zusätzliche Kommunikation zwischen den Subsystemen eingeführt und damit zusätzliche Schalt- und Statusleitungen installiert. Um den Ladezustand der Akkus zu jeder Zeit auslesen zu können, wurde zudem ein spezieller Schalter mit Strombegrenzung verbaut, der die Messeinheit der Spannung ein- oder ausschaltet. Mit diesen Informationen und den Kennwerten des Akkus werden Ladezustand und die daraus resultierende Systemlaufzeit berechnet. Mit den genannten Hardware-Komponenten hat das IMMS das System für ein effizientes Energiemanagement so ausgelegt, dass es Teilkomponenten einzeln ausschaltet, wenn sie nicht benutzt werden. Darüber hinaus können dank des La-



Abbildung 2: Transponder auf der Ladestation. Foto: IMMS

dekonzepts auf der Basis des Qi-Standards¹ die Akkus der Sensorknoten drahtlos an gängigen Ladestationen geladen werden.

Neben geeigneter Hardwareinfrastruktur hat das IMMS Softwarekomponenten für ein intelligentes Energiemanagement entwickelt. Es basiert auf Kontextsensitivität. Die Kernidee ist, Informationen über die Umgebung zu gewinnen und das Verhalten des Systems darauf anzupassen. Generell entfällt der größte Anteil des Energieverbrauchs des Funksensorknotens auf die Funkkommunikation, das heißt auf den Versand der Lokalisierungspakete. Die Lokalisierungs- bzw. Paketsenderate sowie die Geschwindigkeit einer Person oder eines Fahrzeugs mit Transponder beeinflussen die Genauigkeit einer Lokalisierung. In manchen Fällen ist es jedoch nicht notwendig, die Position des Sensorknotens häufig neu zu bestimmen. Wenn sich zum Beispiel eine Person nicht bewegt, muss der betreffende Transponder nicht permanent senden. Umgekehrt muss ein sich schnell bewegendes Sensorknoten öfter Signale funken, um die geforderte Lokalisierungsgenauigkeit zu erreichen. Es ist demnach notwendig, die Geschwindigkeit eines Transponders bzw. dessen Entfernung vom letzten bekannten Standpunkt zu ermitteln. Hierfür wurden alle Sensorknoten mit inertialen Messeinheiten, einem 3D-Magnetometer, einem Beschleunigungssensor



und einem Drei-Achsen-Gyroskop ausgestattet. Deren Roh-Messdaten werden sensornah direkt auf dem Knoten verarbeitet. Anhand der Daten wird das Bewegungsprofil im dreidimensionalen Raum bestimmt und der Arbeitsmodus des Sensorknotens angepasst. Die durch Kontextsensitivität eingesparte Energie kann ggf. in kritischen Fällen eingesetzt werden, um die Lokalisierungsgenauigkeit² zu verbessern, was Abbildung 3 verdeutlicht. Um solche Entscheidungen zu treffen, bezieht das Energiemanagement-System auch die Information über die verfügbare Energie und die Laufzeit des Systems mit ein.

Erste Tests haben gezeigt, dass durch den Einsatz des intelligenten Energiemanagementsystems die durchschnittliche Lokalisierungsgenauigkeit bei Bedarf um bis zu 21,5% erhöht werden kann. Nach Tests des neuen Ortungssystems auf verschiedenen Flughäfen soll in Lviv, Ukraine, im Anschluss an das Projekt die Weiterentwicklung als Pilotprojekt durch die SMI GmbH installiert werden, für die die Arbeiten 2014 beginnen.

Das IMMS hat im Projekt sein Know-how im Hardwareentwurf und Energiemanagement weiter ausgebaut. Die Ergebnisse fließen direkt in Forschungs- und Entwicklungsprojekte wie GreenSense und sMobiLiTy ein, in denen die energetische Optimierung von Plattformen und das Design von energieautarken Lösungen Kernfragen darstellen. Zudem erweitern sie das Angebotsspektrum des Instituts für die Industrie auf diesem Gebiet.

Das Projekt „EFSUES – Energieeffizienzsteigerndes Flughafenvorfeld Steuer- und Überwachungs-System“ wurde durch den Freistaat Thüringen und die Europäische Union unter dem Kennzeichen TNA XI-3/2012 gefördert.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Elena Chervakova,
elena.chervakova@imms.de

Literatur:

- 1 Barsukov, Y. Qian, J., "Battery Power Management for Portable Devices", Artech House, 2013
- 2 Zum Thema des Projekts hat das IMMS Beiträge veröffentlicht, vgl. Nr. 17 und 46 in der Publikationsliste von 2013 ab S. 51 ff.

Abbildung 3: Die grüne Linie zeigt den geforderten Mindestwert von 5 Metern für die durchschnittliche Lokalisierungsgenauigkeit herkömmlicher Systeme ohne Energiemanagement. Das Energiemanagementsystem verbessert die durchschnittliche Lokalisierungsgenauigkeit um 21,5% auf 3,9 Meter (blaue Linie) bei minimaler Aktivität. Grafik: IMMS.



ANUBIS – Lösungen für eine energieeffiziente Produktion

Motivation

Um den Klimawandel zu bremsen, werden Gebäude gegen Wärmeverluste gedämmt, der Treibstoffverbrauch von Automobilen reduziert und die regenerative Energieerzeugung vorangebracht. Über 70% des in Deutschland entstehenden CO₂-Ausstoßes verursachen jedoch die produzierende Industrie und die Energiewirtschaft. Daher muss vor allem in der Produktion Energie eingespart werden, um die Umwelt zu schonen und um darüber hinaus mit effizienten Prozessen international wettbewerbsfähig zu bleiben. Aus diesem Grund hat die Politik Normen und Richtlinien geschaffen, wie beispielsweise die ISO 50001. In ihr werden Energieeinsparungen in Automatisierungsanlagen gefordert, die anhand detailliert erfasster Energieverbräuche nachzuweisen sind. Diese Norm gilt auch für ältere Anlagen, bei denen der Automatisierungsgrad typischerweise geringer ist. Relevante Daten liegen hier oft nicht vor, da sie im Prozessabbild der Kommunikationsinfrastruktur nicht enthalten sind oder diese Infrastruktur ganz fehlt.

Das IMMS engagiert sich seit Januar 2012 mit dem Fraunhofer IOSB-INA in dem vom BMWi unter dem Kennzeichen 16419 BG/2 geförderten Projekt „ANUBIS

Lösungen des IMMS für drahtlose Sensornetzwerke sollen Daten von Bestandsanlagen erfassen und deren Betrieb optimieren helfen. In Versuchsanlagen wie diesen werden Automatisierungskonzepte getestet. Foto: Fraunhofer IOSB-INA.

– Analyse und Überwachung des Energieverbrauchs in der Verfahrenstechnik und der Produktionstechnik unter Berücksichtigung betriebswirtschaftlicher Fragestellungen – Erkennung und Vermeidung suboptimaler Energiebilanzen in der Produktion“. Die Partner arbeiten an Lösungen, mit denen nicht nur Energieverbräuche erfasst, sondern auch bestehende und künftige Automatisierungsanlagen besser geregelt und somit energie- und kosteneffizient betrieben werden können. Das Fraunhofer IOSB-INA übernimmt die Modellierung des Anlagenverhaltens und die Integration der verschiedenen Kommunikationssysteme und anderer Komponenten der Automatisierungstechnik. Das IMMS hat ein drahtloses Sensornetzwerk konzipiert und realisiert, das unter den rauen Bedingungen industrieller Produktion relevante Daten unmittelbar an Fertigungsanlagen erfasst und zur Verarbeitung weitergibt. Mit diesem Drahtlosnetzwerk können insbesondere Bestandsanlagen nachgerüstet werden, um die von der Norm geforderten Informationen zu erfassen.

Lösung

Eine Möglichkeit für mehr Energieeffizienz ist, verbrauchsintensive Komponenten durch sparsamere zu ersetzen. Für solche passiven Ansätze müssen lediglich die Energieverbräuche gemessen und Komponenten mit Einsparpotenzial identifiziert werden. Die in ANUBIS verfolgten aktiven Ansätze gehen einen Schritt weiter und nutzen die erfassten Energieverbräuche sowie andere Anlagendaten, um daraus Aussagen über den derzeitigen Zustand der Anlage abzuleiten oder deren Betrieb zu beeinflussen. Die Projektpartner haben ihre Entwicklungen auf folgende Szenarien ausgerichtet:

- Weicht der Energieverbrauch der Anlage oder einzelner Komponenten vom normalen Verbrauch ab, deutet dies auf eine Anomalie hin. Solche Anomalien werden zum Beispiel durch Verschleiß verursacht und können über die Energieverbrauchsmessungen erkannt und dadurch früher beseitigt werden.
- Um Energie einzusparen, kann man nicht benötigte Teilsysteme abschalten. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass das Zu- und Abschalten ebenfalls Energie verbraucht, Zeit benötigt oder die entsprechenden Komponenten stärker beansprucht. Sind diese Zusammenhänge bekannt, können solche Vorgänge betriebswirtschaftlich optimal gestaltet werden.
- Sind die Energieverbrauchsprofile von Produktionsschritten verfügbar, kann man diese in Zeiten niedrigerer Energiepreise verschieben. Zudem lassen sich mit Hilfe dieser Verbrauchsdaten Produktionsschritte so einplanen, dass sie in der Summe energieeffizienter arbeiten.

Alle diese Ansätze erfordern zwingend ein Modell der Anlage, welches deren Normalverhalten vorhersagt. Die manuelle Modellierung ist sehr aufwendig und setzt viel Expertenwissen voraus. Sie ist damit in der Praxis nicht durchführbar. Stattdessen wird das Modell automatisch erstellt. Das bedeutet, dass die Anlage im Normalbetrieb beobachtet wird. Aus den dabei erhobenen Daten erstellt ein vom Fraunhofer IOSB-INA entwickelter Algorithmus ein Modell. Solche Ansätze werden bereits seit einigen Jahren intensiv erforscht. Neu ist jedoch, dass dafür auch die Energieverbräuche der Anlage, ihrer Komponenten oder einzelner Verbraucher verwendet werden, wie zum Beispiel Antriebe, Pumpen oder Heizungen. Um das Anlagenverhalten modellieren und damit die Anwendungsszenarien realisieren zu können, müssen die Daten hinreichend schnell und

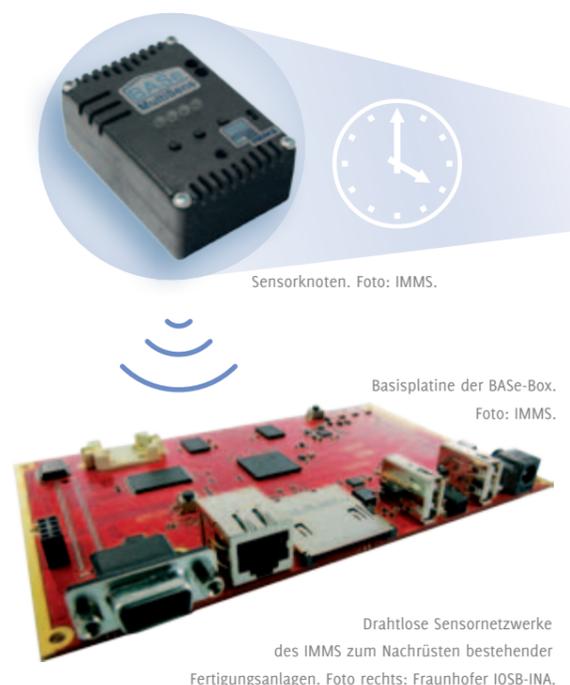
genau erfasst werden. Insbesondere ist es erforderlich, alle Daten zeitsynchron zu erheben. Je nach Anlage und Dynamik ihrer Prozesse können die Anforderungen im Millisekundenbereich liegen. Komplexe Automatisierungsanlagen bestehen aus einer Vielzahl verschiedenartiger industrieller Kommunikationssysteme. Diese sind an unterschiedlichen Stellen der Anlage installiert. Die Herausforderung besteht demnach darin, Daten aus einem verteilten, heterogenen Kommunikationssystem zeitsynchron zu integrieren.

Beitrag des IMMS

Um die Automation nicht durch Installationen verändern zu müssen, hat das IMMS eine drahtlose Erfassung für Energiedaten aufgebaut. Somit können die Systeme an bestehenden Anlagen eingesetzt werden, ohne deren Produktiveinsatz zu gefährden. Das vom Institut entwickelte drahtlose Sensornetzwerk erfasst die notwendigen Daten zeitsynchron und gibt sie für die Modellgenerierung weiter. Das IMMS hat die Randbedingungen und Parameter hierfür identifiziert und das Konzept in der Praxis experimentell überprüft.

Das **Sensornetz** besteht aus mehreren selbstständig agierenden Sensormodulen. Diese auch Sensorknoten genannten Module besitzen die für den jeweiligen Einsatzzweck notwendige Sensorik sowie eine Funkschnittstelle für die Kommunikation untereinander. Werden die Knoten ausgebracht und in Betrieb genommen, erkennen sie andere Knoten in ihrer Nachbarschaft und bilden selbstständig eine Netzwerktopologie aus. Diese ist dynamisch – es können jederzeit Knoten zum Sensornetz hinzugefügt oder entfernt werden. Das drahtlose Sensornetz zeichnet sich somit durch einen im Vergleich zu üblicher Hardware der Automatisierungstechnik geringen Installationsaufwand aus. Kabel müssen – falls überhaupt – nur für die Sensorik, nicht jedoch für die Datenkommunikation verlegt werden. Eine Konfiguration der Netzwerktopologie ist nicht notwendig. Neben den Energiedaten lassen sich auch andere beliebige Daten erfassen, sofern diese bereits in elektrischer Form als analoge und digitale Signale vorliegen.

Da die Datenübertragung über mehrere Module per Funk nicht deterministisch ist und somit nicht die o.g. Anforderungen an die Zeitsynchronität erfüllt, muss die aktuelle Zeit dem erfassten Messwert bereits am entsprechenden Sensorknoten zugeordnet werden, d.h. die Sensorknoten werden synchronisiert. Aufgrund der speziellen Eigenschaften der Kommunikation mittels Funk hat das IMMS das für diesen Zweck entwickelte Protokoll FTSP (Flooding Time Syn-

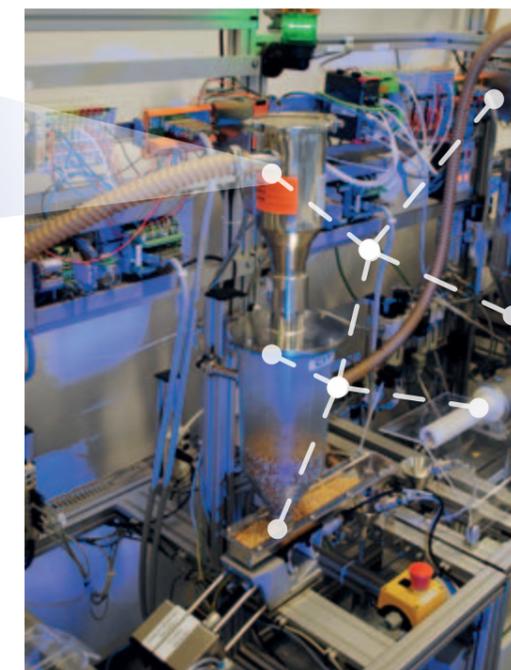


chronisation Protocol) auf das verwendete Sensornetz portiert.

Das drahtlose Sensornetz und die Automation werden durch die **BASE-Box** verbunden. Hierbei handelt es sich um ein ebenfalls am IMMS entwickeltes eingebettetes Linux-System. Es empfängt die Daten vom Sensornetz und gibt sie an die Automation weiter. Die BASE-Box ist dabei nicht nur Gateway für die Daten, sondern auch für die Zeitsynchronisation verantwortlich. Die Box, andere Datenlogger und weitere Automatisierungskomponenten, wie z.B. Server, sind mittels Ethernet und darauf aufsetzenden Protokollen synchronisiert. Das Institut hat eine Software entwickelt, welche diese gemeinsame Zeitbasis im Sensornetz verfügbar macht. Messungen haben die Qualität der **Zeitsynchronisation** bestätigt. Es wird eine Genauigkeit der Synchronisation von 25ms zwischen den Sensorknoten erreicht. Diese ist optimal für die üblichen Anforderungen, wie sie die Mehrzahl der Automatisierungsprozesse aufweisen.

Ausblick

Die zeitsynchrone Datenerfassung wurde bereits an Automatisierungsbussen und mit dem drahtlosen Sensornetz des IMMS erfolgreich in Betrieb genommen. Mit den erfassten Daten nimmt das Fraunhofer IOSB-INA die Modellierung vor. Um die entwickelten Methoden und Konzepte zu überprüfen und zu be-



werten, führen die Projektpartner Tests an Versuchsanlagen und an im industriellen Einsatz befindlichen Produktionsanlagen durch. Bis zum Projektende Mitte 2014 wird von den eingangs erwähnten Anwendungsszenarien das erste Szenario zur Anomalieerkennung realisiert und es werden hierfür verschiedene Verfahren evaluiert. Dazu werden Anlagendaten im Normalbetrieb und in davon abweichenden Fehlerfällen aufgenommen und mit den Vorhersagen des gelernten Modells verglichen. Das Projekt liefert die Grundlagen für Anwendungen aus dem Bereich der Optimierung, sie selbst sind Gegenstand zukünftiger Forschung. Das IMMS ist nach diesem Projekt in der Lage, Sensorknoten zeitsynchron auszulesen und kann dieses Know-how für künftige Fragestellungen ausbauen.

Kontakt:

Dipl.-Inf. Stefan Schramm, stefan.schramm@imms.de

Literatur:

Zum Thema des Projekts hat das IMMS Beiträge veröffentlicht, vgl. Nr. 20 und 38 in der Publikationsliste von 2013 ab S.51 ff.



Qualitätssicherung von MEMS

MEMS (mikroelektromechanische Systeme) haben in den letzten Jahren einen Boom erlebt und sind inzwischen Bestandteil nahezu jedes technischen Geräts unseres Alltags. Im Auto dienen sie beispielsweise als Beschleunigungssensoren der Stabilitätskontrolle und lösen Airbags aus, überwachen Temperaturen in der Klimaanlage und den Druck in den Reifen. MEMS verbreiten sich dank stetig sinkender Kosten und steigender Qualität rasant.

Um Ausschussraten von Baugruppen oder gar fertigen Produkten zu minimieren, müssen zum einen die Geometrie- und Materialparameter von MEMS präzise definiert und in der Fertigung optimal eingesteuert werden. Zum anderen ist es gerade im Hinblick auf die genannten sicherheitskritischen Anwendungen notwendig, die Funktionalität und die Qualität von MEMS zuverlässig über den gesamten Fertigungsprozess zu kontrollieren und die Forderungen nach immer kleineren Parametertoleranzen und damit nach höheren Messgenauigkeiten zu erfüllen.

Hierfür hat das IMMS bereits in den letzten Jahren auf der Grundlage vibrometrischer Messmethoden ein Verfahren zur indirekten Parameteridentifikation entwickelt und in mehreren Projekten, wie z.B. PRIMOS und USENEMS, verfeinert und ausgebaut.

Messungen an einem Vibrometer im IMMS als Basis für das am Institut entwickelte Verfahren zur indirekten Fehler- und Parameteridentifikation von MEMS. Foto: IMMS.

Vibrometriemessungen für MEMS sind für niedere bis hohe Frequenzen möglich. Zum einen können sie unmittelbar als funktionale Tests durchgeführt werden, wie z.B. als Frequenzmessung bei Resonatoren. Zum anderen sind sie die Basis für die am Institut erarbeitete Methode zur Fehler- und Parameteridentifikation. Mit diesem Verfahren lassen sich beispielsweise die Membrandicke von Drucksensoren sowie die Materialspannung von dünnen membranbasierten MEMS bestimmen. Außerdem können die Auswirkungen von Fertigungsprozessen auf die Materialspannung in dünnen membranbasierten MEMS überwacht werden, was zum Beispiel beim Sägen oder Kleben von MEMS notwendig ist. Dank langjähriger Erfahrung und Kenntnis der Möglichkeiten und Restriktionen der Vibrometrie hat das IMMS einen durchgängigen Ablauf zur Parameteridentifikation implementiert. Diesen hat das Institut 2013 erstmals wie nachfolgend beschrieben eingesetzt, um die genannten Klebprozesse zu optimieren und ist damit in diesem Anwendungsfeld führend.

Test Sensitivität

Charakterisierung

Wafer-Test

Abbildung 1: Phasen der Parameteridentifikation. Grafik: IMMS.

Vibrometrie und MEMS – das entwickelte Verfahren

Die Mikrometer kleinen MEMS-Strukturen sind für Tests durch mechanisches Antasten zu empfindlich und würden bei einer solchen Prüfung zerstört. Das am IMMS entwickelte indirekte Vorgehen nutzt Werte aus der vibrometrischen und damit zerstörungsfreien Messung von Eigenfrequenzen diverser Teststrukturen. Den Kern des Verfahrens bildet die Finite-Elemente-(FE)-Simulation. Mit ihr beschreiben die Forscher des Instituts den funktionalen Zusammenhang zwischen Eigenfrequenzen von Materialien und den zu bestimmenden Parametern. Mit dieser Methode können fertigungsrelevante geometrische und stoffliche Größen in der Entwicklungsphase bestimmt und die Prozessparameter von gefertigten MEMS bereits auf dem Wafer, aber auch von vereinzelt oder gehäusten MEMS geprüft werden.

Das vom IMMS für die Entwicklung und Validierung der neuen Methode eingesetzte Laser-Vibrometer UHF-120 der Firma Polytec misst nach dem Doppler-Effekt Schwingungen aus der Ebene, wie die von membran- und balkenbasierten MEMS-Strukturen, bis zu einer maximalen Frequenz von 1,2 GHz. Für die Messung von Frequenzantwort und Schwingungsform scannt der Laserstrahl des Vibrometers ein nutzerseitig definiertes Messraster auf der schwingenden Struktur.

Vibrationen aktiver und passiver Strukturen werden unterschiedlich angeregt. Um Resonatoren und andere aktive Komponenten zum Schwingen zu bringen, werden hochfrequente Wechselspannungen angelegt. Passive Elemente wie Drucksensoren werden dagegen mit Hilfe eines elektrostatischen Wechselfeldes aktiviert. Eine direkt über der Struktur positionierte und mit einer maximal 400V hohen Spannungsquelle verbundene Elektrode erlaubt die berührungslose Anregung von Eigenfrequenzen bis 10 MHz.

Neben Funktionaltests sind mit Vibrometern Parameteridentifikationen möglich. Für diese müssen jedoch verschiedene Bedingungen erfüllt sein. Daher hat das IMMS für Parameteridentifikationen ein dreistufiges Verfahren entwickelt.

Im ersten Schritt muss zunächst die Empfindlichkeit der Eigenfrequenzen gegenüber den interessierenden Parametern untersucht werden. Dieser **Sensitivitätstest** kann mittels einer analytischen Approximationslösung,

wie sie z.B. für Balkenstrukturen existiert, oder mittels einer FE-Simulation erfolgen. Die Empfindlichkeit der Frequenzen hängt von deren Typ ab und unterscheidet sich z.B. darin, ob eine Biege-, Torsions- oder Longitudinalschwingung auftritt. Form und Abmessungen von Strukturen wirken sich ebenso auf die Sensitivität der Eigenfrequenzen und damit auf die Anwendbarkeit des Verfahrens aus. So sind z.B. Elemente, die dünner als 1µm sind, empfindlicher gegenüber Materialspannungen und damit generell gut geeignet, um ebendiese Eigenschaften mit der Methode zu bestimmen. Demgegenüber können aber auch Membrandicken mit für Drucksensoren typischen Werten ab 10 µm mit diesem Verfahren sehr gut identifiziert werden. Um die Empfindlichkeit gegenüber bestimmten Parametern zu verbessern, können über die gegebenen Strukturen hinaus spezielle Teststrukturen entworfen und untersucht werden.

In der **Charakterisierungsphase** wird anhand eines dichten Netzes von Messpunkten getestet, ob die interessierenden Schwingungsmodi angeregt werden können. Identifizierte Parameter werden, wenn möglich, validiert. Darüber hinaus wird ggf. das der Identifikation zugrunde liegende FE-Modell angepasst.

In der dritten Phase wird das Vibrometer mit einem halbautomatischen Probe-System gekoppelt, um ganze Wafer automatisiert zu prüfen. Mit Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit des Messverfahrens liegt der Fokus beim **Wafer-Test** auf einer minimalen Messzeit. Diese Zeit hängt von der Anzahl der Messpunkte ab. Daher wird beim Wafer-Test nur ein Punkt pro Messobjekt gewählt, was im Ergebnis zu einer Messzeit von ca. einer Sekunde pro Die führt.

Parameteridentifikation und -monitoring von MEMS in der Praxis

Für die vibrometrische Parameteridentifikation von MEMS existieren vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Bei dünnen Schichten im Bereich von einigen 100 nm bis wenigen Mikrometern hängen die Eigenfrequenzen stark von den Materialspannungen ab. Durch die hohe Empfindlichkeit besitzt das Verfahren ein Alleinstellungsmerkmal bei der zerstörungsfreien Bestimmung von Materialspannungen in dünnen Schichten. Solche werden z.B. typischerweise in Mikrofonen verwendet.

Das vibrometrische Verfahren erlaubt ein Stress-Monitoring über die gesamte Fertigungskette von der

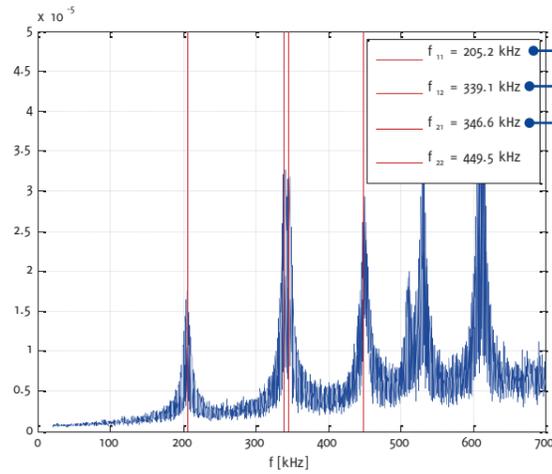


Abbildung 2:
Gemessene Frequenzantwort mit zugehörigen
Schwingungsformen. Grafik: IMMS.

Wafer-Prozessierung über das Sägen bis hin zu den Packaging-Prozessen der Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT). Mit dem Verfahren können u.a. durch die Auswertung der Eigenfrequenzen Prozesse überwacht und auf der Basis der gewonnenen Daten optimiert werden. Insbesondere bei dünnen membranbasierten Strukturen kann z.B. das Kleben des Sensors auf das Package bei nicht angepassten Ausdehnungskoeffizienten zu einem mechanischen Spannungseintrag führen. Dieser äußert sich dann im Vergleich zu den auf Waferebene gemessenen deutlich erhöhten Eigenfrequenzwerten. Des Weiteren lassen sich bei quadratischen oder kreisförmigen Membranen durch AVT-Prozesse verursachte Spannungsasymmetrien detektieren, wie sie z.B. nach dem Kleben auftreten. So weisen die Biegemoden f_{12} und f_{21} bei symmetrischen Spannungen zwar eine Phasenverschiebung, aber den gleichen Frequenzwert auf. Bei asymmetrischen mechanischen Spannungen spalten sich die Frequenzwerte auf, was Abbildung 2 illustriert.

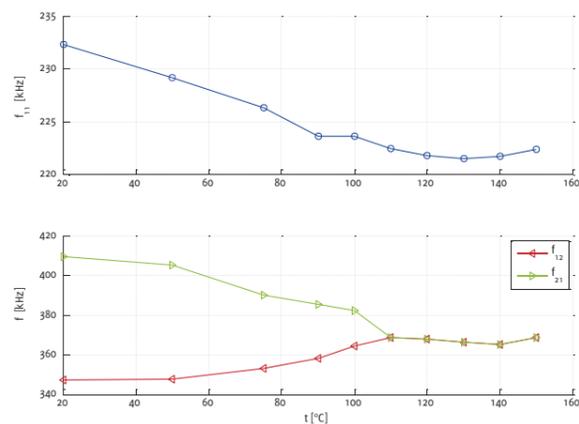
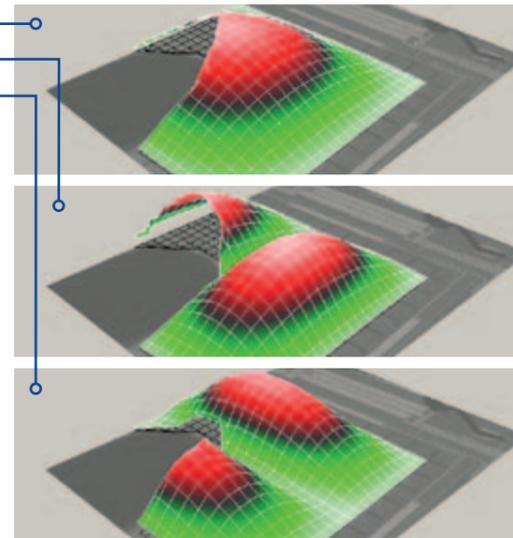


Abbildung 3: Gemessene Eigenfrequenzen von gehäuseten Sensoren
versus Temperatur. Grafik: IMMS



Das vorgestellte Verfahren erlaubt die effiziente zerstörungsfreie Identifikation von Geometrie- und Materialparametern von unverkappten MEMS sowohl in der Entwicklungsphase als auch die Qualitätskontrolle während der Fertigung. In künftigen Forschungsprojekten soll die Anwendbarkeit des Verfahrens auf verkappte Sensoren, wie z.B. Beschleunigungs- und Drehratensensoren, erweitert werden. Darüber hinaus wird das Verfahren das MEMS-Design in den Forschungsprojekten MUSIK, MEMS2015 und GreenSense gezielt unterstützen, indem neue MEMS-Strukturen und -Baugruppen anhand der Erkenntnisse aus der indirekten Parameteridentifikation aktiv gestaltet und verifiziert werden.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Steffen Michael, steffen.michael@imms.de

Literatur:

Zu diesem Thema hat das IMMS 2013 einen Beitrag veröffentlicht, vgl. Nr. 44 in der Publikationsliste ab S.51 ff.

SFB 622 Dem Nanometer auf der Spur



Bild 1: Das IMMS hat in den SFB 622 v.a. sein Know-how zu integrierten Mehrkoordinatenantrieben in die Entwicklung von Nanopositioniersystemen eingebracht, wie für das abgebildete PMS100. Foto: IMMS.

Ein Blick auf Mobiltelefone und USB-Sticks von gestern und heute macht die rasante technologische Entwicklung der letzten Jahre deutlich. Immer mehr Rechenleistung bzw. mehr Speicherkapazität wird in einem immer kleineren Volumen realisiert. Möglich wird dies durch stetig kleiner werdende elementare Strukturen der Elektronikchips. Beim Rechenkern des aktuellen iPhone 5s beispielweise liegen die Abmessungen der kleinsten Bauteile heute bei 28 Nanometern. Jedoch nicht nur in der Halbleiterindustrie, auch in anderen HighTech-Bereichen wie der Nanoelektronik oder der Werkstoffforschung haben die Funktionselemente nur noch Abmessungen im Nanometerbereich. Ebenso werden in der Optik, Optoelektronik und der Metrologie Bauteile mit zulässigen Maß- und Oberflächentoleranzen von wenigen Nanometern eingesetzt.

Wegbereiter und Voraussetzung für diese Entwicklung sind die Maschinen und die technologische Ausstattung, die in vorgelagerten Prozessen zum Einsatz kommen und erst den Zugang zur Welt der Nanometer ermöglichen. Aus diesem Grund erforschten Wissenschaftler im Sonderforschungsbereich (SFB) 622 die wissenschaftlichen Grundlagen für die Realisierung von „Nanopositionier- und Nanomessmaschinen“ (NPMM). Solche Maschinen sind in der Lage, ein Bauteil aus der Makrowelt mit einer Präzision und Stabilität von Nanometern zu positionieren, zu vermessen und auch zu manipulieren. In dem von der DFG geförderten Forschungsprojekt arbeitete das

IMMS gemeinsam mit dem Fachgebiet Mechatronik und einer Vielzahl anderer Fachgebiete der TU Ilmenau daran, die Nanomess- und Nanopositioniertechnik bis in die physikalisch-technischen Grenzbereiche voranzutreiben.¹

Das IMMS lieferte mit seinen im Folgenden beschriebenen Arbeiten zu Nanopositioniersystemen für große Bewegungsbereiche einen wichtigen Baustein für die NPMMs der nächsten Generation. Dabei konnte das IMMS sein Know-how in der Präzisionsantriebstechnik und vor allem die Expertise auf dem Gebiet der integrierten Mehrkoordinatenantriebe in die Forschungsarbeiten einbringen und vertiefen.

Ein Bauteil subnanometergenau zu bewegen, ist bereits eine anspruchsvolle Aufgabe. Dies jedoch in großen Verfahrbereichen von einigen hundert Millimetern zu ermöglichen, stellt eine völlig neue Qualität dar. Darin lag die besondere Herausforderung bei diesem Projekt, denn die zwangsweise anwachsenden Abmessungen des Antriebssystems, die höhere bewegte Masse und vor allem auch die verringerte Steifigkeit der mechanischen Komponenten standen zunächst einer Positionierung im Nanometerbereich entgegen. An dieser Stelle boten integrierte Mehrkoordinatenantriebe entscheidende Vorteile gegenüber konventionell strukturierten Systemen mit gestapelten Einzelachsen. Zu Projektbeginn erreichten dem

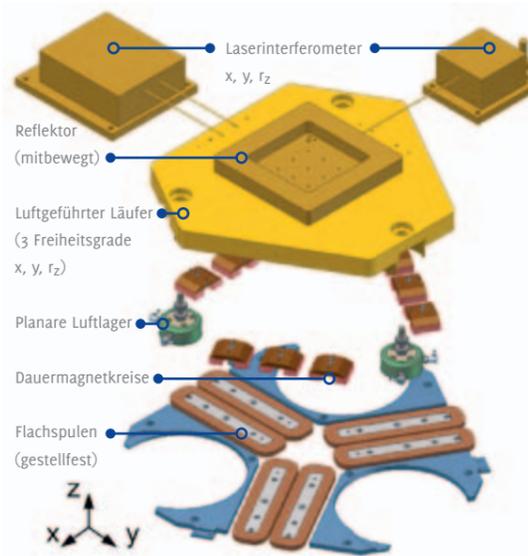


Bild 2: Grundprinzip Planarmotor mit Lasermesssystem. Grafik: IMMS.

Stand der Technik entsprechende Mehrkoordinatenantriebe Bahngenaugigkeiten von bis zu $0,2 \mu\text{m}$, die hauptsächlich durch das eingesetzte Messsystem begrenzt wurden. Das IMMS hat eine Lösung entwickelt, mit der ein luftgeführter Planarmotor erstmals ausschließlich mit Laserinterferometern als Weg- und Winkelmesssystem betrieben wird. Das Institut hat damit die Voraussetzungen geschaffen, um solche Antriebssysteme in einer NPMM einsetzen zu können. Das Grundprinzip des Antriebs und die entscheidenden Funktionsgruppen hierzu sind in Bild 2 dargestellt.

Präzisionspositioniersysteme arbeiten meist in einem geschlossenen Regelkreis. Der Unterschied zwischen der Soll- und Istposition des Messobjektes, die sogenannte Regelabweichung, ist das entscheidende Kriterium, mit dem die Eigenschaften des Positioniersystems beurteilt werden. Die Forschungsarbeiten konzentrierten sich daher auf die zentrale Frage, wie die einzelnen Komponenten des Direktantriebssystems gestaltet und zu einem Gesamtsystem verbunden werden müssen, um die Regelabweichung bis in den Subnanometerbereich zu reduzieren.

Das IMMS hat als Antwort auf diese Fragestellung Methoden und Strategien erarbeitet und diese immer wieder durch den Aufbau von Demonstratoren praktisch umgesetzt sowie durch deren experimentelle

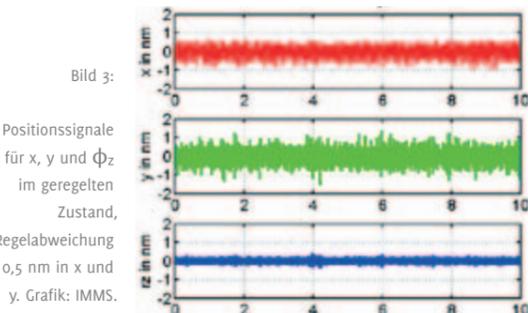


Bild 3: Positionssignale für x , y und ϕ_z im geregelten Zustand, Regelabweichung $< 0,5 \text{ nm}$ in x und y . Grafik: IMMS.

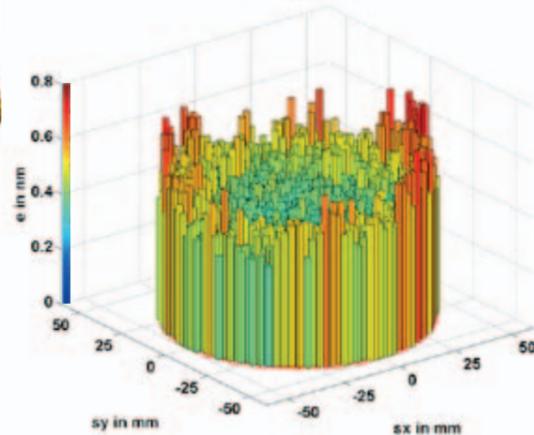


Bild 4: 2D-Regelabweichung $e_{xy} < 0,7 \text{ nm}$ im gesamten Verfahrbereich. Grafik: IMMS.

Untersuchung überprüft und verbessert. Eine herausragende Rolle nimmt dabei der Planarmotordemonstrator PMS100 ein, der in Bild 1 dargestellt ist. Dieser Aufbau demonstriert die Kombination von Mehrkoordinatendirektantrieb (x, y, ϕ_z), aerostatischer Läuferführung und hochgenauer Weg- und Winkelmessung mittels Laserinterferometer zu einem Nanopositioniersystem. Die gewonnenen Erkenntnisse hat das Institut umgesetzt und die Positioniereigenschaften schrittweise immer weiter auf die folgenden Werte verbessert:

- Bewegungsbereich: $\phi 100 \text{ mm}$
- Messauflösung für die Translation (x, y): $0,02 \text{ nm}$
- Messauflösung für die Rotation (ϕ_z): $0,1 \text{ nrad}$
- Positionieraufklärung in x, y : $0,5 \text{ nm}$
- Verfahrgeschwindigkeit: 30 mm/s
- Beschleunigung: 150 mm/s^2
- Bewegte Masse: $9,6 \text{ kg}$.

Sämtliche Komponenten eines Antriebssystems können Störungen verursachen bzw. entscheidend dafür sein, wie gut das System Störungen ausregeln kann. Für eine NPMM ist es daher essentiell, Störquellen zu eliminieren oder zu minimieren. Durch eine genaue Analyse der externen und internen Störungen sowie ihrer Übertragung innerhalb des mechatronischen Antriebssystems wurde der Beitrag der jeweiligen Störung zur verbleibenden Regelabweichung ermittelt. Auf diese Weise konnten die Störungen gewichtet und gezielt diejenigen mit dem größten Einfluss reduziert werden. Als typische Störquellen sind u.a. Reibung, Vibrationen, Schall, Temperatur von Umgebung bzw. internen Komponenten, Luftströmung aus Luftlagern und Klimatisierung, Wandlerrauschen und die Signalquantisierung zu nennen. An dieser Stelle zeigt sich, dass die aerostatische Läuferführung bereits eine entscheidende Maßnahme zur Störungsminimierung darstellt, weil dadurch Reibung und damit verbundene Phänomene, wie Stick-Slip, Vibrationen, Kraftänderungen bei Bewegungsumkehr etc., weitgehend vermieden werden. Jedoch sind in einem aerostatisch geführten System die Vibrationen der Luftlager eine

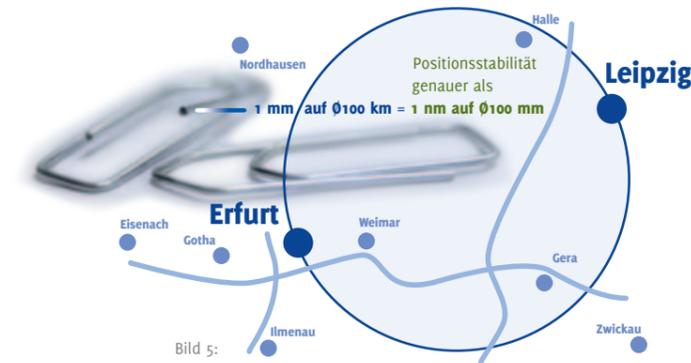


Bild 5: Der Größenvergleich illustriert die Positionsstabilität des Systems von $< 1 \text{ nm}$ für Verfahrbereiche von $\phi 100 \text{ mm}$. Foto und Grafik: IMMS.

Hauptursache von Störungen. Die Luftlagerschwingungen hat das IMMS daher anhand des Demonstrators untersucht. Es konnte nachweisen, dass die eingesetzten porösen Luftlagerelemente lediglich Vibrationen im Subnanometerbereich verursachen.²

Neben der Analyse von Störungen bildete die Optimierung des Übertragungsverhaltens den entscheidenden Schritt, um die Regelabweichung zunächst in den einstelligen Nanometerbereich und schließlich bis unterhalb von einem Nanometer zu senken. Bild 3 zeigt die Positionssignale für die x -, y -Position und die Rotation um die z -Achse ϕ_z . Die Regelabweichung (RMS) beträgt: $e_x = 0,22 \text{ nm}$, $e_y = 0,34 \text{ nm}$ und $e_\phi = 0,10 \text{ nm}$! Betrachtet man die 2D-Position in der x - y -Ebene, so beträgt die 2D-Regelabweichung:

$$e_{xy} = \sqrt{(e_x^2 + e_y^2)} = 0,40 \text{ nm}.$$

Die besondere Leistung des Antriebssystems liegt darin, dass diese exzellente Positionsstabilität im Subnanometerbereich innerhalb des gesamten Verfahrbereichs von $\phi 100 \text{ mm}$ realisiert wird, siehe Bild 4. In makroskopische Dimensionen übertragen, könnte man mit einem derart genauen System ein Objekt an jedem beliebigen Ort innerhalb eines 100 km großen Durchmessers zwischen Erfurt und Leipzig positionieren und würde dabei weniger als den Durchmesser einer Büroklammer vom Ziel abweichen (Bild 5). Möglich wird das einerseits durch die vorteilhafte äußerst einfache Grundstruktur, aber vor allem auch durch die Untersuchung und Berücksichtigung der ortsabhängigen Effekte innerhalb des Systems.

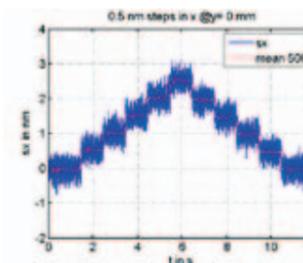


Bild 6: Schritte mit $0,5 \text{ nm}$ Schrittweite in x (blau: Rohdaten, rot: gefiltert). Grafik: IMMS.

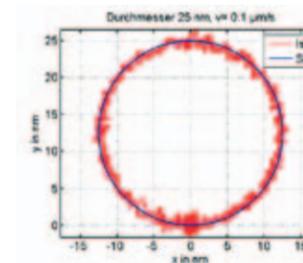


Bild 7: Kreisfahrt mit 25 nm Durchmesser (RMS Bahnabweichung $e_p = 0,5 \text{ nm}$). Grafik: IMMS.

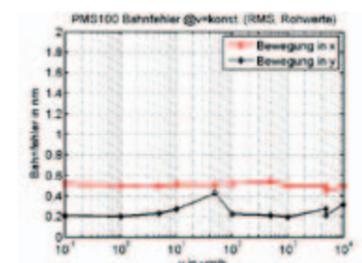


Bild 8: Bahnfehler beim Scan mit variabler Geschwindigkeit (rot: Bewegung in x -, schwarz: Bewegung in y -Richtung). Grafik: IMMS.

Neben dem Einnehmen und Halten der Zielposition ist das „Scannen“, also das exakte Abfahren einer Bahn, die wichtigste Positionieraufgabe. Dass nicht nur im Stillstand Nanometerpräzision erzielt wird, verdeutlicht bereits die in Bild 6 gezeigte Ausführung von $0,5 \text{ nm}$ kleinen Schritten oder die in Bild 7 dargestellte exakte Kreisfahrt mit $\phi 25 \text{ Nanometer}$. Bild 8 schließlich belegt die äußerst geringe Bahnabweichung bei Scans mit verschiedenen Geschwindigkeiten von 100 nm/s bis zu 10 mm/s . Zwei Dinge sind erkennbar: Zum einen liegt die Bahnabweichung (RMS-Wert) ebenfalls im Subnanometerbereich. Zum anderen ist sie auch für höhere Bahngeschwindigkeiten nahezu unverändert, was insbesondere gegenüber wälzgeführten Positioniersystemen einen Vorteil darstellt.³

In elfjähriger Forschungsarbeit lieferte das IMMS die antriebstechnische Basis für Nanopositionier- und Nanomessmaschinen der nächsten Generation. Der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderte Sonderforschungsbereich SFB 622 wurde an der TU Ilmenau im Juni 2013 erfolgreich abgeschlossen. Die Erkenntnisse des IMMS flossen unter anderem in die Projekte „NPMM200 Entwicklung und Realisierung einer Nanopositionier- und Nanomessmaschine mit $200 \times 200 \times 25 \text{ mm}^3$ Messvolumen“ und „Magnetischer 6D-Direktantrieb MAG6D“ ein. Sie bilden zudem die Grundlage für die vertiefende Forschung des IMMS auf dem Gebiet der Nanopositionierung in den kommenden Jahren.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Steffen Hesse, steffen.hesse@imms.de

Literatur

1 G. Jäger, T. Hausotte, E. Manske, H.-J. Büchner, R. Mastlylo, N. Dorozhovets, N. Hoffmann: Nanomeasuring and nanopositioning engineering. In: Proc. SPIE 6280 628001, 2006
 2 S. Hesse, C. Schäffel, H.-U. Mohr, M. Katzschmann, H.-J. Büchner: Design and performance evaluation of an interferometric controlled planar nanopositioning system. In: Meas. Sci. Technol. 23 074011, doi:10.1088/0957-0233/23/7/074011, 2012.
 3 S. Zschäck, S. Hesse, A. Amthor, M. Katzschmann, C. Schäffel, C. Ament: Vergleich der Scan-Performance bei Nanopositioniersystemen mit großem Bewegungsbereich, In: tm – Technisches Messen, Fachartikel angenommen, 2014.



Testlabor für MEMS-basierte Mikrosysteme

Mikroelektromechanische Systeme (MEMS) sind nur wenige Mikrometer groß und vereinen in kompakter Bauweise Sensoren, Aktoren und Steuerungselektronik auf einem Siliziumchip. Sie werden direkt auf dem Wafer mit aus der Halbleiterfertigung stammenden Verfahren hergestellt. Diese winzigen Systeme steuern beispielsweise Inkjet-Druckköpfe und werden in Smartphones als Mikrofon sowie als Gyroskop-Sensor zur Lageerkennung verwendet. Sie sind eine entscheidende Triebkraft für Produktentwicklungen. Bereits mit etablierten MEMS werden in rasendem Tempo Anwendungen erschlossen und auch mit neuen Integrationslösungen das enorme Stückzahl- und Umsatzwachstum dieses milliardenstarken Marktes befördert. Hinzu kommen neue Ansätze, wie z.B. Energy-Harvesting-Lösungen auf MEMS-Basis, die die Entwicklung innovativer Produkte ermöglichen werden.

Das IMMS hat bereits in mehreren Forschungsprojekten verschiedene Aspekte der MEMS-Entwicklung vorgebracht und wird auch in Zukunft die Forschung auf diesem Gebiet ausbauen. So war das Institut im

Inbetriebnahme der neuen Technik im Testlabor für MEMS-basierte Mikrosysteme. Foto: IMMS.

2011 abgeschlossenen Projekt SMARTHIES federführend bei der Realisierung eines skalierbaren, parallelen Messsystems, mit dem 25 MEMS-Strukturen im Waferverbund gleichzeitig geprüft werden können. Im Bereich mikroelektronischer und mikromechanischer Sensor- und Aktorsysteme erforscht das Institut seit Jahren Lösungen für ASICs und MEMS, die neue komplexe Produkte ermöglichen. So arbeitet das IMMS z.B. an der zerstörungsfreien indirekten Parameteridentifikation für Materialeigenschaften mittels Vibrometrie. Damit soll die Entwicklung künftiger ultrasensitiver integrierter MEMS bzw. Nanosysteme erleichtert werden, die jenseits der Siliziumtechnologie auf modernen Hochleistungswerkstoffen basieren, wie z.B. Gruppe-III-Nitride, Nanolamine oder Graphen. Daneben erforscht das IMMS im Projekt „GreenSense“ für selbstversorgende Sensorsysteme Technologien zur Fertigung miniaturisierter Energy-Harvesting-Module auf der Grundlage mikromechanischer Vibrationswandler. Eines in den laufenden Forschungsprojekten „MEMS2015“ und „MUSIK“ verfolgten Ziele ist es, den

IMMS Kompetenzen:

- Teststandards
- Testmethoden
- Testarchitekturen
- Testhard- und software
- Signalintegrität
- Adaptierung
- MEMS: Modellierung
- Charakterisierung

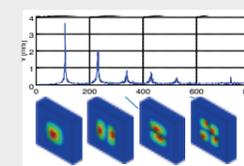
Wafer



Waferprober



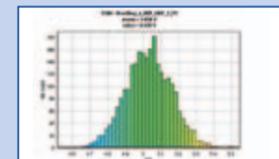
Modulare Testplattform



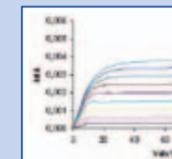
Modellierungssoftware



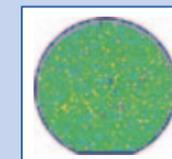
Topographiemesssystem & Vibrometer



Statistik



Messdaten



Wafermap

- Design- und Technologieoptimierung
- Fehleranalyse
- Ursachenforschung

Innovation

Infrastruktur des MEMS-Testlabors bestehend aus Technik und Software. Fotos & Grafik: IMMS.

Entwurfsprozess der mechanischen und elektronischen Bauteile zu verbinden und zu harmonisieren. Dadurch soll die Entwurfszeit um 30% verkürzt und das MEMS-Marktpotenzial um bis zu 50% gesteigert werden. Die Gesamtentwurfsmethodik soll auch kleine und mittlere Unternehmen in die Lage versetzen, sich ihre Lösungen individuell und maßgeschneidert in einem flexiblen MEMS- und Elektronik-Baukastensystem zusammensetzen und somit Teil des MEMS-Booms zu werden. 2014 wird das IMMS erste Muster von gemeinsam entwickelter Mechanik und Elektronik am Beispiel eines Cantilevers vorweisen. Zudem ist geplant, Lösungen für Beschleunigungssensoren sowie hochpräzise und besonders temperaturstabile Neigungssensoren auf diese Weise zu erarbeiten und als mechanisch-elektronisches System zu entwerfen. Für letztere entwickelt das Institut einen neuen technologischen Flow für das MEMS-Design, den es messtechnisch zu untermauern gilt.

Vor diesem Hintergrund baut das IMMS seine Messtechnik für MEMS seit Jahren systematisch aus. Dank des vom Freistaat Thüringen unter dem Kennzeichen FKZ 12031-715 geförderten und durch Mittel der Europäischen Union im Rahmen des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) kofinanzierten Infrastrukturprojektes „MEMS-T-Lab“ wurde die Innovationsfähigkeit für das IMMS und dessen Forschungspartner wesentlich gestärkt. Mit diesem „Labor“ wurden die Voraussetzungen geschaffen, MEMS parametrisch zu modellieren und bezüglich ihrer systemrelevanten mechanischen Parameter messtechnisch auf Basis von Deformations- und Frequenzmessungen zu charakterisieren, denn ohne die richtigen Parameter ist selbst das beste Modell für den Entwurf nahezu unbrauchbar. Die neue Technik erweitert die Infrastruktur des Instituts in den Bereichen Modellierungstools, Messtechnik und Laborausstattung und eröffnet eine bislang noch nicht erreichte Komplexität von Messungen. Diese sind

dann in einem neuen Automatisierungsgrad und im Gegensatz zu vorher für komplette Wafer möglich. Das neue MEMS-Testlabor vereint im Einzelnen die folgenden Systeme:

- Messsystem zur Erfassung der Topographie von MEMS-Bauelementen auf Waferlevel mit einem Interface zu einem halbautomatischen Waferprober;
- Softwaresystem zur Modellierung der mechanischen Eigenschaften von MEMS-Systemen, wie z.B. die stressbedingte Deformation und das Schwingungsverhalten, als Basis für eine Identifikation funktionsrelevanter Geometrie- und Materialparameter der MEMS;
- halbautomatischer Waferprober für die schnelle und exakte Kontaktierung integrierter Schaltungen bereits im Waferverbund zur Untersuchung der Eigenschaften in licht- und EMV-geschützter Umgebung im Temperaturbereich von -50°C bis 200°C;
- Modulare Testplattform für die elektrische Stimulierung und Messung der Parameter von integrierten Schaltungen, Modulen und Systemen und für die Erforschung flexibler und leistungsfähiger Testsystemarchitekturen mit effizienten Hardwarebaugruppen. Waferprober und Testplattform bilden eine funktionelle Einheit bei Untersuchungen zur Technologie- und Designoptimierung, zur Bewertung von Qualität und Zuverlässigkeit von Mikrosystemen sowie zur Erforschung neuer und schneller Testmethoden.

Seit Herbst 2013 führt das IMMS seine etablierte Messtechnik mit den neu erworbenen Systemen im MEMS-Testlabor zusammen, nimmt die Technik in Betrieb und bindet sie in die IT-Umgebung des Instituts ein. Das IMMS wird hiermit ab April 2014 die ersten Wafer testen, die das Institut im vom BMBF unter dem Kennzeichen 16M3093 im Förderprogramm IKT 2020 geförderten Projekt „MEMS 2015“ realisiert. Auf Basis der neuen Infrastruktur wird auch bei künftigen Projekten die interdisziplinäre Forschung auf dem Gebiet der Mikro- und Nanotechnologien von den Grundlagen bis zur Anwendung intensiviert, der Wissenstransfer zu Partnern erhöht und die Forschungskompetenz für MEMS-basierte Mikrosysteme am IMMS und bei dessen Partnern kontinuierlich weiterentwickelt.

Kontakt:

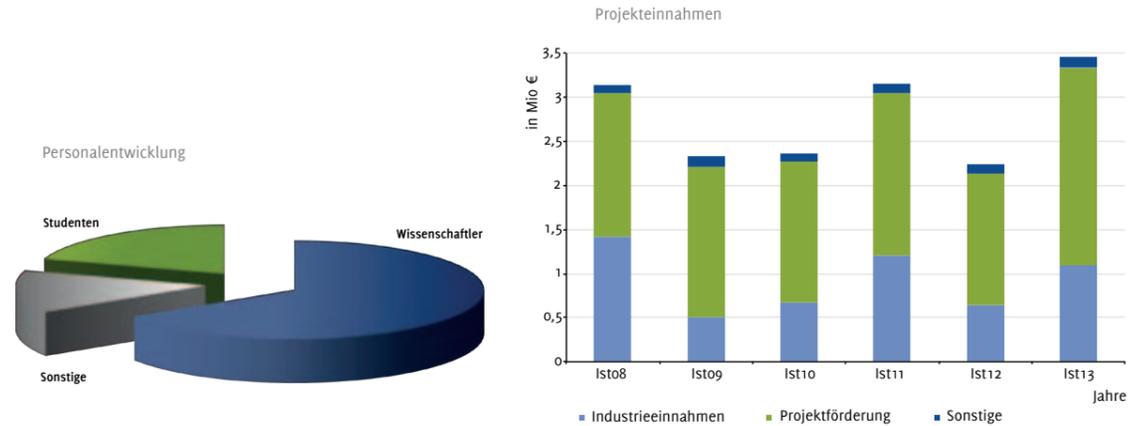
Roman Paris
roman.paris@imms.de

ZAHLEN, STRUKTUREN UND BELEGE



Messaufbau zur Charakterisierung der im Projekt GreenSense entwickelten Energy-Harvesting-Schaltung. Der abgebildete Kondensator dient als makroskopisches Äquivalent des kapazitiven Harvesters. Foto: IMMS.

IMMS in Zahlen



2013 waren im IMMS 87 Mitarbeiter beschäftigt. Hier-von waren 56 Wissenschaftler und 17 Studenten (FTE) in der Forschung und Entwicklung tätig, was ca. 84% aller Beschäftigten entspricht.

Wie bereits in den letzten Jahren hat eine große Zahl von Studenten die Angebote des IMMS wahrgenom-men, ihre Ausbildung in praxisorientierter Forschung zu vertiefen und zu vervollständigen: 15 Studenten ab-solvierten Praktika, neun Bachelorarbeiten und Mas-terarbeiten wurden betreut und fünf Mitarbeiter sind gegenwärtig als Doktorand an einer Universität einge-schrieben.

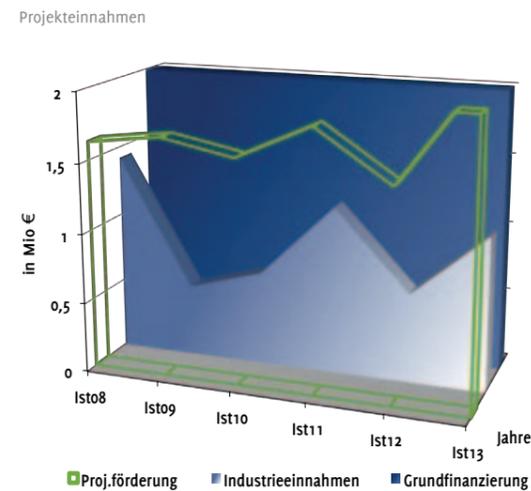
Das IMMS zeigt ein großes Engagement in der studen-tischen Ausbildung, um auf diesem Wege ausreichend Absolventen in der notwendigen Anzahl und Qualität zu gewinnen.

Die Einnahmen aus industrieller Auftragsforschung sind 2013 um 71% und die Einnahmen aus öffentli-cher Projektförderung um 49% gegenüber denen des Vorjahres gestiegen. Der Markt für Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen hat sich spürbar belebt. Das ist zum einen auf die konsequente Förderung von Forschung und innovativer Produktentwicklungen durch die öffentliche Hand und zum anderen darauf zurückzuführen, dass insbesondere KMU in den letz-ten drei Jahren ihr Eigenkapital stärken konnten.

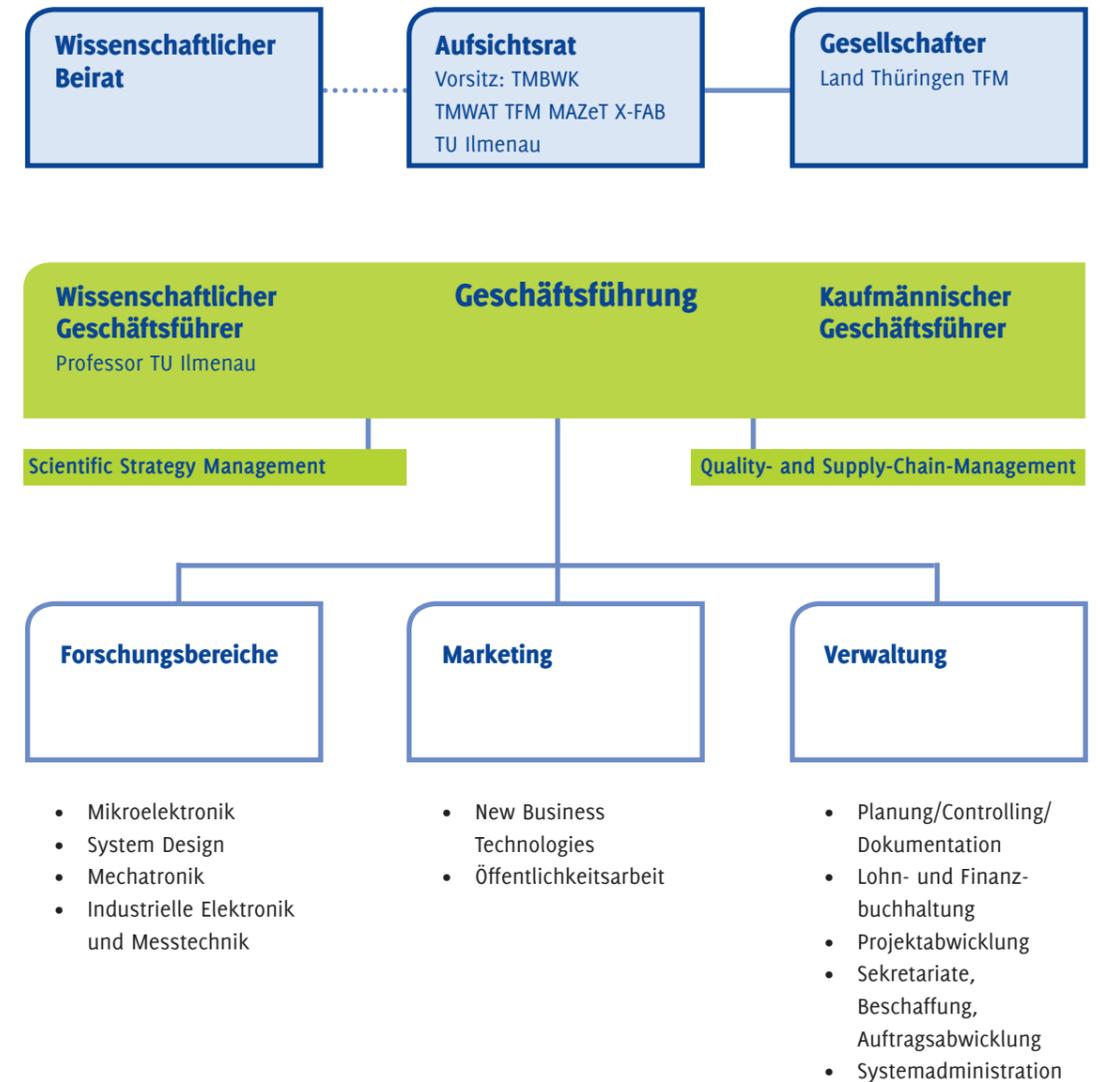
Das Ergebnis in 2013 weist darauf hin, dass sich die Projektförderung weiterhin positiv entwickeln wird. Nahezu alle diese Projekte sind Verbundprojekte. Das verdeutlicht die hohe Akzeptanz des IMMS als For-schungspartner. Dem Institut ist es gelungen, durch

sein Engagement in Netzwerken die Projektaktivitäten sichtbar zu steigern. Ziel ist es, die guten Ergebnisse aus der Forschung möglichst rasch in industrielle An-wendungen zu bringen. Hiervon werden in erster Linie die KMU profitieren. Die Stabilisierung dieses Prozes-ses erfordert die Formierung der KMU in regionale und produktorientierte Wertschöpfungsketten. Der Zugang zu innovativen Märkten erfordert in immer stärkerem Maße Systemkompetenz für die Entwicklung und Her-stellung von Produkten unter Verwendung von Mikro- und Nanotechnologien. Hierfür ist das IMMS gut aufgestellt.

Der Freistaat Thüringen hat auch 2013 für verlässliche Bedingungen mit einer konstanten institutionellen Zu-wendung gesorgt. Das hat insbesondere die Zusam-menarbeit mit den kleinen und mittelständischen Be-trieben Thüringens gefördert. Jedoch werden Inflation und Tariferhöhungen nicht mehr ausgeglichen.



Organigramm



Wissenschaftlicher Beirat

Vorsitzender: Herr Prof. Dr. CHRISTIAN BRECHER, Institutsdirektor des WZL der RWTH Aachen, Forschungsbereich Werkzeugmaschinen

Stellv. Vorsitzender: Herr OLAF MOLLENHAUER, Geschäftsführender Gesellschafter der TETRA GmbH, Ilmenau

Ehrenmitglied: Herr Prof. Dr. habil. EBERHARD KALLENBACH, Leiter des Steinbeis-Transferzentrums Mechatronik, Ilmenau

Herr Prof. Dr. ERICH BARKE, Präsident der Leibniz Universität Hannover, Fachbereich Informatik

Herr Dr.-Ing. GABRIEL KITTLER, Innovation Manager X-FAB Semiconductor Foundries AG Erfurt

Herr Prof. Dr. GÜNTER ELST, im Ruhestand, ehemals Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS – EAS, Direktor des Institutsteils Entwurfsautomatisierung EAS, Dresden

Herr Dr. FRED GRUNERT, Technischer Geschäftsführer MAZeT GmbH, Jena

Herr Prof. Dr. habil. MATTHIAS HEIN, TU Ilmenau, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Fachgebiet Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik

Frau Prof. Dr. OLFA KANOUN, TU Chemnitz, Prodekanin der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Lehrstuhl für Mess- und Sensortechnik

Herr Dr. NORBERT LENK, Geschäftsführer AJ IDC Geräteentwicklungsgesellschaft mbH Langewiesen, ein Unternehmen der Analytik Jena AG

Herr Dr. MICHAEL TRUTZEL, Senior Director Technology, Carl Zeiss Jena GmbH, Jena

Herr Prof. Dr. ANDREAS TÜNNERMANN, wissenschaftlicher Direktor der Friedrich-Schiller-Universität Jena, Lehrstuhl für Angewandte Physik

Aufsichtsrat

Vorsitzender: Herr Dr. JÖRG PRINZHAUSEN, Thüringer Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur

Stellv. Vorsitzender: Herr Dr. FRANK EHRHARDT, Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie

Herr Univ. Prof. Dr.-Ing. KLAUS AUGSBURG, Prorektor Wissenschaft, TU Ilmenau, Fakultät Maschinenbau

Herr Dr. sc. WOLFGANG HECKER, Geschäftsführer, MAZeT GmbH Thüringen

Herr Dr. JENS KOSCH, Chief Technical Officer, X-FAB-Semiconductor Foundries AG

Herr THOMAS WEISSENBORN, Thüringer Finanzministerium

Lehrveranstaltungen

Prof. Dr. Ralf Sommer

„Grundlagen der Schaltungstechnik“, Vorlesung und Übung, Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Elektronische Schaltungen und Systeme, Bachelor-Studenten 3. Semester

„Rechnergestützte Entwurfsmethodik (EDA) für Analog/Mixed-Signal-Schaltungen“, Vorlesung und Übung, Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Elektronische Schaltungen und Systeme, Bachelor-Studenten 6. Semester

Dr. Eckhard Hennig

„Modellierung und Simulation analoger Systeme“, Vorlesung und Übung, Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Elektronische Schaltungen und Systeme, Bachelor-Studenten 5. Semester

Eric Schäfer, M.Sc.

„Modellierung und Simulation von Delta-Sigma-ADCs“, Vorlesung und Übung, Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Elektronische Schaltungen und Systeme, Bachelor-Studenten 5. Semester

Dipl.-Ing. Sven Engelhardt

„Automatisierungssysteme“, Vorlesung und Praktika, Berufsakademie Eisenach, Studiengang Konstruktion, Bachelor-Studenten

„Mikrocontroller-Technik“, Praktika, Berufsakademie Eisenach, Studiengang Konstruktion und Technisches Management, Bachelor-Studenten

Publikationen 2013

Fachartikel

1. Komla AGLA¹, Olaf WETZSTEIN², Thomas ORTLEPP³, Hannes TÖPFER^{1,4}, Modeling of noise-induced jitter in low-power mixed-signal circuits using a SystemC high-level description, Telecommunications Forum (TELFOR) 20th, 2012, pp. 943-946, ISBN: 978-1-4673-2983-5, Digital Object Identifier: 10.1109/TELFOR.2012.6419364, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, D-98693 Ilmenau, Germany, ²Institute of Photonic Technology (IPHT) Jena, Department Quantum Detection, D-07702 Jena, Germany, ³University of California Berkeley, Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, Berkeley USA, ⁴Ilmenau University of Technology, Department of Advanced Electromagnetics, D-98693 Ilmenau, Germany.
2. Volker BOOS¹, Ralf POPP², Mirco MEINERS³, D. MEISEL³, A. MÜLLER⁴, MEMS2015 – Schaltplan-basierter Entwurf von MEMS für Anwendungen in Optik und Robotik, in Newsletter edacentrum, 01/2013, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²edacentrum GmbH, Hannover, ³Robert Bosch GmbH, Stuttgart, ⁴X-FAB Semiconductor Foundries AG, Erfurt.
3. Björn BIESKE¹, Alexander SCHULZ², Einfluss der Messumgebung auf die Performance des HF-Tests, 25. GI/GMM/ITG-Workshop: Testmethoden und Zuverlässigkeit von Schaltungen und Systemen (TuZ), Dresden, 2013, Tagungsband, S. 33–36, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Germany, Ilmenau, ²Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Ilmenau.
4. Jun TAN¹, Marco REINHARD¹, Dirk NUERNBERGK², Eckhard HENNIG¹, A Digitally Trimmable Wide Temperature Range 0.35- μ m CMOS On-Chip Precision Voltage Reference, 13. ITG/GMM-Fachtagung: Entwicklung von Analogschaltungen mit CAE-Methoden (Analog 2013), Aachen, 2013, CD-ROM, ITG-FB 239, ISBN 978-3-8007-3467-2, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²FH Jena, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Jena.
5. Björn BIESKE, André JÄGER, Degradation der HF-Parameter im GHz-Bereich durch Vergussmassen und Substratmaterialien, 13. ITG/GMM-Fachtagung: Entwicklung von Analogschaltungen mit CAE-Methoden (Analog 2013), Aachen, 2013, CD-ROM, ITG-FB 239, ISBN 978-3-8007-3467-2.

- 6.** Björn BIESKE¹, Klaus HEINRICH², Evaluierung von HF-CMOS-Modulen für Kommunikationssysteme mit flexibel konfigurierbaren Testsystemen (PXI), 13. ITG/GMM-Fachtagung: Entwicklung von Anlogschaltungen mit CAE-Methoden (Analog 2013), Aachen, 2013, CD-ROM, ITG-FB 239, ISBN 978-3-8007-3467-2, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²X-FAB Semiconductor Foundries AG, Erfurt.
- 7.** Ralf SOMMER^{1,2}, Eric SCHÄFER¹, Michael MEISTER¹, Dominik KRAUSSE², Jacek NOWAK², Designerfinger – Synthese von Kompensationsnetzwerken für schnelle rückgekoppelte Verstärkerschaltungen, in elektroniknet.de, 27.03.2013, <http://www.elektroniknet.de/halbleiter/analog-mixed-signal/artikel/96199/>, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Germany, Ilmenau, ²Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Elektronische Schaltungen und Systeme, Ilmenau.
- 8.** S. HAMPL^{1,2}, M. HOFFMANN², Piezoelectric AIN-biomorph benders as low-frequent, resonant microactuators with large travel range, Mikrosystemtechnik Kongress, Aachen, 2013, S. 480-483, ISBN 978-3-8007-3555-6, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Germany, Ilmenau, ²Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Mikromechanische Systeme, Ilmenau.
- 9.** Komla Amenyo AGLA¹, Thomas ELSTE¹, Hannes TÖPFER^{1,2}, Modellierung und Simulation des Latenzzeit-Verhaltens eingebetteter Echtzeit-Systeme mit RT-Preempt-Patch Linux-Kernel mit SystemC, Dresdner Arbeitstagung Schaltungs- und Systementwurf (DASS), Dresden, 2013, S. 90-95, CD-ROM, ISBN 978-3-8396-0545-5, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Theoretische Elektrotechnik, Ilmenau.
- 10.** Stefan HAMPL^{1,2}, Bianca LEISTRITZ¹, Benjamin SAFT¹, Eckhard HENNIG¹, Martin HOFFMANN², Ein- und mehrlagige vertikale Comb-Drive-Strukturen zur kapazitiven, niederfrequenten Energiegewinnung, Mikrosystemtechnik-Kongress 2013, Aachen, 2013, S. 524-527, ISBN 978-3-8007-3555-6, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²Technische Universität Ilmenau, IMN MacroNano®, Fachgebiet Mikromechanische Systeme, Ilmenau.
- 11.** Christoph SCHÄFFEL¹, Michael KATZSCHMANN¹, Hans-Ulrich MOHR¹, Rainer GLÖSS², Christian RUDOLF², Christopher MOCK², Carolin WALENDA², Magnetic Levitating System with 6 DOF, Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik 2013, 9. GMM/ETG Fachtagung, Nürnberg, S. 128-131, ISBN 978-3-8007-3537-2, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG, Karlsruhe.
- 12.** Eckhard HENNIG¹, Bianca LEISTRITZ¹, Stefan HAMPL^{1,2}, Martin HOFFMANN², GREENSENSE – Technologien für ressourcen- und energieeffiziente, intelligente Sensornetzwerke, in CENIDE NanoEnergie-Newsletter, Center for Nanointegration Universität Duisburg-Essen, Ausgabe 10, S. 12-13, online: <http://www.uni-due.de/cenide/nano-energie-news.php>, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Germany, Ilmenau, ²Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Mikromechanische Systeme, Ilmenau.
- 13.** Björn BIESKE¹, Klaus HEINRICH², Developing and Testing RF modules in CMOS for ISM Bands using PXI platform, Transactions on Systems, Signal & Devices (TSSD), Vol. 8, No. 4, pp. 1-13, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²X-FAB Semiconductor Foundries AG, Erfurt.
- 14.** Bianca LEISTRITZ^{1,2}, Hannes TÖPFER^{1,2}, Nonlinear vibration energy generators with mechanical stoppers for low-frequency boardband applications, 13th International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (PowerMems), London, Großbritannien, 2013, J. Phys.: Conf. Ser. 476 012050 doi:10.1088/1742-6596/476/1/012050, <http://iopscience.iop.org/1742-6596/476/1/012050>, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²Ilmenau University of Technology, Department of Advanced Electromagnetics, Ilmenau.
- 15.** Marco GÖTZE¹, Wolfram KATTANEK¹, Rolf PEUKERT¹, Elena CHERVAKOVA¹, Hannes TÖPFER^{1,2}, Jan BUMBERGER³, Peter DIETRICH³, A Flexible Services and Communications Gateway for Smart Home and Monitoring Applications, in proceedings 21th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), Split-Primosten, Croatia, 2013, ISBN 978-953-290-041-5, <http://www.proceedings.com/20133.html>, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²Ilmenau University of Technology, Department of Advanced Electromagnetics, Ilmenau, ³Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ, Department Monitoring and Exploration Technologies, Leipzig.
- 16.** Sebastian UZIEL¹, Thomas ELSTE¹, Wolfram KATTANEK¹, Danilo HOLLOSI², Stephan GERLACH², Stefan GOETZE², Networked Embedded Acoustic Processing System for Smart Building Applications, Conference on Design and Architectures for Signal and Image Processing (DASIP), Cagliari, Italien, 2013, pp. 349-350, ISBN 979-10-92279-01-6, online: <http://www.ecsi.org/resource/dasip/2013/proceedings>, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²Fraunhofer Institute for Digital Media Technology IDMT, Project Group Hearing, Speech and Audio Technology, Oldenburg.
- 17.** Elena CHERVAKOVA, Wolfram KATTANEK, QoS-driven Design and Operation of Adaptive, Self-organizing Wireless Sensor Systems, in 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), Wien, Österreich, Nov. 2013, pp. 7712-7717, ISBN 978-1-4799-0223-1/13.
- 18.** Safwat IRTEZA¹, Eric SCHÄFER², Matteo SGAMMINI³, Ralf STEPHAN¹, Matthias A. HEIN¹, Four-Element Compact Planar Antenna Array with Integrated Decoupling and Matching Network for Robust Satellite Navigation Systems, in 6th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Gothenburg, Sweden, Apr. 2013, pp. 21-25, ISBN 978-88-907018-3-2, ¹RF and Microwave Laboratory, University of Technology Ilmenau, ²IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ³German Aerospace Center (DLR), Institute for Communication and Navigation.
- 19.** Safwat IRTEZA¹, Eric SCHÄFER², Matteo SGAMMINI³, Ralf STEPHAN¹, Matthias A. HEIN¹, Impact of Polarization Impurity on Compact Antenna Array Receiver for Satellite Navigation Systems, in 43rd European Microwave Conference (EuMC), Nuremberg, Germany, Oct. 2013, pp. 346-349, ISBN 978-2-87487-031-6, ¹RF and Microwave Laboratory, University of Technology Ilmenau, ²IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ³German Aerospace Center (DLR), Institute for Communication and Navigation.
- 20.** Björn KROLL¹, Sebastian SCHRIEGEL¹, Stefan SCHRAMM², Oliver NIGGEMANN¹, A Software Architecture for the Analysis of Energy- and Process-Data, in proceedings 18th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Cagliari, Italy, Sept. 2013, pp. 1-4, ISBN 978-1-4799-0864-6, Digital Object Identifier: 10.1109/ETFA.2013.6648146, IEEE Catalog Number: CFP13ETF-ART, ¹Fraunhofer IOSB-INA, Application Center for Industrial Automation, Lemgo, Germany, ²IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, Germany.
- 21.** Björn BIESKE¹, Alexander SCHULZ², Einfluss der Messumgebung auf die Performance des HF-Tests, 25. GI/GMM/ITG-Workshop: Testmethoden und Zuverlässigkeit von Schaltungen und Systemen (TuZ), Dresden, 24.02.2013-26.02.2013, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Ilmenau, Vortrag.
- 22.** Björn BIESKE, André JÄGER, Degradation der HF-Parameter im GHz-Bereich durch Vergussmassen und Substratmaterialien, 13. ITG/GMM-Fachtagung: Entwicklung von Anlogschaltungen mit CAE-Methoden (Analog 2013), Aachen, 04.03.2013-06.03.2013, Vortrag.
- 23.** Jun TAN¹, Marco REINHARD¹, Dirk NUERNBERGK², Eckhard HENNIG¹, A Digitally Trimmable Wide Temperature Range 0.35-µm CMOS On-Chip Precision Voltage Reference, 13. ITG/GMM-Fachtagung: Entwicklung von Anlogschaltungen mit CAE-Methoden (Analog 2013), Aachen, 04.03.2013-06.03.2013, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Germany, Ilmenau, ²FH Jena, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Germany, Jena, Vortrag.
- 24.** Björn BIESKE¹, Klaus HEINRICH², Evaluierung von HF-CMOS-Modulen für Kommunikationssysteme mit flexibel konfigurierbaren Testsystemen (PXI), 13. ITG/GMM-Fachtagung: Entwicklung von Anlogschaltungen mit CAE-Methoden (Analog 2013), Aachen, 04.03.2013-06.03.2013, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²X-FAB Semiconductor Foundries AG, Erfurt, Poster.
- 25.** Safwat IRTEZA¹, Eric SCHÄFER², Matteo SGAMMINI³, Ralf STEPHAN¹, Matthias A. HEIN¹, Four-Element Compact Planar Antenna Array with Integrated Decoupling and Matching Network for Robust Satellite Navigation Systems, 6th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Gothenburg, Sweden, Apr. 2013, ¹RF and Microwave Laboratory, University of Technology Ilmenau, ²IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ³German Aerospace Center (DLR), Institute for Communication and Navigation, Vortrag.

26. Jan BUMBERGER¹, Paul REMMLER¹, Tino HUTSCHENREUTHER², Hannes TÖPFER^{2,3}, Peter DIETRICH¹, Potentials and Limitations of Wireless Sensor Networks for Environmental Monitoring, 12th International UFZ-Delta Conference on Groundwater-Soil-Systems and Water Resource Management (AquaConSoil), Barcelona, Spain, 16.04.2013–19.04.2013, ¹Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ, Department Monitoring and Exploration Technologies, Leipzig, ²IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ³Ilmenau University of Technology, Department of Advanced Electromagnetics, Ilmenau, Vortrag.

27. Komla Amenyo AGLA¹, Thomas ELSTE¹, Hannes TÖPFER^{1,2}, Modellierung und Simulation des Latenzzeit-Verhaltens eingebetteter Echtzeit-Systeme mit RT-Preempt-Patch Linux-Kernel mit SystemC, Dresdner Arbeitstagung Schaltungs- und Systementwurf (DASS), Dresden, 25.04.2013–26.04.2013, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Theoretische Elektrotechnik, Ilmenau, Vortrag.

28. Georg GLÄSER, Eckhard HENNIG, Minimization of Event Processing Latency in Temporally Decoupled Simulation of SystemC Models by Dynamic Prediction of Optimal Time Quanta, CDN Live! EMEA 2013, München, 06.05.2013 – 08.05.2013, Vortrag.

29. Klaus FÖRSTER, Erfahrungen beim Halbleitertest und zukünftige Herausforderungen für PXI-Testsysteme, ATE-Technologie, Radolfzell, 07.05.2013, Vortrag.

30. Steffen HESSE, Teilprojekt A5 – Nanopositioniersysteme großer Bewegungsbereiche, Forschungsergebnisse 2002–2013, Abschlusspräsentation SFB 622 Nanopositionier- und Nanomessmaschinen, Ilmenau, 29.05.2013, Vortrag und Poster.

31. Wolfgang SINN, Smart City – Leben & Arbeiten in vernetzten Welten, 8. Silicon Saxony Day, Fachforum „Smart City“, Dresden, 24.06.2013, Vortrag.

32. Norbert ZEIKE¹, Michael KATZSCHMANN¹, Christoph SCHÄFFEL¹, Torsten MAY², Abtastvorrichtung zur hochdynamischen Bewegung einer reflektiven Terahertz-Optik, ELMUG-Technologiekonferenz elmug4future, Suhl, 02.07.2013–03.07.2013, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²Leibniz-Institut für Photonische Technologien (IPHT), Jena, Vortrag.

33. Marco GÖTZE, Funkvernetzte, energieautarke Sensorlösungen zur Verkehrsdatenerfassung, ELMUG-Technologiekonferenz elmug4future, Suhl, 02.07.2013–03.07.2013, Vortrag.

34. Christoph SCHÄFFEL¹, Michael KATZSCHMANN¹, Hans-Ulrich MOHR¹, Rainer GLÖSS², Christian RUDOLF², Christopher MOCK², Carolin WALENDA², Magnetic Levitating System with 6 DOF, Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik 2013, 9. GMM/ETG Fachtagung, Nürnberg, 19.09.2013–20.09.2013, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG, Karlsruhe, Vortrag.

35. Stefan HAMPL^{1,2}, Bianca LEISTRITZ¹, Benjamin SAFT¹, Eckhard HENNIG¹, Martin HOFFMANN², Ein- und mehrlagige vertikale Comb-Drive-Strukturen zur kapazitiven, niederfrequenten Energiegewinnung, Mikrosystemtechnik-Kongress 2013, Aachen, 14.10.2013–16.10.2013, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²Technische Universität Ilmenau, IMN Macro-Nano®, Fachgebiet Mikromechanische Systeme, Ilmenau, Poster.

36. T. MAIER³, D. MEISEL³, Volker BOOS¹, Ralf POPP², Schematic-Based Design of MEMS for Applications in Optics and Robotics, edaWorkshop, Dresden, 14.05.2013–16.05.2013, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²edacentrum GmbH, Hannover, ³Robert Bosch GmbH, Stuttgart, Poster.

37. Ralf SOMMER, Schematic Driven MEMS Design, edaWorkshop, Dresden, 14.05.2013–16.05.2013, Vortrag.

38. Björn KROLL¹, Sebastian SCHRIEGEL¹, Stefan SCHRAMM², Oliver Niggemann¹, A Software Architecture for the Analysis of Energy- and Process-Data, 18th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Cagliari, Italy, 10.09.2013–13.09.2013, ¹Fraunhofer IOSB-INA, Application Center for Industrial Automation, Lemgo, Germany, ²IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, Germany, Poster.

39. Komla AGLA, Sven ENGELHARDT, Stefan HAMPL, Eckhard HENNIG, Bianca LEISTRITZ, Alexander ROLAPP, Benjamin SAFT, Jun Tan, Kurzvorstellung der Forschergruppe GreenSense, Jahrestagung der Thüringer Forschergruppen 2013, Technische Universität Ilmenau, 11.09.2013, Vortrag.

40. Stefan HAMPL^{1,2}, Bianca LEISTRITZ¹, Benjamin SAFT¹, Eckhard HENNIG¹, Martin HOFFMANN², Ein- und mehrlagige vertikale Comb-Drive-Strukturen zur kapazitiven, niederfrequenten Energiegewinnung, Jahrestagung der Thüringer Forschergruppen 2013, Technische Universität Ilmenau, 11.09.2013, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²Technische Universität Ilmenau, IMN MacroNano®, Fachgebiet Mikromechanische Systeme, Ilmenau, Poster.

41. Marco GÖTZE¹, Wolfram KATTANEK¹, Rolf PEUKERT¹, Elena CHERVAKOVA¹, Hannes TÖPFER^{1,2}, Jan BUMBERGER³, Peter DIETRICH³, A Flexible Services and Communications Gateway for Smart Home and Monitoring Applications, 21th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), Split-Primosten, Croatia, 18.09.2013–20.09.2013, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²Ilmenau University of Technology, Department of Advanced Electromagnetics, Ilmenau, ³Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ, Department Monitoring and Exploration Technologies, Leipzig, Vortrag.

42. Sebastian UZIEL¹, Thomas ELSTE¹, Wolfram KATTANEK¹, Danilo HOLLOSI², Stephan GERLACH², Stefan GOETZE², Networked Embedded Acoustic Processing System for Smart Building Applications, Conference on Design & Architectures for Signal & Image Processing (DASIP), Cagliari, Italien, 08.10.2013–10.10.2013, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²Fraunhofer Institute for Digital Media Technology IDMT, Vortrag und Poster.

43. Volker BOOS, Using WiCked in MEMS Design, MunEDA User Group Meeting, München, 10.10.2013–11.10.2013, Vortrag.

44. Steffen MICHAEL, Vibrometry in the field of MEMS – from stress detection in packaged membranes to functionality tests of RF resonators, MEMUNITY Workshop, Dresden, 09.10.2013, Vortrag.

45. Safwat IRTEZA¹, Eric SCHÄFER², Matteo SGAMINI³, Ralf STEPHAN¹, Matthias A. HEIN¹, Impact of Polarization Impurity on Compact Antenna Array Receiver for Satellite Navigation Systems, 43rd European Microwave Conference (EuMC), Nuremberg, Germany, Oct. 2013, ¹RF and Microwave Laboratory, University of Technology Ilmenau, ²IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ³German Aerospace Center (DLR), Institute for Communication and Navigation, Vortrag.

46. Elena CHERVAKOVA, Wolfram KATTANEK, QoS-driven Design and Operation of Adaptive, Self-organizing Wireless Sensor Systems, 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), Wien, Österreich, 10.–13.11.2013, Vortrag.

47. Bianca LEISTRITZ^{1,2}, Hannes TÖPFER^{1,2}, Nonlinear vibration energy generators with mechanical stoppers for low-frequency boardband applications, 13th International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (PowerMem), London, Großbritannien, 03.12.2013–06.12.2013, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Germany, Ilmenau, ²Ilmenau University of Technology, Department of Advanced Electromagnetics, Ilmenau, Vortrag.

Patente

Erteilte Patente 2013

48. Christoph SCHÄFFEL, Norbert ZEIKE, Frank SPILLER, Hans-Ulrich MOHR, Steffen HESSE, Volker BORNMANN, Feldgeführter planarer Präzisionsantrieb mit einem luftgelagerten Läufer, DE102007037886

Offengelegte Patente 2013

49. Holger PLESS¹, Alexander ROLAPP¹, Volker BORNMANN¹, Frank SPILLER¹, Wolfgang EINBRODT², Konrad BACH², Anordnung zum Erzeugen eines definierten Abstands zwischen Elektrodenflächen auf integrierten Bauelementen für chemische und biochemische Sensoren, DE102012217853. ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²X-FAB Semiconductor Foundries AG, Erfurt.

Sonstige Artikel

50. T. MAIER³, D. MEISEL³, Volker BOOS¹, Ralf POPP², Schematic-Based Design of MEMS for Applications in Optics and Robotics, edaWorkshop, Dresden, 14.05.2013–16.05.2013, ¹IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH, Ilmenau, ²edacentrum GmbH, Hannover, ³Robert Bosch GmbH, Stuttgart, Flyer.



IMMS

WIR VERBINDEN DIE IT MIT DER REALEN WELT.